

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

SKRIPSI

Oleh:

HASNA JIHAN ISMA
NIM. 210604110044



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

PENERAPAN TEKNOLOGI HIDUNG ELEKTRONIK DAN *GAS CHROMATOGRAPHY-MASS SPECTROMETRY* (GC-MS) UNTUK KLASIFIKASI AROMA KORNET SAPI DAN BABI 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:

**HASNA JIHAN ISMA
NIM. 21060411044**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

HALAMAN PERSETUJUAN

Penerapan Teknologi Hidung Elektronik dan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) Untuk Klasifikasi Aroma Kernet Sapi dan Babi Menggunakan Metode *Principal Component Analysis* (PCA)

SKRIPSI

Oleh:

HASNA JIHAN ISMA
NIM. 210604110044

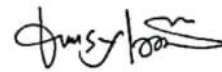
Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada tanggal, 29 November 2025

Pembimbing I



Muthmainnah, M.Si
NIP. 19860325 201903 2 009


Pembimbing II



Mubasyiroh, M.Pd.I
NIP. 19790502 202321 2 024

Mengetahui
Ketua Program Studi




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

HALAMAN PENGESAHAN

Penerapan Teknologi Hidung Elektronik *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) Untuk Klasifikasi Aroma Kernet Sapi dan Babi
Menggunakan Metode *Principal Component Analysis* (PCA)

SKRIPSI


Oleh:
HASNA JIHAN ISMA
NIM. 210604110044

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada tanggal: 3 Desember 2025

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>Mubasyiroh, M.Pd.I</u> NIP. 19790502 202321 2 024	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi




Parid Samsu Hananto, M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Hasna Jihan Isma

NIM : 210604110044

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Penerapan Teknologi Hidung Elektronik Gas
Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) Untuk
Klasifikasi Aroma Kornet Sapi dan Babi Menggunakan
Metode *Principal Component Analysis (PCA)*

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur penjiplakan karya penelitian yang dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan sumbernya dalam daftar Pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 3 Desember 2025
Yang Membuat Pernyataan,


CBEF5AMX073907856

HASNA JIHAN ISMA
NIM. 210604110044

MOTTO

“Jika ingin melihat hari esok yang lebih baik, Kita harus berani
Meninggalkan sesuatu yang menghalangi kaki kita untuk melangkah”

-Harry Vaugan

“ Berhasil atau tidaknya itu urusan nanti, Umur masih muda,
Mari kita coba semuanya. “*Fortis Solus Stabit*” (Yang Kuat Akan Berdiri Sendiri”

-B

HALAMAN PERSEMBAHAN

Saya persembahkan Tulisan ini untuk :

- Untuk cinta pertamaku dan juga ayah hebatku Alm.Didik Ludyanto yang menjadi motivasi saya untuk meraih gelar sarjana. Terimakasih untuk ayah yang sedari kecil mengajari saya mulai dari membaca, menyanyi hingga menyekolahkan saya hingga dibangku kuliah
- Ibu yang telah melalui banyak perjuangan dan rasa sakit. Tapi saya berjanji tidak akan membiarkan semua itu sia-sia. Saya ingin melakukan yang terbaik untuk setiap kepercayaan yang diberikan. Saya akan tumbuh, untuk menjadi yang terbaik yang saya bisa. Pencapaian ini adalah persembahan istimewa saya untuk ibu.
- Dengan rasa hormat dan terima kasih yang mendalam, karya ini saya persembahkan kepada Ibu Dosen Pembimbing, Muthmainnah, M.Si dan Ibu Mubasyiroh, M.Pd.I. Yang dengan penuh kesabaran dan keikhlasan membimbing saya, memberikan motivasi, serta menjadi teladan dalam berpikir ilmiah dan bersikap bijaksana.Semoga segala ilmu dan bimbingan yang diberikan menjadi amal jariyah di sisi Allah SWT.
- Saudari perempuan saya , Khansa Salsabila dan juga kakak ipar saya Feri Wisnu Fardana. Terimakasih sudah membantu dan mendukung apapun yang saya lakukan selama ini.
- Keponakanku tercinta, yang menjadi sumber semangat dan keceriaan dalam setiap langkahku, Elnaura Syafira Fardana dan Nawasena Afdal Malik.
- serta untuk sahabat-sahabat terbaikku Reza Aulia Fahmi, Natasha Ewitya Age dan Nanda Amalia Nurazizah, yang selalu hadir dengan doa, dukungan, dan

tawa di setiap perjalanan panjang menuju akhir perjuangan ini. Terima kasih telah menjadi bagian dari kisah perjuanganku hingga titik ini.

- Semua teman terbaik dengan nama dan kisah yang selalu terkenang dalam benak dan ingatanku, jurusan fisika angkatan 2021 yang sudah mensupport serta selalu menemani dalam proses pengerjakan skripsi ini.
- Dan yang terakhir untuk diri sendiri, Hasna Jihan Isma. Terimah kasih tetap memilih berusaha dan tidak lelah mencoba untuk belajar dan terima kasih untuk tidak menyerah sesulit apapun yang dihadapi. Berbahagialah selalu dimanapun kamu berada dan semoga selalu dipertemukan oleh orang –orang yang baik.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan dan menyusun skripsi yang berjudul “Penerapan Teknologi Hidung Elektronik Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) untuk Klasifikasi Aroma Kernet Sapi dan Babi 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, di antaranya 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., dan Ibu Mubasyiroh, M.Pd.I 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 penulis, almarhum Bapak Didik Ludyanto dan Ibu Ninik Budi Lestiati, atas segala doa, dukungan, arahan, dan motivasi yang tiada henti dalam setiap langkah kehidupan penulis.
8. Kakak kandung penulis, Khansasalsabila, yang selalu memberikan semangat dan dukungan selama proses penyusunan skripsi.
9. Keponakan serta saudara – saudara, yang selalu menjadi sumber semangat dan motivasi selama proses penyusunan skripsi
10. Teman dekat penulis, Reza Aulia Fahmi dan Natasha Ewitya Age, dan Nanda Amalia Nurazizah yang senantiasa memberikan dukungan moral dan semangat selama masa pengerjaan skripsi ini.
11. Dosen serta kak Melani jurusan Kimia yang telah membantu penulis dalam proses penelitian
12. Serta seluruh pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam mendukung kelancaran penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan, baik dari segi isi maupun penyajiannya. Hal tersebut tidak terlepas dari keterbatasan ilmu dan pengalaman yang dimiliki penulis

Malang, 10 Maret 2025

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
ABSTRAK	xvii
ABSTRACT	xviii
مستخلص البحث	xix
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat	5
 BAB II TINJAUAN PUSAKA	 6
2.1 <i>Elektronik Nose</i>	6
2.2 GC-MS (<i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i>)	9
2.3 Sensor Gas	13
2.4 <i>Software Origin</i>	16
2.5 <i>Principal Component Analysis (PCA)</i>	16
2.6 Kernet	18
2.7 Penelitian Terdahulu	20
 BAB III METODE PENELITIAN	 25
3.1 Jenis Penelitian	25
3.2 Waktu dan tempat penelitian.....	25

3.3	Alat dan Bahan Penelitian	25
3.3.1	Alat Penelitian	25
3.3.2	Bahan Penelitian.....	26
3.4	Perangkat Hidung Elektronik	26
3.4.1	Perangkat keras (Hardware).....	26
3.4.2	Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	27
3.5	Prosedur Penelitian	27
3.6	Prosedur Preparasi Sampel	28
3.7	Prosedur Pengambilan Data E- Nose.....	28
3.8	Prosedur Pengambilan data GC-MS.....	29
3.9	Prosedur Pengolahan Data.....	31
3.10	Tabel Pengukuran Data E-Nose.....	31
3.11	Tabel Pengukuran Data GC-MS	32
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1	Prosedur Pengujian Sampel	33
4.1.1	Preparasi Sampel untuk Analisis Menggunakan Electronic Nose (E-Nose).....	33
4.1.2	Preparasi Sampel untuk Analisis Menggunakan <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS)	34
4.2	Data Hasil Penelitian E-Nose	36
4.3	Data Hasil Penelitian GC – MS	39
4.3.1	Hasil GC-MS Kernet Sapi.....	40
4.3.2	Hasil GC-MS Kernet Babi	44
4.4	Hasil Pengolahan Data Menggunakan Metode PCA Terhadap Data <i>E-Nose</i>	48
4.4.2	Hasil Loading plot E-Nose	52
4.4.3	Hasil Score Plot 2D E-Nose	53
4.4.4	Hasil Scatter Plot 3D E-Nose	54
4.5	Hasil Pengolahan Data Menggunakan Metode PCA Terhadap GC-MS.....	55
4.5.1	Hasil <i>Scree Plot</i> GC-MS.....	56
4.5.3	Hasil Score Plot 2D GC-MS.....	58
4.5.4	Hasil Scatter Plot 3D GC-MS.....	59
4.6	Pembahasan	59
4.6.1	Penerapan Teknologi Hidung Elektronik dan GC-MS dalam Identifikasi Aroma Kernet Sapi dan Babi.....	59

4.6.2 Pola Data E-Nose Berdasarkan Analisis.....	61
4.6.3 Pola Data GC-MS Berdasarkan Analisis PCA	63
4.7 Keterkaitan Hasil Penelitian Dalam Perspektif Islam	67
BAB V PENUTUP	74
5.1 Kesimpulan.....	74
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA.....	76
LAMPIRAN.....	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	20
Tabel 3. 1 Hasil Pengukuran Data Kornet Sapi	31
Tabel 3. 2 Hasil Pengukuran Data Kornet Babi.....	32
Tabel 3. 3 Hasil Pengukuran Data Kornet Sapi menggunakan alat GC-MS	32
Tabel 3. 4 Hasil Pengukuran Data Kornet Babi menggunakan alat GC-MS.....	32
Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Kornet Sapi.....	36
Tabel 4. 2 Data Hasil Pengukuran Kornet Babi.....	38
Tabel 4. 3 10 Nama Senyawa yang Mendominasi Pada GC-MS Kornet A	42
Tabel 4. 4 10 Nama Senyawa yang Mendominasi Pada GC-MS Kornet B	42
Tabel 4. 5 10 Nama Senyawa yang Mendominasi Pada GC-MS Kornet C	43
Tabel 4. 6 10 Nama Senyawa Yang Terdeteksi Pada GC-MS Kornet Babi A.....	45
Tabel 4. 7 10 Nama Senyawa Yang Terdeteksi Pada GC-MS Kornet Babi B.....	46
Tabel 4. 8 Nama Senyawa Yang Terdeteksi Pada GC-MS Kornet Babi C.....	47
Tabel 4. 9 Senyawa Penanda Khas Kornet Sapi dan Babi.....	48
Tabel 4. 10 Tabel nilai eigen, presentasi variansi,dan komulatif E-Nose.....	49
Tabel 4. 11 Tabel nilai eigen, presentasi variansi,dan komulatif GC-MS	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Diagram blok elektronik nose	7
Gambar 2. 2	Alat Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS).....	9
Gambar 2. 3	Skema prinsip kerja GC-MS.....	10
Gambar 3. 1	Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 4. 1	Kornet Sapi Merek Kornet sapi merek A	33
Gambar 4. 2	Kornet Sapi Merk Kornet sapi merek B	33
Gambar 4. 3	Kornet Sapi Merek Kornet sapi merek C	33
Gambar 4. 4	Kornet Babi Merek Kornet babi merek A.....	33
Gambar 4. 5	Kornet Babi Merek Kornet babi merek B.....	33
Gambar 4. 6	Kornet Babi Merek Kornet babi merek C.....	33
Gambar 4. 7	Tahap penimbangan sampel kornet sapi dan babi	34
Gambar 4. 8	Proses Pengeringan Kornet.....	35
Gambar 4. 9	Hasil Kornet Yang Sudah Dikeringkan.....	35
Gambar 4. 10	Proses ekstraksi menggunakan soxhlate.....	35
Gambar 4. 11	Proses menghilangkan pelarut dengan hotplate	35
Gambar 4. 12	Hasil ekstrak pekat.....	35
Gambar 4. 13	Proses Esterifikas	35
Gambar 4. 14	Proses pembentukan 2 fasa.....	36
Gambar 4. 15	Hasil akhir setelah esterifikasi.....	36
Gambar 4. 16	(A) Kromotografi Hasil Uji GC-MS Kornet sapi merek A (B)Kromotografi Hasil Uji GC-MS Kornet sapi merek B (C) Kromotografi Hasil Uji GC-MS Kornet sapi merek C.....	41
Gambar 4. 17	(A) Kromotografi Hasil Uji GC-MS Kornet babi merek A (B) Kromotografi Hasil Uji GC-MS Kornet babi merek B (C) Kromotografi Hasil Uji GC-MS Kornet babi merek C	45
Gambar 4. 18	Hasil Scree Plot E-Nose.....	50
Gambar 4. 19	Hasil Loading Plot E-Nose	52
Gambar 4. 20	Hasil Score Plot 2D E-Nose	53
Gambar 4. 21	Hasil Scatter Plot 3D E-Nose	54
Gambar 4. 22	Hasil Scree Plot GC-MS.....	56
Gambar 4. 23	Hasil Loading Plot GC-MS	57
Gambar 4. 24	Hasil Score Plot 2D GC-MS.....	58
Gambar 4. 25	Hasil Scatter Plot 3D GC-MS.....	59

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. 1	Report Hasil GC-MS Kornet Kornet sapi merek A	81
Lampiran 1. 2	Report Hasil GC-MS Kornet Kornet sapi merek B	84
Lampiran 1. 3	Report Hasil GC-MS Kornet Kornet sapi merek C	89
Lampiran 1. 4	Report Hasil GC-MS Kornet Kornet babi merek A.....	92
Lampiran 1. 5	Report Hasil Uji GC-MS Kornet Kornet babi merek B.....	96
Lampiran 1. 6	Report Hasil Uji GC-MS Kornet Kornet babi merek C.....	99

ABSTRAK

Isma, Hasna Jihan. 2025. **Penerapan Teknologi Hidung Elektronik dan Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) Untuk Klasifikasi Aroma Kornet Sapi dan Babi Menggunakan Principal Component Analysis (PCA)**, Skripsi. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Muthmainnah, M.Si. (II) Mubasyiroh, M.Pd.I.

Kata Kunci: Hidung Elektronik, GC-MS, PCA, Aroma Kornet, Halal, Volatil

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan teknologi Hidung Elektronik (E-Nose) dan Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS) dalam mengidentifikasi aroma serta membedakan produk kornet sapi dan babi berdasarkan profil senyawa volatilnya. Sampel yang digunakan terdiri dari tiga merek kornet sapi (Kornet sapi merek A, Kornet sapi merek B, Kornet sapi merek C) dan tiga merek kornet babi (Maling, Tulip, Tullong). Data dari kedua metode kemudian dianalisis menggunakan Principal Component Analysis (PCA) untuk mengetahui pola klasifikasi antar sampel. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem E-Nose mampu mengklasifikasikan aroma kornet sapi dan babi secara akurat dengan dua komponen utama ($PC1 = 57,95\%$ dan $PC2 = 39,78\%$) yang menjelaskan $97,73\%$ variasi total. Sementara itu, hasil PCA terhadap data GC-MS menunjukkan dua komponen utama ($PC1 = 44,90\%$ dan $PC2 = 30,48\%$) yang menjelaskan $75,38\%$ variasi total. Kedua hasil tersebut memperlihatkan pemisahan yang jelas antara kelompok kornet sapi dan babi tanpa adanya tumpang tindih, menandakan perbedaan signifikan pada komposisi volatil masing-masing produk. Secara keseluruhan, kombinasi teknologi E-Nose dan GC-MS terbukti efektif dalam mengidentifikasi serta mengklasifikasikan aroma kornet sapi dan babi. Temuan ini berpotensi mendukung pengawasan produk halal dan pengendalian kualitas dalam industri pangan olahan.

ABSTRACT

Isma, Hasna Jihan. 2025. **Application of Electronic Nose Technology and Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) for Classifying Beef and Pork Corned Beef Flavors Using Principal Component Analysis (PCA)**, Thesis. Physics Study Program, Faculty of Science and Technology Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisors: (I) Muthmainnah, M.Si. (II) Mubasyiroh, M.Pd.I.

Keywords: Electronic Nose, GC-MS, PCA, Corned Flavor, Halal, Volatile

This study aims to apply Electronic Nose (E-Nose) and Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS) technologies to identify aromas and differentiate between beef and pork corned beef products based on their volatile compound profiles. The samples used consisted of three brands of beef corned beef (Kornet sapi merek A, Kornet sapi merek B, Kornet sapi merek C) and three brands of pork corned beef (Maling, Tulip, Tullong). Data from both methods were then analyzed using Principal Component Analysis (PCA) to determine the classification patterns between samples. The analysis results showed that the E-Nose system was able to accurately classify the aromas of beef and pork corned beef with two main components ($PC1 = 57.95\%$ and $PC2 = 39.78\%$) explaining 97.73% of the total variation. Meanwhile, the PCA results for the GC-MS data showed two main components ($PC1 = 44.90\%$ and $PC2 = 30.48\%$) explaining 74.% of the total variation. Both results showed a clear separation between the beef and pork corned beef groups without any overlap, indicating significant differences in the volatile composition of each product. Overall, the combination of E-Nose and GC-MS technologies proved effective in identifying and classifying the aromas of beef and pork corned beef. These findings have the potential to support halal product monitoring and quality control in the processed food industry.

مستخلص البحث

مستخلص البحث

إسماء، حسنة جهان. ٢٠٢٥. تطبيق تقنية الأنف الإلكتروني والغازي

الكروماتوغرافيا-مطيافية الكتلة (GC-MS) لتصنيف رائحة لحم البقر المملح ولحم الخنزير باستخدام تحليل المكونات

الرئيسية (PCA)، البحث العلمي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة الحكومية مولانا مالك إبراهيم الإسلامية

في مالانغ. (المشرفة الأولى) متمثلة، الماجستير (المشرفة الثانية) مبشرة، الماجستير.

الكلمات المفتاحية: إلكترونيك ناس، GC-MS، PCA، شراب الكورن، حلال، متطاير

تهدف هذه الدراسة إلى تطبيق تقنية الأنف الإلكتروني (E-Nose) والكروماتوغرافيا الغازية-مطيافية الكتلة (GC-MS) في تحديد الروائح وتمييز منتجات لحم البقر المملح ولحم الخنزير بناء على مركباتها المتطايرة. تكونت العينات المستخدمة من ثلاث علامات تجارية من لحم البقر المملح (Pronas، Bernadi، Unmeat) وثلاث علامات تجارية من لحم البقر المملح (Maling، Tulip، Tullong). ثم تم تحليل بيانات كلا الطريقتين باستخدام تحليل المكونات الرئيسية (PCA) لتحديد نمط التصنيف بين العينات. أظهرت نتائج التحليل أن نظام E-Nose كان قادراً على تصنيف رائحة لحم البقر ولحم الخنزير المملح بدقة باستخدام مكونين رئيسيين ($PC1 = 57.96\%$ ، $PC2 = 39.78\%$)، مما يفسر 97.73% من التفاوت الكلي. وفي الوقت نفسه، أظهرت نتائج تحليل السلوك الكيميائي على بيانات GC-MS وجود مكونين رئيسيين ($PC1 = 44.90\%$ و $PC2 = 30.48\%$) يفسر 75.38% من التفاوت الكلي. أظهرت النتيجة فصلًا واضحًا بين مجموعتي اللحم المملح ولحم الخنزير دون أي تداخل، مما يشير إلى اختلافات كبيرة في التركيب المتطاير لكل منتج. بشكل عام، ثبت أن الجمع بين تقنية E-Nose و GC-MS فعال في تحديد وتصنيف روائح البقر المملح للأبقار ولحم الخنزير. هذه النتائج لديها القدرة على دعم الإشراف على المنتجات الحلال ومراقبة الجودة في صناعة الأغذية المصنعة.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri pangan terus berkembang dengan pesat, terutama dalam pengendalian kualitas produk olahan daging. Salah satu aspek penting dalam kualitas pangan adalah aroma, karena aroma berperan dalam penerimaan konsumen serta indikasi terhadap kesegaran dan keamanan produk. Pengujian aroma secara konvensional masih mengandalkan panel sensorik manusia yang memiliki keterbatasan dalam hal subjektivitas, konsistensi, serta kelelahan indera penciuman. Oleh karena itu, diperlukan metode objektif dan efisien untuk mengklasifikasikan aroma secara lebih akurat. Salah satu tantangan dalam Industri pangan adalah membedakan jenis daging. Contohnya adalah daging sapi dan daging babi yang dapat dibedakan melalui karakteristiknya seperti pada tekstur, aroma, serat, serta warnanya (Hendriyawan & Aries, 2021).

Salah satu contoh jenis pangan yang sering menggunakan bahan dasar daging sapi dan babi adalah kornet. Kornet adalah makanan cepat saji yang banyak dikonsumsi karena penyajiannya yang mudah dan praktis, tak hanya itu kornet juga memiliki beragam citra rasa yang membuat penggemar kornet tidak akan merasa bosan. Produk olahan seperti kornet ini adalah produk yang sering kali tercemar karena adanya campuran olahan daging sapi dan daging babi. Pencemaran dan Pemalsuan produk ini dilakukan dengan tujuan mengurangi biaya produksi sehingga pengusaha bisa mendapatkan laba yang lebih tinggi. Oleh karena itu, sistem yang tepat untuk klasifikasi aroma kornet harus ada karena kesalahan

identifikasi dapat berdampak besar pada aspek kehalalan produk (Pitaloka et al., 2024).

Indonesia merupakan negara dengan mayoritas penduduk yang menganut agama Islam, sehingga aspek kehalalan makanan menjadi perhatian utama dalam peredaran dan konsumsi produk olahan pangan. Kehalalan suatu makanan tidak hanya berpengaruh terhadap aspek religius, tetapi juga berkaitan dengan jaminan kualitas dan keamanan pangan yang dikonsumsi masyarakat. Oleh karena itu, regulasi serta pengawasan terhadap produk makanan yang beredar di pasaran menjadi hal yang sangat penting untuk memastikan bahwa produk tersebut memenuhi standar kehalalan yang telah ditetapkan (Kadafi & Putra, 2021).

Dalam ajaran Islam, mengonsumsi makanan yang halal serta *thayyib* (baik, sehat, dan berkualitas) merupakan suatu kewajiban bagi setiap umat Muslim. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa makanan yang dikonsumsi tidak hanya sesuai dengan prinsip syariat, tetapi juga memberikan manfaat kesehatan dan keamanan bagi tubuh. Oleh karena itu, adanya metode yang dapat mengidentifikasi dan memastikan kehalalan suatu produk pangan, khususnya dalam industri olahan daging seperti kornet, sangat diperlukan untuk memberikan jaminan kepastian kepada Masyarakat. (Kusuma & Kurniawati, 2021):

Selama ini, metode identifikasi daging pada produk olahan masih bergantung pada teknik konvensional seperti uji DNA dan protein, yang meskipun akurat, memerlukan waktu lama, biaya tinggi, serta peralatan yang kompleks. Seiring perkembangan teknologi, muncul pendekatan alternatif berbasis sensor dan analisis data yang memungkinkan deteksi karakteristik kimia aroma secara lebih praktis dan efisien. Salah satu pendekatan yang potensial adalah penggunaan teknologi *hidung*

elektronik (electronic nose) yang dikombinasikan dengan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)*.

Hidung elektronik merupakan sistem sensor berbasis gas yang mampu mengenali pola aroma secara spesifik berdasarkan komposisi senyawa volatil yang dihasilkan oleh suatu bahan. Dalam konteks ini, aroma kornet sapi dan babi memiliki profil senyawa volatil yang berbeda, yang dapat ditangkap oleh sistem sensor dan dianalisis lebih lanjut menggunakan metode statistik multivariat seperti *Principal Component Analysis (PCA)*. PCA berfungsi untuk mereduksi dimensi data dan mengelompokkan sampel berdasarkan karakteristik aroma, sehingga memudahkan dalam proses klasifikasi.

Sementara itu, teknik GC-MS memungkinkan pemisahan dan identifikasi senyawa kimia dalam campuran gas secara lebih rinci dan spesifik. Kombinasi GC-MS dengan hidung elektronik memberikan keunggulan dalam memperoleh data kuantitatif dan kualitatif yang akurat terkait komposisi senyawa volatil dalam sampel makanan. Dengan demikian, penerapan kedua teknologi ini diharapkan mampu memberikan solusi ilmiah yang efektif dalam klasifikasi dan identifikasi aroma kornet berbasis jenis daging, terutama dalam menjamin kehalalan produk olahan yang beredar di pasaran.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menerapkan teknologi hidung elektronik dan GC-MS dalam mengklasifikasikan aroma kornet sapi dan babi dengan menggunakan metode *Principal Component Analysis (PCA)*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan metode identifikasi yang cepat, akurat, dan aplikatif dalam pengawasan produk pangan berbasis daging di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana penerapan teknologi hidung elektronik dan Gas *Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) dalam mengidentifikasi aroma kornet Sapi dan Babi ?
2. Bagaimana pola data yang diklasifikasi menggunakan metode PCA berbasis data hidung elektronik (e-Nose) terhadap sampel kornet sapi dan babi ?
3. Bagaimana pola data yang diklasifikasi menggunakan metode PCA berbasis data *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) terhadap sampel kornet sapi dan babi ?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan penelitian ini :

1. Menerapkan teknologi hidung elektronik dan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk mengidentifikasi aroma kornet sapi dan babi
2. Untuk mengetahui pola data yang diukur oleh e-nose terhadap sampel kornet sapi dan babi
3. Untuk mengetahui pola data yang diukur oleh e-nose terhadap sampel kornet sapi dan babi

1.4 Batasan Masalah

Batasan penelitian ini Adalah :

1. Penelitian ini hanya difokuskan pada identifikasi dan klasifikasi aroma kornet sapi dan babi
2. Penerapan teknologi terbatas pada hidung elektronik dan *Gas*

Chromotography-Mass Spectrometry (GC-MS) yang telah tersedia sehingga dapat langsung digunakan

3. Analisis data aroma kornet sapi dan babi menggunakan metode *Principal Component Analysis* (PCA)

4. Sampel yang digunakan pada penelitian ini yaitu kornet sapi dan babi dengan 6 variasi merk yang berbeda

5. Sensor yang digunakan dalam alat E-Nose yaitu, 3 jenis sensor TGS dan 3 jenis sensor MQ

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai referensi untuk penelitian berikutnya terkait tentang produk kornet sapi dan babi dan juga pengembangan sensor pangan berbasis hidung elektronik dan *Gas Chromatography-Mass Specttometry* (GC-MS)
2. Memberikan informasi terkait klasifikasi kornet sapi dan babi menggunakan E-Nose dan *Gas Chromatography-Mass Specttometry* (GC-MS)

BAB II

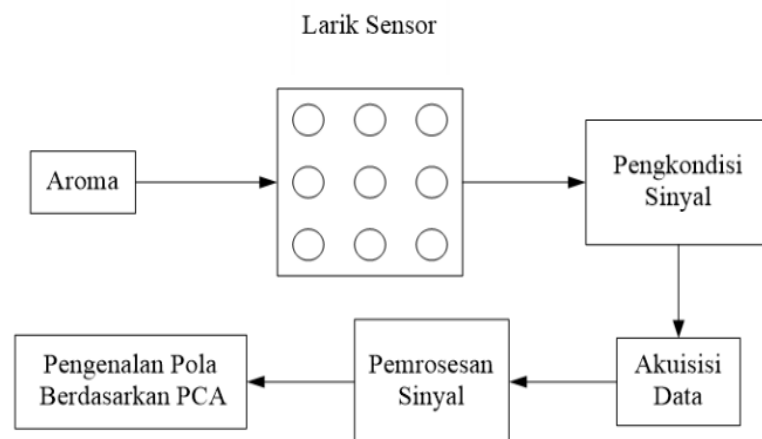
TINJAUAN PUSAKA

2.1 *Elektronik Nose*

Electronic Nose (E-Nose) adalah sebuah alat sensorik yang dirancang untuk meniru kemampuan indra penciuman manusia dalam mendeteksi dan mengidentifikasi berbagai jenis aroma. Perangkat ini bekerja dengan menggunakan serangkaian sensor elektronik untuk menganalisis komponen gas yang terdapat di udara. Berbeda dengan penciuman manusia yang bersifat subjektif dan dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kelelahan atau adaptasi terhadap bau tertentu, e-nose mampu melakukan deteksi dengan tingkat akurasi dan konsistensi yang tinggi. Oleh karena itu, teknologi ini banyak diterapkan di berbagai bidang, seperti industri makanan dan minuman, kesehatan, pertanian, serta pemantauan lingkungan. Salah satu fokus utama dalam pengembangan hidung elektronik adalah menciptakan sistem yang lebih sederhana dan portabel, sehingga dapat digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi (Shiddiq et al., 2021).

Secara umum, sistem hidung elektronik terdiri dari beberapa komponen utama yang bekerja secara terpadu untuk mendeteksi dan menganalisis aroma. Komponen pertama adalah bagian sampel, yaitu objek yang akan diteliti. Sampel ini bisa berupa bahan makanan, udara di lingkungan tertentu, atau zat kimia yang menghasilkan aroma khas. Komponen kedua adalah *larik sensor (sensor array)*, yang berperan sebagai elemen kunci dalam mendeteksi berbagai jenis senyawa gas yang terkandung dalam sampel. Ketika aroma atau gas dipaparkan ke sensor larik, sensor-sensor ini akan merespons secara spesifik terhadap komponen volatil yang terdeteksi. Proses ini serupa dengan cara kerja sel penciuman manusia. Meskipun

manusia memiliki sekitar satu miliar sel penciuman untuk mengenali berbagai bau, e-nose hanya memerlukan beberapa sensor khusus untuk menjalankan fungsi yang sama secara lebih efisien. Setelah sensor mendeteksi aroma, data yang dihasilkan berupa analog kemudian diubah menjadi data digital melalui proses sinyal *Analog-to-Digital Conversion* (ADC). Komponen ketiga dalam sistem ini adalah *program akuisisi data*, seperti Arduino Uno, yang bertugas mengumpulkan informasi dari sensor dan mengubahnya menjadi data yang dapat dianalisis lebih lanjut. Data yang dikumpulkan kemudian disimpan dalam komputer atau perangkat pemrosesan lainnya untuk dianalisis menggunakan berbagai metode statistik dan kecerdasan buatan (AI) (Kusairi et al., 2022). Blok diagram analogi system E-nose dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2. 1 Diagram blok *elektronik nose*

Keunggulan utama dari e-nose adalah kemampuannya dalam memberikan hasil deteksi yang cepat, akurat, dan objektif. Indra penciuman manusia sering kali mengalami kelelahan atau subjektivitas dalam menilai suatu aroma, sementara e-nose dapat melakukan analisis dengan tingkat konsistensi yang lebih tinggi tanpa dipengaruhi oleh faktor eksternal. Hal ini menjadikannya sebagai alat yang sangat berguna dalam pengendalian kualitas produk di berbagai industri, terutama di sektor

makanan, minuman, dan parfum, di mana pengujian aroma atau bau menjadi faktor utama dalam menentukan kualitas produk. Selain itu, teknologi ini juga dimanfaatkan dalam pemantauan lingkungan untuk mendeteksi keberadaan gas berbahaya atau polutan udara yang dapat berdampak negatif terhadap kesehatan manusia dan ekosistem.

Selain penerapannya dalam industri dan lingkungan, e-nose juga memiliki potensi besar dalam bidang kesehatan. Dalam dunia medis, alat ini dikembangkan untuk mendeteksi bau yang dihasilkan oleh kondisi medis tertentu, seperti diabetes, infeksi, atau gangguan metabolisme lainnya. Beberapa penelitian bahkan menunjukkan bahwa e-nose dapat membantu dalam diagnosis dini penyakit serius seperti kanker, dengan cara menganalisis pola senyawa volatil yang dihasilkan oleh jaringan tubuh yang terinfeksi atau mengalami kelainan. Kemampuannya dalam mengenali perubahan aroma tubuh atau udara yang dihasilkan oleh pasien memungkinkan dokter untuk melakukan diagnosis lebih cepat dan akurat, sehingga proses penanganan dapat segera dilakukan sebelum penyakit berkembang lebih lanjut. Dengan perkembangan teknologi yang semakin maju, e-nose diprediksi akan menjadi salah satu perangkat diagnostik inovatif yang dapat melengkapi metode medis konvensional.

Seiring dengan kemajuan dalam bidang kecerdasan buatan, teknologi e-nose terus mengalami peningkatan dalam hal akurasi dan akurasi. Kombinasi antara sensor canggih dan algoritma pemrosesan data yang lebih kompleks memungkinkan alat ini untuk mengidentifikasi pola aroma dengan lebih baik dan mengurangi kemungkinan kesalahan dalam analisis. Dengan berbagai manfaat yang ditawarkan, e-nose diharapkan dapat terus dikembangkan dan

diimplementasikan secara luas di berbagai sektor, sehingga memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan kualitas kehidupan manusia dan pelestarian lingkungan.

2.2 GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*)



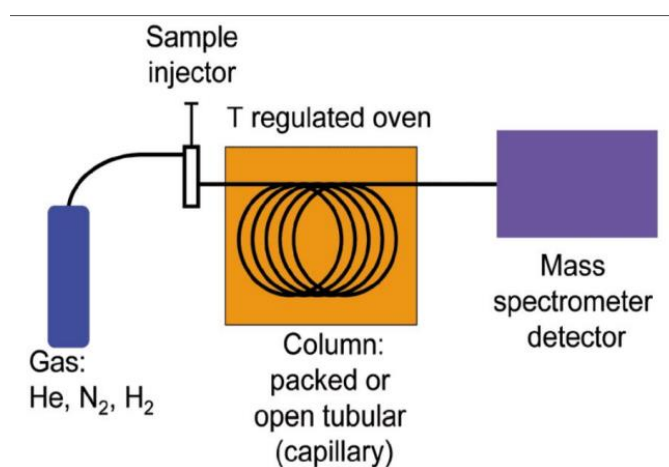
Gambar 2. 2 Alat Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) merupakan teknik analisis yang menggabungkan dua metode, yaitu kromatografi gas dan spektrometri massa, untuk memisahkan serta mengidentifikasi senyawa kimia dalam suatu sampel. GC bertugas memisahkan campuran senyawa volatil berdasarkan perbedaan polaritas dan titik didih, sementara MS berfungsi untuk mendeteksi serta menentukan massa molekul senyawa tersebut. Kombinasi ini menghasilkan teknik analisis yang sangat sensitif dan selektif terhadap berbagai senyawa organik dan anorganik. (Komal Pramod et al., 2021)

Dalam analisis menggunakan GC-MS, sampel yang dianalisis harus berada dalam bentuk larutan senyawa organik agar dapat diinjeksi ke dalam sistem kromatografi gas. Pelarut yang dipakai wajib bersifat volatil serta organik, seperti heksana atau diklorometana. Tahapan persiapan sampel dapat bervariasi, mulai dari

pelarutan sederhana sebagian sampel ke dalam pelarut sesuai prosedur, hingga proses pemurnian yang lebih kompleks melalui berbagai teknik kromatografi cair. Selain itu, proses persiapan sampel dan analisis data juga memerlukan waktu yang relatif lama, yaitu berkisar antara 1 hingga 20 jam atau lebih, bergantung pada tingkat kedalaman analisis yang diinginkan. (Kitson et al., 1996).

Dalam penerapannya, GC-MS banyak digunakan dalam berbagai bidang, seperti bidang keamanan pangan GC-MS berperan sebagai deteksi volatil aroma, kontaminan (peptisida, mikotoksin) (Zhao, 2025), dalam bidang forensik GC-MS berperan digunakan untuk Identifikasi zat narkotika sebagai bahan bukti kriminal dengan akurasi tinggi (Elyyana et al., n.d.), lingkungan untuk Pemantauan polutan organik di air/media lingkungan secara non-target (Chauhan, 2014), hingga farmasi. Dalam industri pangan khususnya, GC-MS digunakan untuk menganalisis komponen volatil yang memengaruhi aroma dan cita rasa produk. Dengan kemampuan untuk memisahkan dan mengidentifikasi komponen-komponen tersebut, GC-MS sangat berguna dalam mendeteksi adanya kontaminasi, pemalsuan, maupun ketidakseragaman dalam produk makanan olahan (Chauhan, 2014).



Gambar 2. 3 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.

Keunggulan utama GC-MS terletak pada sensitivitas dan selektivitasnya yang tinggi, sehingga mampu mendeteksi senyawa dalam jumlah sangat kecil sekalipun. Hal ini sangat penting dalam penelitian pangan, terutama untuk mendeteksi adanya campuran atau kontaminan yang tidak diinginkan dalam produk olahan. Selain itu, data yang dihasilkan GC-MS dapat digunakan sebagai referensi dalam pengembangan metode analisis lain yang lebih praktis. Namun demikian, penggunaan GC-MS juga memiliki beberapa keterbatasan, seperti biaya operasional yang relatif tinggi, kebutuhan akan operator yang terlatih, serta waktu analisis yang lebih lama dibandingkan metode sensorik langsung seperti hidung elektronik. Oleh karena itu, GC-MS sering dikombinasikan dengan teknologi lain untuk menghasilkan sistem analisis yang lebih efisien dan aplikatif (Komal Pramod et al., 2021).

Dalam penelitian ini, GC-MS digunakan untuk mendukung hasil yang diperoleh dari hidung elektronik dengan memberikan data yang lebih mendalam terkait profil senyawa volatil dari kornet sapi dan babi. Kombinasi kedua teknologi ini diharapkan dapat memberikan hasil klasifikasi yang lebih akurat serta meningkatkan validitas data penelitian.

2.3 Sensor Gas

Sama seperti sistem tubuh manusia yang memiliki lima pancaindra, yaitu indra perasa, indra penglihatan, indra pendengaran, indra peraba, dan indra penciuman, sistem otomasi juga dilengkapi dengan sensor yang berfungsi untuk mendeteksi berbagai variabel penting dalam suatu proses. Sensor adalah alat yang mampu mengukur parameter seperti suhu, tekanan, kelembaban, arus listrik, kecepatan, serta keberadaan suatu objek. Data yang diperoleh dari sensor kemudian diteruskan ke sistem kontrol untuk dianalisis dan diolah, sehingga dapat dilakukan penyesuaian atau tindakan yang diperlukan. Proses ini menyerupai cara kerja pancaindra manusia yang mengenali lingkungan sekitar dan mengirimkan informasi yang diperoleh ke otak untuk diproses. Oleh karena itu, sensor dalam sistem otomasi memiliki peran utama dalam memastikan setiap proses berjalan secara optimal. Dengan adanya sensor yang canggih dan akurat, berbagai sektor industri seperti manufaktur, kesehatan, transportasi, dan robotika dapat beroperasi dengan efisiensi lebih tinggi serta tingkat kesalahan yang lebih rendah (Nasir, 2016).

Sensor pada dasarnya adalah suatu perangkat yang berfungsi untuk mendeteksi, mengukur, dan merespons perubahan kondisi lingkungan sekitarnya. Sensor bekerja dengan cara mengenali gejala atau sinyal yang muncul akibat perubahan tersebut, kemudian mengubahnya menjadi sinyal listrik atau data yang dapat diolah oleh sistem kontrol. Data yang dihasilkan selanjutnya dianalisis dan digunakan untuk pengambilan keputusan dalam berbagai aplikasi teknologi. Dalam kehidupan sehari-hari, sensor banyak diterapkan pada berbagai perangkat elektronik dan sistem otomatisasi. Sebagai analogi, sensor dalam teknologi

memiliki fungsi yang serupa dengan pancaindra manusia. Contohnya, kamera berfungsi sebagai sensor penglihatan yang menangkap cahaya dan gambar, sedangkan mikrofon berperan sebagai sensor pendengaran yang mendeteksi gelombang suara (Nasir, 2016)

Salah satu jenis sensor yang berkembang dengan teknologi canggih adalah sensor gas, yang dirancang khusus untuk mendeteksi dan mengidentifikasi pola senyawa volatil dari suatu sampel gas. Sensor ini bekerja dengan meniru cara kerja indra penciuman manusia, di mana sekumpulan sensor gas menangkap pola unik dari suatu aroma atau gas tertentu. Data yang diperoleh dari sensor gas kemudian diproses menggunakan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) atau metode pembelajaran mesin (*machine learning*), sehingga memungkinkan sensor ini digunakan dalam berbagai bidang, mulai dari pengendalian kualitas produk dan pemantauan udara lingkungan hingga penerapan dalam bidang medis. Teknologi ini dikenal sebagai hidung elektronik atau *electronic nose* (e-Nose).

Dalam sistem e-Nose, sensor gas yang umum digunakan adalah sensor berbasis semikonduktor, khususnya jenis *Metal Oxide Semiconductor* (MOS). Dua tipe sensor yang sering diaplikasikan dalam teknologi ini adalah Taguchi Gas Sensor (TGS) dan sensor seri MQ. Sensor-sensor ini memiliki sensitivitas tinggi terhadap berbagai jenis gas dan bekerja dengan prinsip perubahan resistansi akibat interaksi dengan gas target (Madani, 2019). Penggunaan sensor gas dalam industri sangat luas, di antaranya untuk mendeteksi kualitas bahan baku, mengontrol kualitas udara, serta mengidentifikasi keberadaan senyawa kimia tertentu. Sensor ini dapat mendeteksi berbagai gas berbahaya seperti karbon monoksida, amonia, dan senyawa organik volatil (VOC). Selain itu, hidung elektronik juga

dimanfaatkan untuk menjaga kualitas produk dengan mendeteksi aroma yang dihasilkan selama proses produksi atau penyimpanan, sehingga dapat memastikan bahwa produk yang dihasilkan memiliki standar mutu yang tinggi.

Setiap sensor gas dalam sistem e-Nose memberikan respons yang berbeda terhadap berbagai sampel, sehingga menghasilkan pola data yang kompleks dan bervariasi. Hal ini menjadi tantangan tersendiri dalam proses analisis, terutama karena jumlah grafik respons yang dihasilkan dalam suatu penelitian bisa sangat besar dan bervariasi. Jika hanya menggunakan metode konvensional, interpretasi data dapat menjadi sulit dan rentan terhadap kesalahan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih sistematis, seperti metode analisis multivariat, untuk mengevaluasi dan mengelompokkan respons dari berbagai sensor secara lebih efektif. Metode ini memungkinkan sistem untuk mengidentifikasi pola yang lebih jelas dan menghasilkan informasi yang akurat mengenai komposisi gas dalam suatu lingkungan atau produk tertentu (Kusairi et al., 2022).

Dengan perkembangan teknologi sensor yang semakin maju, peran e-Nose semakin luas dan memberikan dampak signifikan dalam berbagai bidang. Dalam industri makanan, teknologi ini dapat digunakan untuk mendeteksi kualitas dan kesegaran bahan pangan. Di bidang kesehatan, e-Nose telah dikembangkan untuk membantu mendeteksi penyakit berdasarkan pola senyawa volatil yang dikeluarkan oleh tubuh manusia. Selain itu, dalam pemantauan lingkungan, sensor gas mampu mendeteksi pencemaran udara dengan akurasi tinggi, sehingga dapat digunakan untuk mitigasi polusi dan peningkatan kualitas udara. Seiring dengan inovasi dalam kecerdasan buatan dan teknik analisis data, teknologi sensor gas diharapkan terus berkembang dan memberikan manfaat yang lebih luas di masa depan.

2.4 *Software 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.

2.5 *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.

2.6 Kornet

Kornet merupakan produk olahan berbahan dasar daging tanpa tulang dalam kondisi segar atau beku yang melalui serangkaian proses pengolahan, termasuk curing. Proses curing adalah metode pengawetan daging menggunakan garam, nitrit, dan bahan tambahan lainnya untuk meningkatkan kualitas sensoris, menjaga keamanan pangan, serta memperpanjang umur simpan produk. Dalam industri pangan, curing berperan penting dalam menghasilkan produk daging dengan aroma, tekstur, dan cita rasa yang optimal, sekaligus menjaga stabilitas warna dan menghambat pertumbuhan mikroorganisme penyebab penurunan kualitas daging (Indawati et al., 2021).

Salah satu bahan utama dalam proses curing adalah natrium nitrit (NaNO_2), yang berfungsi menghambat pertumbuhan bakteri patogen seperti *Clostridium botulinum* penyebab botulisme, mempertahankan warna khas daging olahan, serta memberikan rasa yang khas pada kornet. Namun, penggunaan nitrit harus dikontrol sesuai standar keamanan pangan karena kadar berlebihan dapat menimbulkan risiko kesehatan. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 722 /MENKES /Per /IX /1988, batas maksimal kandungan nitrit dalam kornet adalah 50 ppm, baik tunggal maupun dalam campuran dengan kalium nitrit (KNO_2). Industri pengolahan daging wajib mematuhi aturan ini untuk menjamin keamanan produk bagi konsumen.

Kornet terbagi menjadi beberapa jenis berdasarkan bahan bakunya, dengan dua jenis utama yang beredar di pasaran yaitu kornet sapi dan kornet babi. Istilah "kornet" berasal dari kata *corned* atau *corn* dalam Bahasa Inggris, merujuk pada butiran garam kasar yang digunakan dalam proses pengawetan daging. Produk ini pertama kali dikembangkan di Irlandia pada abad ke-12 dan kini menjadi populer

di berbagai negara karena kepraktisan penyajiannya dan daya simpan yang lama (Safitri et al., 2022).

Dalam ajaran Islam, kehalalan produk pangan sangat penting, termasuk kornet. Daging babi dan turunannya diharamkan untuk dikonsumsi, sebagaimana tercantum dalam Al-Qur'an Surah Al-Baqarah ayat 168 :

يَا أَيُّهَا النَّاسُ كُلُوا مِمَّا فِي الْأَرْضِ حَلَالًا طَيِّبًا وَلَا تَتَّبِعُوا خُطُوَاتِ الشَّيْطَانِ إِنَّهُ لَكُمْ عَدُوٌّ مُبِينٌ ﴿١٦٨﴾

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.* ”

Ayat ini merupakan seruan Allah kepada seluruh manusia agar memakan makanan yang halal dan baik. Halal berarti diperbolehkan secara syariat, termasuk cara memperolehnya harus benar. Sementara *thayyib* berarti makanan yang bersih, bermanfaat, bergizi, dan tidak membahayakan tubuh. Dengan demikian, Islam tidak hanya menekankan kehalalan dari sisi hukum, tetapi juga kualitas dan keamanan konsumsi (Takami et al., 2024).

Selain perintah, ayat ini juga memberikan larangan keras agar manusia tidak mengikuti langkah-langkah setan. Yang dimaksud “langkah-langkah” adalah proses bertahap yang digunakan setan untuk menjerumuskan manusia, mulai dari menggoda dengan hal-hal ringan hingga akhirnya melakukan pelanggaran besar. Setan adalah musuh yang nyata dan selalu berusaha merusak akhlak, kesehatan, dan ketaatan manusia.

Para ulama seperti Ibnu Katsir dan Al-Tabari menafsirkan bahwa ayat ini menegaskan pentingnya menjaga konsumsi agar terhindar dari perkara haram dan syubhat. Mereka juga menjelaskan bahwa makanan haram dapat mempengaruhi

kebersihan hati, doa, dan perilaku seseorang, sehingga menjadi celah bagi setan untuk masuk dan menguasai jiwa manusia.

Secara maknawi, ayat ini sangat relevan dalam kehidupan modern, terutama dalam pengawasan kehalalan produk, penghindaran zat berbahaya, dan gaya hidup sehat. Pesan utamanya adalah menjaga diri melalui konsumsi yang baik, menjauhi godaan setan, dan memahami bahwa ketaatan dimulai dari apa yang manusia masukkan ke dalam tubuhnya. Dengan demikian, ayat ini menggabungkan aspek spiritual, moral, dan kesehatan dalam satu perintah yang komprehensif.

2.7 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No.	Penulis	Tahun	Judul Jurnal	Isi Penelitian
1	Imam Tazi, Nur Laila Isnaini, Mutmainnah, Avin Ainur Fitrianingsih	2019	<i>Principal Component Analysis (PCA) Method for Classification of Beef and Pork Aroma Based on Electronic Nose</i>	Menggunakan hidung elektronik dengan 10 sensor gas untuk membedakan aroma daging sapi dan babi. PCA menunjukkan dua komponen utama (PC1 dan PC2) menjelaskan 98,3% variansi data, dengan sensor MQ-138 dan MQ-3 sebagai kontributor utama (Tazi et al., 2019).
2	Ahmet Feyzioglu dan Yavuz Selim Taspinar	2023	<i>Beef Quality Classification with Reduced E-Nose Data Features According to Beef Cut Types</i>	Mencampur daging sapi dan babi dalam tujuh rasio berbeda, mengumpulkan data aroma menggunakan hidung elektronik selama 120 detik. Data direduksi menggunakan PCA dan diklasifikasikan dengan Support Vector Machine (SVM), menghasilkan akurasi klasifikasi tinggi

				(Feyzioglu & Taspinar, 2023).
3	Jun Chen, Juanhong Gu, Rong Zhang, Yuezhong Mao, dan Shiyi Tian	2019	<i>Freshness Evaluation of Three Kinds of Meats Based on the Electronic Nose</i>	Menggunakan hidung elektronik untuk mendeteksi dan memprediksi kesegaran daging babi, sapi, dan kambing. PCA menunjukkan bahwa hidung elektronik dapat membedakan sampel daging berdasarkan waktu penyimpanan, dengan akurasi klasifikasi tinggi (J. Chen et al., 2019).
4	Qiuhan Chen, Xuebo Yang, Pengzhi Hong, Meijiao Liu, Zhuyi Li, Chunxia Zhou, Saiyi Zhong dan Shouchun Liu	2024	<i>GC-MS, GC-IMS, and E-Nose Analysis of Volatile Aroma Compounds in Wet- Marinated Fermented Golden Pomfret</i>	Menganalisis perbedaan karakteristik aroma ikan pomfret yang difermentasi menggunakan kombinasi hidung elektronik, GC- IMS, dan SPME-GC-MS. PCA dari data hidung elektronik menunjukkan perbedaan profil aroma berdasarkan metode pemasakan (Q. Chen et al., 2024).
5	Tian, X.-Y., Cai, Q., & Zhang, Y.-M.	2012	<i>Rapid classification of hairtail fish and pork freshness using an electronic nose based on the PCA method</i>	Menggunakan hidung elektronik berbasis sensor oksida logam untuk mengklasifikasikan kesegaran ikan dan daging babi. PCA digunakan untuk membedakan tingkat kesegaran sampel berdasarkan profil aroma yang terdeteksi (Tian XiuYing et al., 2012).
6	Olga S. Papadopoulou, Efsthios Z. Panagou, Fady R. Mohareb, George- John Nychas	2013	<i>Sensory and microbiological quality assessment of beef fillets using a portable electronic nose in tandem with</i>	Menggunakan hidung elektronik portabel untuk menilai kualitas sensorik dan mikrobiologis fillet daging sapi. PCA dan SVM digunakan untuk klasifikasi berdasarkan

			<i>support vector machine analysis</i>	profil aroma (Papadopoulou et al., 2013).
7	Cevoli Chiara, Cerretani Lorenzo, Gori Alessandro, Caboni, Toschi Gallina, dan Fabbri Angelo	2011	<i>Classification of Pecorino cheeses using electronic nose combined with artificial neural network and comparison with GC-MS analysis of volatile compounds</i>	Mengklasifikasikan keju Pecorino menggunakan hidung elektronik dan jaringan saraf tiruan, dibandingkan dengan analisis GC-MS dari senyawa volatil. PCA digunakan untuk analisis data (Cevoli et al., 2011).
8	Li Changying, Heinemann Paul, dan Sherry Richard	2007	<i>Neural network and Bayesian network fusion models to fuse electronic nose and surface acoustic wave sensor data for apple defect detection</i>	Menggabungkan data dari hidung elektronik dan sensor gelombang akustik permukaan untuk mendeteksi cacat pada apel. PCA digunakan untuk reduksi dimensi data sebelum klasifikasi (Li et al., 2007).
9	Lijun Danga , Fengchun Tiana , Lei Zhanga, Chaibou Kadri, Xin Yina , Xiongwei Penga , dan Shouqiong Liu	2014	<i>A novel classifier ensemble for recognition of multiple indoor air contaminants by an electronic nose</i>	Mengembangkan ensambel klasifikasi baru untuk mengenali berbagai kontaminan udara dalam ruangan menggunakan hidung elektronik. PCA digunakan untuk ekstraksi fitur (Dang et al., 2014).
10	Dedy Rahman Wijaya, Riyanarto Sarno, Enny Zulaika, dan Shoffi Izza Sabila	2017	<i>Development of mobile electronic nose for beef quality monitoring</i>	Mengembangkan hidung elektronik portabel untuk memantau kualitas daging sapi. PCA digunakan untuk menganalisis data sensor dan mengklasifikasikan kualitas daging (Wijaya et al., 2017) .
11	Mahdi Ghasemi-Varnamkhasti , Seyed Saeid Mohtasebi, Maryam Siadat, dan Sundar Balasubramanian	2009	<i>Meat Quality Assessment by Electronic Nose (Machine Olfaction Technology)</i>	Penelitian ini membahas penggunaan electronic nose untuk penilaian kualitas berbagai jenis produk daging sapi, termasuk pemantauan kesegaran, pembusukan,

				umur simpan, serta kontaminasi mikroorganisme seperti Salmonella dalam daging sapi. Selain itu, terdapat juga referensi pada penelitian terkait daging ayam, daging babi, daging domba, dan produk daging lainnya, namun fokus utama adalah pada aplikasi electronic nose untuk daging sapi dan beberapa produk daging segar lainnya. (Ghasemi-Varnamkhasti et al., 2009).
13	Rani Andaleeb, Danni Zhang, Shui Jiang, Yin Zhang, dan Yuan Liu.	2022	<i>Volatile profile and multivariant analysis of Sanhuang chicken breast in combination with Chinese 5-spice blend and garam masala</i>	Menganalisis profil volatil dan melakukan analisis multivarian pada dada ayam Sanhuang dengan campuran bumbu Cina dan garam masala menggunakan hidung elektronik dan GC-MS. PCA digunakan untuk membedakan profil aroma (Andaleeb et al., 2022).
12	Mingwu Zang, Lan Wang, Zheqi Zhang, Kaihua Zhang, Dan Li, Xiaoman Li, Shouwei Wang, Shen Si, dan Hongzhang Chen	2016	<i>Comparison of Volatile Flavor Compounds from Seven Types of Spiced Beef by Headspace Solid-phase Microextraction Combined with Gas Chromatography-olfactometry-mass Spectrometry (HS-SPME-GC-O-MS)</i>	Penelitian ini mengidentifikasi dan membandingkan senyawa aroma volatil pada tujuh jenis daging sapi berbumbu khas Tiongkok menggunakan metode HS-SPME-GC-O-MS. Sebanyak 67 senyawa aroma volatil teridentifikasi, dengan 23 senyawa umum dan 30 senyawa aroma aktif yang berkontribusi pada karakter khas tiap produk. Ketiga kategori aroma utama dikelompokkan berdasarkan kandungan senyawa sulfur, aldehida, dan rempah. Hasil

				menunjukkan perbedaan aroma yang mencerminkan kebiasaan konsumsi geografis di Tiongkok. Penelitian ini memberikan dasar teoritis untuk evaluasi kualitas aroma daging sapi berbumbu kemasan (Zang et al., 2020).
13	Rani Andaleeb, Danni Zhang, Shui Jiang, Yin Zhang, dan Yuan Liu.	2022	<i>Volatile profile and multivariant analysis of Sanhuang chicken breast in combination with Chinese 5-spice blend and garam masala</i>	Menganalisis profil volatil dan melakukan analisis multivarian pada dada ayam Sanhuang dengan campuran bumbu Cina dan garam masala menggunakan hidung elektronik dan GC-MS. PCA digunakan untuk membedakan profil aroma (Andaleeb et al., 2022).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam jenis kuantitatif. Penelitian kuantitatif merupakan jenis penelitian yang fokus pada pengumpulan dan analisis data dalam bentuk *numerik* (angka). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Menggunakan metode *Principal Component Analysis* (PCA)

3.2 Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2025 di Laboratorium Sensor Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Dan pengambilan data menggunakan alat GC-MS dilakukan di Laboratorium Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Hidung elektronik, Sensor yang digunakan pada hidung elektronik sebagai berikut :
 - a. TGS822
 - b. MQ135
 - c. MQ136
 - d. TGS2610
 - e. TGS813
 - f. MQ137
2. Laptop

3. Power supply 5 volt 2 ampere (10 Watt)
4. Kabel USB (Mikro)
5. Pompa galon Elektrik
6. Gelas Beaker
7. Heater
8. Neraca digital
9. Alumunium foil
10. Software origin
11. Software matlab

3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan:

1. Kornet berbahan dasar daging sapi dengan variasi 3 merk yaitu, Kornet sapi merek A,

Kornet sapi merek C, dan Kornet sapi merek B.

2. Kornet berbahan dasar daging babi dengan variasi 3 merk yaitu, Kornet babi merek B,

Kornet babi merek C, dan Kornet babi merek A

3.4 Perangkat Hidung Elektronik

3.4.1 Perangkat keras (Hardware)

Adapun perangkat keras (Hardware) yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya yaitu:

1. Sensor gas TGS822, MQ135, MQ136, TGS2610, TGS813, MQ137 yang digunakan untuk mendeteksi senyawa dari sampel yang diuji
2. Arduino uno sebagai mikrokontroler yang digunakan pada rangkaian alat

3. Power supply digunakan untuk sumber tegangan
4. Laptop digunakan untuk mekanisme pengambilan data dan pengolahan data

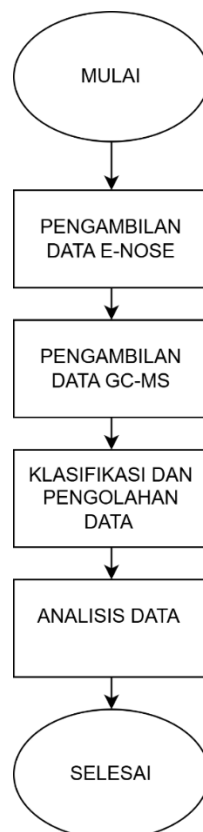
3.4.2 Perangkat Lunak (*Software*)

Adapun perangkat lunak (*software*) yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. *Software* Arduino uno yang digunakan untuk memprogram rangkaian hidung elektronik
2. *Software* origin digunakan untuk mengklasifikasikan data

3.5 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian dijelaskan pada diagram berikut :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.6 Prosedur Preparasi Sampel

Sampel yang digunakan dibeli langsung dari Supermarket Laylai. Sampel yang digunakan terdiri dari 2 variasi yaitu Kernet Sapi dan Kernet Babi dengan variasi 3 merk berbeda. Jenis sample yang digunakan sebagai berikut :

- a. Kernet berbahan dasar daging sapi

Kernet sapi yang digunakan terdiri dari 3 variasi merk yaitu : A, B, dan C.

Pada tahap preparasi sample, masing- masing sample ditimbang dengan bobot masing–masing 40 gram, kemudian diletakkan kedalam gelas beaker dan ditutup oleh alumunium foil.

- b. Kernet berbahan dasar daging babi

Kernet sapi yang digunakan terdiri dari 3 variasi merk yaitu : A, B, dan C.

Pada tahap preparasi sample, masing- masing sample ditimbang dengan bobot masing–masing 40gram, kemudian diletakkan kedalam gelas beaker dan ditutup oleh alumunium foil.

3.7 Prosedur Pengambilan Data E- Nose

Sampel kernet yang telah ditimbang masing-masing seberat 40 gram ditempatkan ke dalam gelas beaker sebagai wadah uji. Selanjutnya, sampel dipanaskan menggunakan pemanas air (*water heater*) untuk menghasilkan uap dari senyawa volatil yang terkandung di dalamnya. Uap yang terbentuk kemudian disalurkan ke pompa galon elektrik dan dialirkan melalui selang menuju sistem sensor pada alat hidung elektronik. Setelah uap mencapai array sensor, alat hidung elektronik akan mulai melakukan akuisi data berdasarkan respons sensor terhadap senyawa volatil tersebut. Proses akuisisi data dilakukan selama 5 menit untuk setiap sampel, dengan interval pembacaan setiap 5 detik. Untuk memperoleh hasil yang

lebih akurat dan representatif, setiap sampel diuji sebanyak 20 kali pengulangan. Data yang diperoleh dari setiap pengulangan kemudian dianalisis, dan rata-rata dari 20 pembacaan terakhir diambil sebagai nilai representatif dari masing-masing sampel.

3.8 Prosedur Pengambilan data GC-MS

Preparasi sampel kornet diawali dengan kornet dioven dengan suhu 150°C selama 1,5 jam yang berfungsi untuk mengurangi kadar air pada kornet. Selanjutnya, dibiarkan dingin suhu ruang lalu disimpan pada plastik klip. Kemudian sampel dihaluskan menggunakan blender fungsi penghalusan untuk memperluas permukaan sehingga dapat memaksimalkan kontak antara sampel dengan pelarut pada saat proses ekstraksi. Metode ekstraksi yang digunakan pada penelitian ini adalah metode soxhlet yang bertujuan untuk mengekstrak kornet 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. Ekstraksi sampel kornet diawali dengan ditimbang 20 gram serbuk kornet. 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 soxhlate. Selain itu, n-heksana bersifat non-polar yang akan mempermudah proses pelarutan senyawa asam lemak yang terkandung dalam kornet.

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 kornet 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 .

Setelah sampel diestraksi hasil estraksi 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 dengan air) mengandung senyawa larut lemak/minyak (Widyatari et al., 2024).

3.9 Prosedur Pengolahan Data

Tahap pengolahan data dilaksanakan melalui penerapan metode *Principal Component Analysis* (PCA) dengan memanfaatkan perangkat lunak Origin. Analisis lebih lanjut terhadap data yang diperoleh memungkinkan terbentuknya pola klasifikasi yang mampu mengidentifikasi perbedaan antara kornet sapi dan kornet babi.

3.10 Tabel Pengukuran Data E-Nose

Tabel 3. 1 Hasil Pengukuran Data Kornet Sapi

Jenis Sample	Pengulangan Sample	TGS 822	MQ 135	MQ 136	TGS 2610	TGS 813	MQ 137
Kornet sapi merek A	1						
	2						
	3						
	...						
	20						
Kornet sapi merek B	1						
	2						
	3						
	...						
	20						
Kornet sapi merek C	1						
	2						
	3						
	...						
	20						

Tabel 3. 2 Hasil Pengukuran Data Kornet Babi

Jenis Sample	Pengulangan Sample	TGS 822	MQ 135	MQ 136	TGS 2610	TGS 813	MQ 137
Kornet babi merek A	1						
	2						
	3						
	...						
	20						
Kornet babi merek B	1						
	2						
	3						
	...						
	20						
Kornet babi merek C	1						
	2						
	3						
	...						
	20						

3.11 Tabel Pengukuran Data GC-MS**Tabel 3. 3** Hasil Pengukuran Data Kornet Sapi menggunakan alat GC-MS

Jenis Sampel	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Area (%)
Kornet sapi merek A			
Kornet sapi merek B			
Kornet sapi merek C			

Tabel 3. 4 Hasil Pengukuran Data Kornet Babi menggunakan alat GC-MS

Nama Sampel	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Area (%)
Kornet babi merek A			
Kornet babi merek B			
Kornet babi merek C			

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Prosedur Pengujian Sampel

4.1.1 Preparasi Sampel untuk Analisis Menggunakan Electronic Nose (E-Nose)

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini Adalah kornet sapi dan babi. Penelitian ini dilakukan mulai tanggal 25 Februari 2025 sampai tanggal 15 Agustus 2025 di Laboratorium sensor Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pada penelitian ini menggunakan 2 macam sampel yaitu kornet sapi dan kornet babi. Pengambilan data ini dilakukan berdasarkan variasi merk kornet yaitu untuk kornet sapi menggunakan merk kornet sapi merek A, merek B, dan merek C dan untuk kornet babi menggunakan merk kornet babi merek A, merek B, dan kornet babi merek C.



Gambar 4. 1 Kornet Sapi Merek Kornet sapi merek A



Gambar 4. 2 Kornet Sapi Merk Kornet sapi merek B



Gambar 4. 3 Kornet Sapi Merek Kornet sapi merek C



Gambar 4. 4 Kornet Babi Merek Kornet babi merek A



Gambar 4. 5 Kornet Babi Merek Kornet babi merek B



Gambar 4. 6 Kornet Babi Merek Kornet babi merek C



Gambar 4. 7 Tahap penimbangan sampel kornet sapi dan babi

4.1.2 Preparasi Sampel untuk Analisis Menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS)

Sampel kornet dikeringkan pada suhu 150 °C selama 1,5 jam, kemudian digiling menjadi bubuk dan ditimbang sebanyak 20 gram untuk diekstraksi menggunakan metode Soxhlet dengan 200 mL n-heksana hingga pelarut jernih. Ekstrak yang diperoleh dipanaskan pada 58 °C hingga pelarut menguap, lalu ditimbang 50 gram dan direfluks dengan 2 mL NaOH 0,5 N dalam metanol selama 20 menit pada suhu 60 °C, dilanjutkan dengan penambahan HCl 5% dalam metanol dan direfluks kembali selama 20 menit. Campuran didinginkan, dipisahkan dalam corong pisah dengan penambahan 5 mL n-heksana dan 5 mL NaCl jenuh hingga terbentuk dua fasa, kemudian diambil lapisan fasa organik untuk dianalisis menggunakan GC-MS.



Gambar 4. 8 Proses Pengeringan Kornet



Gambar 4. 9 Hasil Kornet Yang Sudah Dikeringkan



Gambar 4. 10 Proses ekstraksi menggunakan soxhlate



Gambar 4. 11 Proses menghilangkan pelarut dengan hotplate



Gambar 4. 12 Hasil ekstrak pekat



Gambar 4. 13 Proses Esterifikasi



Gambar 4. 14 Proses pembentukan 2 fasa



Gambar 4. 15 Hasil akhir setelah esterifikasi

4.2 Data Hasil Penelitian E-Nose

Dalam penelitian ini digunakan dua jenis sampel, yaitu daging sapi dan daging babi, dengan variasi merek yang berbeda. Sampel daging sapi terdiri atas tiga merek, yaitu Kornet sapi merek A, Kornet sapi merek C, dan Kornet sapi merek B, sedangkan sampel daging babi juga diambil dari tiga merek, yaitu Kornet babi merek B, Kornet babi merek C, dan Kornet babi merek A. Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari di Laboratorium Sensor, Program Studi Fisika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Data yang diperoleh dari instrumen E-Nose merupakan data *primer* yang tidak dapat langsung dianalisis menggunakan metode PCA. Hal ini disebabkan karena PCA membutuhkan data yang telah diolah, berupa nilai rata-rata respon sensor pada setiap siklus. Oleh karena itu, berikut ditampilkan 20 iterasi data akhir yang telah melalui proses perataan nilai respon sensor :

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Kornet Sapi

Jenis Sampel	Pengulangan sampel	TGS 822	MQ 135	MQ 136	TGS 2610	TGS 813	MQ 137
Kornet Sapi Merek A	1	798,16	1807,55	1969,69	466,23	1699,18	3825,49
	2	755,88	1851,12	1990,10	386,54	1758,04	3814,23

Jenis Sampel	Pengulangan sampel	TGS 822	MQ 135	MQ 136	TGS 2610	TGS 813	MQ 137
	3	709,55	1805,86	1932,93	339,15	1595,27	3772,37
	4	667,69	1756,34	1823,07	312,38	1445,45	3743,89
	5	699,77	1762,93	1870,67	373,37	1491,78	3770,88
	6	702,96	1803,31	1901,91	353,61	1593,99	3785,97
	7	627,74	1739,77	1793,10	293,26	1360,88	3739,43
	8	692,97	1785,03	1919,12	374,22	1520,04	3799,78
	9	640,27	1749,76	1792,68	302,39	1388,92	3733,48
	10	645,16	1740,62	1810,11	298,78	1356,2	3719,66
	11	651,33	1744,87	1806,28	304,94	1359,81	3724,34
	12	673,43	1753,58	1803,73	313,23	1496,03	3727,32
	13	662,16	1753,16	1819,24	320,46	1479,03	3730,08
	14	678,1	1768,88	1864,72	316,42	1419,52	3729,02
	15	672,36	1778,23	1845,38	329,6	1444,39	3747,93
	16	668,32	1783,33	1803,31	318,97	1427,17	3742,61
	17	665,35	1776,32	1759,32	342,34	1426,75	3758,76
	18	708,06	1830,51	1805,64	357,64	1569,76	3784,9
	19	667,05	1795,87	1808,41	308,98	1439,93	3730,93
	20	667,05	1795,87	1808,41	308,98	1439,93	3730,93
kornet sapi merek B		530,65	1700,64	1673,64	219,24	1440,20	3456,45
	1						
	2	535,31	1637,57	1698,55	225,06	1322,44	3500,21
	3	556,25	1627,8	1707,4	249,27	1310,1	3532,56
	4	537,4	1617,79	1690,4	239,49	1267,28	3509,29
	5	519,48	1596,84	1661,78	229,72	1229,11	3494,39
	6	505,52	1544,48	1593,35	224,83	1167,9	3432,71
	7	735,47	2139,83	2164,73	364,47	1301,26	3807,20
	8	596,29	2104,22	1998,09	284,88	1386,44	3759,71
	9	626,08	2043,48	2055,58	301,87	1341,29	3714,56
	10	689,38	1443,7	1840,76	573,71	2065,12	3564,21
	11	661,68	1528,18	1671,09	351,44	1566,59	3531,63
	12	654,94	1529,35	1699,72	336,54	1369,69	3579,57
	13	635,62	1515,15	1698,09	307,92	1247,5	3567,94
	14	734,77	1671,09	1867,06	462,23	1263,56	3729,46
	15	698,92	1676,67	1806,78	355,17	1194,43	3696,64
	16	730,58	1687,84	1865,9	410,09	1187,92	3743,42
	17	706,14	1692,73	1785,13	362,84	1229,11	3714,56
	18	670,3	1645,72	1730,67	298,14	1199,09	3660,80
	19	535,07	1604,29	1694,13	250,90	1335,24	3488,34
	20	535,07	1604,29	1694,13	250,90	1335,24	3488,34
Kornet sapi merek C		849,50	1869,85	1832,84	376,10	1452,07	3741,56
	1						
	2	819,72	1858,68	1790,02	342,36	1344,78	3702,23
	3	782,01	1833,31	1783,97	320,02	1260,3	3675,46
	4	750,13	1807,01	1712,98	304,43	1196,99	3654,28

Jenis Sampel	Pengulangan sampel	TGS 822	MQ 135	MQ 136	TGS 2610	TGS 813	MQ 137
	5	789,46	1833,31	1712,98	341,2	1142,53	3699,20
	6	755,48	1815,62	1706,23	313,27	1228,41	3669,65
	7	723,13	1783,27	1665,74	293,49	1201,18	3639,62
	8	864,17	1873,81	1813,76	482,94	1603,13	3810,92
	9	859,98	1989,25	1881,95	421,26	1983,66	3829,54
	10	713,59	2165,2	2110,97	361,68	1303,12	3875,63
	11	703,81	2135,18	2045,8	334,92	1408,32	3826,28
	12	695,67	2092,82	1955,27	314,2	1438,81	3765,77
	13	714,05	2084,44	1955,27	350,74	1493,51	3782,53
	14	744,77	2100,96	1975,75	354,7	1617,79	3793,7
	15	715,69	2066,52	1911,98	325,14	1566,35	3746,92
	16	696,36	2031,14	1862,4	306,06	1504,45	3712
	17	683,8	1987,38	1855,42	333,06	1456,5	3715,03
	18	703,58	2008,1	1902,67	338,17	1521,2	3745,99
	19	699,17	2004,16	1892,72	332,11	1507,58	3737,05
	20	699,17	2004,16	1892,72	332,11	1507,58	3737,05

Tabel 4. 2 Data Hasil Pengukuran Kornet Babi

Jenis Sampel	Pengulangan sampel	TGS 822	MQ 135	MQ 136	TGS 2610	TGS 813	MQ 137
Kornet Babi		1818,18	639,16	639,16	287,48	1372,96	1371,41
Merek A	1						
	2	1468,28	493,2	493,2	208,61	923,31	924,86
	3	1214,56	432,33	432,33	173,73	814,89	814,67
	4	1050,17	364,79	364,79	159,51	736,47	736,47
	5	973,74	343,46	343,46	148,63	690,7	690,04
	6	1015,29	323,47	323,47	164,4	808,23	818,67
	7	986,18	320,14	320,14	162,84	736,69	740,91
	8	946,64	307,03	307,03	162,62	686,26	689,82
	9	1146,36	357,02	357,02	188,4	904,65	909,76
	10	1130,14	387,45	387,45	193,5	779,13	780,68
	11	1023,5	382,79	382,79	185,95	706,25	705,81
	12	973,52	366,79	366,79	179,73	667,82	663,82
	13	920,82	344,82	344,82	171,31	626,34	626,34
	14	302,54	217,74	217,74	103,13	302,54	301,08
	15	217,01	194,04	194,04	98,97	268,82	268,82
	16	1402,74	489,25	489,25	256,84	937,93	936,22
	17	996,09	347,51	347,51	190,61	806,45	795,46
	18	876,59	270,77	270,77	170,33	693,79	695,01
	19	1392,47	332,85	332,85	272,97	1315,01	1313,54
	20	1392,47	332,85	332,85	272,97	1315,01	1313,54
Kornet babi merek B		1407,62	391,47	391,47	268,35	1478,61	1482,10
	1						
	2	1216,08	409,16	409,16	247,87	1160,69	1160,69
	3	1247,96	442,68	442,68	271,15	1223,06	1226,78

Jenis Sampel	Pengulangan sampel	TGS 822	MQ 135	MQ 136	TGS 2610	TGS 813	MQ 137
	4	1164,18	438,02	438,02	263,46	1113,44	1113,67
	5	1058,05	420,33	420,33	240,89	1004,28	1007,31
	6	984,73	402,88	402,88	240,89	974,26	975,19
	7	1605,22	620,96	620,96	401,48	1801,89	1804,45
	8	1585,67	711,73	711,73	403,11	1641,76	1641,3
	9	1386,45	651,68	651,68	355,86	1359,91	1358,28
	10	1203,51	555,32	555,32	300,47	1138,34	1136,48
	11	1054,32	529,95	529,95	284,18	1048,74	1048,27
	12	2121,91	996,14	996,14	618,4	2406,79	2406,79
	13	1802,12	852,3	852,3	477,35	1773,49	1775,12
	14	1424,38	705,67	705,67	374,48	1323,84	1322,21
	15	1171,16	519,48	519,48	320,95	1270,77	1272,87
	16	1705,07	727,09	727,09	442,91	1833,31	1831,91
	17	1574,27	674,02	674,02	394,73	1555,88	1554,95
	18	1377,37	594,19	594,19	330,96	1302,89	1302,66
	19	1104,83	524,6	524,6	283,48	1056,65	1056,88
	20	1104,83	524,6	524,6	283,48	1056,65	1056,88
Kornet babi merek C		2539,98	755,79	755,79	551,62	1939,92	1939,26
	1						
	2	2337,82	686,48	686,48	465,88	1625,34	1625,12
	3	1988,36	585,18	585,18	372,35	1281,44	1282,55
	4	1677,33	502,75	502,75	302,36	1081,71	1077,93
	5	1447,46	458,21	458,21	274,44	938,42	939,88
	6	1372,43	424,24	424,24	261,24	942,33	948,92
	7	1327,96	410,8	410,8	259,29	931,08	926,93
	8	1228,25	373,17	373,17	234,36	871,95	871,21
	9	1133,43	347,26	347,26	207,48	836,76	834,8
	10	1235,58	348,98	348,98	258,8	1035,92	1031,28
	11	2371,7	580,16	580,16	497,8	2071,11	2072,82
	12	2740,96	740,22	740,22	628,3	2422,53	2423,75
	13	2805,47	808,77	808,77	679,12	2487,01	2487,52
	14	2783,86	768,64	768,64	654,94	2441,99	2443,54
	15	2749,91	744,97	744,97	628,7	2325,2	2325,98
	16	2714,32	731,18	731,18	616,81	2273,7	2272,48
	17	2673,27	728,74	728,74	598,49	2216,28	2217,5
	18	2659,82	716,52	716,52	600,68	2313,29	2311,34
	19	2648,83	720,68	720,68	593,84	2337,98	2337,98
	20	2648,83	720,68	720,68	593,84	2337,98	2337,98

4.3 Data Hasil Penelitian GC – MS

Sampel yang sudah dipreparasi kemudian diuji menggunakan GC-MS. GC-MS sendiri merupakan alat yang menggunakan dua metode yaitu, kromatografi gas dan spektrometri massa, untuk memisahkan serta mengidentifikasi senyawa kimia

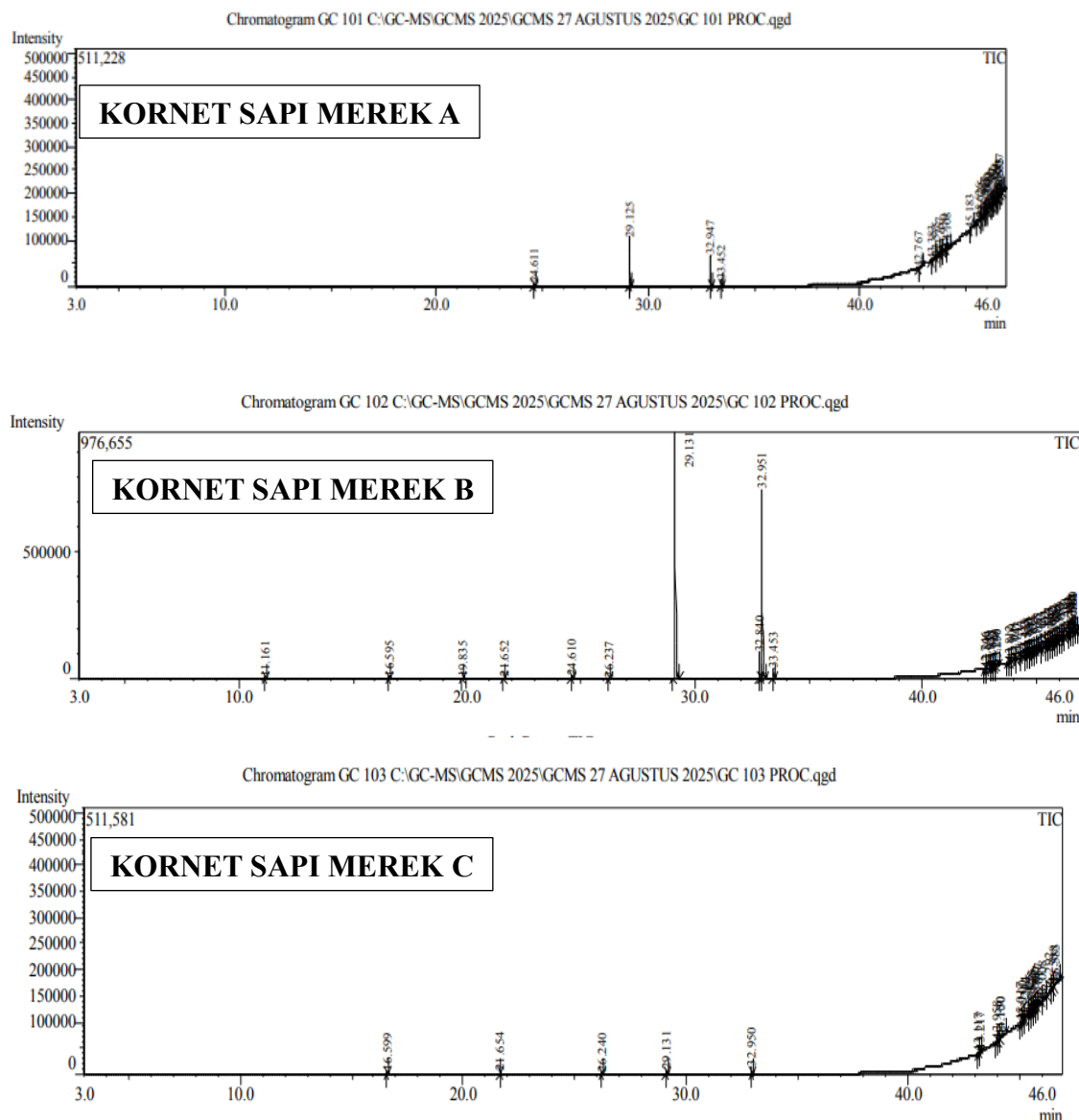
dalam suatu sampel (Komal Pramod et al., 2021) . Prinsip kerja GC–MS adalah memisahkan senyawa dalam campuran menggunakan kromatografi gas (GC), kemudian mengidentifikasi dan mendeteksinya dengan spektrometri massa (MS). Pada tahap awal, sampel diuapkan dan dibawa oleh gas pembawa melewati kolom kromatografi, 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 beberapa produk kornet sapi dan kornet babi dari berbagai merek. Pada penelitian ini menggunakan sampel kornet sapi terdiri atas tiga merek, yaitu Kornet sapi merek A, B, dan C, sedangkan sampel kornet babi terdiri atas Kornet babi merek A, B dan C

4.3.1 Hasil GC-MS Kornet Sapi

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. Adapun hasil kromatogram sampel kornet sapi merek A, B, dan C

hasil GC-MS ditampilkan dalam Gambar berikut ini:



Gambar 4. 16 (A) Kromatografi Hasil Uji GC-MS Kernet sapi merek A (B) Kromatografi Hasil Uji GC-MS Kernet sapi merek B (C) Kromatografi Hasil Uji GC-MS Kernet sapi merek C

Dari hasil kromatografi GC-MS kernet sapi merek A, B, dan C diatas dapat disimpulkan bahwa masing – masing merek memiliki jumlah puncak yang berbeda. Pada kernet merek A dan B memiliki 25 puncak yang menandakan bahwa terdapat 25 nama senyawa yang terdeteksi sedangkan pada kernet sapi merek C memiliki 50 puncak yang menandakan adanya 50 nama senyawa yang terdeteksi, perbedaan ini

dikarenakan kandungan dalam kornet sapi merek A, B, dan C berbeda. Pada kornet merek B memiliki puncak tertinggi pada rentang waktu 29.13 dan 32.95 dengan nama senyawa Hexadecanoic acid, methyl ester dan 9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester mendominasi hampir 50% dikarenakan pada kornet sapi merek B ini memiliki kandungan daging sapi paling tinggi dibanding merek lainnya yaitu sekitar 65%. Dari nama – nama senyawa yang terdeteksi adapun golongannya yaitu Asam, Ester, Aromatik, Keton, dan Alkohol. Golongan senyawa ini berasal dari reaksi kimia. Adapun senyawa – senyawa yang memiliki luas area tertinggi disajikan dalam tabel berikut ini:

Tabel 4. 3 10 Nama Senyawa yang Mendominasi Pada GC-MS Kornet A

Peak	Retention Time (min)	Nama Senyawa (Library Hit)	Rumus Molekul	Area (%)
1	29.12	Hexadecanoic acid, methyl ester	C17H34O2	29,6
2	32.95	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	C19H36O2	18,49
4	46.05	Di-tert-Butyl ether	C8H18O / C7H14O2	4,45
5	45.18	4-Hydroxyphenyllactic acid, ethyl ester, di-TMS	C17H30O4Si2	3,99
6	33.45	Tridecanoic acid, methyl ester	C14H28O2	3,66
7	43.77	Benzamide, 5-chloro-2-iodo-	C7H5ClINO	3,3
8	43.58	RCS-8	C25H29NO2	2,55
9	46.50	1H-Imidazole-4-acetamide, 1,3-diethyltetrahydro-N-[2-(4-methoxyphenyl)ethyl]-2,5-dioxo	C18H25N3O4	2,88
10	43.95	2,2'-Dihydroxybenzophenone, bis(trimethylsilyl) ether	C19H26O3Si2	2,31

Tabel 4. 4 10 Nama Senyawa yang Mendominasi Pada GC-MS Kornet B

Peak	Retention Time (min)	Nama Senyawa (Library Hit)	Rumus Molekul	Area (%)
------	----------------------	----------------------------	---------------	----------

1	29.13	Hexadecanoic acid, methyl ester	C17H34O2	46,36
2	32.95	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	C19H36O2	37,14
3	32.84	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	C19H34O2	4,48
4	33.45	Tridecanoic acid, methyl ester	C14H28O2	1,76
5	46.21	Heptasiloxane, hexadecamethyl	C16H48O6Si7	0.60
6	46.68	Pyridine-2-carbonitrile, 3,5,6-trichloro-4-(4-methylphenylsulfon-ylamino)	C13H8Cl3N3O2S	0.61
7	44.04	Ritalinic acid, N-trimethylsilyl-, trimethylsilyl ester	C19H33NO2Si2	0.65
8	44.14	N-(1-Methyl-2-{4-[(1-methylethyl)sulfanyl]phenyl}-2-[(trimethylsilyl)oxy]ethyl)octan-1-amine	C23H43NOSSi	0.51
9	46,20	2,6-Difluoro-3-methylbenzamide, N-(4-bromophenyl)-	C14H10BrF2NO	0.51
10	46.45	6-Amino-1-ethyl-3H-pyrimidine-2,4-dione	C6H9N3O2	0.48

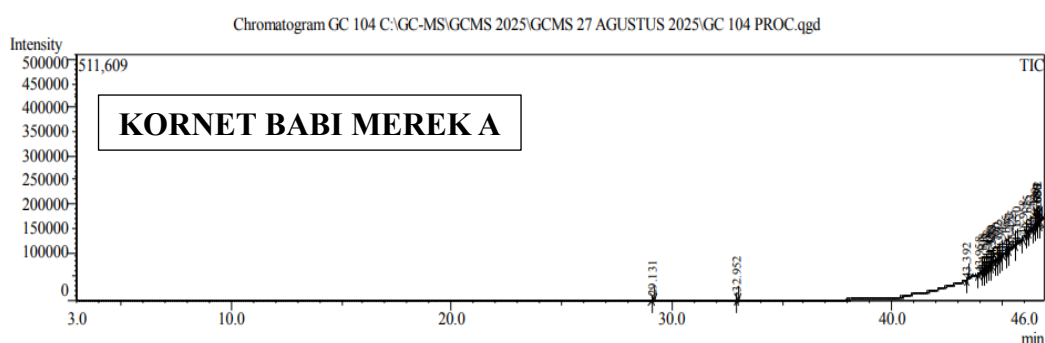
Tabel 4. 5 10 Nama Senyawa yang Mendominasi Pada GC-MS Kornek C

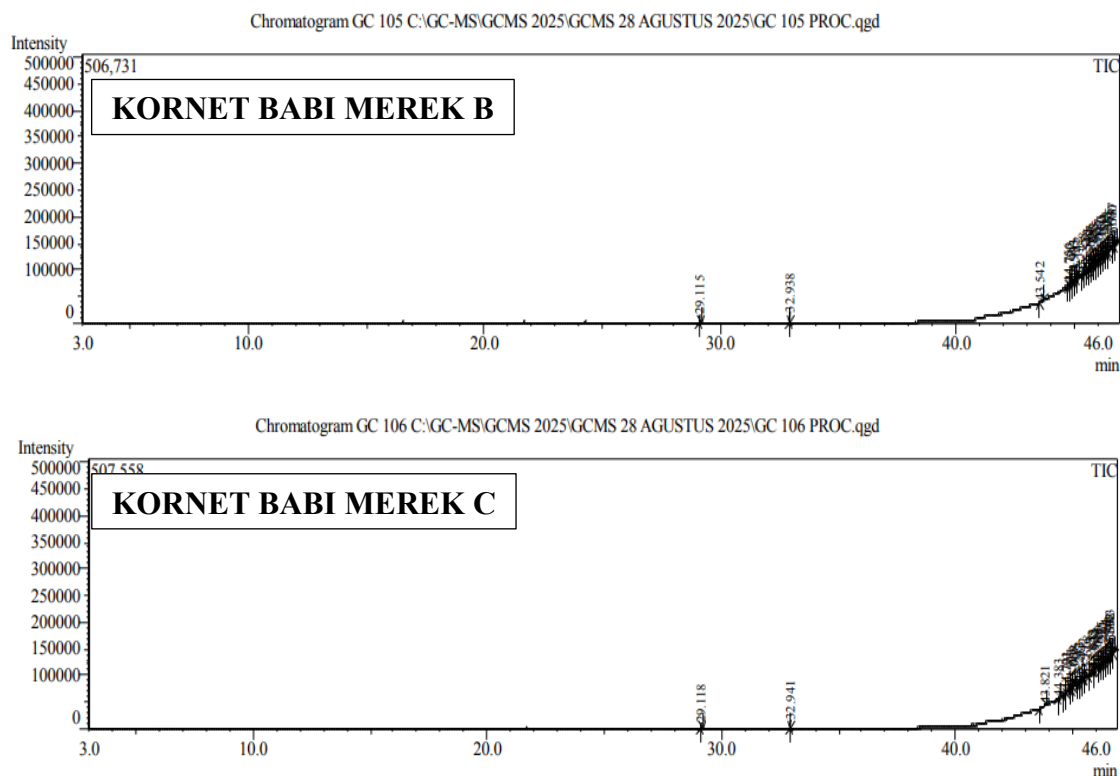
Peak	Retention Time (min)	Nama Senyawa (Library Hit)	Rumus Molekul	Area (%)
1	44.15	3,4-Dimethoxybenzoylformic acid, TMS	C13H18O5Si	10,56
2	46.58	Hexasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11-dodecamethyl	C12H38O5Si6	7,79
3	46.00	Ethene, tetramethoxy	C6H12O4	7,44
4	45.81	Benzenecetic acid, 3,4-bis[(trimethylsilyl)oxy]-, methyl ester	C15H26O4Si2	6,64
5	32.95	Pentadecafluorooctanoic acid, cyclohexylmethyl ester	C15H13F15O2	6,43
6	46.29	Benfluorex	C19H20F3NO2	6,4
7	45.21	Pentasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9-decamethyl	C10H32O4Si5	5,44
8	29.13	Hexanoic acid, 2-methyl	C7H14O2	5,58
9	43.95	6-Methyl-2-oxo-4-(4-trifluoromethyl-phenyl)-1,2,3,4-tetrahydro-pyrimidine-5-carboxylic acid 2-methylsulfanyl-ethyl ester	C16H17F3N2O3S	3.24

10	45.64	Stannane, methylenebis [trimethyl]	C ₇ H ₂₀ Sn ₂	3,49
----	-------	---------------------------------------	--	------

4.3.2 Hasil GC-MS Kornet Babi

Hasil analisis GC-MS pada tiga merek kornet babi menampilkan profil kromatogram yang berbeda signifikan dibanding kornet sapi. Kornet babi memiliki puncak kromatogram yang merata tidak ada senyawa yang mendominasi. Hal ini disebabkan oleh beberapa factor yaitu pada kornet babi memiliki tambahan komposisi seperti mengandung pati jagung, susu, dan protein nabati sehingga kornet babi memiliki Hasil kromatogram yang tampak merata tanpa adanya satu senyawa yang benar-benar mendominasi dapat terjadi karena sampel kornet merupakan matriks pangan yang sangat kompleks dan telah mengalami proses pengolahan intensif seperti pemasakan, tekanan tinggi, dan sterilisasi. Proses tersebut menyebabkan senyawa volatil utama terdegradasi menjadi fragmen-fragmen kecil sehingga tidak ada satu komponen yang muncul dengan intensitas besar. Berikut ini merupakan tampilan hasil uji GC-MS kornet babi merek A, B, dan C:





Gambar 4. 17 (A) Kromotografi Hasil Uji GC-MS Kernet babi merek A (B) Kromotografi Hasil Uji GC-MS Kernet babi merek B (C) Kromotografi Hasil Uji GC-MS Kernet babi merek C

Secara keseluruhan, kromatogram yang terlihat merata terjadi karena beberapa faktor, seperti sampel kernet yang sangat kompleks, senyawa kimia yang rusak akibat pemanasan, teknik ekstraksi yang hanya mengambil sedikit senyawa volatil, serta pengaturan instrumen yang belum sepenuhnya ideal. Kondisi ini bukan berarti alat bermasalah, tetapi memang mencerminkan sifat alami kernet sebagai produk olahan yang memiliki banyak senyawa volatil dengan kadar rendah. Adapun senyawa – senyawa yang memiliki luas area tertinggi yaitu:

Tabel 4. 6 10 Nama Senyawa Yang Terdeteksi Pada GC-MS Kernet Babi A

Peak	Retention Time (min)	Nama Senyawa (Library Hit)	Rumus Molekul	Area (%)
1	45.42	Benzilic acid, 2TMS derivative	C ₂₀ H ₂₈ O ₃ Si ₂	8,69

2	46.48	benzaldehyde, 4-(diethylamino)-2-methoxy	C ₁₂ H ₁₇ N ₂ O ₂	7,35
3	46.60	[1,1'-Biphenyl]-4-carbonitrile, 4'-ethyl	C ₁₅ H ₁₃ N	6,56
4	32.95	Cyclohexanemethanol, chlorodifluoroacetate	C ₉ H ₁₃ ClF ₂ O ₂	6,22
5	45.95	Cobaltocene, decamethyl	C ₂₀ H ₃₀ Co	5,35
6	44.53	2,2'-Dihydroxybenzophenone, bis(trimethylsilyl) ether	C ₁₉ H ₂₆ O ₃ Si ₂	5,09
7	44.43	(1-Methyl-2-{4-[(1-methylethyl)sulfanyl]phenyl}-2-[(trimethylsilyloxy)ethyl]octan-1-amine	C ₂₃ H ₄₃ NOSSi	4,14
8	44.43	(1-Methyl-2-{4-[(1-methylethyl)sulfanyl]phenyl}-2-[(trimethylsilyloxy)ethyl]octan-1-amine	C ₂₃ H ₄₃ NOSSi	4,14
9	29.13	Hexanoic acid, 2-methyl	C ₇ H ₁₄ O ₂	4,03
10	45.16	[1,1'-Biphenyl]-4-carbonitrile, 4'-butoxy	C ₁₇ H ₁₇ NO	4,36

Tabel 4. 7 10 Nama Senyawa Yang Terdeteksi Pada GC-MS Kernet Babi B

Peak	Retention Time (min)	Nama Senyawa (Library Hit)	Rumus Molekul	Area (%)
1	32.93	Cyclohexanemethanol, chlorodifluoroacetate	C ₉ H ₁₃ ClF ₂ O ₂	10,00
2	29.11	Tridecanoic acid, methyl ester	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	8,79
3	46.60	Hexasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11-dodecamethyl	C ₁₂ H ₃₈ O ₅ Si ₆	6,59
4	46.47	2,3,5-Trimethoxymandelic acid, di-TMS	C ₁₇ H ₃₀ O ₆ Si ₂	6,46
5	44.98	Phthalic acid, 8-chlorooctyl propyl ester	C ₁₉ H ₂₇ ClO ₄	6,22
6	44.79	Succinic acid, 2,2,3,3,4,4,4-heptafluorobutyl 2-methylhex-3-yl ester	C ₁₅ H ₂₁ F ₇ O ₄	5,10
7	46.76	Carvacrol, TBDMS derivative	C ₁₆ H ₂₈ OSi	4,05

8	45.72	Terephthalic acid, di(2,2,3,3,4,4,4- heptafluorobutyl) ester	C16H8F14O4	3,96
8	45.14	Heptasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13- tetradecamethyl	C14H44O6Si7	3,22
9	45.92	Cyclotrisiloxane, hexamethyl	C6H18O3Si3	3,85
10	44.75	Uracil, 2TBDMS derivative	C16H32N2O2Si2	3,83

Tabel 4. 8 Nama Senyawa Yang Terdeteksi Pada GC-MS Kernet Babi C

Peak	Retention Time (min)	Nama Senyawa (Library Hit)	Rumus Molekul	Area (%)
1	44.73	Cobalt, (.eta.5-2,4-cyclopentadien-1-yl)[[(2,3,4,5-.eta.)-2,4-cyclopentadien-1-yl]benzene]-	C16H15Co	7,8
2	32.94	Pentadecafluorooctanoic acid, cyclohexylmethyl ester	C15H13F15O2	6,87
3	45.84	p-(Heptyloxy)phenyl 4'-(2-methylbutyl)-4-biphenylcarboxylate	C31H38O3	6,28
4	46.03	Pentasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9-decamethyl	C10H32O4Si5	6,21
5	29.11	Pentanoic acid, 2-methyl	C6H12O2	5,87
6	44.70	Chromium, tetracarbonylbis(hexamethylphosphorus triamide-P)-, (OC-6-22)-	C16H36CrN6O4P2	5,69
7	44.91	Benzamide, 2-amino-3,5-dinitro-N,N-bis(2-hydroxyethyl)-	C11H14N4O7	5,56
8	46.10	Pentasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9-decamethyl	C10H32O4Si5	4,93

		5H-1,2,4-triazolo[4,3-b][1,2,4]triazepin-6(7H)-one, 8-methyl-3-[3-(4-nitrophenyl)propyl]	C15H16N6O3	
9	46.28	-		4,58
		Phthalic acid, 4-cyanophenyl nonyl ester	C24H27NO4	
10	45.05			4,31

Analisis *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS) pada berbagai merek kornet sapi dan kornet babi menunjukkan adanya perbedaan signifikan dalam profil senyawa volatil yang dapat digunakan sebagai penanda pembeda (chemical markers) antara kedua jenis daging. Berikut ini disajikan dalam tabel merupakan senyawa yang terindikasi pembeda antara kornet sapi dan babi.

Tabel 4. 9 Senyawa Penanda Khas Kornet Sapi dan Babi

Jenis Daging	Senyawa Penanda Khas (Tidak Ditemukan pada Jenis Lain)
Kornet Sapi	Hexadecanoic acid, methyl ester
	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester
	Butane, 2,2-dimethyl
Kornet Babi	Cyclohexanemethanol, chlorodifluoroacetate
	Benzilic acid, 2TMS derivative

4.4 Hasil Pengolahan Data Menggunakan Metode PCA Terhadap Data *E-Nose*

Data keluaran dari sistem *electronic nose* (*E-nose*) kemudian diolah menggunakan metode *Principal Component Analysis* (PCA) untuk mengidentifikasi pola aroma yang dihasilkan oleh sampel kornet sapi dan kornet babi. Metode PCA digunakan karena mampu melakukan reduksi dimensi terhadap data multivariat dari respons sensor, sehingga menghasilkan representasi dua dimensi (PC1 dan PC2) yang menggambarkan distribusi variasi terbesar antar

sampel. Dalam konteks fisika sensor, PCA berperan sebagai transformasi ortogonal yang mengubah data korelasi antar sensor menjadi sumbu-sumbu baru yang saling bebas (*uncorrelated*) dengan mempertahankan informasi utama dari sistem penginderaan (Jolliffe & Cadima, 2016).

Dalam kerangka PCA, tersedia beragam visualisasi yang memudahkan penafsiran hasil. Pertama, scree plot menggambarkan porsi variansi yang dijelaskan oleh tiap komponen utama. Kedua, loading plot memberikan gambaran kontribusi dan keterkaitan antarvariabel asal dalam pembentukan komponen. Ketiga, score plot baik dua maupun tiga dimensi menunjukkan sebaran observasi pada ruang komponen utama dan bermanfaat untuk mengidentifikasi pola pengelompokan. Keempat, biplot mengintegrasikan informasi dari score dan loading dalam satu tampilan terpadu, sehingga memungkinkan analisis serempak atas relasi antara variabel, komponen utama, dan posisi observasi. Kombinasi visualisasi tersebut membantu memperjelas struktur internal data, persebaran observasi, serta interaksi antarsensor gas. Berikut merupakan tabel nilai eigen, presentasi variansi, dan komulatif dari beberapa merk kornet sapi dan babi :

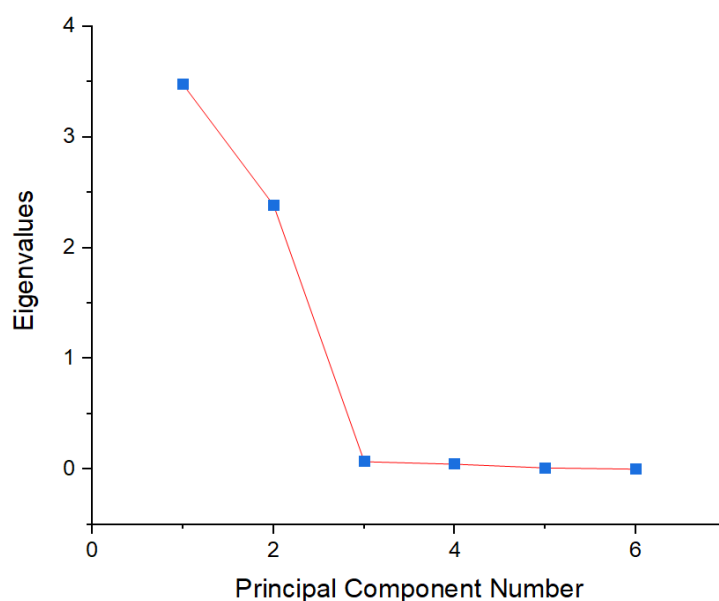
Tabel 4. 10 Tabel nilai eigen, presentasi variansi, dan komulatif E-Nose

Eigenvalue	Percentage of Variance	Cumulative
3,47687	57.95%	57.95%
2,38667	39.78%	97.73%
0,07074	1.18%	98.90%
0,04717	0.79%	99.69%
0,01503	0.25%	99.94%
0,00353	0.06%	100.00%

Berdasarkan (Tabel 4.10) diketahui bahwa total varian data yang diperoleh dari hasil analisis PCA (*Principal Component Analysis*) menggunakan *E-Nose* dapat dijelaskan oleh enam komponen utama (Principal Component/PC). Komponen utama pertama (PC 1) memiliki nilai eigen sebesar 3,47687 dengan kontribusi varian sebesar 57,95%. Nilai ini menunjukkan bahwa PC 1 merupakan komponen yang paling dominan dalam menjelaskan keragaman data sensor *E-Nose*, sehingga informasi utama mengenai perbedaan aroma atau senyawa volatil antar sampel sebagian besar telah terwakili pada komponen ini.

Komponen utama kedua (PC 2) memiliki nilai eigen sebesar 2,38667 dengan kontribusi varian sebesar 39,78%. Kombinasi antara PC 1 dan PC 2 mampu menjelaskan total 97,73% variasi data. Nilai kontribusi kumulatif yang tinggi menunjukkan efektivitas *E-Nose* dalam mendeteksi dan membedakan karakteristik aroma pada sampel yang diuji. PC 3 hingga PC 6 hanya memberikan kontribusi varian yang sangat kecil, masing-masing 1,18%, 0,79%, 0,25%, dan 0,06%.

4.4.1 Hasil Scree Plot E-Nose

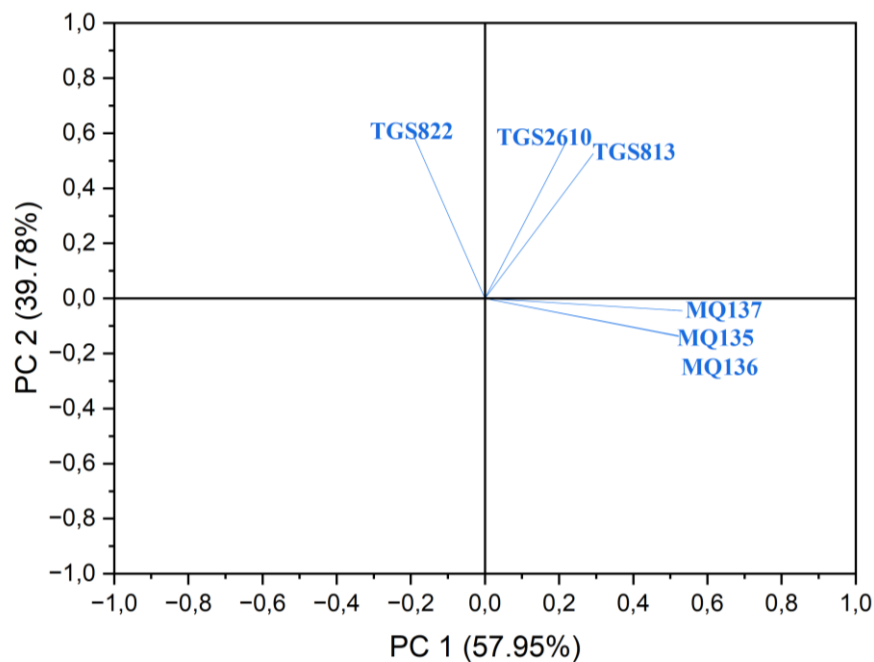


Gambar 4. 18 Hasil Scree Plot E-Nose

Scree plot adalah grafik yang menampilkan hubungan antara komponen utama (PC) dan nilai eigen masing-masing. Sumbu X menunjukkan urutan komponen (PC1, PC2, PC3, dst.), sementara sumbu Y menunjukkan nilai eigen atau proporsi variansi yang dijelaskan (Mangale, 2020).

Gambar (4.18) menunjukkan Scree Plot hasil analisis PCA (*Principal Component Analysis*) terhadap data respon sensor *E-Nose*. Scree Plot digunakan untuk menggambarkan distribusi nilai eigen (*eigenvalues*) pada setiap komponen utama (*principal component*). Grafik ini membantu dalam menentukan jumlah komponen utama yang paling signifikan untuk menjelaskan variasi data. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa dua komponen pertama (PC 1 dan PC 2) memiliki nilai eigen yang jauh lebih besar dibandingkan komponen lainnya. PC 1 memiliki nilai eigen sekitar 3,48, sedangkan PC 2 sekitar 2,39. Penurunan nilai eigen dari PC 1 ke PC 2 terlihat cukup signifikan, menandakan bahwa kedua komponen ini memuat sebagian besar informasi atau variansi dari keseluruhan data yang diperoleh dari sistem E-Nose. Mulai dari PC 3 dan seterusnya, nilai eigen menurun drastis hingga mendekati nol. Dengan kata lain, PC 3 hingga PC 6 hanya menjelaskan sebagian kecil variasi, sehingga dapat diabaikan dalam proses klasifikasi atau pemetaan aroma.

4.4.2 Hasil Loading plot E-Nose

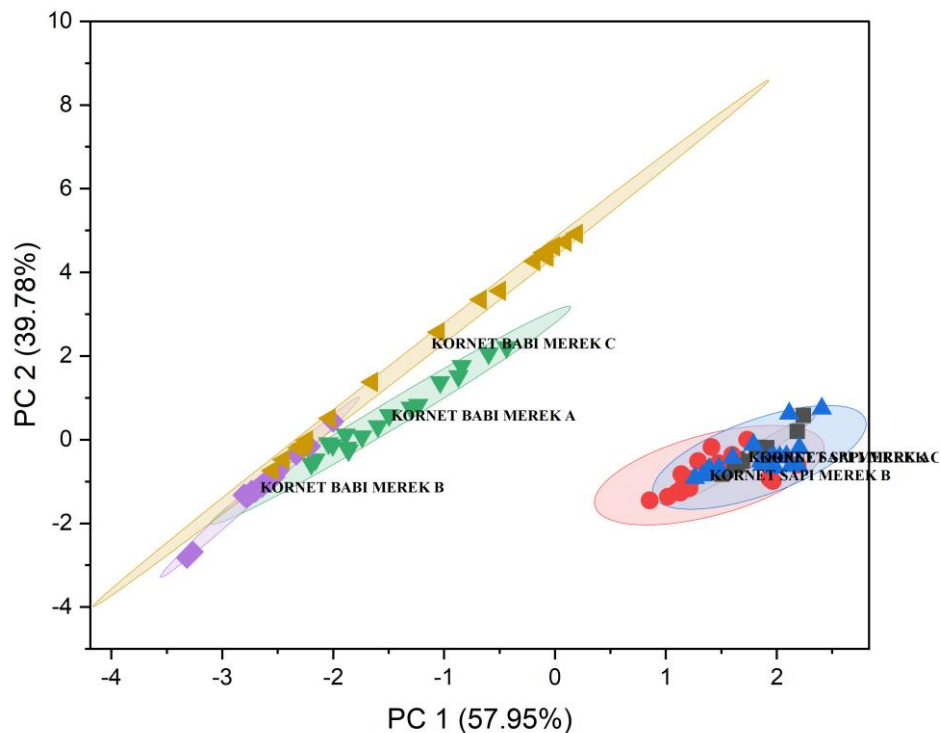


Gambar 4. 19 Hasil Loading Plot E-Nose

(Gambar 4.19) menunjukkan loading plot PCA dengan dua komponen utama, yaitu PC1 (57,95%) dan PC2 (39,78%). Kedua komponen ini secara kumulatif menjelaskan 97,73% total keragaman data yang berasal dari respons sensor hidung elektronik (E-Nose). Vektor-vektor dalam plot menunjukkan kontribusi setiap sensor gas terhadap pembentukan komponen utama. Sensor TGS822, TGS2610, dan TGS813 memiliki arah yang relatif berdekatan dan membentuk sudut kecil dengan PC2, menandakan bahwa ketiganya memiliki korelasi positif yang cukup tinggi terhadap komponen PC2. Arah vektor yang relatif panjang menunjukkan bahwa sensor-sensor tersebut memberikan kontribusi besar dalam membedakan variasi aroma atau gas yang terdeteksi. Sebaliknya, sensor MQ135 dan MQ136 memiliki arah vektor yang tumpang tindih hal ini menunjukkan bahwa kedua sensor tersebut memberikan respon yang relative serupa terhadap sampel yang diuji. Sedangkan MQ 137 sedikit terpisah tetapi masih berdekatan menandakan sensor

merespon pola senyawa yang mirip, tetapi dengan perbedaan sensitivitas atau prioritas deteksi terhadap jenis senyawa tertentu.

4.4.3 Hasil Score Plot 2D E-Nose

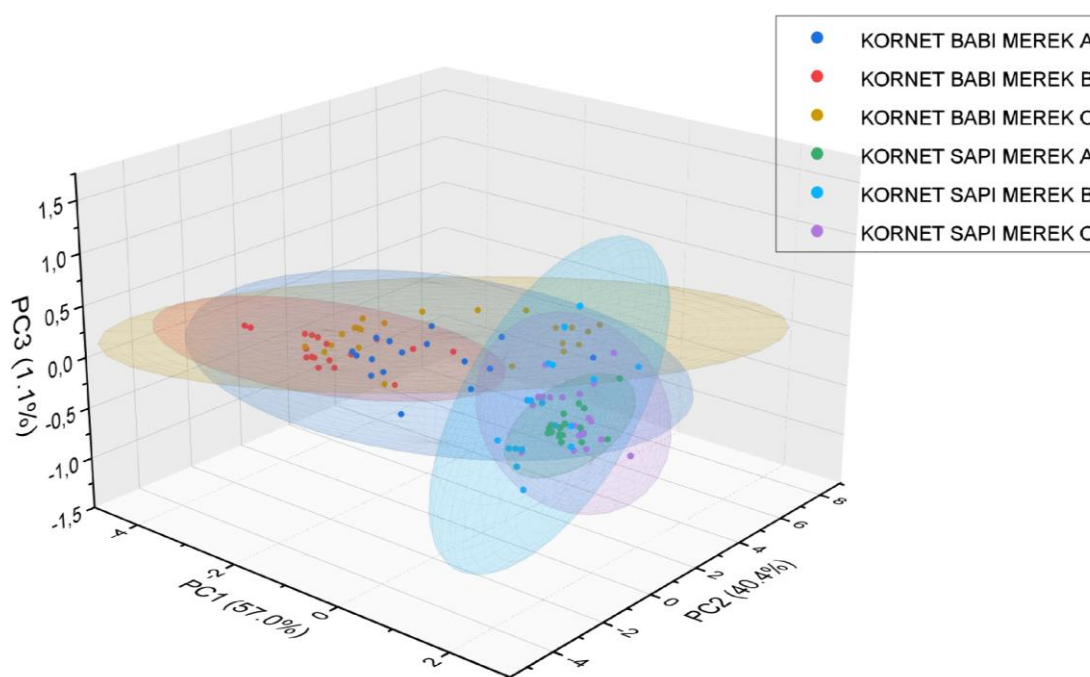


Gambar 4. 20 Hasil Score Plot 2D E-Nose

Gambar 4.23 menunjukkan plot skor PCA (*Principal Component Analysis*) yang memetakan pola distribusi aroma dari berbagai sampel kornet berdasarkan respon sensor E-Nose. Grafik ini menggunakan dua komponen utama, yaitu PC 1 (57,95%) dan PC 2 (39,78%), yang secara kumulatif menjelaskan sekitar 97,73% variasi total dalam data. Terlihat bahwa sampel kornet babi dan kornet sapi terpisah secara jelas pada bidang dua dimensi. Kelompok kornet babi membentuk cluster yang cenderung berada pada kuadran negatif PC 1 dan menyebar ke arah positif PC 2. Sebaliknya, kelompok kornet sapi membentuk cluster yang terletak pada kuadran positif PC 1 dan relatif terkonsentrasi (kompak) saling tumpang tindih.

Perbedaan posisi cluster ini menunjukkan adanya perbedaan profil senyawa volatil yang signifikan antara kornet babi dan sapi. Hal ini dapat dihubungkan dengan perbedaan komposisi lemak, protein, serta proses pengolahan antara kedua jenis daging tersebut.

4.4.4 Hasil Scatter Plot 3D E-Nose



Gambar 4. 21 Hasil Scatter Plot 3D E-Nose

(Gambar 4.21) menampilkan scatter plot tiga dimensi hasil proyeksi PCA, dengan PC1 pada sumbu-X, PC2 pada sumbu-Y, dan PC3 pada sumbu-Z. Visualisasi ini setara dengan score plot, namun memperluas representasi dari ruang dua dimensi (PC1–PC2) menjadi tiga dimensi sehingga informasi yang termuat pada komponen utama dapat dimanfaatkan lebih optimal. Pada data ini, PC1 menjelaskan 57,0% variansi, PC2 40,4%, dan PC3 1,1%, sehingga akumulasi variansi yang menjelaskan mencapai 98,5%. Dengan demikian, hanya sekitar 1,5%

informasi yang berpotensi tidak terwakili akibat proses reduksi dimensi, sementara struktur utama data tetap tersaji dengan baik pada ruang PC1–PC3.

4.5 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. 11 Tabel nilai eigen, presentasi variansi,dan komulatif GC-MS

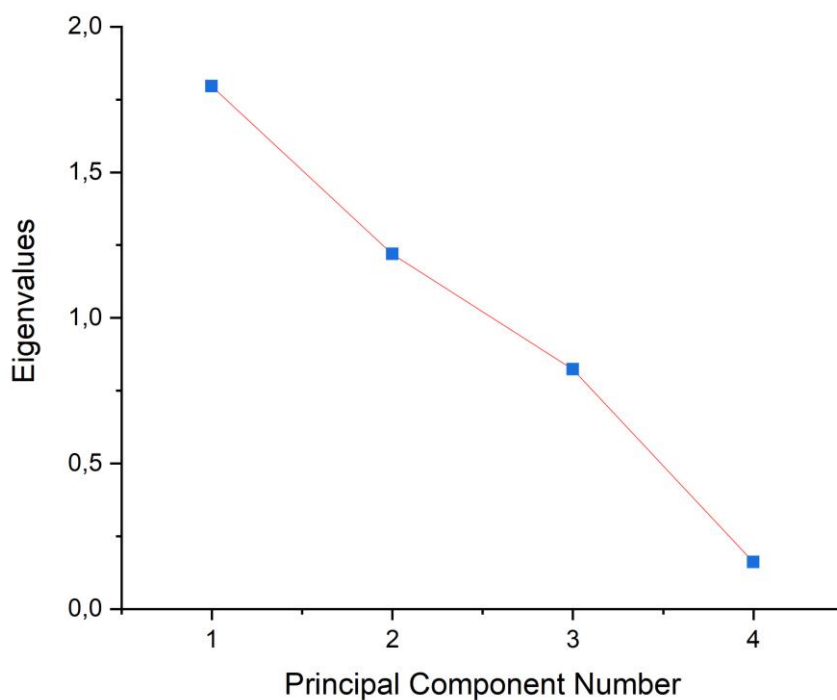
Eigenvalue	Percentage of Variance	Cumulative
1,79597	44,90%%	44,90%
1,21923	30,48%	75,38%
0,82356	20,59%	95,97%
0,16125	4,03%	100,00%

Berdasarkan Tabel 4.11 analisis *Principal Component Analysis* (PCA) terhadap data GC-MS menunjukkan bahwa total variansi data dapat dijelaskan secara dominan oleh dua komponen utama. Komponen pertama (PC 1) memiliki eigenvalue sebesar 1,79597 dengan kontribusi variansi sebesar 44,90%, sedangkan komponen kedua (PC 2) memiliki eigenvalue sebesar 1,21923 dengan kontribusi variansi sebesar 30,48%. Jika digabungkan, PC 1 dan PC 2 mampu menjelaskan total 75,38% dari seluruh variasi data, yang berarti dua komponen utama ini memuat banyak informasi dari hasil analisis GC-MS. Komponen utama ketiga (PC

3) memiliki nilai eigen sebesar 0,82356 dengan kontribusi variansi sebesar 20,59%, sedangkan komponen keempat (PC 4) sebesar 0,16125 dengan kontribusi 4,03%. Meskipun kedua komponen ini memberikan tambahan informasi, kontribusinya tidak sebesar dua komponen pertama.

Tingginya kontribusi dari dua komponen utama mengindikasikan bahwa sebagian besar perbedaan atau karakteristik antar sampel dapat dijelaskan oleh PC 1 dan PC 2. Hal ini mencerminkan bahwa profil senyawa volatil yang dihasilkan oleh sampel memiliki struktur yang kuat dan konsisten, sehingga dapat dengan mudah dipetakan menggunakan dua dimensi utama dalam PCA.

4.5.1 Hasil *Scree Plot* GC-MS



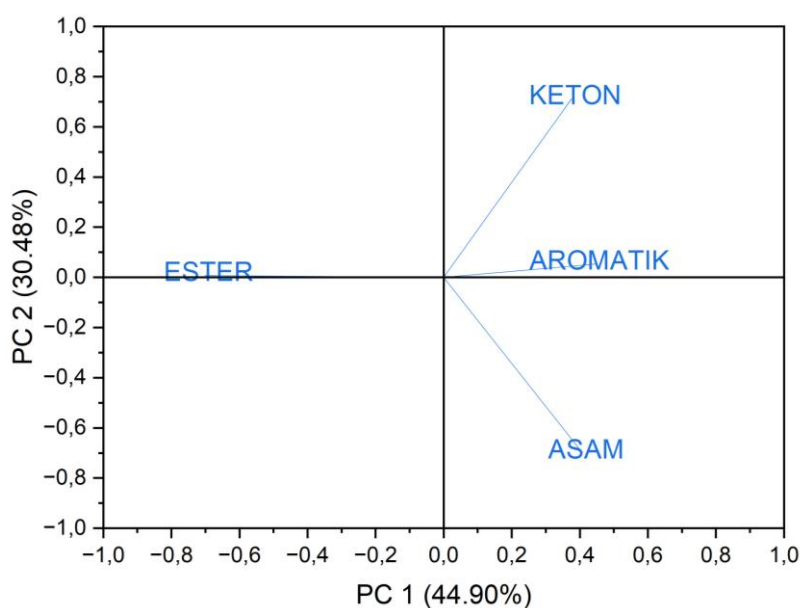
Gambar 4. 22 Hasil *Scree Plot* GC-MS

Scree plot menunjukkan pola penurunan nilai eigen yang cukup tajam dari PC1 ke PC4. Nilai eigen PC1 berada pada kisaran tertinggi (mendekati 1,8), yang menandakan bahwa komponen ini memiliki kontribusi variansi terbesar dalam

menjelaskan struktur data. Penurunan drastis ke PC2 (sekitar 1,2) juga menandakan bahwa kedua komponen ini masih memegang peranan penting dalam menjelaskan mayoritas informasi data volatil sampel kornet. Penurunan nilai eigen dari PC2 ke PC3 dan PC4 semakin landai, menunjukkan munculnya titik bahu (elbow) pada sekitar PC2 atau PC3. Hal ini menandakan bahwa informasi signifikan sebagian besar telah tertangkap oleh dua hingga tiga komponen utama pertama. Pada penelitian aroma, penggunaan dua atau tiga komponen utama umumnya sudah cukup untuk memvisualisasikan pola pemisahan antar sampel.

Dengan eigenvalue PC1 dan PC2 yang cukup besar, interpretasi dua komponen utama dapat memberikan visualisasi yang representatif terhadap perbedaan profil aroma kornet sapi dan babi. Penurunan menuju PC4 yang hampir mendekati nol mengindikasikan bahwa komponen tersebut tidak lagi memiliki kontribusi berarti dan dapat diabaikan dalam analisis lanjutan. Hal ini penting dalam menyederhanakan dimensi data tanpa menghilangkan informasi penting.

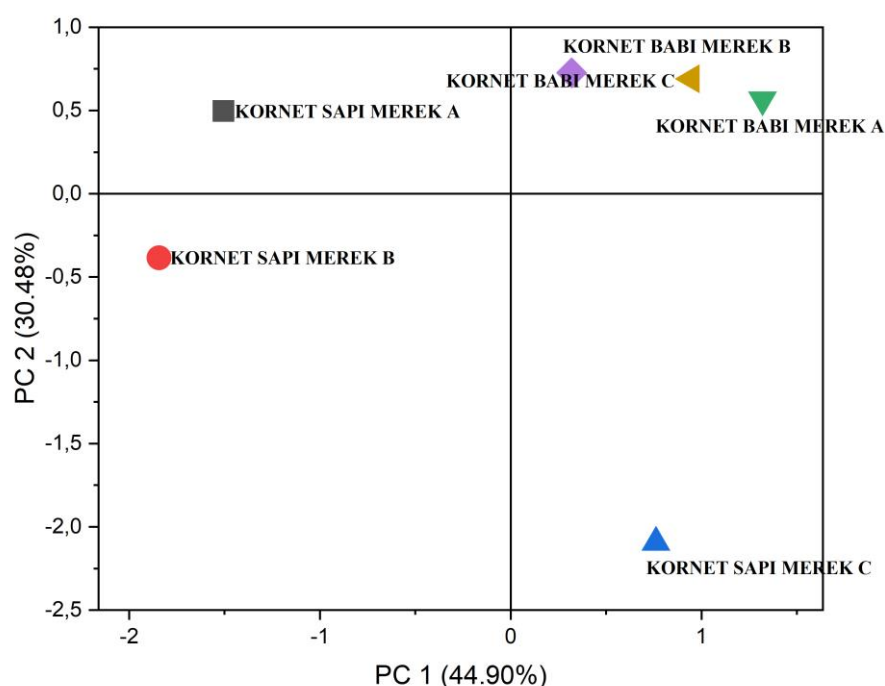
4.5.2 Hasil Loading Plot GC-MS



Gambar 4. 23 Hasil Loading Plot GC-MS

Loading plot menampilkan kontribusi empat kelompok senyawa ester, keton, senyawa aromatik, dan asam terhadap PC1 dan PC2. Keton dan aromatik memiliki loading positif pada PC1, menandakan bahwa kedua senyawa ini berperan besar dalam membedakan sampel yang berada pada sisi kanan grafik PCA. Sebaliknya, senyawa ester menunjukkan kontribusi negatif terhadap PC1 dan cenderung memisahkan sampel yang kaya ester ke sisi kiri grafik.

4.5.3 Hasil Score Plot 2D GC-MS

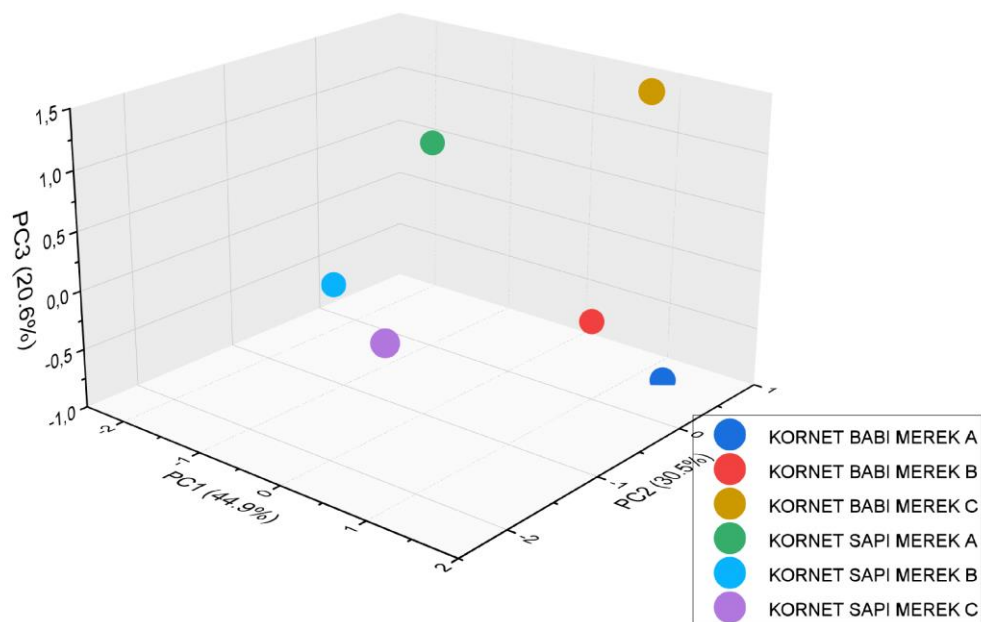


Gambar 4. 24 Hasil Score Plot 2D GC-MS

Score plot 2D menunjukkan pemisahan yang jelas antara kelompok kornet sapi dan babi. Sampel kornet babi cenderung terletak pada kuadran kanan atas, sedangkan beberapa sampel kornet sapi berada di sisi kiri atau bawah grafik. Hal ini menunjukkan bahwa profil volatil kedua jenis kornet memiliki ciri khusus yang dapat ditangkap dengan baik oleh PC1 dan PC2. Meskipun pemisahan antar kategori daging cukup jelas, terdapat variasi dalam satu kategori yang menunjukkan perbedaan formulasi antar merek. Misalnya, kornet sapi merek C berada jauh dari

merek A dan B, mengindikasikan komposisi volatil yang berbeda. Pada kornet babi, perbedaan antar merek juga terlihat, tetapi cluster tetap berada di area yang berdekatan sehingga menunjukkan kesamaan ciri volatil.

4.5.4 Hasil Scatter Plot 3D GC-MS



Gambar 4. 25 Hasil Scatter Plot 3D GC-MS

Plot 3D memperjelas pemisahan antara kornet sapi dan babi lebih signifikan dibandingkan grafik 2D. Dengan penambahan PC3 yang berkontribusi sekitar 20,6%, cluster sampel menjadi lebih terpisah di ruang tiga dimensi. Hal ini membantu mengurangi tumpang tindih (overlap) yang mungkin muncul saat hanya menggunakan PC1 dan PC2.

4.6 Pembahasan

4.6.1 Penerapan Teknologi Hidung Elektronik dan GC-MS dalam Identifikasi Aroma Kornet Sapi dan Babi

Penerapan teknologi hidung elektronik (E-Nose) pada penelitian ini menunjukkan bahwa sistem sensor berbasis Metal Oxide Semiconductor (MOS)

mampu menangkap pola aroma dari kornet sapi dan kornet babi dengan konsisten. Keenam sensor gas (TGS822, MQ135, MQ136, TGS2610, TGS813, MQ137) memberikan respons yang berbeda terhadap senyawa volatil yang dihasilkan oleh setiap sampel kornet. Respons ini direkam dalam bentuk perubahan resistansi yang kemudian dikonversi menjadi data digital melalui Arduino. Dengan metode pemanasan dan aliran uap volatil ke sensor, pola aroma dapat terekam dengan stabil selama 5 menit. Pengulangan sebanyak 20 kali memperkuat konsistensi data, sehingga nilai rata-rata yang diambil memberikan representasi yang kuat untuk tiap sampel. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kornet sapi dan babi menghasilkan pola sinyal sensor yang berbeda, mengindikasikan perbedaan profil volatil kedua jenis bahan.

Sementara itu, teknologi GC-MS memberikan identifikasi senyawa volatil secara spesifik dan detail. Melalui proses ekstraksi Soxhlet dan esterifikasi, asam lemak dan senyawa volatil lain berhasil diubah ke bentuk metil ester yang mudah terdeteksi. Metode GC-MS memberikan informasi akurat mengenai senyawa penyusun aroma seperti aldehida, keton, alkohol, asam lemak, dan ester. Hasil kromatogram dari masing-masing sampel menunjukkan perbedaan signifikan, baik pada jumlah peak, tinggi peak, maupun jenis senyawa yang terdeteksi. Kornet sapi cenderung didominasi senyawa lipid seperti hexadecanoic acid, octadecanoic acid, dan 9-octadecenoic acid. Sementara itu, kornet babi menunjukkan senyawa seperti cyclohexanol, benzoic acid, 2-methyl-propanoic acid, dan senyawa volatil lainnya yang menjadi penanda khas produk berbasis daging babi.

Kedua teknologi ini E-Nose dan GC-MS berfungsi saling melengkapi. E-Nose menjadi metode cepat untuk menangkap pola aroma secara keseluruhan,

sedangkan GC-MS memberikan informasi mendalam tentang senyawa penyusun aroma yang menjadi dasar pembeda. Hasil dari kedua metode menunjukkan perbedaan yang jelas antara kornet sapi dan kornet babi, sehingga keduanya terbukti efektif digunakan sebagai alat identifikasi produk pangan berbasis volatil.

4.6.2 Pola Data E-Nose Berdasarkan Analisis

Metode *Principal Component Analysis* (PCA) digunakan untuk menganalisis data hasil pengukuran E-Nose dan mengklasifikasikan pola aroma kornet sapi serta babi. PCA merupakan metode statistik multivariat yang berfungsi mereduksi dimensi data tanpa menghilangkan informasi penting (Tazi et al., 2019). Pada sistem E-Nose, setiap sensor memberikan respons berbeda terhadap aroma sampel, menghasilkan dataset dengan kompleksitas tinggi. Melalui PCA, data tersebut disederhanakan menjadi beberapa komponen utama (*principal components*) yang dapat menggambarkan hubungan dan perbedaan antar sampel.

Hasil PCA terhadap data E-Nose menunjukkan dua komponen utama, yaitu PC1 sebesar 57,95% dan PC2 sebesar 39,78%, dengan total variansi yang dijelaskan sebesar 97,73%. Angka ini menunjukkan bahwa hampir seluruh informasi dari enam sensor dapat dijelaskan hanya dengan dua dimensi utama. Dengan demikian, hasil analisis PCA memberikan kejelasan dalam menginterpretasikan pola hubungan antar aroma kornet tanpa kehilangan informasi penting dari keseluruhan data sensor. Plot hasil PCA memperlihatkan pemisahan yang sangat jelas antara kelompok aroma kornet sapi dan kornet babi. Titik-titik data kornet sapi mengelompok di satu sisi bidang koordinat, sedangkan titik-titik data kornet babi berada pada sisi yang berlawanan tanpa adanya tumpang tindih.

Hal ini membuktikan bahwa sistem E-Nose mampu mendeteksi perbedaan aroma kedua jenis kornet secara akurat. Pola pemisahan ini menegaskan bahwa profil senyawa volatil yang dihasilkan kornet sapi dan babi memang berbeda secara signifikan. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dimana E-Nose dapat membedakan aroma sapi dan babi yang diklasifikasi menggunakan metode PCA (Tazi et al., 2018)

Loading plot pada hasil PCA menggambarkan kontribusi masing-masing sensor terhadap arah komponen utama. Sensor dengan vektor panjang menunjukkan peran dominan dalam menentukan perbedaan antar sampel. Pada penelitian ini, sensor TGS2610 dan MQ136 memiliki vektor panjang yang signifikan, menunjukkan perannya yang kuat dalam mendeteksi perbedaan aroma antar jenis kornet. Kombinasi sensor ini memberikan keandalan tinggi dalam pengenalan pola aroma menggunakan sistem E-Nose.

Score plot 2D E-Nose menampilkan distribusi data aroma dalam dua dimensi utama. Distribusi titik yang terpisah antara kelompok kornet sapi dan babi menandakan keberhasilan sistem dalam melakukan klasifikasi aroma. Selain itu, scatter plot 3D juga memperkuat hasil klasifikasi dengan menampilkan jarak antar kelompok yang semakin jelas ketika ditampilkan dalam tiga dimensi. Hal ini menunjukkan bahwa sistem E-Nose memiliki sensitivitas tinggi dalam mengenali pola aroma yang berbeda antar jenis sampel. Pemisahan yang jelas antara kelompok sapi dan babi disebabkan oleh perbedaan senyawa volatil dominan yang dihasilkan. Respon sensor yang berbeda terhadap kedua kelompok senyawa ini menjadi dasar pembentukan komponen utama dalam PCA, sehingga menghasilkan pemisahan yang tegas antar kelompok. Metode PCA tidak hanya membantu visualisasi pola

data, tetapi juga berperan penting dalam mengurangi redundansi antar sensor. Dalam sistem E-Nose, beberapa sensor dapat memberikan respons yang mirip terhadap gas tertentu. PCA mengeliminasi korelasi ini dengan mengekstraksi informasi dominan saja, sehingga mempercepat proses analisis tanpa mengurangi ketepatan hasil. Pendekatan ini menjadikan PCA metode yang ideal untuk analisis data berbasis sensor.

Hasil PCA juga menunjukkan bahwa tidak ada tumpang tindih antara aroma kornet sapi dan babi, yang berarti sistem E-Nose memiliki kemampuan diskriminasi tinggi. Hal ini sangat penting dalam konteks pengawasan produk halal, karena kesalahan klasifikasi dapat berimplikasi terhadap status kehalalan produk. Dengan sistem ini, deteksi cepat dapat dilakukan tanpa memerlukan destruksi sampel atau uji kimia lanjutan, menjadikannya metode yang praktis untuk industri pangan. Secara keseluruhan, hasil analisis PCA terhadap data E-Nose membuktikan bahwa teknologi ini dapat diandalkan dalam mengidentifikasi dan mengklasifikasikan aroma kornet sapi dan babi. Sistem ini tidak hanya cepat dan efisien, tetapi juga menghasilkan klasifikasi yang akurat dan konsisten. Dengan demikian, metode ini berpotensi diterapkan secara luas dalam pengawasan mutu dan sertifikasi halal produk berbasis daging.

4.6.3 Pola Data GC-MS Berdasarkan Analisis PCA

Analisis Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS) dilakukan untuk mengetahui komposisi senyawa volatil yang terkandung dalam kornet sapi dan babi. Teknik GC-MS memiliki kemampuan tinggi dalam memisahkan, mendeteksi, dan mengidentifikasi senyawa kimia berdasarkan waktu retensi dan rasio massa terhadap muatan (m/z) (Komal Pramod et al., 2021). Dengan

menggunakan metode ini, diperoleh gambaran yang lebih mendalam mengenai karakteristik kimiawi aroma pada masing-masing sampel.

Tahap pertama dalam analisis GC-MS adalah preparasi sampel melalui proses ekstraksi menggunakan metode Soxhlet. Sebanyak 20 gram kornet kering diekstraksi dengan 200 mL pelarut n-heksana hingga pelarut menjadi jernih. Hasil ekstraksi kemudian dipekatkan dan diesterifikasi untuk menghasilkan metil ester asam lemak yang bersifat volatil dan stabil. Langkah ini memastikan bahwa senyawa yang dianalisis dalam GC-MS merupakan senyawa aroma utama yang berperan dalam pembentukan profil volatil kornet. Setelah proses preparasi selesai, sampel diuapkan dalam kolom GC dengan suhu 60–250°C. Setiap senyawa yang keluar dari kolom dicatat waktu retensinya, kemudian diidentifikasi melalui spektrum massa yang dihasilkan oleh detektor MS. Hasil analisis menghasilkan kromatogram berupa deretan puncak yang merepresentasikan senyawa-senyawa volatil dalam sampel kornet sapi dan babi. Berdasarkan hasil GC-MS, kornet sapi mengandung beberapa senyawa dominan seperti Hexadecanoic acid, methyl ester dan 9-Octadecenoic acid (Z), methyl ester. Senyawa-senyawa ini diketahui memberikan aroma khas daging sapi yang gurih, manis, dan sedikit berminyak. Kandungan aldehida berantai sedang pada kornet sapi menandakan adanya proses oksidasi lemak tidak jenuh yang umum terjadi selama pengolahan daging sapi.

Sebaliknya, hasil analisis GC-MS pada kornet babi menunjukkan dominasi oleh golongan senyawa kompleks. Senyawa-senyawa ini berkontribusi pada aroma khas daging babi yang lebih tajam, sedikit asam, dan berminyak. Keberadaan senyawa Cyclohexanemethanol merupakan indikator yang kuat untuk produk

daging babi karena senyawa ini pada penelitian ini tidak ditemukan pada Kornet sapi.

Perbedaan spektrum senyawa volatil antara kornet sapi dan babi menjadi dasar untuk melakukan analisis PCA. PCA digunakan untuk mereduksi data yang kompleks dari hasil GC-MS agar pola senyawa volatil yang berbeda dapat ditampilkan secara visual dalam bentuk grafik dua dimensi. Setiap titik pada grafik PCA mewakili sampel dengan komposisi senyawa volatil yang unik.

Sebelum dilakukan PCA, data area puncak dari setiap senyawa dinormalisasi menggunakan metode autoscaling agar tidak terjadi bias akibat perbedaan satuan atau skala intensitas. Matriks data yang dihasilkan terdiri dari kolom senyawa volatil dan baris jenis kornet, baik sapi maupun babi. Selanjutnya, dilakukan perhitungan nilai kovarians antar variabel untuk mendapatkan komponen utama yang mewakili variasi terbesar dalam data (van den Berg et al., 2006). Hasil PCA menunjukkan bahwa dua komponen utama pertama (PC1 dan PC2) mampu menjelaskan 94.72% variasi total data. Komponen utama pertama (PC1) berkontribusi sebesar 64.21% dan PC2 sebesar 30,50%. Nilai ini menunjukkan bahwa sebagian besar informasi tentang perbedaan aroma antar sampel dapat dijelaskan hanya dengan dua komponen utama, menjadikan PCA sangat efektif untuk analisis ini. score plot dari hasil PCA memperlihatkan pemisahan yang jelas antara kelompok kornet sapi dan kornet babi. Sampel kornet sapi berada pada kuadran kanan grafik, sedangkan kornet babi terkonsentrasi pada kuadran kiri. Jarak antar titik menunjukkan bahwa setiap jenis kornet memiliki profil senyawa volatil yang khas dan mudah dibedakan.

Pada score plot pca hasil GC-MS (Gambar 4.28) kelompok kornet sapi A dan B menunjukkan posisi berdekatan dalam plot PCA, menandakan kemiripan komposisi senyawa volatil sedangkan pada kornet sapi merek C memiliki pola PCA yang jauh dari kedua merk kornet lainnya, ini dimungkinkan karena komposisi campuran kornet yang berbeda sehingga membentuk profil senyawa volatil yang berbeda. Pada kelompok kornet babi 3 merek, saling berdekatan satu sama lain hal ini menunjukkan bahwa kornet babi memiliki pola yang mirip,

Loading plot menampilkan kontribusi empat kelompok senyawa ester, keton, senyawa aromatik, dan asam terhadap PC1 dan PC2. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan komponen volatil utama sangat menentukan pemisahan kedua jenis kornet. Pada hasil penelitian ini menunjukkan bahwa PCA juga dapat mendeteksi perbedaan antar merek dalam satu kategori. Pada kornet sapi, perbedaan kecil dalam intensitas hexadecanoid dan 9-octadecanoid dapat dijadikan penanda perbedaan merek. Sementara pada kornet babi, variasi kandungan cyclometanol menyebabkan perbedaan posisi antar merek. Ini membuktikan bahwa PCA memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan kecil pada profil senyawa volatil. Kelebihan penggunaan PCA pada data GC-MS adalah kemampuannya untuk menampilkan hubungan antar senyawa volatil secara visual. Senyawa dengan arah vektor yang berdekatan menunjukkan keterkaitan sumber kimia yang sama, sedangkan vektor yang berlawanan menunjukkan perbedaan tajam antar jenis aroma. Pola ini membantu peneliti memahami senyawa mana yang berperan penting dalam pembentukan aroma kornet sapi dan babi.

Dari hasil kombinasi GC-MS dan PCA, dapat disimpulkan bahwa aroma kornet sapi didominasi oleh senyawa 9-octadecenoic acid (Z)-, methyl ester dan

Hexadecanoic acid, methyl ester, yang merupakan kelompok asam lemak volatil (FAMES), sedangkan aroma kornet babi didominasi oleh senyawa golongan ester dan alkohol. Pola ini konsisten dengan sifat kimiawi kedua jenis daging tersebut dan menjadi dasar yang kuat untuk proses klasifikasi aroma berbasis analisis kimia. Selain menjadi alat verifikasi terhadap hasil E-Nose, data GC-MS yang dianalisis dengan PCA juga dapat digunakan untuk membuat model prediksi aroma menggunakan metode pembelajaran mesin. Data komponen utama (PC1 dan PC2) dapat dimanfaatkan sebagai fitur masukan dalam sistem klasifikasi otomatis yang mampu mengenali jenis kornet berdasarkan profil volatilnya.

Secara keseluruhan, hasil analisis PCA terhadap data GC-MS menunjukkan bahwa metode ini efektif dalam memisahkan dan mengklasifikasikan aroma kornet sapi dan babi. Kombinasi GC-MS dengan PCA memberikan hasil yang akurat, objektif, dan konsisten dengan data E-Nose. Dengan demikian, pendekatan ini dapat dijadikan acuan ilmiah dalam pengembangan teknologi deteksi cepat kehalalan produk olahan daging, sekaligus mendukung peningkatan standar keamanan dan mutu pangan di Indonesia.

4.7 Keterkaitan Hasil Penelitian Dalam Perspektif Islam

Hasil penelitian mengenai penerapan teknologi hidung elektronik dan *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS) yang dikombinasikan dengan metode *Principal Component Analysis* (PCA) menunjukkan bahwa pendekatan ilmiah modern mampu memberikan tingkat akurasi yang tinggi dalam membedakan karakteristik aroma kornet sapi dan babi tak hanya itu kombinasi kedua alat menggunakan PCA juga memberikan komposisi senyawa volatil suatu produk. Dalam perspektif Islam, temuan ini sejalan sebagaimana tercantum dalam QS. Al-

Baqarah ayat 172 dan 173, yang menegaskan agar manusia hanya memakan makanan yang baik dan menghindari segala bentuk makanan haram, termasuk daging babi dan turunannya. Dengan demikian, upaya ilmiah untuk membedakan kornet sapi dan babi melalui teknologi E-Nose dan GC-MS merupakan bagian dari ikhtiar menjaga kehalalan konsumsi, karena teknologi tersebut mampu mendeteksi perbedaan profil volatil yang menjadi penanda karakteristik masing-masing daging. Hasil pemisahan yang konsisten melalui PCA menunjukkan bahwa metode ilmiah dapat digunakan sebagai alat bantu yang kuat dalam memastikan kejelasan bahan baku produk pangan, sehingga konsumen Muslim dapat terhindar dari kontaminasi atau kecurangan pangan yang melibatkan bahan haram. Adapun ayat yang menjelaskan dalam perspektif islam dalam berikut ini :

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا كُلُوا مِن طَيِّبَاتِ مَا رَزَقْنَاكُمْ وَاشْكُرُوا لِلَّهِ إِن كُنتُمْ إِيَّاهُ تَعْبُدُونَ ﴿١٧٢﴾

Artinya : “ *Wahai orang-orang yang beriman, makanlah apa-apa yang baik yang Kami anugerahkan kepadamu dan bersyukurlah kepada Allah jika kamu benar-benar hanya menyembah kepada-Nya.* ”

Surah Al-Baqarah ayat 172 memerintahkan orang-orang beriman untuk mengonsumsi rezeki yang halal dan thayyib serta mensyukuri nikmat Allah. Ibnu Katsir dalam *Tafsīr al-Qur’ān al-‘Azīm* menjelaskan bahwa kata *ṭayyibāt* bermakna makanan yang halal secara hukum syariat, baik dari segi zat, cara memperoleh, maupun proses pengolahannya. Ia menegaskan bahwa konsumsi makanan yang halal dan baik berpengaruh langsung terhadap kebersihan hati, diterimanya amal ibadah, serta keberkahan hidup seorang mukmin. Oleh karena itu, segala bentuk syubhat dan ketidakjelasan dalam pangan hendaknya dihindari demi menjaga kemurnian ibadah kepada Allah (Ibnu Katsir, 1999) . Senada dengan itu, Imam Al-Qurthubi dalam *Al-Jāmi‘ li Ahkām al-Qur’ān* menafsirkan bahwa konsep *ṭayyib*

tidak hanya terbatas pada kehalalan formal, tetapi juga mencakup aspek kualitas, keamanan, kebersihan, serta tidak membahayakan tubuh manusia. Al-Qurthubi menekankan bahwa usaha untuk memastikan kehalalan dan kebaikan makanan merupakan bagian dari ketaatan kepada Allah, dan penggunaan akal serta ilmu pengetahuan dalam proses verifikasi pangan merupakan hal yang dibenarkan dalam Islam (Al-Qurthubi, 2006).

Hasil penelitian mengenai penerapan teknologi hidung elektronik dan GC-MS dengan metode PCA menunjukkan bahwa pendekatan analitik modern mampu mengidentifikasi dan mengklasifikasikan karakteristik aroma serta senyawa volatil secara objektif dan sistematis. Dalam perspektif tafsir Al-Baqarah ayat 172, teknologi ini berfungsi sebagai alat bantu ilmiah untuk mewujudkan prinsip halal dan thayyib sebagaimana ditekankan oleh Ibnu Katsir dan Al-Qurthubi. Kemampuan PCA dalam memetakan perbedaan data secara jelas membantu mengurangi ketidakpastian (*syubhat*) dalam identifikasi produk pangan, sehingga memberikan dasar ilmiah yang kuat dalam menentukan kelayakan konsumsi suatu produk. Dengan demikian, pemanfaatan teknologi e-nose dan GC-MS selaras dengan nilai Islam yang menuntut adanya kepastian (*yaqīn*) dan kehati-hatian dalam konsumsi makanan. Penelitian ini tidak hanya bernilai ilmiah, tetapi juga memiliki dimensi religius, karena mendukung pelaksanaan perintah Allah untuk mengonsumsi makanan yang halal dan thayyib. Integrasi antara tafsir Al-Qur'an dan teknologi modern ini menunjukkan bahwa sains dapat berperan sebagai sarana mewujudkan kemaslahatan umat sesuai dengan tuntunan syariat Islam.

إِنَّمَا حَرَّمَ عَلَيْكُمُ الْمَيْتَةَ وَالْدَّمَ وَلَحْمَ الْخِنْزِيرِ وَمَا أُهْلَ بِهِ ۖ لَعَنَ اللَّهُ فَمَنْ اضْطُرَّ غَيْرَ بَاغٍ وَلَا عَادٍ فَلَا إِثْمَ عَلَيْهِ إِنَّ اللَّهَ
عَفُورٌ رَّحِيمٌ ﴿١٧٣﴾

Artinya : “*Sesungguhnya Dia hanya mengharamkan atasmu bangkai, darah, daging babi, dan (daging) hewan yang disembelih dengan (menyebut nama) selain Allah. Akan tetapi, siapa yang terpaksa (memakannya), bukan karena menginginkannya dan tidak (pula) melampaui batas, maka tidak ada dosa baginya. Sesungguhnya Allah Maha Pengampun lagi Maha Penyayang.*”

Menurut Ibnu Katsir dalam *Tafsīr al-Qur’ān al-‘Azīm*, ayat ini menjelaskan secara tegas jenis-jenis makanan yang diharamkan, yaitu bangkai, darah, daging babi, dan hewan yang disembelih bukan atas nama Allah. Ibnu Katsir menekankan bahwa pengharaman daging babi bersifat mutlak, baik sedikit maupun banyak, karena zat tersebut dianggap tidak thayyib dan membawa mudarat bagi manusia. Penegasan ini menunjukkan pentingnya kejelasan identitas bahan pangan agar umat Islam tidak terjerumus pada konsumsi yang diharamkan, baik secara sengaja maupun tidak sengaja (Ibnu Katsir, 1999). Sementara itu, Imam Al-Qurthubi dalam *Al-Jāmi‘ li Ahkām al-Qur’ān* menjelaskan bahwa ayat ini menjadi landasan hukum utama dalam klasifikasi makanan halal dan haram. Al-Qurthubi menegaskan bahwa larangan daging babi berlaku dalam seluruh bentuk dan turunannya, termasuk apabila bercampur atau tersembunyi dalam produk olahan. Ia juga menambahkan bahwa adanya rukhsah (keringanan) dalam kondisi darurat tidak menghapus prinsip kehati-hatian dalam kondisi normal. Oleh karena itu, upaya identifikasi dan pencegahan pencampuran bahan haram menjadi kewajiban kolektif demi menjaga kemurnian syariat (Al-Qurthubi Muhammad ibn Ahmad, 2006).

Hasil penelitian mengenai penerapan teknologi hidung elektronik dan GC-MS dengan metode PCA memiliki keterkaitan yang kuat dengan pesan normatif Surah Al-Baqarah ayat 173. Kemampuan teknologi GC-MS dalam mengidentifikasi senyawa volatil spesifik serta kemampuan PCA dalam mengelompokkan dan membedakan pola data aroma memungkinkan deteksi

objektif terhadap perbedaan karakteristik produk pangan, termasuk produk berbahan daging. Dalam konteks keharaman daging babi yang ditegaskan oleh para mufasir, teknologi ini berperan sebagai alat verifikasi ilmiah untuk mencegah pencampuran atau pemalsuan bahan pangan yang dilarang oleh syariat. Dengan demikian, penelitian ini mendukung prinsip Islam dalam menjaga kejelasan (*bayān*) dan kepastian (*yaqīn*) terhadap kehalalan pangan. Pemanfaatan e-nose dan GC-MS sejalan dengan tafsir Ibnu Katsir dan Al-Qurthubi yang menekankan pentingnya menghindari konsumsi bahan haram secara mutlak. Integrasi metode PCA semakin memperkuat analisis dengan menyederhanakan data kompleks menjadi pola yang mudah dikenali, sehingga teknologi modern dapat menjadi sarana aplikatif dalam mewujudkan tujuan syariat Islam (*maqāṣid al-syarī‘ah*).

Kedua ayat diatas menjelaskan bahwa secara tegas makanan yang diharamkan, di antaranya daging babi, yang keharamannya bersifat mutlak. Allah menetapkan batasan-batasan ini untuk menjaga kemurnian akidah, kesehatan, serta kebersihan moral umat; namun terdapat pengecualian jika dalam keadaan darurat (*idhthirār*), yang menunjukkan fleksibilitas syariat dalam kondisi tertentu. dan memerintahkan kaum mukmin untuk mengonsumsi makanan yang *halal* dan *thayyib*, yaitu makanan yang bukan hanya secara hukum diperbolehkan, tetapi juga baik, bersih, dan memberi manfaat bagi kesehatan. Perintah ini juga mengandung nilai syukur, karena mengonsumsi makanan yang benar dan sesuai syariat merupakan bagian dari ibadah seorang muslim.

Penelitian ini memiliki hubungan yang erat dengan prinsip-prinsip Maqāṣid al-Syarī‘ah, Maqāṣid al-syarī‘ah merupakan tujuan-tujuan utama yang hendak diwujudkan oleh hukum Islam dalam mengatur kehidupan manusia. Konsep ini

berangkat dari pemahaman bahwa seluruh ketentuan syariat diturunkan untuk menghadirkan kemaslahatan (*maṣlahah*) dan menolak kerusakan (*mafsadah*). Menurut Imam Al-Ghazali, maqāṣid al-syarī‘ah bertujuan untuk menjaga lima unsur pokok kehidupan manusia, yaitu agama (ḥifẓ al-dīn), jiwa (ḥifẓ al-nafs), akal (ḥifẓ al-‘aql), keturunan (ḥifẓ al-nasl), dan harta (ḥifẓ al-māl). Kelima unsur ini menjadi fondasi dalam penetapan hukum Islam dan menjadi tolok ukur dalam menilai apakah suatu perbuatan atau kebijakan membawa kemaslahatan bagi umat manusia (Al-Ghazali, 1993). Adapun dari hasil penelitian dianalisis dari 5 aspek menurut Al-Ghazali terdapat 4 aspek yang berkaitan dengan penelitian yaitu:

1. Dalam menjaga agama (*ḥifẓ al-dīn*)

Upaya identifikasi kornet sapi dan babi melalui teknologi E-Nose dan GC-MS merupakan bentuk penjagaan terhadap agama karena membantu umat Islam memastikan bahwa konsumsi mereka sesuai dengan ketentuan halal sebagaimana diperintahkan dalam Al-Qur’an.

2. Dalam menjaga harta (*ḥifẓ al-māl*)

teknologi GC-MS yang mengungkap komposisi kimia dan potensi senyawa khas daging babi turut berkontribusi pada penjagaan jiwa, karena syariat melarang makanan tertentu sebagai bentuk perlindungan terhadap kesehatan manusia.

3. Dalam menjaga harta (ḥifẓ al-māl)

penggunaan teknologi deteksi cepat dan akurat dapat mencegah kecurangan pangan, sehingga konsumen terlindungi dari kerugian materi dan pelanggaran etik

4. Dalam menjaga akal (ḥifẓ al-‘aql)

memanfaatkan akal dan ilmu pengetahuan secara optimal untuk kemaslahatan umat, khususnya dalam memastikan kejelasan dan keamanan produk pangan yang beredar. Dengan demikian, penerapan teknologi ilmiah dalam penelitian ini sejalan dengan tujuan utama syariat dalam menjaga kemaslahatan dan menghindarkan umat dari mudarat.

Hal ini mendukung prinsip kehati-hatian dalam konsumsi sebagaimana ditekankan dalam ajaran Islam, sekaligus memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi perlindungan konsumen Muslim. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya bernilai ilmiah, tetapi juga selaras dengan prinsip Maqāṣid al-Syarī'ah, khususnya dalam menjaga agama, jiwa, akal, dan harta, karena membantu mewujudkan kemaslahatan umat melalui pemanfaatan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk memastikan kehalalan dan keamanan pangan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai penerapan teknologi Hidung Elektronik dan *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk klasifikasi aroma kornet sapi dan babi menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA), dapat disimpulkan bahwa:

1. Teknologi *E-Nose* dan GC-MS efektif digunakan dalam proses identifikasi aroma kornet sapi dan babi. Sistem E-Nose mampu menangkap pola aroma secara cepat melalui enam sensor gas berbasis MOS, sedangkan GC-MS mampu mengidentifikasi senyawa volatil secara spesifik melalui pemisahan dan deteksi molekuler. Kedua metode menunjukkan perbedaan karakter volatil yang signifikan antara kornet sapi dan babi.
2. PCA berbasis data *E-Nose* mampu mengklasifikasikan kornet sapi dan babi secara jelas. Dua komponen utama PCA (PC1 = 57,95% dan PC2 = 39,78%) menjelaskan 97,73% variasi total data. *Score plot* menunjukkan pemisahan tegas antara kelompok kornet sapi dan babi tanpa adanya tumpang tindih. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *E-Nose* cukup akurat untuk melakukan klasifikasi cepat berdasarkan profil aroma.
3. PCA berbasis data GC-MS memberikan pola klasifikasi yang kuat berdasarkan komposisi kimia volatil. Dua komponen utama (PC1 = 44,90% dan PC2 = 30,48%) menjelaskan 75,38% variasi data. Sampel kornet sapi dan babi membentuk dua kluster yang berbeda, dipengaruhi oleh senyawa penanda seperti hexadecanoic acid untuk sapi dan cyclohexanol atau benzilic acid untuk

babi. Hal ini membuktikan bahwa GC-MS dapat mengidentifikasi senyawa pembeda secara sangat rinci.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian 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

- Al-Ghazali, A. H. (1993). *Al-Mustasfa min Ilm al-Usul*. Dar al-Kutub al-Ilmiyyah.
- Al-Qurthubi Muhammad ibn Ahmad. (2006). *Al-Jāmi‘ li Ahkām al-Qur’ān*. Mu’assasah ar-Risālah.
- Andaleeb, R., Zhang, D., Jiang, S., Zhang, Y., & Liu, Y. (2022). Volatile profile and multivariant analysis of Sanhuang chicken breast in combination with Chinese 5-spice blend and garam masala. *Food Science and Human Wellness*, 12(1), 57–68. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.023>
- Cevoli, C., Cerretani, L., Gori, A., Caboni, M. F., Toschi, T. G., & Fabbri, A. (2011). Classification of Pecorino cheeses using electronic nose combined with artificial neural network and comparison with GC–MS analysis of volatile compounds. *Food Chemistry*, 129(3), 1315–1319.
- Chauhan, A. (2014). GC-MS Technique and its Analytical Applications in Science and Technology. *Journal of Analytical & Bioanalytical Techniques*, 5(6). <https://doi.org/10.4172/2155-9872.1000222>
- Chen, J., Gu, J., Zhang, R., Mao, Y., & Tian, S. (2019). Freshness evaluation of three kinds of meats based on the electronic nose. *Sensors (Switzerland)*, 19(3). <https://doi.org/10.3390/s19030605>
- Chen, Q., Yang, X., Hong, P., Liu, M., Li, Z., Zhou, C., Zhong, S., & Liu, S. (2024). GC-MS, GC-IMS, and E-Nose Analysis of Volatile Aroma Compounds in Wet-Marinated Fermented Golden Pomfret Prepared Using Different Cooking Methods. *Foods*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/foods13030390>
- Dang, L., Tian, F., Zhang, L., Kadri, C., Yin, X., Peng, X., & Liu, S. (2014). A novel classifier ensemble for recognition of multiple indoor air contaminants by an electronic nose. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 207, 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2013.12.029>
- Elyyana, N., Putri Sukma Wibowo, S., Nurayuni, T., Rahmawati Utami, M., Nurfadhila, L., Farmasi, P., Ilmu Kesehatan, F., & Singaperbangsa Karawang, U. (n.d.). Literature Review: Qualitative and Quantitative Identification Methods of Morphine in Urine Samples Literatur Review: Metode Analisis Identifikasi Kualitatif dan Kuantitatif Morfin Dalam Sampel Urine. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*.
- Feyzioglu, A., & Taspinar, Y. S. (2023). Beef Quality Classification with Reduced E-Nose Data Features According to Beef Cut Types. *Sensors*, 23(4). <https://doi.org/10.3390/s23042222>

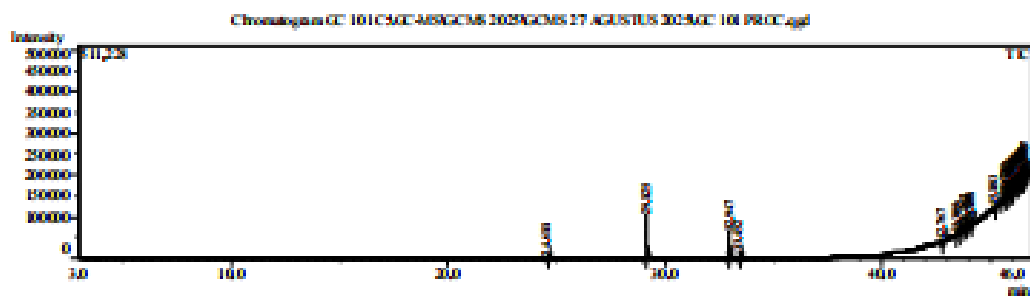
- Ghasemi-Varnamkhasti, M., Mohtasebi, S. S., Siadat, M., & Balasubramanian, S. (2009). Meat quality assessment by electronic nose (Machine Olfaction Technology). In *Sensors* (Vol. 9, Issue 8, pp. 6058–6083). <https://doi.org/10.3390/s90806058>
- Hendriyawan, M., & Aries, B. (2021). Implementation of Artificial Neural Network on Smart Electronic Nose for Pork Meat Detection. *Jurnal Informatika Dan Teknologi Informasi*, 18(3), 282–296. <https://doi.org/10.31515/telematika.v18i3.6185>
- Ibnu Katsir. (1999). *Tafsīr al-Qur'ān al-‘Aẓīm*. Dār Ṭayyibah li an-Nashr wa at-Tawzī‘.
- Indawati, I., Safirany, Z., Rahmi, N., Sekolah, H., Farmasi, T., & Cirebon, M. (2021). ANALISIS KUALITATIF DAN KUANTITATIF KANDUNGAN NITRIT DALAM KORNET YANG DIJUAL DI PASAR KOTA CIREBON. In *Analisis Kualitatif dan ... Journal of Pharmacopolium* (Vol. 4, Issue 1).
- Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. In *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* (Vol. 374, Issue 2065). Royal Society of London. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
- Kadafi, M., & Putra, R. A. (2021). ELECTRONIC NOSE (E-NOSE) DESIGN FOR ARDUINO NANO-BASED HALAL HARAM IDENTIFICATION. *Jurnal Neutrino*, 13(1), 8–12. <https://doi.org/10.18860/neu.v13i1.8903>
- Kitson, F. G., Larsen, B. S., & McEwen, C. N. (1996). *Gas chromatography and mass spectrometry: a practical guide*. Academic Press.
- Komal Pramod, S., Amol Navnath, K., Mahesh Pramod, S., Shri Babanrao, H., & Komal Pramod Hon Shri Babanrao Pachpute Vichardhara, S. (2021). A REVIEW ON GAS CHROMATOGRAPHY-MASS SPECTROMETRY (GC-MS). *Certified Journal | 741 World Journal of Pharmaceutical Research SJIF Impact Factor*, 10(3), 741–763. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/GAFMT>
- Kusairi, K., Muthmainnah, M., Imam Tazi, & Moh. Fajrul Falah. (2022). Klasifikasi Pola Aroma Teh Hijau Menggunakan Hidung Elektronik (E-Nose) Berbasis Linear Diskriminan Analisis (LDA). *JURNAL PENDIDIKAN MIPA*, 12(3), 868–874. <https://doi.org/10.37630/jpm.v12i3.682>
- Kusuma, S. T., & Kurniawati, D. A. (2021). *Makanan Halal dan Thoyyib* (Vol. 278). Tim UB Press.
- Li, C., Heinemann, P., & Sherry, R. (2007). Neural network and Bayesian network fusion models to fuse electronic nose and surface acoustic wave sensor data

- for apple defect detection. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 125(1), 301–310.
- Madani, J. (2019). *KOMPARASI SENSOR TGS DAN SENSOR MQ BERBASIS ELECTRONIC NOSE UNTUK KLASIFIKASI TEMBAKAU DENGAN METODE FUZZY-LVQ*.
- Mangale, S. (2020). *Scree Plot*. <https://sanchitamangale12.medium.com/scree-plot-733ed72c8608>
- Nasir, M. (2016). *MONITORING PERKEMBANGAN BAU TAHU BERFOLMALIN DAN TANPA FORMALIN BERBASIS E-NOSE MENGGUNAKAN METODE PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (PCA)*.
- Papadopoulou, O. S., Panagou, E. Z., Mohareb, F. R., & Nychas, G. J. E. (2013). Sensory and microbiological quality assessment of beef fillets using a portable electronic nose in tandem with support vector machine analysis. *Food Research International*, 50(1), 241–249. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.10.020>
- Pitaloka, V., Siti Nurlaela, R., Ginanjar, G., Novari, I., Putri Pratama, J., & Dwi Saputri, M. (2024). *Analisis Cemarkan Dan Pemalsuan Daging Babi Terhadap Berbagai Produk Olahan Daging Sapi Dengan Metode Polimerase Chain Reaction (PCR)* (Vol. 3).
- Safitri, A., Fahmi, Z., & Gunawan, S. (2022). Kajian penelusuran produk halal kornet daging sapi. In *Halal Research* (Vol. 2, Issue 2).
- Shiddiq, M., Fadlilah, A., Afria Ningsih, S., & Ikhsan Rahman Husein, dan. (2021). Rancang Bangun Sistem Hidung Elektronik Berbasis Sensor Gas MQ untuk Mengevaluasi Kualitas Madu. In *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika* (Vol. 09, Issue 02).
- Takami, K., Aghwan, Z. A., Sultan, I., Ali, S., Campus, S., & Darussalam, B. (2024). CONCEPTUAL FRAMEWORK OF “HALALAN THAYYIBAN” IN ISLAMIC DIETARY LAW RESEARCH. In *Journal of Halal Science and Technology* (Vol. 3, Issue 1). <https://doi.org/10.59202/jhst.v3i1.800>
- Tazi, I., Ainur, A., Falah, F., & Sinda Santika, A. (2018). CHEMOMETRIC-BASED ELECTRONIC NOSE APPLICATION TO PORK OIL AND OLIVE OIL USING THE ODOR PATTERN CLASSIFICATIONS. *Jurnal*, 10(2), 53–59. <https://doi.org/10.18860/neu.v9i1.0001>
- 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>

- Tian XiuYing, T. X., Cai Qiang, C. Q., & Zhang YongMing, Z. Y. (2012). *Rapid classification of hairtail fish and pork freshness using an electronic nose based on the PCA method.*
- van den Berg, R. A., Hoefsloot, H. C. J., Westerhuis, J. A., Smilde, A. K., & van der Werf, M. J. (2006). Centering, scaling, and transformations: Improving the biological information content of metabolomics data. *BMC Genomics*, 7. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-7-142>
- Widyatari, A. D., Rusdiana, N., & Rasydy, L. A. (2024). Analysis of Pork Fatty Acid in Cornet in The Curug Market Using Gas Chromatography. *Journal of Fundamental and Applied Pharmaceutical Science*, 4(2), 93–102. <https://doi.org/10.18196/jfaps.v4i2.18878>
- Wijaya, D. R., Sarno, R., Zulaika, E., & Sabila, S. I. (2017). Development of mobile electronic nose for beef quality monitoring. *Procedia Computer Science*, 124, 728–735. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.12.211>
- Zang, M., Wang, L., Zhang, Z., Zhang, K., Li, D., Li, X., Wang, S., Si, S., & Chen, H. (2020). Comparison of volatile flavor compounds from seven types of spiced beef by headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry (HS-SPME-GC-O-MS). *Food Science and Technology Research*, 26(1), 25–37. <https://doi.org/10.3136/FSTR.26.25>
- Zhao, J. (2025). Advancing Food Safety and Quality with GC-MS Insights. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 15. <https://doi.org/10.35248/2155-9600.25.15.61>

LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 Report Hasil GC-MS Kernet Kernet sapi merek A



Peak Report TIC						
Peak#	R.Time	Area	Area%	Height	Height%	A/W
1	24.611	15687	1.54	6622	2.26	2.27
2	29.125	300996	29.60	105054	36.00	2.83
3	32.947	188030	18.49	66522	22.72	2.83
4	35.432	27187	2.66	14777	5.05	2.52
5	42.767	25459	2.51	2687	0.92	8.90
6	43.183	14482	1.42	1940	0.66	7.46
7	43.575	28865	2.85	2460	0.84	10.53
8	45.767	31377	3.10	5766	1.97	5.82
9	45.930	23326	2.31	4324	1.48	5.44
10	46.108	8130	0.80	2758	0.94	6.65
11	46.183	40570	3.99	3216	1.10	12.62
12	46.626	89515	8.82	4953	1.69	3.94
13	46.725	17377	1.71	5090	1.72	3.48
14	46.867	8444	0.83	5006	1.71	3.88
15	46.925	14265	1.40	2782	0.95	5.13
16	46.980	13287	1.30	3028	1.02	2.63
17	46.930	48249	4.75	3683	1.24	7.86
18	46.200	89030	8.87	6442	2.20	2.93
19	46.267	23781	2.34	4698	1.59	4.89
20	46.330	17238	1.70	6793	2.30	2.56
21	46.425	21729	2.14	7284	2.49	2.88
22	46.500	26235	2.58	6354	2.17	4.60
23	46.585	23360	2.30	7664	2.62	3.05
24	46.675	21862	2.15	3800	1.30	5.76
25	46.777	88020	8.69	4679	1.60	2.14
		1016769	100.00	282884	100.00	

Method

[Comment]

----- Analytical Line 1 -----

[AOC-2014]

of Rinses with Flushant : 2
 # of Rinses with Solvent (post) : 2
 # of Rinses with Sample : 2
 Plunger Speed (Suction) : High
 Viscosity Comp. Time : 0.2 sec
 Plunger Speed (Injection) : Middle
 Syringe Insertion Speed : High
 Injection Mode : Normal
 Pumping Times : 3
 Inj. Port Dwell Time : 0.3 sec
 Terminal Air Gap : No
 Plunger Washing Speed : High
 Washing Volume : 5ul
 Syringe Station Position : 0.0 mm
 Syringe Injection Position : 0.0 mm
 Solvent Selection : 01A,B,C

[GC-2010]

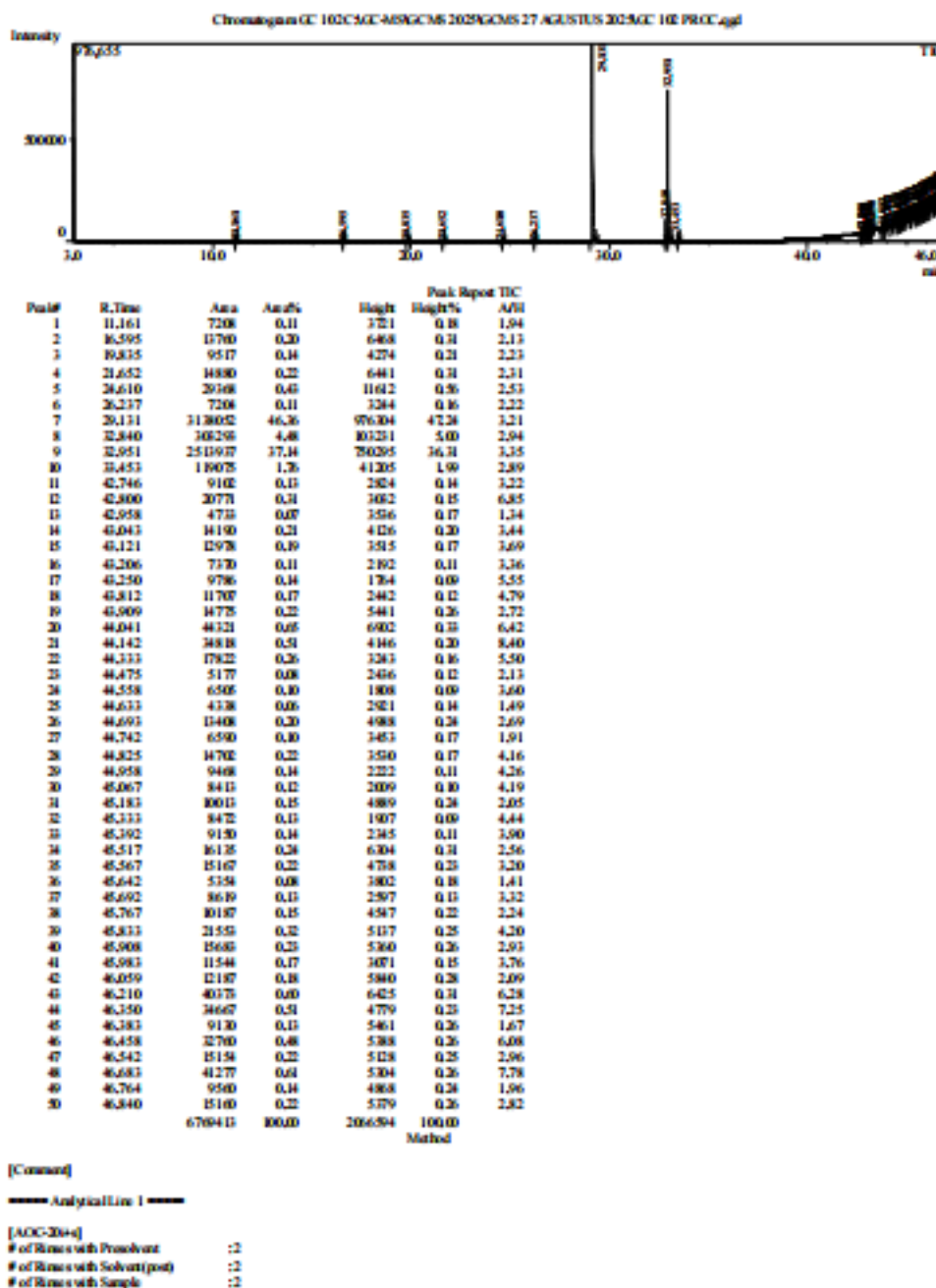
Column Oven Temp : 30.0 °C
 Injection Temp : 280.00 °C
 Injection Mode : Split
 Flow Control Mode : Pressure
 Pressure : 100.0 kPa
 Total Flow : 63.73 mL/min
 Column Flow : 1.55 mL/min
 Linear Velocity : 45.4 cm/sec
 Purge Flow : 3.0 mL/min
 Split Ratio : 400.0

Peak	Retention Time (min)	Nama Senyawa (Library Hit)	Rumus Molekul	Area (%)
1	24.61	Hexanoic acid, 2-methyl	C7H14O2	1,54
2	29.12	Hexadecanoic acid, methyl ester	C17H34O2	29,6

3	32.95	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	18,49
4	33.45	Tridecanoic acid, methyl ester	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	3,66
5	42.77	1-Benzyl-4-chloro-5-methyl-2-phenylimidazole	C ₁₇ H ₁₅ ClN ₂	2,35
6	43.38	Terephthalic acid, butyl 2-phenoxyethyl ester	C ₂₀ H ₂₂ O ₅	1,42
7	43.58	RCS-8	C ₂₅ H ₂₉ NO ₂	2,55
8	43.77	Benzamide, 5-chloro-2-iodo-	C ₇ H ₅ ClINO	3,3
9	43.95	2,2'-Dihydroxybenzo phenone, bis(trimethylsilyl) ether	C ₁₉ H ₂₆ O ₃ Si ₂	2,31
10	44.11	Ritalinic acid, 2TMS derivative	C ₁₉ H ₃₃ NO ₂ Si ₂	1,8
11	45.18	4-Hydroxyphenyllactic acid, ethyl ester, di-TMS	C ₁₇ H ₃₀ O ₄ Si ₂	3,99
12	45.63	2-Methylbenzylamine, N-decyl-N-methyl	C ₁₉ H ₃₃ N	1,92
13	45.73	Methanone, bis[4-(dimethylamino)phenyl]-	C ₁₇ H ₂₀ N ₂ O	1,73
14	45.87	Glutaric acid, 8-chlorooctyl 2,6-dimethoxyphenyl ester	C ₂₁ H ₃₁ ClO ₆	1,91
15	45.93	R(+)-Methcathinone, N-trifluoroacetyl	C ₁₂ H ₁₂ F ₃ NO ₂	1,4
16	46.00	4-Phenyl-2,6-dimethyl-3,5-diacetyl-1,4-dihydropyridine	C ₁₇ H ₁₉ NO ₂	1,3

17	46.05	Di-tert-Butyl ether	C ₈ H ₁₈ O / C ₇ H ₁₄ O ₂	4,45
18	46.20	para-Isopropylbenzoic acid trimethylsilyl ester	C ₁₃ H ₂₀ O ₂ Si	1,87
19	46.27	Tricyclo[4.2.1.0(2,5)]non-7-ene, 3,4-di(tris(trimethylsilyloxy)silyl)-	C ₂₇ H ₆₄ O ₆ Si ₈	2,24
20	46.35	3-Dimethylisopropylsilyloxyhex-4-yne (SI 62)	C ₁₁ H ₂₂ O ₂ Si	1,7
21	46.43	5-Bromo-2,2,5-trimethyl-1,3-dioxane-4,6-dione	C ₇ H ₉ BrO ₄	2,14
22	46.50	1H-Imidazole-4-acetamide, 1,3-diethyltetrahydro-N-[2-(4-methoxyphenyl)ethyl]-2,5-dioxo	C ₁₈ H ₂₅ N ₃ O ₄	2,88
23	46.58	2H-1,5-Benzodiazepin-2-one, 1,3-dihydro-3-phenyl-4-(phenylmethyl)-	C ₂₂ H ₁₈ N ₂ O	2,3
24	46.68	1-Pentamethyldisilanyl-4-trimethylsiloxybenzene	C ₁₄ H ₂₈ O ₂ Si ₃	2,15
25	46.78	Heptasiloxane, hexadecamethyl	C ₁₆ H ₄₈ O ₆ Si ₇	0,99

Lampiran 1. 2 Report Hasil GC-MS Kernet Kernet sapi merek B



Pea k	Retentio n Time (min)	Nama Senyawa (Library Hit)	Rumus Molekul	Are a (%)
1	29.13	Hexadecanoic acid, methyl ester	C17H34O 2	46,3 6
2	32.95	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	C19H36O 2	37,1 4

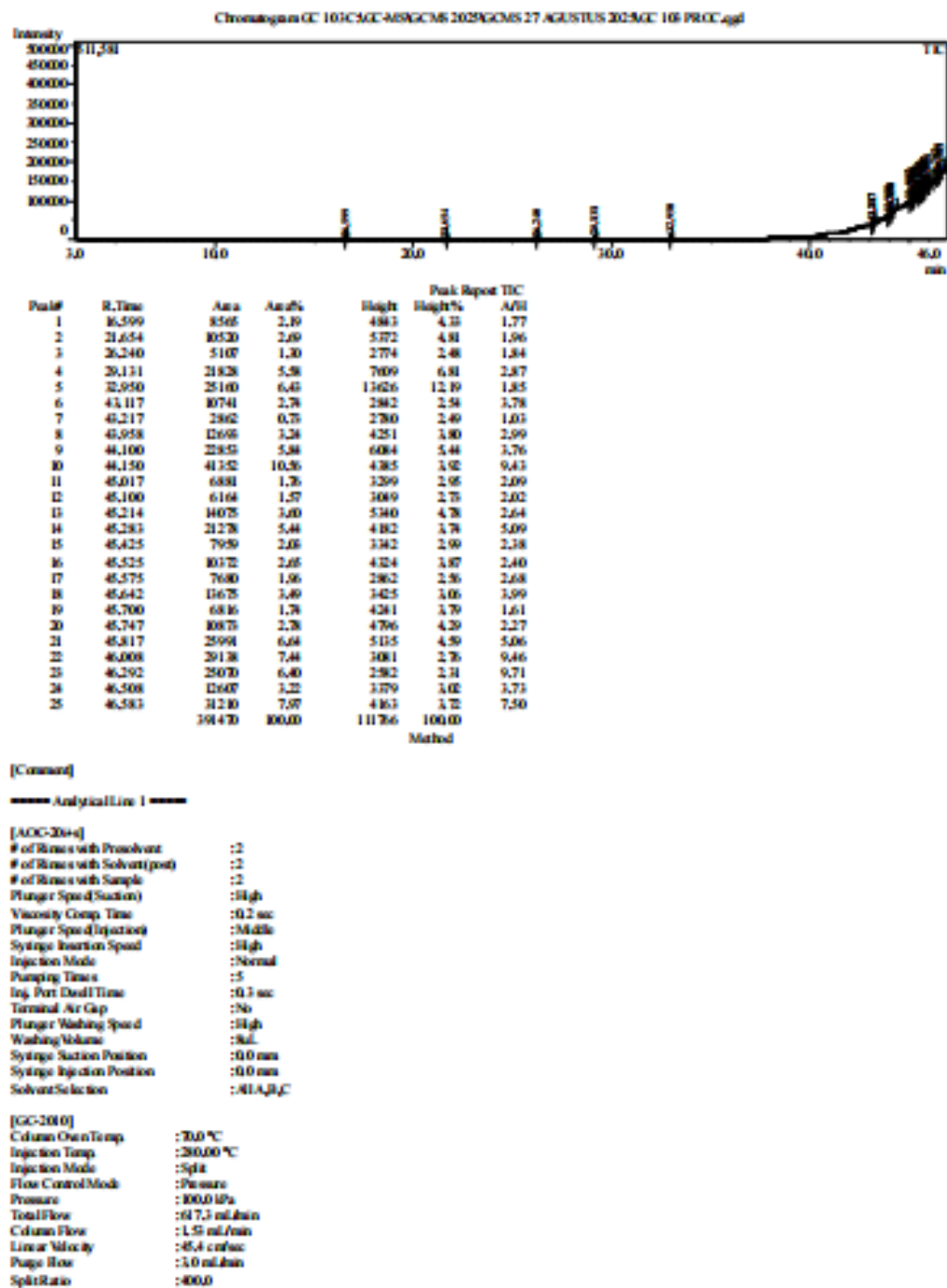
3	32.84	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	C19H34O2	4,48
4	33.45	Tridecanoic acid, methyl ester	C14H28O2	1,76
5	46.21	Hexanoic Acid	C7H14O2	3.76
6	46.68	Pyridine-2-carbonitrile, 3,5,6-trichloro-4-(4-methylphenyl)sulfonylamino)	C13H8Cl3N3O2S	0.61
7	44.04	Ritalinic acid, N-trimethylsilyl-, trimethylsilyl ester	C19H33NO2Si2	0.65
8	44.14	N-(1-Methyl-2-{4-[(1-methylethyl)sulfanyl]phenyl}-2-[(trimethylsilyl)oxy]ethyl)octan-1-amine	C23H43NOSSi	0.51
9	46,20	2,6-Difluoro-3-methylbenzamide, N-(4-bromophenyl)-	C14H10BrF2NO	0.51
10	46.45	6-Amino-1-ethyl-3H-pyrimidine-2,4-dione	C6H9N3O2	0.48
17	43.25	1-Hydroxy-3-methoxy-6-methylanthraquinone, TMS derivative	C19H20O4Si	0.14
18	43.81	1-Methoxy-4-[1-nitro-2-(4-nitrophenyl)ethenyl]benzene	C15H12N2O5	0.17
19	43.90	2-Chloro-5-iodobenzoic acid pyridin-3-ylmethylenehydrazide	C13H9ClI2N3O	0.22
20	44.04	Ritalinic acid, N-trimethylsilyl-, trimethylsilyl ester	C19H33NO2Si2	0.65
21	44.14	N-(1-Methyl-2-{4-[(1-methylethyl)sulfanyl]	C23H43NOSSi	0.51

		yl]phenyl}-2- [(trimethylsilyl)oxy]ethyl)octan-1- amine		
22	44.33	Heptasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9, 11,1	C14H44O 6Si7	0.26
23	44.47	3-(Acetyl)oxy- 7,8,3'- trimethoxyflavone	C20H18O 7	0.08
24	44.55	Acenaphthylene, 1,2- bis(trimethylsilylox y)-	C18H24O 2Si2	0.10
25	44.63	Butanamide, N- (2,4,5- trichlorophenyl)-	C10H10Cl 3NO	0.06
26	44.69	1-((1- Methoxypropan-2- yl)oxy)propan-2-yl 2,3,4,5,6- pentafluorobenzoat e	C14H15F 5O4	0.20
27	44.74	Silane, diethyl(3,5- dimethylphenoxy)b utyloxy	C16H28O 2Si	0.10
29	44.95	Myristic acid, 2-(1- octadecenyl)eth yl ester, (Z)-	C34H66O 3	0.14
30	45.06	OCTA, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9, 11,11,13,13- tetradecamethyl	C14H44O 6Si7	0.12
31	45.18	4- Hydroxyphenyllact ic acid, ethyl ester, di-TMS	C17H30O 4Si2	0.15
32	45.33	L-Tyrosine, O- trimethylsilyl-, ethyl ester	C14H23N O3Si	0.13
33	45.39	4- Hydroxyphenyllact ic acid, ethyl ester, di-TMS	C17H30O 4Si2	0.14
34	45.51	Mandelic acid, 2TMS derivative	C14H24O 3Si2	0.24

35	45.56	Methyl 15-methoxyhexadecanoate	C ₁₈ H ₃₆ O ₃	0.22
36	45.64	Tetramethyl orthocarbonate	C ₅ H ₁₂ O ₄	0.08
37	45.69	Methyl 3-(methylthio)butanoate	C ₆ H ₁₂ O ₂ S	0.13
38	45.76	L-Alanine, N-benzoyl-, methyl ester	C ₁₁ H ₁₃ NO ₃	0.15
39	45.83	1-Glycero-2-benzamido-1-phenylpropane	C ₁₆ H ₁₇ NO	0.32
40	45.90	Glutaric acid, 2,6-dimethoxyphenyl undecyl ester	C ₂₄ H ₃₈ O ₆	0.23
41	45.98	1H-Indole, 5-chloro-2,3-dihydro-1,3,3-trimethyl-2-methylene	C ₁₂ H ₁₄ ClN	0.17
42	46.05	1H-Indole, 5-chloro-2,3-dihydro-1,3,3-trimethyl-2-methylene	C ₁₂ H ₁₄ ClN	0.18
43	46.21	Heptasiloxane, hexadecamethyl	C ₁₆ H ₄₈ O ₆ Si ₇	0.60
44	46,.20	2,6-Difluoro-3-methylbenzamide, N-(4-bromophenyl)-	C ₁₄ H ₁₀ BrF ₂ NO	0.51
45	46.38	4-Hydroxy-6-methyl-1-thiophen-2-ylmethyl-1H-pyridin-2-one	C ₁₁ H ₁₁ NO ₂ S	0.13
46	46.45	6-Amino-1-ethyl-3H-pyrimidine-2,4-dione	C ₆ H ₉ N ₃ O ₂	0.48
47	46.54	1,2,4-Benzenetricarboxylic acid, trimethyl ester	C ₁₂ H ₁₂ O ₆	0.22
48	46.68	Pyridine-2-carbonitrile, 3,5,6-trichloro-4-(4-methylphenylsulfonylamino)-	C ₁₃ H ₈ Cl ₃ N ₃ O ₂ S	0.61

49	46.76	1- Pentamethyldisilan yl-4- trimethylsiloxyben zene	C ₁₄ H ₂₈ O Si ₃	0.14
50	46.84	Heptasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9, 11,11,13,13- tetradecamethyl	C ₁₄ H ₄₄ O 6Si ₇	0.22

Lampiran 1. 3 Report Hasil GC-MS Kernet Kernet sapi merek C

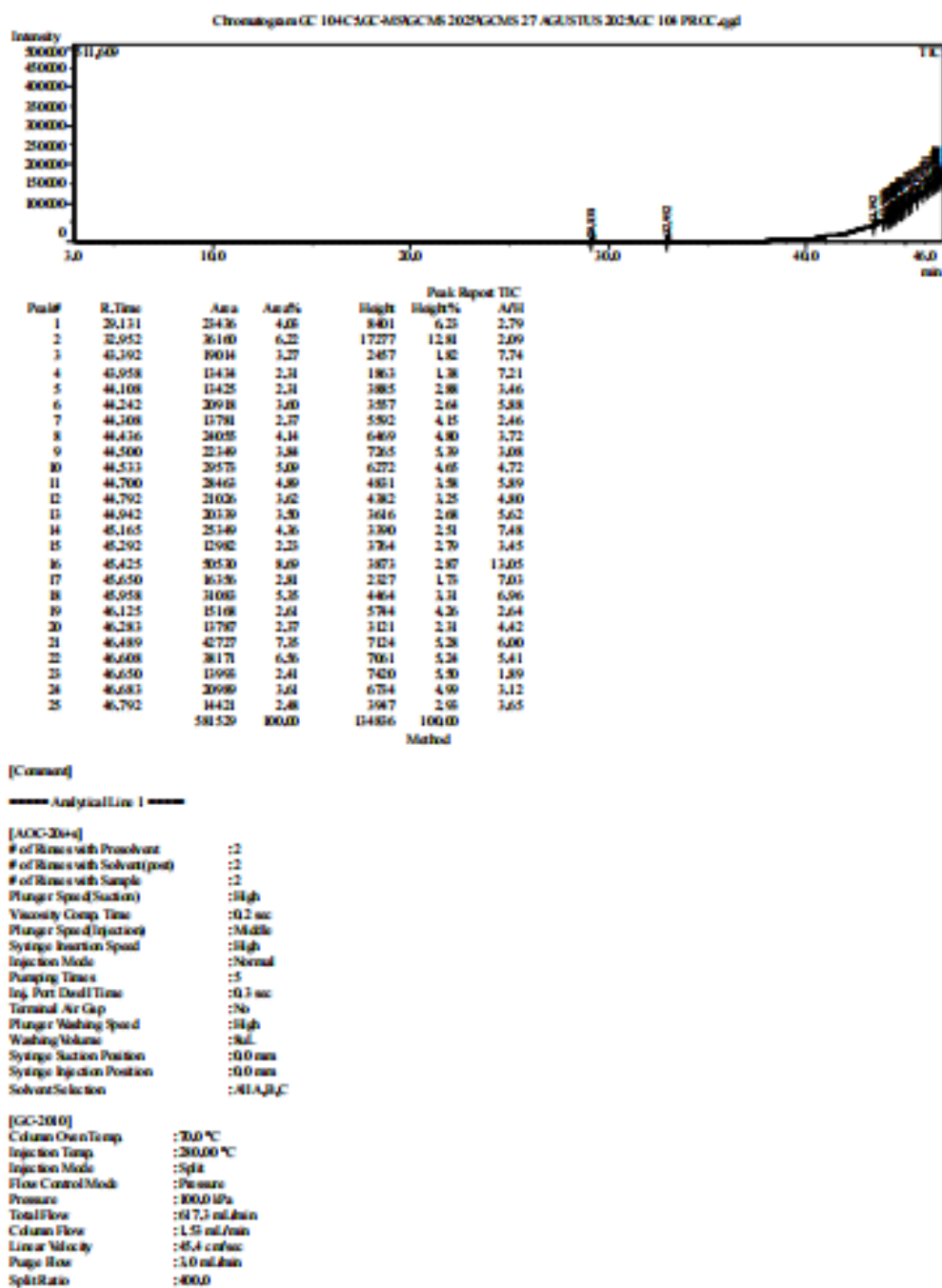


Peak	Retention Time (min)	Nama Senyawa (Library Hit)	Rumus Molekul	Area (%)
1	16.59	Butane, 2,2-dimethyl	C6H14	2,19
2	21.65	Hexadecanoic acid	C7H14O2	2,69

3	26.24	Tridecanoic acid	C ₁₄ H ₂₈ O 2	1,3
4	29.13	Hexanoic acid, 2-methyl	C ₇ H ₁₄ O ₂	5,58
5	32.95	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	C ₁₉ H ₃₆ O 2	6,43
6	43.11	Orthoformic acid, tri-sec-butyl ester	C ₁₃ H ₂₈ O 3	2,74
7	43.21	Carbonic acid, butyl isohexyl ester	C ₁₁ H ₂₂ O 3	0,73
8	43.95	6-Methyl-2-oxo-4-(4-trifluoromethyl-phenyl)-1,2,3,4-tetrahydro-pyrimidine-5-carboxylic acid 2-methylsulfanyl-ethyl ester	C ₁₆ H ₁₇ F 3N ₂ O ₃ S	3,24
10	44.15	3,4-Dimethoxybenzoylformic acid, TMS	C ₁₃ H ₁₈ O 5Si	10,5 6
11	45.01	Heptasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13-tetradecamethyl	C ₁₄ H ₄₄ O 6Si ₇	1,76
12	45.10	4-Benzyloxy-1-di(tert-butyl)silyloxybenzene	C ₂₁ H ₃₀ O 2Si	1,57
13	45.21	Pentasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9-decamethyl	C ₁₀ H ₃₂ O 4Si ₅	3,6
14	45.28	Pentasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9-decamethyl	C ₁₀ H ₃₂ O 4Si ₅	5,44
16	45.52	4-Hydroxyphenyllactic acid, ethyl ester, di-TMS	C ₁₇ H ₃₀ O 4Si ₂	2,65
17	45.57	Hexasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11-dodecamethyl	C ₁₂ H ₃₈ O 5Si ₆	1,96
18	45.64	Stannane, methylenebis(trimethyl)	C ₇ H ₂₀ Sn 2	3,49
19	45.70	Methyl 3-hydroxy-3-phenylvalerate	C ₁₂ H ₁₆ O 3	1,74

20	45.74	4-Hydroxyphenyllactic acid, ethyl ester, di-TMS	C17H30O 4Si2	2,78
21	45.81	Benzeneacetic acid, 3,4-bis[(trimethylsilyl)oxy]-, methyl ester	C15H26O 4Si2	6,64
22	46.00	Ethene, tetramethoxy	C6H12O4	7,44
23	46.29	Benfluorex	C19H20F 3NO2	6,4
24	46.50	1-Isopropoxy-5-propyl-2,3-bis-trimethylsilyl-1,2-dihydroborinine	C17H35B OSi2	3,22
25	46.58	Hexasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11-dodecamethyl	C12H38O 5Si6	7,79

Lampiran 1. 4 Report Hasil GC-MS Kernet Kernet babi merek A



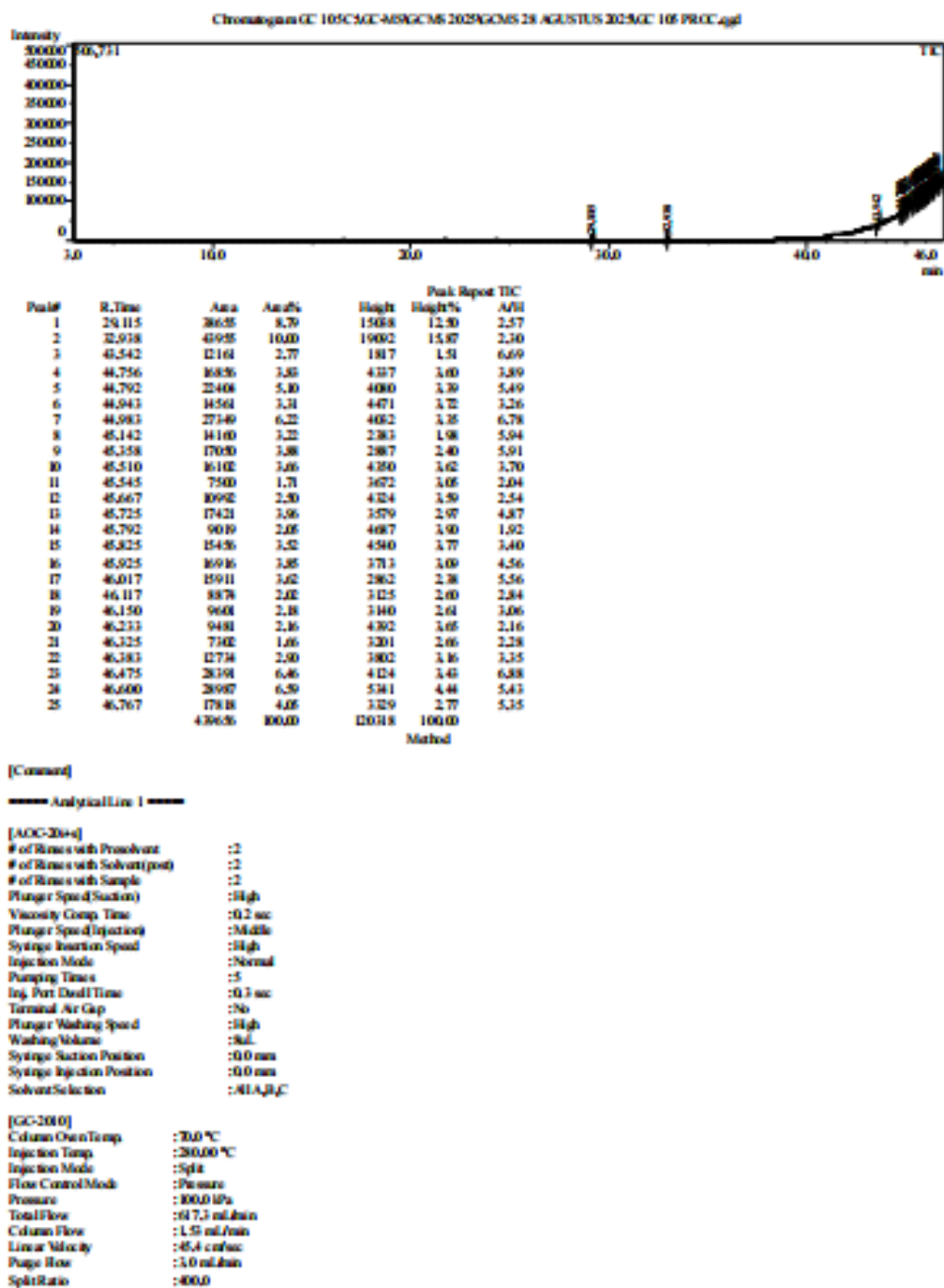
Peak	Retention Time (min)	Nama Senyawa (Library Hit)	Rumus Molekul	Area (%)
1	29.13	Hexanoic acid, 2-methyl	C7H14O2	0,76

2	32.95	Cyclohexane methanol, chlorodifluor oacetate	C ₉ H ₁₃ ClF ₂ O ₂	6,22
3	43.39	Tridecanoic acid	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	0,56
4	43.95	2- Diphenyl(tert - butyl)silylox ynaphthalene	C ₂₆ H ₂₆ OSi	2,31
5	44.10	3- Methylbenza mide oxime, O-(tert.- butyldimethy lsilyl)-	C ₁₄ H ₂₄ N ₂ O Si	2,31
6	44.24	1-Methoxy- 4-[1-nitro-2- (4- nitrophenyl)e thenyl]benze ne	C ₁₅ H ₁₂ N ₂ O 5	3,6
7	44.30	Octasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7, 7,9,9,11,11,1 3,13,15,15- hexadecamet hyl	C ₁₆ H ₅₀ O ₇ Si 8	2,37
8	44.43	(1-Methyl-2- {4-[(1- methylethyl)s ulfanyl]phen yl}-2- [(trimethylsil yl)oxy]ethyl) octan-1- amine	C ₂₃ H ₄₃ NOS Si	4,14
9	44.50	2,2'- Dihydroxybe nzophenone, bis(trimethyls ilyl) ether	C ₁₉ H ₂₆ O ₃ Si 2	3,84
10	44.53	2,2'- Dihydroxybe nzophenone, bis(trimethyls ilyl) ether	C ₁₉ H ₂₆ O ₃ Si 2	5,09

		Hexasiloxane		
		, 1,1,3,3,5,5,7, 7,9,9,11,11- dodecamethy	C12H38O5Si	
11	44.70	1	6	4,89
		Silane, trimethyl[2,2, 2-trifluoro- 1,1- bis(trifluoro methyl)ethox y]-	C7H9F9OSi	3,62
12	44.79			
		Acenaphthyle ne, 1,2- bis(trimethyls ilyloxy)-	C18H24O2Si	
13	44.94		2	3,5
		[1,1'- Biphenyl]-4- carbonitrile, 4'-butoxy	C17H17NO	4,36
14	45.16			
		Hexasiloxane		
		, 1,1,3,3,5,5,7, 7,9,9,11,11- dodecamethy	C12H38O5Si	
15	45.29	1	6	2,23
		Benzilic acid, 2TMS derivative	C20H28O3Si	
16	45.42		2	8,69
		Tris(tert- butyldimethy lsilyloxy)arsa ne	C18H45AsO 3Si3	2,81
17	45.65			
		Cobaltocene, decamethyl	C20H30Co	5,35
18	45.95			
		2-Hydroxy-5- methylbenzo phenone, trimethylsilyl ether	C17H20O2Si	2,61
19	46.12			
		Ethyl (2- (benzoyloxy) ethyl)carbam ate	C12H15NO4	2,37
20	46.28			
		benzaldehyde , 4-	C12H17NO2	7,35
21	46.48			

		(diethylamin o)-2-methoxy		
		[1,1'- Biphenyl]-4- carbonitrile, 4'-ethyl	C15H13N	6,56
22	46.60			
		Phenanthrene , 2-dodecyl	C26H34	2,41
23	46.65			
		Hexasiloxane , 1,1,3,3,5,5,7, 7,9,9,11,11- dodecamethy l	C12H38O5Si 6	3,61
24	46.68			
		Cyclopentane carboxylic acid, 2- formyl-4,6- dichlorophen yl ester	C13H12Cl2O 3	2,48
25	46.79			

Lampiran 1. 5 Report Hasil Uji GC-MS Kornet Kornet babi merek B

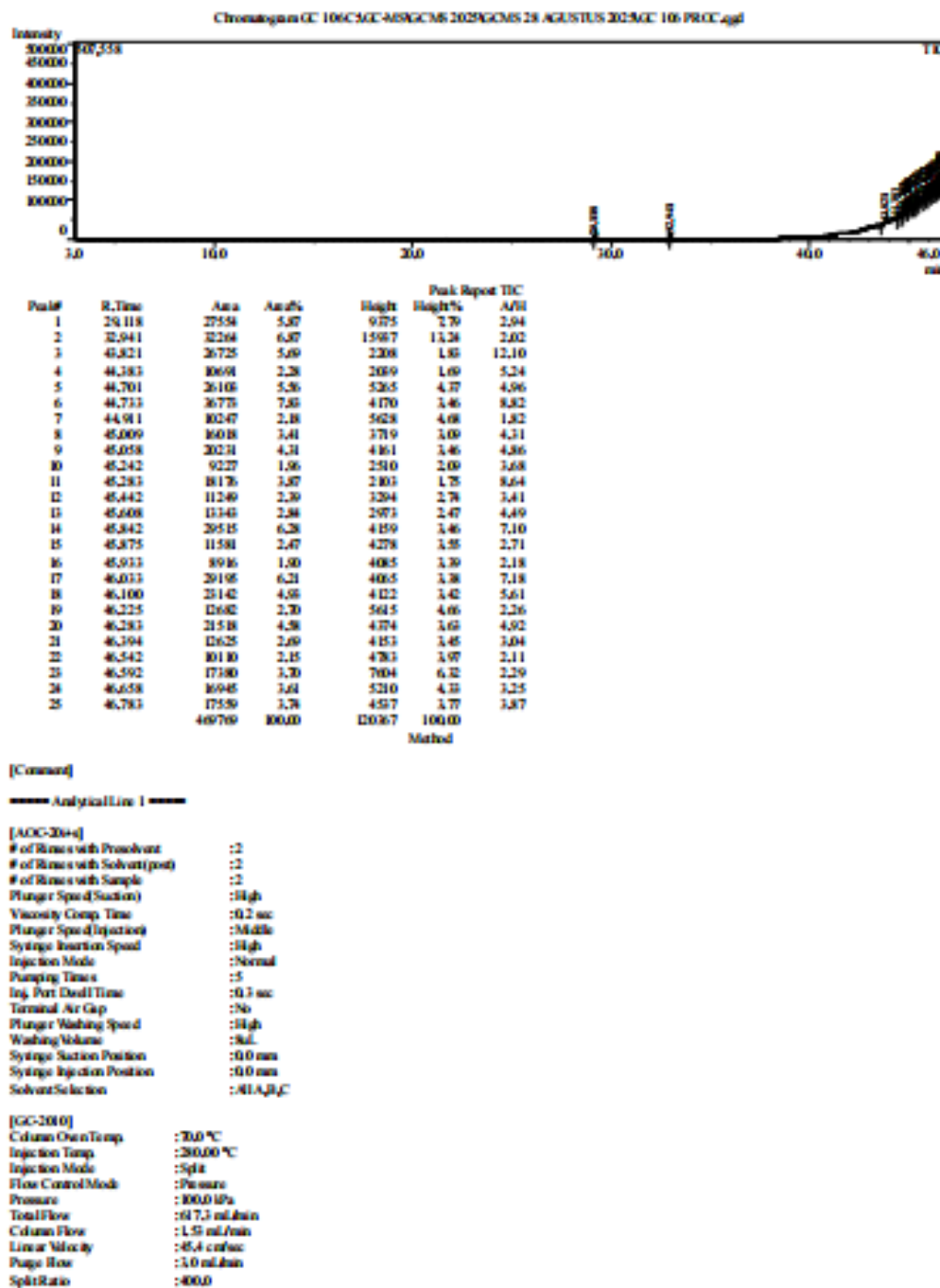


Peak	Retention Time (min)	Nama Senyawa (Library Hit)	Rumus Molekul	Area (%)
1	29.11	Tridecanoic acid, methyl ester	C14H28O	0,86

		Cyclohexanemethanol, chlorodifluoroacetate	C ₉ H ₁₃ ClF ₂ O ₂	10,00
2	32.93			
3	43.54	Hexanoic acid	C ₇ H ₁₄ O ₂	0,70
4	44.75	Uracil, 2TBDMS derivative	C ₁₆ H ₃₂ N ₂ O ₂ Si ₂	3,83
5	44.79	Succinic acid, 2,2,3,3,4,4,4-heptafluorobutyl 2-methylhex-3-yl ester	C ₁₅ H ₂₁ F ₇ O ₄	5,10
6	44.94	2,2'-Dihydroxybenzophenone, bis(trimethylsilyl) ether	C ₁₉ H ₂₆ O ₃ Si ₂	3,31
7	44.98	Phthalic acid, 8-chlorooctyl propyl ester	C ₁₉ H ₂₇ ClO ₄	6,22
8	45.14	Heptasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13-tetradecamethyl	C ₁₄ H ₄₄ O ₆ Si ₇	3,22
9	45.35	1,1,1,3,5,5,5-Heptamethyltrisiloxane	C ₇ H ₂₂ O ₂ Si ₃	3,88
10	45.51	Terephthalic acid, 2-methylpent-3-yl tridecyl ester	C ₂₇ H ₄₄ O ₄	3,66
11	45.54	[1,1'-Biphenyl]-4-carbonitrile, 4'-butoxy	C ₁₇ H ₁₇ N ₂ O	1,71
12	45.66	Benzilic acid, 2TMS derivative	C ₂₀ H ₂₈ O ₃ Si ₂	2,50
13	45.72	Terephthalic acid, di(2,2,3,3,4,4,4-heptafluorobutyl) ester	C ₁₆ H ₈ F ₁₄ O ₄	3,96
14	45.79	Carvacrol, TBDMS derivative	C ₁₆ H ₂₈ O ₂ Si	2,05
15	45.82	Hexasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11-dodecamethyl	C ₁₂ H ₃₈ O ₅ Si ₆	3,52
16	45.92	Cyclotrisiloxane, hexamethyl	C ₆ H ₁₈ O ₃ Si ₃	3,85

17	46.01	Silicic acid, diethyl bis(trimethylsilyl) ester	C ₁₀ H ₂₈ O 4Si ₃	3,62
18	46.11	4- Hydroxyphenyllac tic acid, ethyl ester, di-TMS	C ₁₇ H ₃₀ O 4Si ₂	2,02
19	46.15	Stannane, methylenebis[trim ethyl	C ₇ H ₂₀ Sn 2	2,18
20	46.23	4-Methylbenzyl alcohol, TBDMS derivative	C ₁₄ H ₂₄ O Si	2,16
21	46.32	4- Hydroxyphenyllac tic acid, ethyl ester, di-TMS	C ₁₇ H ₃₀ O 4Si ₂	1,66
22	46.38	3,4,5- Trimethoxymande lic acid, di-TMS	C ₁₇ H ₃₀ O 6Si ₂	2,90
23	46.47	2,3,5- Trimethoxymande lic acid, di-TMS	C ₁₇ H ₃₀ O 6Si ₂	6,46
24	46.60	Hexasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9, 11,11- dodecamethyl	C ₁₂ H ₃₈ O 5Si ₆	6,59
25	46.76	Carvacrol, TBDMS derivative	C ₁₆ H ₂₈ O Si	4,05

Lampiran 1. 6 Report Hasil Uji GC-MS Kornet Kornet babi merek C



Peak	Retention Time (min)	Nama Senyawa (Library Hit)	Rumus Molekul	Area (%)
1	29.11	Hexanoid acid	C7H14O2	0,96
2	32.94	Tridecanoid acid	C14H28O2	0,80

3	43.82	Cyclohexanemethanol, chlorodifluoroacetate	C ₉ H ₁₃ ClF ₂ O ₂	6,87
4	44.38	p-((Dimethylcarbamoylmethyl)amino)-N,N-dimethylbenzamide	C ₁₃ H ₁₉ N ₃ O ₂	2,28
5	44.70	Benzamide, 2-amino-3,5-dinitro-N,N-bis(2-hydroxyethyl)-	C ₁₁ H ₁₄ N ₄ O ₇	5,56
6	44.73	Cobalt, (.eta.5-2,4-cyclopentadien-1-yl)[[(2,3,4,5-.eta.)-2,4-cyclopentadien-1-yl]benzene]-	C ₁₆ H ₁₅ Co	7,8
7	44.91	2,4,6-Tris(trimethylsilyl)cyclohexane-1,3,5-trione	C ₁₅ H ₃₀ O ₃ Si ₃	2,18
8	45.00	Phthalic acid, 4-cyanophenyl nonyl ester	C ₂₄ H ₂₇ N ₂ O ₄	3,41
9	45.05	Phthalic acid, 4-cyanophenyl nonyl ester	C ₂₄ H ₂₇ N ₂ O ₄	4,31
10	45.24	Heptasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13-tetradecamethyl	C ₁₄ H ₄₄ O ₆ Si ₇	1,96
11	45.28	Hexasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11-dodecamethyl	C ₁₂ H ₃₈ O ₅ Si ₆	3,87
12	45.44	Hexasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11-dodecamethyl	C ₁₂ H ₃₈ O ₅ Si ₆	2,39
13	45.60	Benzo[b]benzofuran-4-carboxamide, N-(2-methoxy-5-methylphenyl)-	C ₂₁ H ₁₇ N ₂ O ₃	2,84
14	45.84	p-(Heptyloxy)phenyl 4'-(2-methylbutyl)-4-biphenylcarboxylate	C ₃₁ H ₃₈ O ₃	6,28
15	45.87	Ethyl 3-(p-methoxyphenyl)-3-(3-methyl-2-benzofuranyl)propionate	C ₂₁ H ₂₂ O ₄	2,47

16	45.93	Benzilic acid, 2TMS derivative	C ₂₀ H ₂₈ O 3Si ₂	1,90
17	46.03	Pentasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9-decamethyl	C ₁₀ H ₃₂ O 4Si ₅	6,21
18	46.10	Pentasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9-decamethyl	C ₁₀ H ₃₂ O 4Si ₅	4,93
19	46.22	2-Hydroxy-benzoic acid, N'-acridin-9-yl-hydrazide	C ₂₀ H ₁₅ N 3O ₂	2,70
20	46.28	5H-1,2,4-triazolo[4,3-b][1,2,4]triazepin-6(7H)-one, 8-methyl-3-[3-(4-nitrophenyl)propyl]-	C ₁₅ H ₁₆ N 6O ₃	4,58
21	46.39	3-Ethoxy-1,1,1,5,5,5-hexamethyl-3-(trimethylsiloxy)trisiloxane	C ₁₁ H ₃₂ O 4Si ₄	2,69
22	46.54	2-(tert.-Butyldimethylsilyl)oxybenzylidene acetophenone	C ₂₁ H ₂₆ O 2Si	2,15
23	46.59	Bilobol C ₁₇ :1 (2TMS)	C ₂₉ H ₅₄ O 2Si ₂	3,70
24	46.65	Morphinan, 6,7-didehydro-3-methoxy-17-methyl-, (14.alpha.)-	C ₁₈ H ₂₃ N O	3,61
25	46.78	N-(2,6-Diethylphenyl)-1,1,1-trifluoromethane sulfonamide	C ₁₁ H ₁₄ F 3NO ₂ S	3,74