KLASIFIKASI AROMA VOLATIL ORGANIC COMPONEN (VOC) DARI BAHAN GELATIN (SAPI, BABI, DAN IKAN) BERBASIS E-NOSE MENGGUNAKAN METODE *LINIER DISCRIMINANT ANALYSIS* (LDA) DAN *PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS* (PCA)

SKRIPSI

Oleh :

JOVITA YUMNA KULTUM

NIM. 210604110024

PROGRAM STUDI FISIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM

MALANG

2025

KLASIFIKASI AROMA VOLATIL ORGANIC COMPONEN (VOC) DARI BAHAN GELATIN (SAPI, BABI, DAN IKAN) BERBASIS E-NOSE MENGGUNAKAN METODE *LINIER DISCRIMINANT ANALYSIS* (LDA) DAN *PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS* (PCA)

SKRIPSI

Diajukan kepada:
Fakultas Sains Dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Penyelesaian Program Sarjana Sains

Oleh :
JOVITA YUMNA KULTUM
NIM. 210605110024

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

LEMBAR PERSETUJUAN

KLASIFIKASI AROMA VOLATIL ORGANIC COMPONEN (VOC) DARI BAHAN GELATIN (SAPI, BABI, DAN IKAN) BERBASIS E-NOSE MENGGUNAKAN METODE *LINIER DISCRIMINANT ANALYSIS* (LDA) DAN *PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS* (PCA)

SKRIPSI

Oleh:

JOVITA YUMNA KULTUM
NIM. 210604110024

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada tanggal, 23 Juni 2025

Pembimbing 1	Pembimbing 2
Dr. Imam Tazi, M.Si	Umaiyatus Syarifah, MA
NIP. 19740730 200312 1 002	NIP. 19820925 200901 2 005

Mengetahui,
Ketua Program Studi

Dr. Imam Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

HALAMAN PENGESAHAN

KLASIFIKASI AROMA VOLATIL ORGANIC COMPONEN (VOC) DARI BAHAN GELATIN (SAPI, BABI, DAN IKAN) BERBASIS E-NOSE MENGGUNAKAN METODE *LINIER DISCRIMINANT ANALYSIS* (LDA) DAN *PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS* (PCA)

SKRIPSI

Oleh:
JOVITA YUMNA KULTUM
NIM.210604110024

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Mmeperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal, 24 Juni 2025

Penguji Utama	Farid Samsu Hananto, S.Si., M.T NIP. 19740513 200312 1 001	
Ketua Penguji	Arista Romadani, M.Sc NIP. 19900905 201903 1 018	
Sekertaris Penguji I	Dr. Imam Tazi, M.Si NIP. 19740730 200312 1 002	
Anggota Penguji II	Umaiyatus Syarifah, MA NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengetahui,
Ketua Program Studi

Dr. Imam Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama	:	Jovita Yumna Kultum
NIM	:	210604110024
Jurusan	:	Fisika
Fakultas	:	Sains dan Teknologi
Judul Penelitian	:	KLASIFIKASI AROMA VOLATIL ORGANIC COMPONEN (VOC) DARI BAHAN GELATIN (SAPI, BABI, DAN IKAN) BERBASIS E-NOSE MENGGUNAKAN METODE *LINIER DISCRIMINANT ANALYSIS*(LDA) DAN *PRINCIPALCOMPONENT ANALYSIS* (PCA)

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian sayaini tidak terdapat unsur penjiplakan karya penelitian yang dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertuls 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, 20 Juni 2025
Yang Membuat Pernyataan,

Jovita Yumna Kultum
NIM. 210604110024

MOTTO

“Berhenti bukan pilihan, selama tujuan belum tercapai.”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan segenap rasa syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya. Shalawat serta salam senantiasa kita panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW, sang teladan umat, pembawa risalah kebenaran dan cahaya penerang bagi seluruh alam. Skripsi ini penulis persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua tercinta: Ayahanda Agus Riyanto dan Ibunda Ina Wati ,yang selalu mendoakan, memberi kasih sayang, dan selalu menjadi sumber kekuatan serta inspirasi penulis. Terima kasih atas semua nasihat, dukungan moral dan materi yang telah kalian berikan. Setiap perkataan Ayahanda dan Ibunda yang selalu menjadi motivasi terbesar dalam menyelesaikan skripsi ini. Tanpa Ayahanda dan Ibunda, penulis bukanlah siapa-siapa.
2. Adek penulis: Untuk adek perempuan saya, Shafa Zanada terimakasih atas dukungan, nasihat, dan selalu menemani penulis. Kakak adalah kakak terhebat di hidupku, yang selalu menguatkan penulis di mana pun tempatnya.
3. Para dosen dan pembimbing skripsi: Kepada Bapak/Ibu dosen yang telah memberikan ilmu dan bimbingan selama masa studi, khususnya kepada pembimbing skripsi penulis, Bapak Imam Tazi, M.Si yang dengan penuh kesabaran telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan, koreksi, dan dukungan.
4. Para peneliti Brin Serpong: Kepada Bapak peneliti yang telah memberi semangat dan kemandirian dalam proses belajar. Terimakasih kepada Jalu Ahmad Prakosa, S.Si., M.Eng dan Dr. Eng. Wildan Panji Tresna, M. T.
5. Sahabat-sahabat terbaik: Untuk teman-teman seperjuangan, terkhusus Reza Aulia Fahmi, baik dalam suka maupun duka selama masa kuliah, terima kasih atas semangat, dukungan, dan kebersamaan yang tidak akan pernah saya lupakan.
6. Fauzil Hidayatullah seorang teman dekat saya yang telah memberi segala dukungan,baik dalam bentuk kenyamanan,semangat,

motivasi,maupun kebersamaan yang telah memberikan warna tersendiri dalam perjalanan ini. Dukungan dan kebaikanmu sangat berarti dan telah membantu saya melalui berbagai tantangan hingga akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Terima kasih telah menjadi sandaran yang membuat saya terus melangkah dan tumbuh hingga akhirnya skripsi ini dapat saya selesaikan

7. Sahabat terdekat saya yang bernama Ningrum Balgis Humairah yang selalu ku panggil dengan nama (ayra,ayy) yang selalu mendukung dan menguatkan saya dalam hal apapun dalam hal yang saya alamai selama diperantauan ini.
8. Ponakan saya yang tersayang semesta & senja yang selalu membuat saya semangat untuk menjalani hidup dan senantiasa selalu menghibur saya.
9. Almamater tercinta: Universitas Maulana Malik Ibrahim Malang, Fakultas Sains dan Teknologi yang telah menjadi tempat saya menimba ilmu. Terima kasih atas kesempatan dan fasilitas yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan proses pembelajaran hingga tahap ini.
10. Penulis: Terima kasih untuk diriku yang tidak pernah menyerah, meski terkadang merasa lelah dan putus asa. Terima kasih telah bertahan dan terus berjuang. Semoga setiap langkah yang telah diambil menjadi pelajaran dan bekal berharga di masa depan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan terhadap kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, taufik serta hidayah-nya, dimana penulis dapat menyelesaikan dan menulis skripsi yang berjudul "KLASIFIKASI AROMA *VOLATIL ORGANIC COMPONEN* DARI GELATIN SAPI,BABI, DAN IKAN BERBASIS E-NOSE MENGGUNAKAN METODE LDA DAN PCA" yang merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh guna memenuhi tugas dan kewajiban dalam penulisan skripsi di Prodi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Tak lupa shalawat serta salam tercurahkan kepada Rasulullah SAW.

Pada kesempatan ini, tak lupa penulis sampaikan banyak – banyak terima kasih kepada seluruh pihak yag telah membantu dan memberikan arahan serta kritik dan saran dalam penulisan skripsi ini, yaitu kepada:

1. Prof. Dr. H. Zainuddin, M.A selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Hariani, M. Si selaku Dekan Fakultas dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Imam Tazi, M.Si., selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dan Pembimbing yang selalu memberikan banyak kesabaran, tenaga dan seluruh upaya dalam penulisan skripsi ini.
4. Segenap Dosen, Laboran, dan Admin Program Studi yang selalu memberikan ilmu, dan pengetahuan bagi penulis.
5. Mamaku dan papaku tersayang , kakek dan nenek, adikku tersayang serta keluarga yang selalu mendo'akan dan selalu memberi semangat untuk putrinya ini dalam segala hal. Mereka memberi sebuah kepercayaan

kepada putri pertamanya untuk melanjutkan hidup di perantauan yang jauh darinya.

6. Teman – teman angkatan 2021 yang selalu memberikan dukungan dan doanya.
7. Sahabat saya yang selalu mendorong saya untuk menyelesaikan skripsi ini yaitu Reza Aulia Fahmi
8. Fauzil Hidayatullah seorang teman dekat saya yang telah memberi segala dukungan,baik dalam bentuk kenyamanan,semangat, motivasi, maupun kebersamaan yang telah memberikan warna tersendiri dalam perjalanan ini. Dukungan dan kebaikanmu sangat berarti dan telah membantu saya melalui berbagai tantangan hingga akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Terima kasih telah menjadi sandaran yang membuat saya terus melangkah dan tumbuh hingga akhirnya skripsi ini dapat saya selesaikan
9. Sahabat terdekat saya yang bernama Ningrum Balgis Humairah yang selalu ku panggil dengan nama (ayra,ayy) yang selalu mendukung dan menguatkan saya dalam hal apapun dalam hal yang saya alamai selama diperantauan ini.
10. Ponakan saya yang tersayang semesta & senja yang selalu membuat saya semangat untuk menjalani hidup dan senantiasa selalu menghibur saya.

DAFTAR ISI

COVER ..... **i**
HALAMAN JUDUL ..... **ii**
HALAMAN PERSETUJUAN ..... **iii**
HALAMAN PENGESAHAN ..... **v**
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN ..... **vi**
MOTTO ..... **vii**
HALAMAN PERSEMBAHAN ..... **viii**
KATA PENGANTAR ..... **x**
DAFTAR ISI ..... **xii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiiiv**
DAFTAR TABEL ..... **xvi**
ABSTRAK ..... **xvii**
ABSTRACT ..... **xviii**
الملخص ..... **xix**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Batasan Masalah 3
1.5 Manfaat Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **5**
2.1 E-Nose 5
2.2 Gelatin (Sapi, Babi, Ikan) 10
2.3 PCA 14
2.4 Metode LDA 16
BAB III METODE PENELITIAN **18**
3.1 Jenis Penelitian 18
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian 18
3.3 Alat dan Bahan 19
3.3.1 Alat Penelitian 19
3.3.2 Bahan Penelitian 19
3.4 Prosedur Penelitian 20
3.4.1 Perangkat Keras *(Hardware)* 20

3.4.2 Perangkat Lunak (Software) 23
3.5 Pengambilan dan Pengolahan Data 23
3.5.1 Tahap Persiapan Sampel 23
3.5.2 Tahap Pengambilan Data E-Nose 24
3.5.3 Tahap Pengolahan Data 25
3.5.4 Tabel Pengukuran Data 26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 31
4.1 Pengujian sampel Gelatin Sapi, Babi dan Ikan 31
4.1.1 Preparasi Sampel 31
4.2 Data Hasil Penelitian 33
4.3 Hasil Pengolahan Data dengan Metode PCA 40
4.3.1 Analisis *Eigenvalue* dan Scree Plot 41
4.3.2 Analisis *Eigenvector* dan Loading Plot 46
4.3.3 Grafik Score Plot 2D dan Score Plot 3D 52
4.4 Hasil Analisis Diskriminan Linier (LDA) 57
4.4.1 Analisis *Eigenvalue* 58
4.4.2 Analisis pola Klasifikasi Gelatin dengan LDA 59
4.5 Pembahasan 63
4.5.1 Interpretasi Pola Aroma Volatil Organic Component (VOC) Gelatin 63
4.5.2 Kemampuan E-nose dalam Identifikasi dan Klasifikasi Perbedaan Aroma Gelatin 64
4.5.3 Perbandingan Hasil PCA dan LDA 65
4.6 Kajian Integrasi Islam 68
BAB V PENUTUP 70
5.1 Kesimpulan 70
5.2 Saran 71
DAFTAR PUSTAKA 72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Blok sistem e 6
Gambar 2.2 Sensor E-nose 9
Gambar 2.3 Struktur kimia gelatin 13
Gambar 2.4 Komposisi asam amino dari gelatin 13
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Penelitian 20
Gambar 3.2 Diagram Alir Sistem Pengujian 21
Gambar 3.3 Rangkaian Alat 23
Gambar 3.4 Diagram Alir Pengolahan Data 25
Gambar 3.5 Example Scree plot 29
Gambar 3.6 Example Loading Plot 30
Gambar 3.7 Example Biplot 30
Gambar 4.1 Bubuk Gelatin Sapi, Babi, Ikan 31
Gambar 4.2 Tahap Penimbangan Sampel Gelatin Sapi, Babi, Ikan 32
Gambar 4.3 Takaran Larutan Aquades 10 mL 32
Gambar 4.4 Larutan Gelatin Sapi, Babi dan Ikan 33
Gambar 4.5 Scree plot nilai eigen dari hasil analisis PCA konsentrasi gelatin 1%43
Gambar 4.6 Scree plot nilai eigen dari hasil analisis PCA konsentrasi gelatin 2%43
Gambar 4.7 Scree plot nilai eigen dari hasil analisis PCA konsentrasi gelatin 3%44
Gambar 4.8 Scree plot nilai eigen dari hasil analisis PCA konsentrasi gelatin 4%44
Gambar 4.9 Scree plot nilai eigen dari hasil analisis PCA konsentrasi gelatin 5%45
Gambar 4.10 Scree plot nilai eigen dari hasil analisis PCA konsentrasi gelatin 6% 45
Gambar 4.11 Scree plot nilai eigen dari hasil analisis PCA konsentrasi gelatin 7% 46
Gambar 4.12 Loading plot nilai eigenvectoor dari hasil analisis PCA untuk konsentrasi gelatin 1% 48
Gambar 4.13 Loading plot nilai eigenvectoor dari hasil analisis PCA untuk konsentrasi gelatin 2% 48
Gambar 4.14 Loading plot nilai eigenvectoor dari hasil analisis PCA untuk konsentrasi gelatin 3% 49
Gambar 4.15 Loading plot nilai eigenvectoor dari hasil analisis PCA untuk konsentrasi gelatin 4% 49
Gambar 4.16 Loading plot nilai eigenvectoor dari hasil analisis PCA untuk konsentrasi gelatin 5% 50
Gambar 4.17 Loading plot nilai eigenvectoor dari hasil analisis PCA untuk konsentrasi gelatin 6% 50
Gambar 4.18 Loading plot nilai eigenvectoor dari hasil analisis PCA untuk konsentrasi gelatin 7% 51
Gambar 4.19 Grafik Score Plot 2D Gelatin Sapi, Babi,Ikan 1% 53
Gambar 4.20 Grafik Score Plot 2D Gelatin Sapi, Babi,Ikan 2% 53
Gambar 4.21 Grafik Score Plot 2D Gelatin Sapi, Babi,Ikan 3% 54

Gambar 4.22 Grafik Score Plot 2D Gelatin Sapi, Babi,Ikan 4% 54
Gambar 4.23 Grafik Score Plot 2D Gelatin Sapi, Babi,Ikan 5% 55
Gambar 4.24 Grafik Score Plot 2D Gelatin Sapi, Babi,Ikan 6% 55
Gambar 4.25 Grafik Score Plot 2D Gelatin Sapi, Babi,Ikan 7% 56
Gambar 4.26 Plot LDA 1% 60
Gambar 4.27 Plot LDA 2% 60
Gambar 4.28 Plot LDA 3% 61
Gambar 4.29 Plot LDA 4% 61
Gambar 4.30 Plot LDA 5% 62
Gambar 4.31 Plot LDA 6% 62
Gambar 4.32 Plot LDA 7% 63

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian 18
Tabel 3.2 Hasil Pengukuran Data Gelatin Sapi 26
Tabel 3.3 Hasil Pengukuran Data Gelatin Ikan 27
Tabel 3.4 Hasil Pengukuran Data Gelatin Babi 28
Tabel 3.5 Eigenvalues of the Correlation Matrix 29
Tabel 3.6 Extract Eigenvector 29
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Gelatin Sapi 34
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Gelatin Babi 36
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Gelatin Ikan 38
Tabel 4.4 Eigenvalue setiap variasi konsentrasi gelatin 41
Tabel 4.5 Eigenvector setiap variasi konsentrasi gelatin 47
Tabel 4.6 Eigenvalue setiap variasi konsentrasi gelatin 58

ABSTRAK

Kultum, Jovita Yumna. 2025. **Klasifikasi Aroma *Volatil Organic Componen* (VOC) Dari Bahan Gelatin (Sapi, Babi, Ikan) Berbasis E-Nose Menggunakan Metode *Linier Discriminant Analysis* (LDA) Dan *Principal Component Analysis* (PCA)**. Skripsi. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. Imam Tazi, M.Si. (II) Umaiyatus Syarifah, MA

Kata Kunci: Gelatin, E-nose, VOC, PCA, LDA, Klasifikasi Aroma, Sensor Gas, Kehalalan.

Gelatin merupakan bahan yang banyak digunakan di berbagai industri, seperti pangan, farmasi, dan kosmetik. Namun, isu kehalalan gelatin menjadi penting bagi masyarakat Muslim, terutama untuk membedakan gelatin dari sumber sapi, babi, dan ikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan aroma senyawa organik volatil (*Volatile Organic Compounds*/VOC) dari ketiga jenis gelatin menggunakan sistem hidung elektronik *(electronic nose/e-nose*) berbasis sensor gas dan menganalisis data menggunakan metode *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Linear Discriminant Analysis* (LDA). Data diambil dari sampel gelatin dengan variasi konsentrasi 1%–7% dan diproses menggunakan array sensor TGS dan MQ. Hasil penelitian menunjukkan bahwa e-nose mampu mengenali dan membedakan pola aroma dari masing-masing jenis gelatin. PCA efektif dalam mereduksi dimensi dan menampilkan visualisasi data aroma, sedangkan LDA memberikan hasil klasifikasi yang lebih tajam antar jenis gelatin. Kombinasi kedua metode ini membuktikan bahwa e-nose memiliki potensi sebagai alat pendeteksi kehalalan produk berbasis gelatin.

ABSTRACT

Kultum, Jovita Yumna. 2025. **Classification of Volatile Organic Compound (VOC) Aromas from Gelatin Materials (Cow, Pig, Fish) Based on E-Nose Using Linear Discriminant Analysis (LDA) and Principal Component Analysis (PCA) Methods**. Thesis. Physics Study Program, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang. Supervisor: (I) Dr. Imam Tazi, M.Si. (II) Umaiyatus Syarifah, MA

Key Word: Gelatin, E-nose, VOC, PCA, LDA, Aroma Classification, Gas Sensor, Halal.

Gelatin is a widely used material in various industries, such as food, pharmaceuticals, and cosmetics. However, the issue of gelatin's halal status is important for the Muslim community, especially in distinguishing gelatin from bovine, porcine, and fish sources. This study aims to classify the aroma of volatile organic compounds (VOCs) from the three types of gelatin using an electronic nose (e-nose) system based on gas sensors and analyze the data using Principal Component Analysis (PCA) and Linear Discriminant Analysis (LDA). Data were collected from gelatin samples with varying concentrations of 1%–7% and processed using TGS and MQ sensor arrays. The results showed that the e-nose could recognize and distinguish the aroma patterns of each type of gelatin. PCA was effective in reducing dimensions and visualizing aroma data, while LDA provided sharper classification results between gelatin types. The combination of these two methods demonstrated that the e-nose has potential as a tool for detecting the halal status of gelatin-based products.

الملخص

كولتوم، جوفيتا يومنا. 2025. تصنيف الروائح العضوية المتطايرة
(LDA) مع تطبيق تحليل التمييز الخطي E-Nose من مواد الجيلاتين (البقر، الخنزير، السمك) باستخدام تقنية (VOC)
أطروحة. برنامج دراسة الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية .(PCA) وتحليل المكونات الرئيسية
.أمية الشريف، ماجستير في الآداب (II) .د. إمام تازي، ماجستير في العلوم (I) :في مالانج. المشرفون

الكلمات الرئيسية: ،الجيلاتين، الأنف الإلكتروني، المركبات العضوية المتطايرة، تحليل المكونات الرئيسية، تحليل الارتباط الولائي
.تصنيف الروائح، مستشعر الغاز، الحلال

الجيلاتين هو مادة نستخدمها على نطاق واسع في العديد من الصناعات، مثل الأغذية والأدوية ومستحضرات التجميل. ومع ذلك، فإن مسألة حلالية الجيلاتين تكتسب أهمية خاصة بالنسبة لنا، لا سيما لتمييزنا بين الجيلاتين المستخرج من الأبقار والخنازير والأسماك. من ثلاثة أنواع من الجيلاتين باستخدام نظام الأنف (VOC) تهدف هذه الدراسة إلى تصنيف رائحة المركبات العضوية المتطايرة والتحليل (PCA) القائم على مستشعرات الغاز، وتحليل البيانات باستخدام طريقة تحليل المكونات الرئيسية (e-nose) الإلكتروني جمعنا البيانات من عينات الجيلاتين بتركيزات متفاوتة تتراوح بين 1٪ و7٪ وقمنا بمعالجتها باستخدام .(LDA) التمييزي الخطي أظهرت نتائج الدراسة أن الأنف الإلكتروني قادر على التعرف على أنماط الروائح لكل نوع .MQو TGS مصفوفة مستشعرات نتائج تصنيف LDA فعالة في تقليل الأبعاد وعرض تصور بيانات الرائحة، بينما وفرت PCA من أنواع الجيلاتين وتمييزها. كانت أكثر دقة بين أنواع الجيلاتين. أثبتت هاتان الطريقتان معًا أن الأنف الإلكتروني لديه إمكانية أن يكون أداة نستخدمها للكشف عن .حلالية المنتجات القائمة على الجيلاتين

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Data impor gelatin terus meningkat pada tahun 2020 jumlah proyeksi impor (ton) yaitu 46.780.431 juta, nilai impor gelatin tersebut terus meningkat hingga di tahun 2023 yaitu mencapai 161.719.315 juta. Gelatin sendiri sangat penting dalam karakteristik serta kegunaan gelatin dalam berbagai aplikasi industri farmasi, pangan dan kosmetik (Rafida Cahyaningrum, 2021). Sumber gelatin yang paling banyak adalah kulit babi (46%), kulit sapi (29,4%), campuran tulang babi dan sapi (23,1%) dan sumber lainnya (1,5%) (Sri Endang Aris A. J., 2020). Namun karena alasan keagamaan yang mana di Indonesia sendiri telah didominasi oleh penduduk Muslim yaitu sebanyak 207 juta jiwa dan sangat memiliki banyak permintaan tinggi terhadap produk halal (Lika Ginanti Febriana, 2021). Adanya gelatin yang terbuat dari bahan yang non-halal sangat menjadi boomerang untuk Masyarakat muslim di indonesia.

Electronic nose (e-nose) merupakan salah satu solusi untuk meminimalisir penggunaan bahan non halal dikarenakan e-nose sendiri merupakan alat yang dirancang untuk mendeteksi dan mengenali aroma dari sebuah volatil. Teknologi ini memanfaatkan sensor kimia yang peka terhadap VOC untuk menghasilkan pola aroma spesifik (Dwita Mido Gumelar, 2017). e-nose lebih cepat dan ekonomis, sehingga cocok untuk aplikasi industri makanan, farmasi, dan kosmetik. Namun, agar e-nose dapat memberikan hasil yang akurat, diperlukan teknik analisis data yang handal untuk mengolah pola aroma yang kompleks.

Metode analisis data seperti Principal Component Analysis (PCA) dan Linear Discriminant Analysis (LDA) banyak digunakan dalam pemrosesan data e-nose. PCA berfungsi untuk mereduksi dimensi data sambil mempertahankan informasi penting, sehingga pola aroma dari berbagai jenis gelatin dapat divisualisasikan dengan lebih sederhana (Dyah Hediyati, 2021). (Mansor, 2011) menyatakan bahwa Spektra FTIR yang dikombinasikan dengan kemometrik PCA dan CA dapat digunakan untuk membedakan dan mengklasifikasikan lemak babi dari lemak hewani dan minyak nabati lainnya. Di sisi lain, LDA digunakan untuk meningkatkan kemampuan klasifikasi dengan memaksimalkan perbedaan antar kelompok data (Winarnie, 2023). Seperti yang dilakukan oleh penelitian yang dilakukan oleh Kombinasi kedua metode ini memberikan pendekatan yang kuat dalam mengidentifikasi jenis gelatin berdasarkan profil aromanya.

Di dalam konteks konsumsi umat Muslim, sumber gelatin menjadi perhatian utama karena terkait dengan kehalalan suatu produk. Islam memiliki aturan ketat mengenai makanan yang boleh dikonsumsi, sebagaimana disebutkan dalam Al-Qur'an tentang Pengharaman Babi dan Segala Unsurnya Allah Ta'ala berfirman:

اِنَّمَا حَرَّمَ عَلَيْكُمُ الْمَيْتَةَ وَالدَّمَ وَلَحْمَ الْخِنْزِيْرِ وَمَآ اُهِلَّ بِهٖ لِغَيْرِ اللّٰهِۚ فَمَنِ اضْطُرَّ غَيْرَ بَاغٍ وَّلَا عَادٍ فَلَآ اِثْمَ عَلَيْهِۗ اِنَّ اللّٰهَ غَفُوْرٌ رَّحِيْمٌ ﴿١٧٣﴾

"Sesungguhnya Allah hanya mengharamkan bagimu bangkai, darah, daging babi, dan binatang yang (ketika disembelih) disebut (nama) selain Allah. Tetapi barangsiapa dalam keadaan terpaksa (memakannya) sedang dia tidak menginginkannya dan tidak (pula) melampaui batas, maka tidak ada dosa baginya. Sesungguhnya Allah Maha Pengampun lagi Maha Penyayang." (QS. Al- Baqarah: 173).

Adapun peneliti sangat tertarik untuk meneliti mengenai sensor e-nose yang bekerja sebagai pendeteksi aroma dengan dipadukan oleh metode PCA dan LDA sehingga menghasilkan sebuah klasifikasi aroma dari beberapa gelatin sapi,babi dan ikan. Penelitian ini yang berjudul Klasifikasi aroma *Volatil Organic Component* dari gelatin Sapi,Babi, dan Ikan berbasis *E-nose* Menggunakan metode LDA dan PCA.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini:

1. Bagaimana pola aroma *Volatil Organic Component* dari gelatin sapi,babi dan ikan menggunakan metode PCA dan LDA?
2. Apakah *E-nose* mampu mengidentifikasi dan mengklasifikasikan perbedaan aroma *Volatil Organic Component* dari ketiga jenis gelatin tersebut?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini:

1. Untuk menganalisis hasil pola karakterisasi aroma *Volatil Organic Componet* dari gelatin sapi,babi dan ikan menggunakan metode PCA dan LDA.
2. Untuk menganalisis sistem *E-nose* sebagai pendeteksi perbedaan aroma *Volatil Organic Component* dari masing-masing jenis gelatin.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

a. Hanya membedakan dua jenis larutan gelatin yang berbeda sumbernya yaitu gelatin dari gelatin sapi, babi dan ikan.

b. Sampel gelatin sapi, babi dan ikan yang digunakan berasal dari toko *online*
c. Variasi konsentrasi larutan gelatin yang digunakan adalah 1% , 2% , 3%, 4%, 5%, 6% dan 7%.
d. Hanya menggunakan sensor TGS 822,MQ135,MQ136, TGS 2610, TGS 813,MQ137.
e. Tidak merancang alat e-nose, hanya mengunakan untuk mengambil data

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini:

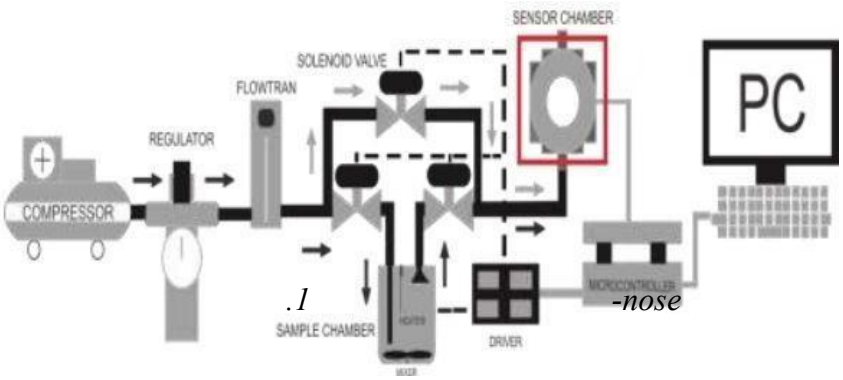
1. Memberikan Informasi terkait klasifikasi aroma gelatin menggunakan sensor *Enose*.
2. Sebagai sumber informasi awal untuk menunjang penelitian selanjutnya pada bidang rancang bangun dan akuisisi data array sensor *E-nose*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 E-Nose

Hidung elektronik merupakan perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengenali aroma, dengan cara kerja yang meniru hidung manusia yang memiliki reseptor penciuman. Pada alat ini, sensor gas berperan sebagai reseptor penciuman dan disusun dalam suatu susunan yang dinamakan array sensor (Minarni Shiddiq, 2021). Reseptor-reseptor pengidentifikasi aroma pada hidung elektronik adalah sensor-sensor gas yang disusun dan disebut larik sensor. Sistem penciuman manusia melibatkan beberapa tahapan utama mulai dari deteksi bau oleh reseptor olfaktori di hidung, pengiriman sinyal tersebut ke bulbus olfaktorius, dan akhirnya ke otak untuk diinterpretasikan sebagai suatu bau tertentu (Hendriyawan A B. A., 2021). Demikian pula, hidung elektronik bekerja dengan cara yang serupa. Sampel gas pertama- tama dideteksi oleh rangkaian sensor gas, yang berfungsi seperti reseptor olfaktori. Data dari sensor ini kemudian diproses melalui sistem pemrosesan data yang menyerupai fungsi bulbus olfaktorius, dan hasil akhirnya adalah klasifikasi pola bau oleh algoritma pengenalan pola yang bertindak seperti otak manusia dalam mengenali dan mengidentifikasi bau. Dibawah ini merupakan gambar analogi sistem hidung elektronik terhadap sistem penciuman manusia:



(Hendriyawan A B. A., 2021)
Gambar 2.1 Diagram Blok sistem e

Setiap sistem hidung elektronik yang dirancang untuk kebutuhan tertentu memiliki karakteristik unik karena memakai sensor gas yang berbeda-beda dan mendeteksi beragam jenis aroma. Saat ini, sensor berbasis semikonduktor logam oksida seperti Figaro TGS dan MQ cukup mudah ditemukan di pasaran dengan harga yang terjangkau, sehingga memungkinkan pembangunan sistem hidung elektronik yang hemat biaya (Ja'Far Madani, 2019). Sensor-sensor ini tersedia dalam bentuk modul, memudahkan proses perakitan sistem.

Cara kerja hidung elektronik adalah dengan meniru sistem penciuman manusia melalui deteksi pola respons terhadap molekul aroma. Molekul-molekul aroma memiliki ukuran dan bentuk tertentu yang ditangkap oleh reseptor, lalu dikirimkan sebagai sinyal ke otak untuk mengidentifikasi jenis aromanya. Tujuan proses ini adalah mengenali pola aroma, baik yang sederhana maupun kompleks (Rizal, 2019). Oleh karena itu, hasil dari sistem ini dapat menunjukkan identitas atau sifat khas dari sampel aroma yang diuji.

Dalam penelitian ini digunakan model e-nose dinamis, yang terdiri dari dua bagian ruang terpisah: ruang sampel dan ruang sensor. Aroma dialirkan ke ruang sensor menggunakan udara bersih dari kompresor. Model ini memakai sensor gas

berbasis MOS dengan ruang sensor berbentuk bola. Karena sifatnya yang tidak selektif, sensor ini dapat mendeteksi berbagai senyawa volatil secara bersamaan, sehingga cocok untuk aplikasi luas.

Seluruh perangkat e-nose dikendalikan oleh sebuah pengontrol yang terhubung ke komputer melalui kabel USB dan dikendalikan lewat GUI (Graphical User Interface). GUI ini tidak hanya menampilkan data, tetapi juga berfungsi sebagai pengontrol perangkat pengukuran. Antarmuka ini menyediakan berbagai tombol seperti Start, Reset, Pause, dan Stop. Saat tombol Start ditekan, proses akuisisi data, pengaturan suhu, dan aliran udara berjalan serempak. Akuisisi data berjalan mundur (countdown) dan berakhir ketika waktu mencapai nol. Setiap siklus mencakup pembilasan, pengumpulan data, dan pembersihan (Hendriyawan A B. A., 2021). Sensor array-nya dihubungkan ke ADC mikrokontroler ATmega 8 melalui rangkaian pembagi tegangan untuk pengolahan sinyal.

Selama beberapa tahun terakhir, pengembangan sistem penciuman buatan atau hidung elektronik telah menjadi fokus penelitian yang intens. Teknologi pengenal bau otomatis ini kini diterapkan secara luas di industri, pertanian, pengendalian kualitas udara dalam ruangan, monitoring lingkungan, kontrol mutu produk makanan, serta diagnosis dalam dunia medis dan berbagai sektor lainnya. Seiring waktu, sebagian pengembangan diarahkan untuk menciptakan perangkat e-nose yang murah dan ringkas, yang kemudian memunculkan produk-produk komersial e-nose (Macías et al., 2014). Selain itu, pengembangan diarahkan untuk membuat sistem yang portabel dan mudah digunakan, cocok untuk pemantauan secara langsung maupun daring. Beberapa upaya juga dilakukan untuk

membandingkan data e-nose dengan hasil dari penciuman manusia maupun kromatografi gas (Aleixandre et al., 2015).

Perangkat hidung elektronik memiliki beragam keunggulan dan aplikasi, terutama di bidang biomedis, karena banyaknya prinsip kerja yang bergantung pada jenis dan bentuk alatnya. Umumnya, satu sistem terdiri atas empat bagian utama: sistem pengambilan sampel dan pencampuran gas, susunan sensor gas sebagai alat deteksi, sirkuit elektronik pengendali sensor dan pemrosesan sinyal, serta komputer dengan algoritma klasifikasi pola untuk mengenali ciri khas setiap aroma dan menampilkannya pada antarmuka pengguna (Macías et al., 2014).

Komponen sensor dalam sistem e-nose terdiri dari berbagai tipe sensor gas. Sensor gas termasuk dalam kategori sensor kimia yang penting. Sensor ini menggunakan elemen pengubah dan lapisan aktif untuk mengonversi informasi kimia menjadi sinyal elektronik berupa perubahan arus, tegangan, atau frekuensi. Dengan kata lain, alat ini mendeteksi keberadaan gas di suatu lokasi. Biasanya sensor gas dipakai dalam sistem keselamatan. Alat ini mampu mendeteksi kebocoran gas dan terhubung ke sistem kontrol untuk menghentikan operasi yang berisiko. Alarm akan berbunyi saat kebocoran terdeteksi, memungkinkan petugas di sekitar segera merespons dan mengevakuasi pekerja demi mencegah kecelakaan. Alat ini vital untuk mencegah kejadian berbahaya terhadap manusia, hewan, dan tanaman karena sebagian gas bersifat mematikan.

Sensor gas modern mampu mengenali berbagai gas berbahaya, termasuk gas mudah terbakar, beracun, meledak, serta kondisi lingkungan yang kekurangan oksigen. Sensor ini umum ditemukan di berbagai tempat seperti industri minyak

dan stasiun pemadam kebakaran. Biasanya alat ini bertenaga baterai dan memberi sinyal berupa suara keras atau cahaya jika gas dalam kadar berbahaya terdeteksi. Bila konsentrasi gas melebihi batas yang ditentukan, sistem akan memicu alarm. Di masa lalu, sensor hanya bisa mendeteksi satu jenis gas. Namun kini, sensor modern dapat mengenali banyak jenis gas secara bersamaan, baik beracun maupun mudah terbakar.

Sensor gas diklasifikasikan berdasarkan mekanisme kerjanya, seperti semikonduktor, oksidatif, katalitik, atau inframerah. Berdasarkan bentuk fisiknya, terdapat dua jenis sensor gas: portabel dan tetap. Sensor portabel dipakai dengan cara dijepit di pakaian pekerja, sementara sensor tetap dipasang permanen dekat ruang kendali dan bisa mengukur lebih dari satu jenis gas berbahaya

Sensor yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan 6 sensor yaitu:

Gambar 2.2 Sensor E-nose

(anzpiper.blogspot.com)

TGS 822 yang berfungsi sebagai pendetektor kadar alcohol, MQ 135 yang berfungsi sebagai pendektor kebocoran gas (gas leak) pada rumah dan pabrik, mendeteksi bahan bakar gas cair, butane, propane, methane, smoke, MQ 136 berfungsi sebagai pendektor gas H2S (Hidrogen Sulfida), TGS 2610 berfungsi sebagai pendeteksi kadar gas LPG, TGS 813 berfungsi sebagai pendektor Gas Metana (CH_4), Gas Propana (C_3H_8), Gas Butana (C_4H_{10}), Gas Hidrogen. MQ 137 berfungsi untuk mendeteksi ensor gas amoniak (NH_3).

2.2 Gelatin (Sapi, Babi, Ikan)

Gelatin adalah protein derivat yang larut dalam air, bersifat padat, tembus cahaya dan tidak memiliki warna serta tidak memiliki rasa, yang didapatkan dari kolagen yang berasal dari hewan. Gelatin biasanya digunakan sebagai zat pengental pada makanan, farmasi, kosmetik dan fotografi. Umumnya gelatin dalam dunia pangan dapat dijumpai di produk seperti permen, jeli, es krim roti dan lain sebagainya. Bentuk gelatin sendiri biasanya berbentuk lembaran, butiran dan juga (Gelatin, 2012).

Sumber bahan baku gelatin dapat berasal dari sapi (tulang dan kulit), babi (hanya kulit), dan ikan (kulit), Proses konversi kolagen menjadi gelatin melibatkan pengaturan suhu yang sangat penting selama ekstraksi, yang bertujuan untuk mencegah denaturasi protein pada suhu tinggi. Biasanya, gelatin diekstraksi pada suhu di atas 50 °C, dengan suhu yang dinaikkan secara bertahap mulai dari 55 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C, hingga mencapai 90 °C dari awal reaksi hingga akhir reaksi secara berurutan (Pradini, 2017).

Dalam Al-Quran telah dijelaskan bahwa gelatin babi diharamkan pada ayat QS.

Al- Baqarah: 173:

اِنَّمَا حَرَّمَ عَلَيْكُمُ الْمَيْتَةَ وَالدَّمَ وَلَحْمَ الْخِنْزِيْرِ وَمَآ اُهِلَّ بِهٖ لِغَيْرِ اللّٰهِۚ فَمَنِ اضْطُرَّ غَيْرَ بَاغٍ وَّلَا عَادٍ فَلَآ اِثْمَ

عَلَيْهِۗ اِنَّ اللّٰهَ غَفُوْرٌ رَّحِيْمٌ ١٧٣

"Sesungguhnya Allah hanya mengharamkan bagimu bangkai, darah, daging babi, dan binatang yang (ketika disembelih) disebut (nama) selain Allah. Tetapi barangsiapa dalam keadaan terpaksa (memakannya) sedang dia tidak menginginkannya dan tidak (pula) melampaui batas, maka tidak ada dosa baginya. Sesungguhnya Allah Maha Pengampun lagi Maha Penyayang."

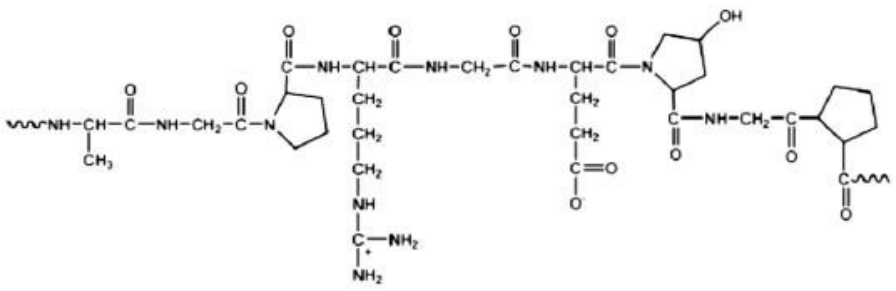
Ibnu Katsir rahimahullah menjelaskan bahwa larangan memakan daging babi juga mencakup daging yang disembelih secara syar'i maupun yang mati tidak wajar. Tidak hanya dagingnya, lemak babi pun diharamkan untuk dikonsumsi, karena penyebutan "daging" dalam ayat Al-Qur'an bersifat umum (aghlabiyyah), atau lemak dianggap termasuk bagian dari daging, atau juga diharamkan berdasarkan qiyas (analogi hukum). (Tafsir Al-Qur'an Al-'Azhim, 2: 36).

Ayat ini menegaskan bahwa babi dan segala unsur yang berasal darinya, termasuk gelatin yang diekstrak dari jaringan babi, diharamkan dalam Islam. Oleh karena itu, gelatin yang berasal dari babi tidak dapat dikonsumsi oleh umat Muslim kecuali dalam keadaan darurat yang memenuhi syarat tertentu. Sementara itu, gelatin dari sapi dapat dikategorikan halal apabila sapi tersebut disembelih sesuai dengan syariat Islam. Adapun gelatin dari ikan umumnya lebih diterima karena tidak memiliki syarat penyembelihan sebagaimana hewan darat.

Dengan demikian, pemilihan sumber gelatin menjadi aspek yang sangat penting dalam menjamin kehalalan suatu produk bagi umat Muslim. Peran sertifikasi halal dari lembaga yang berwenang juga diperlukan untuk memastikan

bahwa produk yang mengandung gelatin sesuai dengan hukum Islam. Pembahasan lebih lanjut mengenai karakteristik masing-masing jenis gelatin serta implikasi penggunaannya dalam berbagai industri akan diuraikan dalam bab-bab selanjutnya.

Gelatin sama seperti kolagen yang termasuk dalam bagian makronutrient yaitu protein, karena gelatin tersusun atas molekul-molekul polopeptida yang kompleks dengan komposisi asam amino yang sama. Bila ditinjau pada struktur penyusun gelatin termasuk ke dalam makromolekul dengan berat molekul berkisar antara 20.000-200.000 Da. Gelatin mengandung 18 jenis asam amino, dengan 5 jenis asam amino yang paling dominan yaitu glisin (26,4-30,5%), prolin (14,8-18%), hidroksiprolin (13,3-14,5%), asam glutamat (11,1-11,7%), dan alanin (8,6-11,3%). Dan sisanya yaitu arginin, asam aspartat, lisin, serin, leusin, valin, fenilalanin, threonin, isoleusin, hidroksilisin, histidin, metionin, dan tirosin (Krik Othmer, 2000). Gelatin terdiri dari urutan asam amino dengan tripeptida berulang, dikenal sebagai glisin-X-Y, di mana X-Y biasanya adalah prolin dan 4-hidroksiprolin. Sifat-sifatnya yang mirip dengan kolagen termasuk elastisitas, kelembutannya, dan kemampuan untuk membentuk gel yang termoreversible (Pradini, 2017).



Gambar 2.3 Struktur kimia gelatin
(Sri Endang Aris A. J., 2020)

Adapun komposisi asam amino gelatin secara spesifik adalah sebagai berikut:

	Type A (Porkskin)		Type B (Calf Skin)		Type B (Bone)	
Alanine	8.6	10.7	9.3	11.0	10.1	14.2
Arginine	8.3	9.1	8.55	8.8	5.0	9.0
Aspartic Acid	6.2	6.7	6.6	6.9	4.6	6.7
Cystine	0.1		Trace		Trace	
Glutamic Acid	11.3	11.7	11.1	11.4	8.5	11.6
Glycine	26.4	30.5	26.9	27.5	24.5	28.8
Histidine	0.9	1.0	0.74	0.8	0.4	0.7
Hydroxylysine	1.0		0.91	1.2	0.7	0.9
Hydroxyproline	13.5		14.0	14.5	11.9	13.4
Isoleucine	1.4		1.7	1.8	1.3	1.5
Leucine	3.1	3.3	3.1	3.4	2.8	3.5
Lysine	4.1	5.2	4.5	4.6	2.1	4.4
Methionine	0.8	0.9	0.8	0.9	0.0	0.6
Phenylalanine	2.1	2.6	2.2	2.5	1.3	2.5
Proline	16.2	18.0	14.8	16.4	13.5	15.5
Serine	2.9	4.1	3.2	4.2	3.4	3.8
Threonine	2.2		2.2		2.0	2.4
Tyrosine	0.4	0.9	0.2	1.0	0.0	0.2
Valine	2.5	2.8	2.6	3.4	2.4	3.0

Gambar 2.4 Komposisi asam amino dari gelatin
(Sri Endang Aris A. J., 2020)

Gelatin merupakan bahan yang digunakan secara luas di banyak sektor, terutama dalam industri farmasi, pangan, dan kecantikan. Di sektor makanan, gelatin sering ditemukan dalam pembuatan produk cokelat, susu, dan sejenisnya, sedangkan di bidang kosmetik, gelatin digunakan pada hampir seluruh jenis produk. Dalam dunia farmasi, gelatin dimanfaatkan sebagai komponen utama kapsul keras dan lunak, sebagai pelapis tablet, serta sebagai agen pengikat, stabilisator, dan emulsifier. Dalam industri makanan, gelatin digunakan untuk menstabilkan produk seperti susu, cokelat, permen kenyal, jeli, dan lainnya. Sementara di industri kosmetik, gelatin dimasukkan sebagai bahan aktif dalam pembuatan krim (Sri Endang Aris, A., 2020).

Secara fisik, gelatin tersedia dalam bentuk lembaran, serpihan, potongan kecil, atau bubuk dari kasar hingga halus, dengan warna yang berkisar dari kuning pucat hingga cokelat terang tergantung ukuran partikelnya. Ketika dilarutkan, gelatin memiliki aroma mirip kaldu. Dalam kondisi kering, gelatin tahan di udara,

namun dalam lingkungan lembap atau larutan, ia cepat rusak oleh mikroba. Di Eropa, gelatin untuk makanan biasa dijual dalam bentuk lembaran tipis, sedangkan di Amerika Serikat dalam bentuk bubuk atau butiran. Bubuk atau granul biasanya berwarna putih hingga kuning muda, sementara bentuk lembarannya tampak transparan dan kekuningan. Gelatin tidak larut dalam air dingin, tetapi mengembang dan menjadi lunak saat direndam, serta mampu menyerap air hingga 5–10 kali beratnya. Gelatin larut dalam air panas, asam asetat 6N, dan campuran panas antara air dan gliserin, namun tidak larut dalam alkohol, kloroform, eter, minyak lemak, maupun minyak atsiri. Dalam larutan asam atau basa kuat, gelatin akan mengalami pengendapan. Jika dilarutkan dalam air hangat, gelatin membentuk gel koloid dengan sifat tiksotropik yang bisa kembali cair bila dipanaskan. pH larutan gelatin tipe A berkisar 3,8–5,5 dan tipe B antara 5,0–7,5 (Puspitasari, 2023). Kekuatan gel, atau nilai Bloom, dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti konsentrasi gelatin dalam air, nilai pH, dan berat molekulnya. Semakin tinggi konsentrasinya, semakin kuat gel yang terbentuk. Rentang kekuatan gel ini berada antara 50 hingga 300 Bloom. Di dunia industri, gelatin sering dicampur dengan bahan lain untuk mencapai kekuatan gel yang diinginkan (Sri Endang Aris A. J., 2020).

2.3 PCA

Principal Components Analysis (PCA) ditemukan pada tahun 1901 oleh Karl Pearson. Sebutan lain untuk Principal Components Analysis (PCA) adalah Transformasi Karhunen-Loeve (singular value decomposition) pada matriks, Transformasi Hotelling atau Proper Orthogonal Decomposition (POD) ataupun Empirical orthogonal Function (EOF) (Sudianto Manullang, 2023).

PCA adalah metode yang digunakan untuk mengubah data berdimensi tinggi menjadi data berdimensi lebih rendah, dengan tetap mempertahankan karakteristik penting dari data tersebut, dan dimanfaatkan dalam analisis data serta pembuatan model prediksi. Proses perhitungannya melibatkan nilai eigen dari matriks kovarians melalui teknik dekomposisi nilai singular (Rina Firliana, 2021).

Secara matematis, PCA merupakan transformasi linier ortogonal, yaitu transformasi yang menghasilkan nilai terbaik berdasarkan pendekatan kuadrat terkecil. Tujuan dari PCA adalah menyederhanakan sekumpulan variabel pengamatan dengan cara mengurangi dimensi data (Sari, 2023). Hal ini dicapai dengan menghilangkan hubungan korelasi antar variabel bebas, lalu mengubahnya menjadi variabel baru yang bebas korelasi satu sama lain, yang disebut komponen utama (Sari, 2023).

Reduksi dimensi dalam sekumpulan data dimaksudkan untuk menyatukan variabel-variabel yang tidak berkaitan ke dalam satu kelompok klaster. Target utama dari proses ini adalah mendapatkan variabel-variabel terbaik yang mampu mewakili suatu klaster tertentu. Salah satu metode populer yang digunakan untuk mereduksi dimensi adalah PCA (Wangge, 2021).

Lindsay (2002) menyatakan bahwa PCA merupakan teknik untuk mendeteksi pola dalam data dan menyajikannya dengan cara yang dapat menampilkan persamaan dan perbedaan antar data. Keunggulan utama PCA adalah kemampuannya untuk menyederhanakan dimensi dalam data tanpa kehilangan informasi penting yang terkandung di dalamnya. Oleh sebab itu, PCA sangat berguna untuk mengurangi kompleksitas pola dalam klaster data. PCA juga sangat

sesuai digunakan untuk data berdimensi besar, dan dalam beberapa literatur, metode ini dikenal juga sebagai analisis faktor (Sudianto Manullang, 2023).

2.4 Metode LDA

Metode Linear Discriminant Analysis (LDA) digunakan untuk melakukan ekstraksi fitur ke dalam berbagai kategori kelas. Teknik LDA memungkinkan pemisahan kelas menjadi beberapa kelompok yang berbeda dengan cara meningkatkan sebaran antar kelas dan mengurangi sebaran di dalam kelas itu sendiri. Ketika fitur diekstraksi menggunakan metode LDA, posisi data tidak berubah, namun klasifikasi yang dihasilkan menjadi lebih terpisah secara signifikan, yang berdampak pada meningkatnya jarak antar kelas dan mengecilnya jarak antar data dalam satu kelas (Desi Nurnaningsih, 2021).

Linear discriminant analysis, disingkat LDA adalah generalisasi diskriminan linear fisher, yaitu sebuah metode yang digunakan dalam ilmu statistika, pengenalan pola dan pembelajaran mesin untuk mencari kombinasi linear fitur yang menjadi ciri atau yang memisahkan dua atau beberapa objek atau peristiwa. Kombinasi hasil LDA bisa digunakan langsung sebagai pemisah linier atau umumnya dipakai dalam proses reduksi dimensi sebelum klasifikasi dilakukan. Analisis diskriminan linier (LDA) bertujuan untuk mengelompokkan objek-objek ke dalam sejumlah kelas berdasarkan atribut yang menjelaskan objek tersebut. Dalam metode ini, objek memiliki dua jenis variabel, yaitu variabel terikat yang berupa kelas dan variabel bebas yang berupa atribut. Hubungan antara variabel terikat dan bebas menjadi dasar dalam proses analisis ini (Kosasih, 2021).

Atribut atau variabel bebas ini kemudian digunakan untuk membentuk kombinasi linier yang mewakili masing-masing objek. LDA menggunakan analisis

matriks sebaran dengan tujuan menemukan proyeksi paling optimal, agar data masukan dapat ditempatkan dalam ruang berdimensi lebih kecil dan tetap mampu membedakan pola-pola secara maksimal. Dalam LDA, variabel terikat biasanya berupa nama kelas atau kategori, sedangkan variabel bebas adalah fitur deskriptif yang nilainya berupa angka skalar. Sebelum digunakan untuk memprediksi, LDA memerlukan proses pelatihan guna merumuskan fungsi diskriminan (Berli Paripurna Kamiel, 2020). Pelatihan ini memerlukan data objek yang sudah diklasifikasikan beserta himpunan atribut atau variabel bebas.

Variabel bebas ini dimanfaatkan untuk menghitung kombinasi linier dari seluruh objek yang dianalisis. LDA memanfaatkan pendekatan matriks sebaran guna mencari proyeksi terbaik yang memungkinkan data dipetakan ke dalam ruang berdimensi rendah namun tetap memperlihatkan perbedaan antar pola secara maksimal. Pada LDA, kelas objek menjadi variabel terikat yang sifatnya nominal, sementara fitur yang menjelaskan objek berperan sebagai variabel bebas berupa nilai numerik. Sebelum LDA digunakan untuk klasifikasi, dibutuhkan pelatihan untuk menentukan fungsi diskriminan. Proses pelatihan ini menggunakan data objek yang telah memiliki label serta kumpulan fitur atau variabel independen (Dian Ami Widyati, 2021).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah rekayasa dan eksperimental dengan membuat *array sensor electronic nose* berbasis sensor gas yang digunakan untuk klasifikasi pola aroma gelatin (Ikan, Sapi, Babi).

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dimulai pada bulan November sampai dengan Desember 2024. Tempat penelitian yang akan dilakukan yaitu di Laboratorium Sensor Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Maulana Malik Ibrahim Malang.

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Oct	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr
1.	Tahap Persiapan Penelitian							
	Tahap Penyusunan Proposal Penelitian							
2.	Tahap Pelaksanaan Penelitian							
	Tahap Pembuatan alat Penelitian							
	Tahap Pembuatan sampel Penelitian							
	Pengujian alat dan pengumpulan data							
	Analisis data							
	Penyusunan laporan							
3.	Seminar hasil							

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penellitian ini antara lain:

1. Sensor TGS 822
2. Sensor TGS 2610
3. Sensor TGS 813
4. Sensor MQ 137
5. Sensor MQ 136
6. Sensor MQ 135
7. Board Arduino UNO tipe R3
8. Power supply 5 Volt 2 Ampere (10 watt)
9. Kabel USB Extend male to female
10. Kabel USB Extend male to male
11. Kabel USB A to B
12. Kabel USB mikro
13. Hot plate
14. Gelas Beker ukuran 50 mL
15. Botol vial ukuran 10 mL
16. Laptop
17. Software Origin

3.3.2 Bahan Penelitian

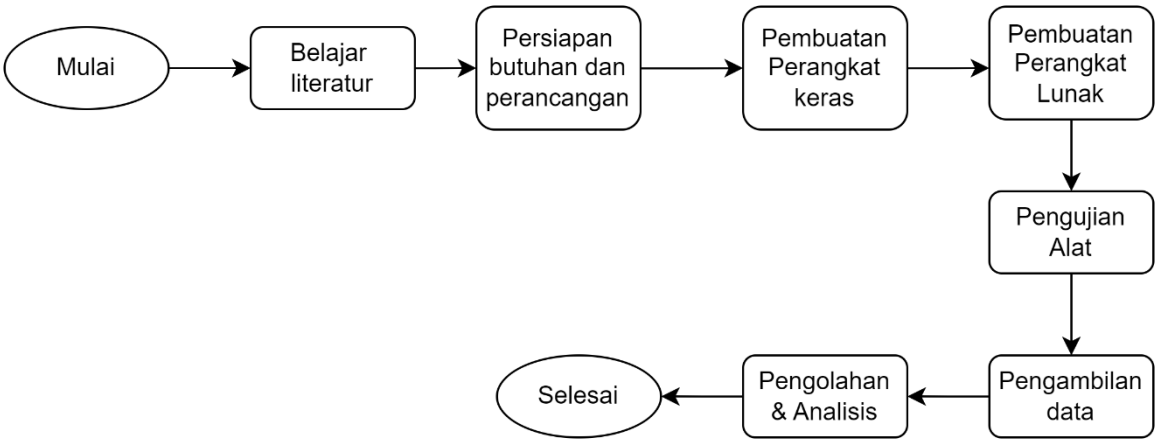
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Gelatin Ikan
2. Gelatin Sapi

3. Gelatin Babi
4. Aquades

3.4 Prosedur Penelitian

Berikut ini adalah beberapa tahapan untuk membuat sensor hidung elektronik berbasis array sensor gas:



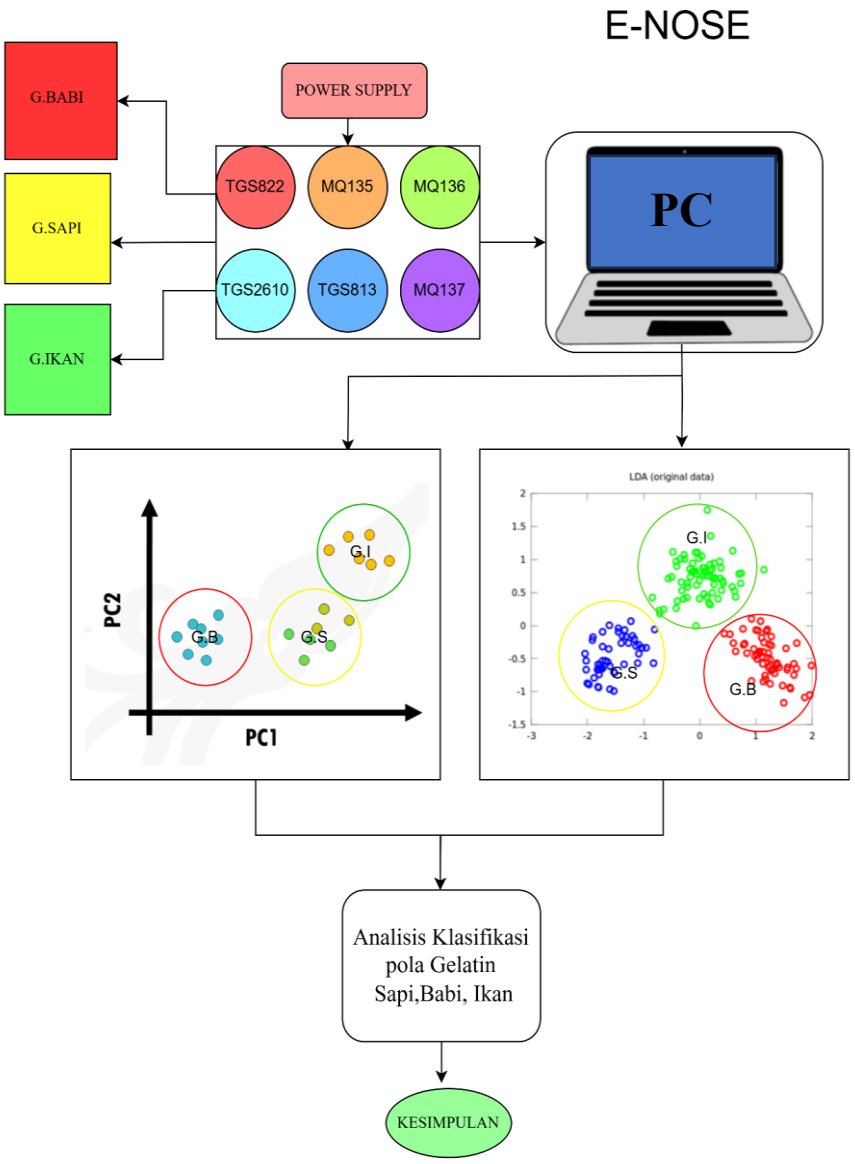
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Penelitian

3.4.1 Perangkat Keras *(Hardware)*

Perancangan komponen merupakan hal terpenting dari terbentuknya sebuah alat. Perancangan hardware sendiri merupakan komponen-komponen fisik dari suatu rangkaian alat yang dirangkai dari komponen elektronika. Perangkat keras yang digunakan dari array sensor e-nose ini terdiri dari sensor gas TGS 822, MQ135, MQ136,TGS2610,TGS813 dan MQ137 yang dapat menguji beberapa sampel gelatin. Kemudian terdapat Arduino UNO sebagai mikrokontroler, Power supply sebagai sumber tegangan DC serta PC/Laptop Windows sebagai penyimpan data Arduino UNO yang di dapat dari data logger.

A. Diagram Alur Pengujian

Diagram alir ini menggambarkan mengenai proses pengujian yang akan diambil pada penelitian ini. Diagram ini digambarkan proses dan fungsi yang akan dikerjakan disetiap komponennya serta aliran sinyalnya pada suatu rangkaian system. Diagram alir dari rangkaian E-Nose sebagai berikut:

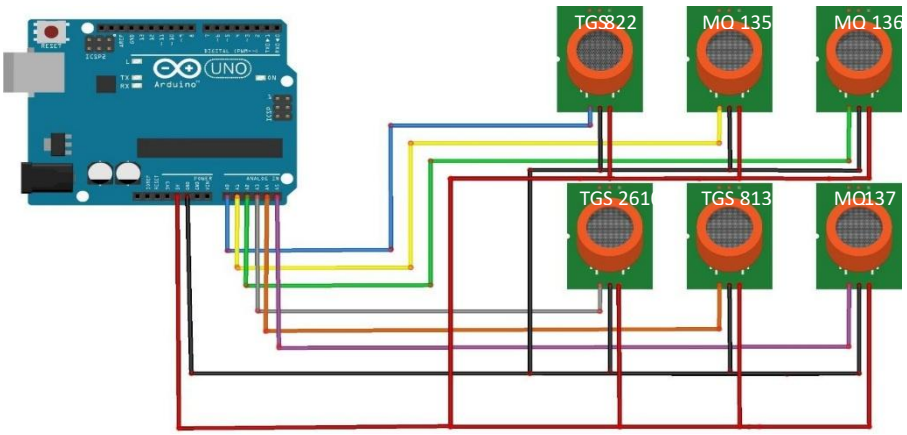


Gambar 3.2 Diagram Alir Sistem Pengujian

Diagram diatas merupakan diagram yang menunjukan cara kerja dan perancangan sistem yang akan dibuat. Sensor-sensor gas yaitu TGS 822, MQ135, MQ136,TGS2610,TGS813 dan MQ137 akan mendeteksi senyawa-senyawa kimia yang dikeluarkan oleh beberapa variasi sampel gelatin ikan, babi dan sapi. Power supply berfungsi sebagai sumber daya DC guna mengakıfkan Mikrokontroler Arduino UNO serta sensor-sensor gas. Sensor-sensor gas tersebut akan merekam intensitas gas yang dihasilkan sesuai dengan sensitifitasnya masing- masing yang kemudian data tersebut akan diolah di Arduino UNO yang kemudian akan diteruskan ke laptop windows Pada laptop windows untuk merekam data dari Arduino UNO menggunakan data logger dari aplikasi Microsoft Excel. Kemudian dari data yang diperolah akan diolah menggunakan aplikasi minitab versi menggunakan metode kemometri yaitu Principal Component Analysis (PCA) dan Linier Discriminant Analysis (LDA) yang kemudian hasilnya akan dibandingkan lalu dilakukan analisis klasifikasi pola sehingga dapat ditarik kesimpulan dari penelitian ini.

B. Rangkaian Alat

Tahap rangkaian alat ini merupakan proses dari perakitan dari sensor ENOSE secara kompleks yang terdiri dari beberapa sensor gas dan mikrokontroler Arduino UNO sehingga dapat berjalan dengan baik pendeteksi pola aroma dari beberapa sampel gelatin. Berikut adalah rangkaian perangkat keras/*hardware* yang dirancang secara keseluruhan:



Gambar 3.3 Rangkaian Alat

3.4.2 Perangkat Lunak (Software)

Perangkat lunak (Software) merupakan sebuah program yang diguanakan untuk mengendalikan perangkat keras (Hardware) dengan fungsi yang dikehendaki Pembuatan software bertujuan untuk mengontrol, memantau, mengkondisikan hingga menyimpan data dari sinyal sebuah hardware Software untuk rangkaian alat hidung elektronik ini dibuat menggunakan aplikası Arduino IDE Aplikasi ini merupakan aplikasi yang umum digunakan ketika menggunakan Arduino UNO sebagai mikrokontroler suatu rangkaian Aplikasi ini juga dikembangkan oleh perusahaan yang memproduksi Arduino UNO.

3.5 Pengambilan dan Pengolahan Data

3.5.1 Tahap Persiapan Sampel

1) Dipersiapkan beberapa bubuk gelatin (Sapi, Babi, Ikan)
2) Dipersiapkan Larutan Aquades sebanyak 50 mL
3) Pembuatan Larutan Gelatin dengan mencampurkan Kedua bahan yang ada di nomer 1 dan 2

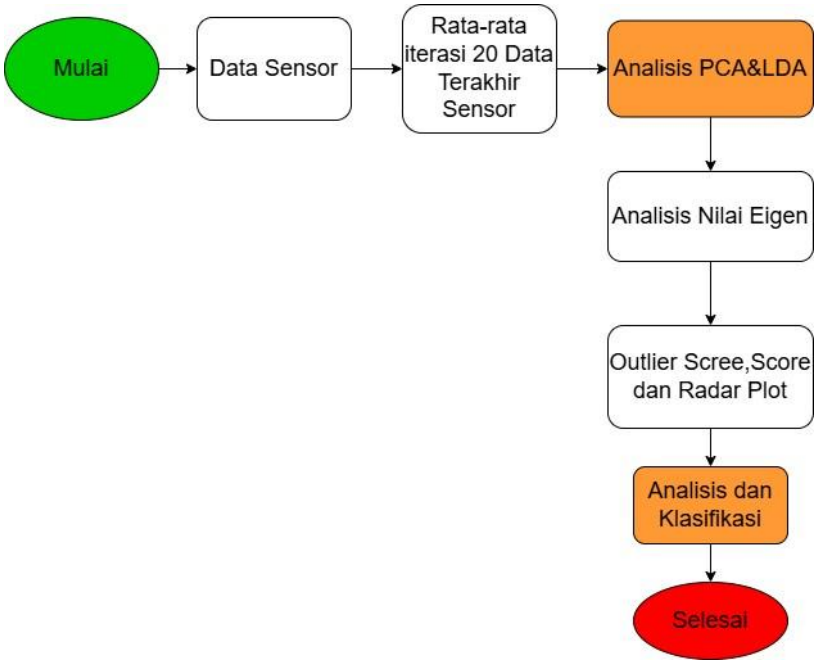
4) Melakukan Penimbangan Larutan bersadarkan konsentrasi variasi masing-masing sampel ditambahkan sebagai berikut:
    a. Sampel 1: dengan menggunakan Variasi Konsentrasi Aquades 10 gram dan Bubuk gelatin sebanyak 0,1 – 0,7 gram.
5) Setelah itu sampel dipanaskan menggunakan Hot plate dan dimasukkan pengaduknya menggunakan magnet stirrer, dengan kecepatan 600 rpm di suhu 60^{o} selama 10 Menit.

3.5.2 Tahap Pengambilan Data E-Nose

Setelah larutan sampel gelatin dibuat dan diuapkan dengan cara dipanaskan menggunakan hot plate, selanjutnya sampel dimasukkan kedalam tempat yang berisikan sensor yang nantinya uap atau gas yang dihasilkan akan dideteksi oleh sensor E-nose. Kemudian Array sensor dari hidung elektronik akan memulai membaca uap yang dihasilkan dari sampel yang telah dipanaskan dengan waktu pengambilan data untuk sampel yang pertama adalah 5 menit dengan pembacaan oleh sensor adalah setiap 5 detik, Yang nantinya akan diambil 20 iterasi data terakhir yang telah dibaca selama 5 menit tersebut. Setelah pembacaan selama 5 menit ini hidung elektronik dibiarkan tetap menyala tetapi ruang sampel dibuka agar udara atau gas yang masih tersisa didalam ruang sampel dapat berganti sehingga pembacaan oleh hidung elektronik akan Kembali normal. Pengulangan pengambilan sampel ini adalah masing-masing sebanyak 210 kali pengulangan untuk sampel gelatin dengan variasi konsentrasi 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%.

3.5.3 Tahap Pengolahan Data

Tahap Pengolahan data dimulai dengan perhitungan menggunakan metode PCA dan LDA dengan aplikasi Origin kemudian data akan dianalisis. Dari data yang diperoleh akan didapatkan Pola Klasifikasi Gelatin (Sapi, Babi, Ikan).



Gambar 3.4 Diagram Alir Pengolahan Data

3.5.4 Tabel Pengukuran Data

Tabel 3.2 *Example* Hasil Pengukuran Data Gelatin Sapi

Konsentasi %	Pengulangan Sampel	TGS 822	MQ135	MQ136	TGS2610	TGS813	MQ137
1%	1						
	2						
	…						
	8						
2%	1						
	2						
	…						
	8						
3%	1						
	2						
	…						
	8						
4%	1						
	2						
	…						
	8						
5%	1						
	2						
	…						
	8						
6%	1						
	2						
	…						
	8						
7%	1						
	2						
	…						
	8						

Tabel 3.3 *Example* Hasil Pengukuran Data Gelatin Ikan

Konsentasi %	Pengulangan Sampel	TGS 822	MQ135,	MQ136	TGS2610	TGS813	MQ137
1%	1						
	2						
	…						
	8						
2%	1						
	2						
	…						
	8						
3%	1						
	2						
	…						
	8						
4%	1						
	2						
	…						
	8						
5%	1						
	2						
	…						
	8						
6%	1						
	2						
	…						
	8						
7%	1						
	2						
	…						
	8						

Tabel 3.4 *Example* Hasil Pengukuran Data Gelatin Babi

Konsentasi %	Pengulangan Sampel	TGS 822	MQ135,	MQ136	TGS2610	TGS813	MQ137
1%	1						
	2						
	…						
	8						
2%	1						
	2						
	…						
	8						
3%	1						
	2						
	…						
	8						
4%	1						
	2						
	…						
	8						
5%	1						
	2						
	…						
	8						
6%	1						
	2						
	…						
	8						
7%	1						
	2						
	…						
	8						

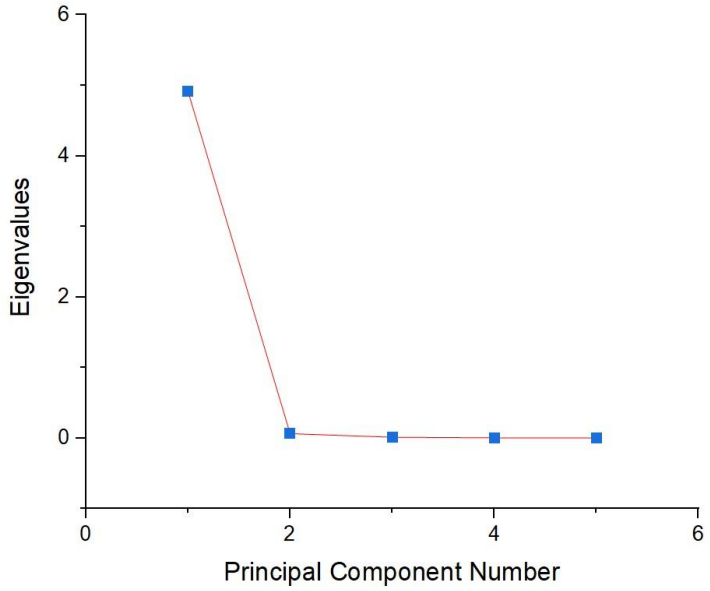
Tabel 3.5 *Example Eigenvalues of the Correlation Matrix*

No	Eigenvalue	Percentage of Variance	Cumulative
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			

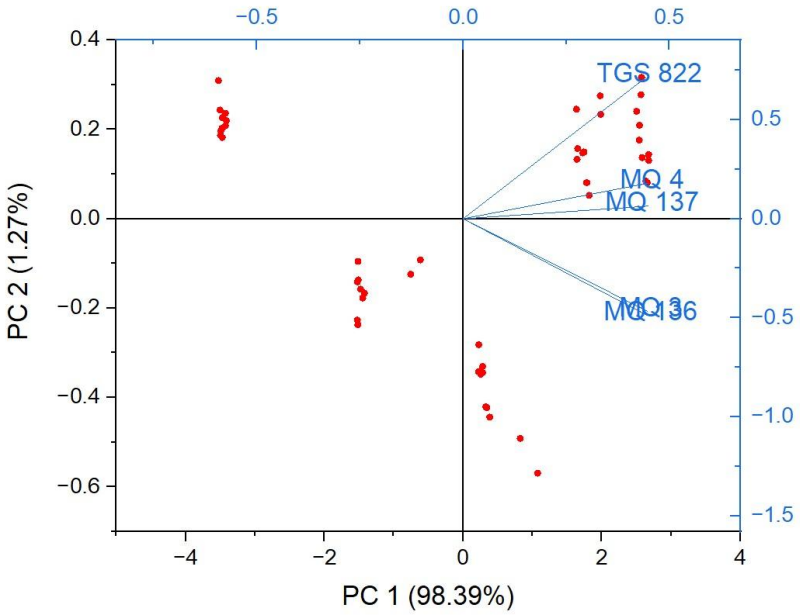
Tabel 3.6 *Example Extract Eigenvector*

SENSOR	PC 1	PC 2
TGS 822		
MQ 135		
MQ 136		
TGS 2610		
MA137		

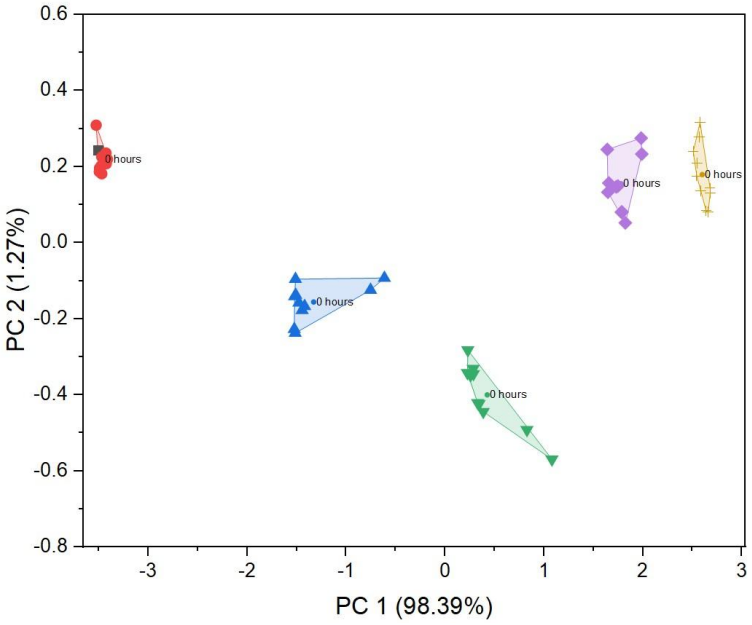
Example gambar



Gambar 3.5 *Example Scree plot*



Gambar 3.6 *Example* Loading Plot



Gambar 3.7 *Example* Biplot

BAB IV

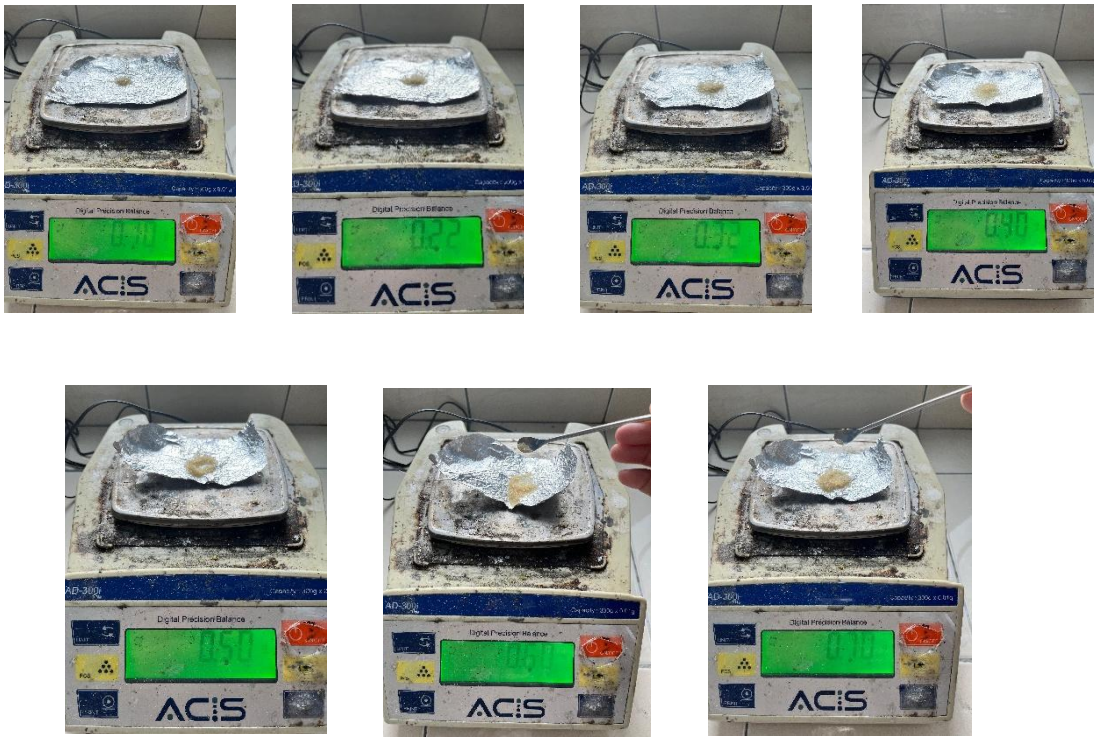
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian sampel Gelatin Sapi, Babi dan Ikan

4.1.1 Preparasi Sampel

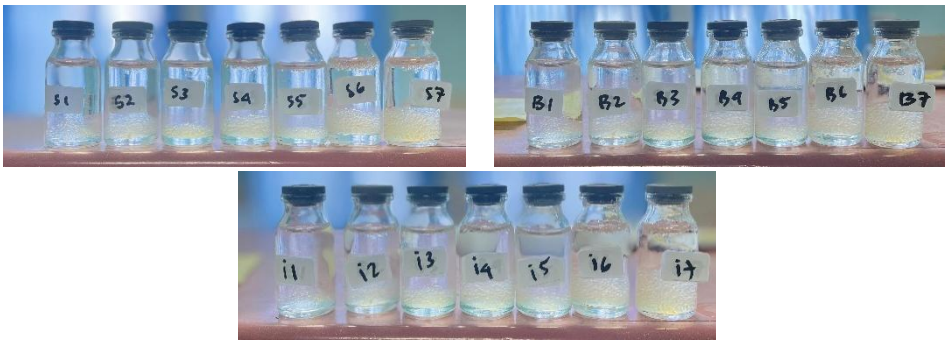
Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelatin sapi, babi dan ikan. Penelitian ini dilaksanakan mulai tanggal 6 Februari 2025 sampai dengan 12 April 2025 di Laboratorium sensor Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pada penelitian ini menggunakan 3 macam sampel gelatin yaitu Gelatin Sapi, Gelatin babi dan Gelatin Ikan. Pengambilan data ini dilakukan berdasarkan konsentrasi 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7% setiap masing-masing sampel gelatin sapi, babi dan ikan. Untuk mengukur ukuran konsentrasinya dengan menggunakan tambahan larutan aquades sebanyak 10 gram dan bubuk gelatin 0,1-0,7 gram. Pembuatan larutan gelatin dilakukan perlakuan yang sama dengan dipanaskan sampai suhu 60^0 setiap masing-masing sampel.

Gambar 4.1 Bubuk Gelatin Sapi, Babi, Ikan



Gambar 4.2 Tahap Penimbangan Sampel Gelatin Sapi, Babi, Ikan

Gambar 4.3 Takaran Larutan Aquades 10 mL



Gambar 4.4 Larutan Gelatin Sapi, Babi dan Ikan

4.2 Data Hasil Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan 3 sampel gelatin dengan konsentrasi masing-masing sampel gelatin Sapi, Babi, Ikan sebanyak 1%-7%. Penelitian ini dilakukan di Labrotorium Sensor Prodi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Data yang diperoleh dari data logger E-Nose merupakan data mentah yang belum dapat langsung dianalisis menggunakan metode PCA. Karena data yang dianalisis dengan PCA adalah data hasil rata-rata setiap sensor pada setiap siklus pengambilan data. Berikut yaitu 20 iterasi data terakhir yang sudah di rata-rata.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Gelatin Sapi

Jenis sampel	Pengulangan Sampel	TGS822	MQ135	MQ136	TGS2610	TGS813	MQ137
Sapi 1%	1	1191.24	2174.11	1270.17	374.89	2205.49	2958.24
	2	806.68	1731.84	1220.04	315.60	1554.48	2968.16
	3	667.74	1517.25	1245.17	287.67	1296.61	3093.14
	4	707.77	1491.87	1218.64	290.93	1356.42	3029.84
	5	449.43	1245.64	1297.77	226.92	785.97	3219.75
	6	411.95	1421.82	1368.99	215.75	999.40	3256.30
	7	397.06	1302.66	1283.11	204.81	893.27	3173.67
	8	756.64	1263.56	1203.98	277.19	1396.68	2996.56
Sapi 2%	1	423.59	1051.29	1183.26	226.93	916.77	3132.70
	2	517.39	1101.10	1132.99	248.34	1178.14	2923.01
	3	601.41	1063.39	1013.12	237.63	1362.23	2568.54
	4	523.44	944.00	1098.07	237.39	1134.85	2887.63
	5	579.30	915.61	955.87	218.08	1322.67	2437.51
	6	524.83	773.40	937.25	215.75	1183.96	2459.15
	7	474.79	724.29	963.32	214.36	1113.67	2559.46
	8	523.20	794.81	1140.43	237.16	1154.86	2933.01
Sapi 3%	1	631.89	859.75	1128.56	238.33	1517.94	2866.68
	2	518.32	805.06	1139.50	223.43	1273.79	2972.58
	3	667.27	749.20	1041.52	234.37	1550.76	2606.94
	4	621.89	663.77	1014.05	227.39	1394.12	2601.35
	5	665.18	635.85	1000.32	237.86	1490.94	2540.38
	6	590.00	614.43	1035.70	237.40	1332.68	2719.35
	7	579.30	556.95	950.52	220.87	1363.63	2452.17
	8	537.63	575.33	1087.60	232.51	1202.11	2884.83
Sapi 4%	1	720.56	801.10	1070.14	228.09	1658.05	2596.24
	2	699.62	703.35	1073.40	229.95	1514.68	2681.88
	3	511.79	675.42	1116.69	206.68	1144.62	2916.02
	4	675.65	670.99	1038.26	219.01	1484.89	2553.87

Jenis sampel	Pengulangan Sampel	TGS822	MQ135	MQ136	TGS2610	TGS813	MQ137
Sapi 4%	5	655.63	671.00	1043.15	227.39	1463.95	2623.23
	6	686.35	662.62	1043.38	236.70	1499.32	2580.41
	7	635.85	621.89	1013.82	226.46	1428.80	2566.91
	8	576.50	617.93	1085.27	228.55	1286.36	2823.86
Sapi 5%	1	522.73	579.76	1005.68	225.53	1235.62	2745.42
	2	523.90	593.49	1115.06	239.02	1170.92	3019.59
	3	441.51	552.06	1048.97	204.11	1035.00	2845.27
	4	538.80	601.41	1120.18	238.09	1223.75	2987.24
	5	398.45	467.57	1113.67	194.34	867.90	2998.65
	6	368.90	491.78	1098.07	188.06	838.56	2995.62
	7	580.00	609.55	1025.69	237.63	1397.38	2674.90
	8	311.41	402.88	877.90	140.58	694.73	2439.83
Sapi 6%	1	1860.77	539.50	1380.39	291.86	2660.01	2717.26
	2	1449.98	692.41	1731.83	330.73	2255.97	3561.41
	3	1446.02	335.15	1296.83	249.96	1919.42	2656.28
	4	1304.98	380.53	1402.50	279.99	1904.29	2975.84
	5	690.55	274.40	1404.83	182.47	1137.87	3140.85
	6	919.10	400.54	1532.60	261.36	1605.22	3375.22
	7	923.29	455.48	1540.05	275.33	1677.37	3417.58
	8	1234.93	771.31	1660.15	349.81	2079.55	3563.04
Sapi 7%	1	1860.77	539.50	1380.39	291.86	2660.01	2717.26
	2	1449.98	692.41	1731.83	330.73	2255.97	3561.41
	3	1446.02	335.15	1296.83	249.96	1919.42	2656.28
	4	1304.98	380.53	1402.50	279.99	1904.29	2975.84
	5	690.55	274.40	1404.83	182.47	1137.87	3140.85
	6	919.10	400.54	1532.60	261.36	1605.22	3375.22
	7	923.29	455.48	1540.05	275.33	1677.37	3417.58
	8	1234.93	771.31	1660.15	349.81	2079.55	3563.04

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Gelatin Babi

Jenis sampel	Pengulangan Sampel	TGS822	MQ135	MQ136	TGS2610	TGS813	MQ137
Babi 1%	1	778.29	1450.45	1426.01	267.42	2012.29	3132.24
	2	939.11	1371.78	1360.38	290.70	2224.78	2960.01
	3	943.54	1267.98	1330.12	280.69	2092.82	2918.12
	4	897.22	1192.57	1267.05	274.40	1974.58	2843.18
	5	911.42	1127.64	1256.11	266.02	1925.48	2824.56
	6	841.13	1026.86	1195.36	259.27	1766.98	2775.45
	7	853.23	1018.48	1252.38	262.30	1719.27	2909.04
	8	768.28	951.92	1207	259.97	1601.73	2893.45
Babi 2%	1	991.48	1838.43	1494.67	293.96	2350.69	3137.83
	2	974.49	1675.98	1424.85	286.51	2229.67	3072.89
	3	944.47	1563.79	1386.44	275.33	2270.86	3033.32
	4	895.83	1432.53	1352.00	266.26	2214.30	3008.89
	5	879.07	1379.23	1334.78	261.37	2109.80	2989.10
	6	822.51	1282.87	1239.35	270.68	1864.73	2864.82
	7	787.83	1232.84	1230.97	254.62	1768.60	2876.22
	8	674.25	1153.24	1285.90	239.72	1466.04	3075.92
Babi 3%	1	829.73	1216.77	1223.29	273.46	1797.70	2833.63
	2	798.31	1170.92	1213.28	263.92	1700.87	2863.42
	3	786.43	1126.47	1219.34	260.67	1650.84	2903.23
	4	768.28	1088.07	1204.67	255.55	1601.96	2880.42
	5	752.92	1058.98	1205.84	249.96	1562.63	2891.35
	6	741.52	1038.73	1205.60	250.66	1528.88	2908.81
	7	754.78	1028.72	1181.40	248.33	1569.14	2838.29
	8	741.75	999.16	1166.73	245.77	1539.59	2815.25
Babi 4%	1	759.90	1173.71	1253.78	251.36	1742.54	2832.23
	2	714.29	1031.74	1144.16	226.92	1616.16	2669.08
	3	686.82	918.63	1112.50	216.68	1532.14	2648.60
	4	644.23	868.59	1116	209.93	1343.85	2703.06

Jenis sampel	Pengulangan Sampel	TGS822	MQ135	MQ136	TGS2610	TGS813	MQ137
Babi 4%	5	625.84	839.73	1152.77	215.05	1228.87	2827.11
	6	680.54	839.96	1099.47	220.40	1480.24	2625.79
	7	609.32	793.65	1156.03	213.65	1192.57	2859.47
	8	633.99	815.29	1164.41	223.20	1212.35	2865.05
Babi 5%	1	763.39	884.88	1361.31	311.87	1170.46	3259.55
	2	686.59	933.53	1321.51	276.72	1204.90	3209.04
	3	655.63	969.60	1351.06	265.55	1192.33	3253.26
	4	558.11	927.94	1396.91	245.07	1008.70	3344.73
	5	593.26	966.34	1450.91	254.15	1028.95	3402.45
	6	606.06	1010.33	1487.92	259.04	1051.99	3436.90
	7	612.58	1043.38	1509.79	259.50	1072.47	3455.98
	8	610.95	1077.59	1525.62	259.27	1085.27	3470.19
Babi 6%	1	717.54	1092.49	1382.02	276.26	1394.35	3211.37
	2	671.00	1054.32	1317.32	254.38	1376.90	3131.31
	3	681.23	1022.43	1293.11	253.92	1368.52	3081.74
	4	457.57	869.06	1261.92	220.17	987.98	3176.69
	5	763.63	1121.58	1345.25	265.09	1701.11	3000.28
	6	636.55	975.88	1258.90	235.06	1453.01	2943.72
	7	686.12	974.72	1270.77	250.19	1453.00	2982.59
	8	641.20	900.24	1212.58	229.25	1427.87	2884.60
Babi 7%	1	515.06	820.64	1149.28	227.15	1137.64	2952.56
	2	480.38	812.73	1248.19	220.87	978.44	3154.81
	3	539.96	870.45	1338.73	235.99	1014.05	3266.76
	4	559.74	911.41	1378.99	240.65	1045.71	3311.22
	5	569.06	951.91	1407.62	240.42	1078.76	3338.91
	6	563.47	977.05	1429.96	239.72	1079.45	3365.22
	7	606.06	1018.47	1255.64	232.04	1404.83	3016.57
	8	578.83	986.35	1302.42	241.81	1234.46	3191.13

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Gelatin Ikan

Jenis sampel	Pengulangan Sampel	TGS822	MQ135	MQ136	TGS2610	TGS813	MQ137
Ikan 1%	1	1443,23	1896,38	1681,33	596,52	3460,41	3646,60
	2	1401,81	900,01	754,78	267,65	3386,63	2208,96
	3	1228,64	838,33	821,81	246,24	3423,17	2365,59
	4	1100,63	747,10	803,66	225,29	3476,24	2349,53
	5	734,53	769,67	1262,86	256,02	3440,63	3251,87
	6	739,65	1092,49	1434,62	329,10	3520,46	3471,82
	7	444,07	424,28	1077,13	178,28	3457,39	2994,23
	8	363,31	384,95	1025,23	169,20	3374,53	2948,15
Ikan 2%	1	544,38	725,69	1302,19	223,90	4093,94	3219,76
	2	734,07	593,49	761,07	175,72	4091,37	2215,94
	3	698,69	603,27	846,72	198,99	4082,76	2452,40
	4	697,06	433,83	604,67	162,45	4083,46	2007,87
	5	630,26	371,92	607,22	153,38	4086,49	2053,48
	6	498,53	313,97	1207,70	172,00	4150,96	3202,07
	7	615,60	465,95	1229,34	223,66	4155,61	3212,77
	8	522,74	464,09	1131,83	191,08	4156,77	3070,57
Ikan 3%	1	993,34	1064,10	1190,48	260,44	3789,28	3014,25
	2	853,00	694,04	961,46	207,14	3858,17	2672,81
	3	759,67	711,73	1623,38	253,69	3922,40	3517,90
	4	647,02	736,86	1581,02	234,60	3981,98	3477,63
	5	520,88	350,98	1297,77	194,34	3979,42	3214,87
	6	788,30	714,52	1697,62	319,32	3991,30	3607,04
	7	515,52	425,22	1354,09	208,07	4040,64	3262,58
	8	416,61	270,91	1139,51	157,80	4052,04	2998,65
Ikan 4%	1	660,52	507,15	1394,13	251,36	3891,22	3349,39
	2	554,62	674,95	1443,23	239,26	3908,90	3426,43
	3	725,22	853,47	1629,89	261,37	3998,28	3570,50
	4	750,60	843,22	1257,74	278,12	4034,12	3216,03

Jenis sampel	Pengulangan Sampel	TGS822	MQ135	MQ136	TGS2610	TGS813	MQ137
Ikan 4%	5	637,02	745,47	1581,95	235,53	4133,74	3544,66
	6	488,99	488,29	1406,93	200,16	4138,85	3364,75
	7	583,49	637,71	1540,52	237,86	4150,26	3502,54
	8	410,56	306,75	831,35	143,84	4136,06	2507,10
Ikan 5%	1	699,39	199,92	441,75	167,34	3206,72	1829,82
	2	614,90	198,99	455,48	166,18	3204,63	1864,96
	3	669,13	199,46	532,28	192,71	3261,42	1987,62
	4	677,51	195,97	458,97	185,96	2953,73	1853,56
	5	716,38	193,64	569,75	192,01	2776,61	2032,07
	6	712,43	192,71	589,54	207,60	2819,44	2056,04
	7	644,93	198,99	542,75	186,66	2965,60	1964,11
	8	606,99	176,19	532,28	178,05	2972,82	1961,08
Ikan 6%	1	965,18	235,53	716,38	190,62	4556,86	2052,79
	2	880,46	192,48	606,06	197,60	4543,36	2020,20
	3	855,33	184,33	796,44	233,21	4534,75	2369,31
	4	882,33	202,95	1016,62	251,83	4535,45	2755,67
	5	823,44	178,28	765,95	223,43	4526,83	2317,65
	6	718,94	285,34	1543,78	258,81	4375,32	3476,70
	7	815,53	477,59	1764,65	321,18	4400,46	3668,71
	8	825,07	623,75	1840,52	328,17	4088,58	3720,61
Ikan 7%	1	1039,66	932,83	2010,89	630,03	4199,37	3933,58
	2	1076,43	1469,30	2100,50	672,86	4204,25	3968,02
	3	1075,50	1719,96	2258,30	714,05	4329,47	3987,34
	4	1094,35	1906,39	2305,78	705,67	4041,57	3984,55
	5	1095,98	1978,07	2253,64	635,15	4227,53	3944,75
	6	935,86	2012,99	2113,76	551,13	4077,41	3865,38
	7	894,89	2003,68	2083,51	546,25	4049,71	3849,32
	8	854,63	2023,69	2060,23	504,82	3790,67	3818,83

4.3 Hasil Pengolahan Data dengan Metode PCA

Analisis Komponen Utama (*Principal Component Analysis*) atau PCA merupakan salah satu metode statistik yang digunakan untuk mereduksi dimensi data tanpa menghilangkan informasi penting yang terkandung di dalamnya. Dalam penelitian ini, PCA diterapkan untuk mengidentifikasi pola dan kontribusi variabel-variabel sensor gas terhadap klasifikasi gelatin babi, ikan dan sapi dari berbagai konsentrasi. Dengan menggunakan PCA, data yang kompleks dapat disederhanakan ke dalam beberapa komponen utama yang merepresentasikan sebagian besar variabilitas data.

PCA juga menyediakan berbagai bentuk visualisasi untuk mendukung interpretasi hasil analisis. Pertama, *scree plot* digunakan untuk mengilustrasikan proporsi variansi yang dijelaskan oleh masing-masing komponen utama. Kedua, *loading plot* memberikan wawasan mengenai kontribusi dan hubungan antarvariabel asli dalam membentuk komponen utama. Ketiga, *score plot*, baik dalam format dua maupun tiga dimensi, menampilkan distribusi observasi dalam ruang komponen utama dan berguna dalam mengidentifikasi struktur klaster. Keempat, biplot menggabungkan informasi dari *score* dan *loading plot* dalam satu visualisasi terpadu, sehingga memungkinkan analisis simultan atas hubungan antara variabel, komponen utama, dan posisi observasi. Kombinasi visualisasi ini mempermudah pemahaman terhadap struktur internal data, distribusi observasi, serta interaksi antar variabel sensor gas.

4.3.1 Analisis *Eigenvalue* dan Scree Plot

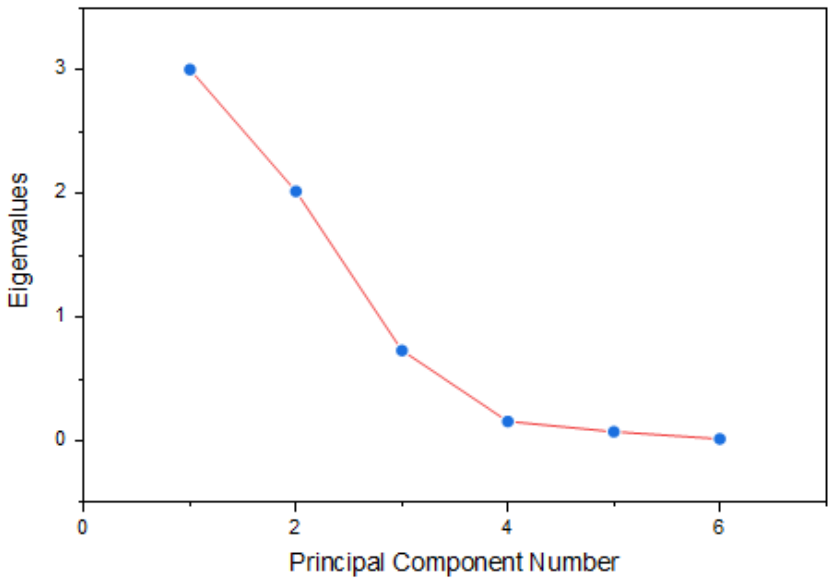
Tabel 4.4 Eigenvalue setiap variasi konsentrasi gelatin

Gelatin	Component	Eigenvalue	Percentage of Variance	Cumulative
1%	PC1	3.00082	50.01%	50.01%
	PC2	2.01705	33.62%	83.63%
	PC3	0.73141	12.19%	95.82%
	PC4	0.15809	2.63%	98.46%
	PC5	0.07552	1.26%	99.72%
	PC6	0.01709	0.28%	100.00%
2%	PC1	3.76097	62.68%	62.68%
	PC2	1.10664	18.44%	81.13%
	PC3	1.05207	17.53%	98.66%
	PC4	0.0425	0.71%	99.37%
	PC5	0.03021	0.50%	99.87%
	PC6	0.00762	0.13%	100.00%
3%	PC1	2.64147	44.02%	44.02%
	PC2	2.5071	41.79%	85.81%
	PC3	0.58969	9.83%	95.64%
	PC4	0.22097	3.68%	99.32%
	PC5	0.02307	0.38%	99.71%
	PC6	0.0177	0.29%	100.00%
4%	PC1	2.85446	57.09%	57.09%
	PC2	1.57471	31.49%	88.58%
	PC3	0.35139	7.03%	95.61%
	PC4	0.1979	3.96%	99.57%
	PC5	0.02154	0.43%	100.00%
	PC6	0.02154	0.43%	100.00%
5%	PC1	4.42323	73.72%	73.72%
	PC2	1.4449	24.08%	97.80%
	PC3	0.0893	1.49%	99.29%
	PC4	0.02766	0.46%	99.75%
	PC5	0.01338	0.22%	99.97%
	PC6	0.00153	0.03%	100.00%
6%	PC1	3.03831	50.64%	50.64%
	PC2	1.66384	27.73%	78.37%
	PC3	0.81683	13.61%	91.98%
	PC4	0.41875	6.98%	98.96%
	PC5	0.05322	0.89%	99.85%
	PC6	0.00906	0.15%	100.00%
7%	PC1	4.55064	75.84%	75.84%
	PC2	1.22503	20.42%	96.26%
	PC3	0.1014	1.69%	97.95%
	PC4	0.10058	1.68%	99.63%
	PC5	0.01711	0.29%	99.91%
	PC6	0.00524	0.09%	100.00%

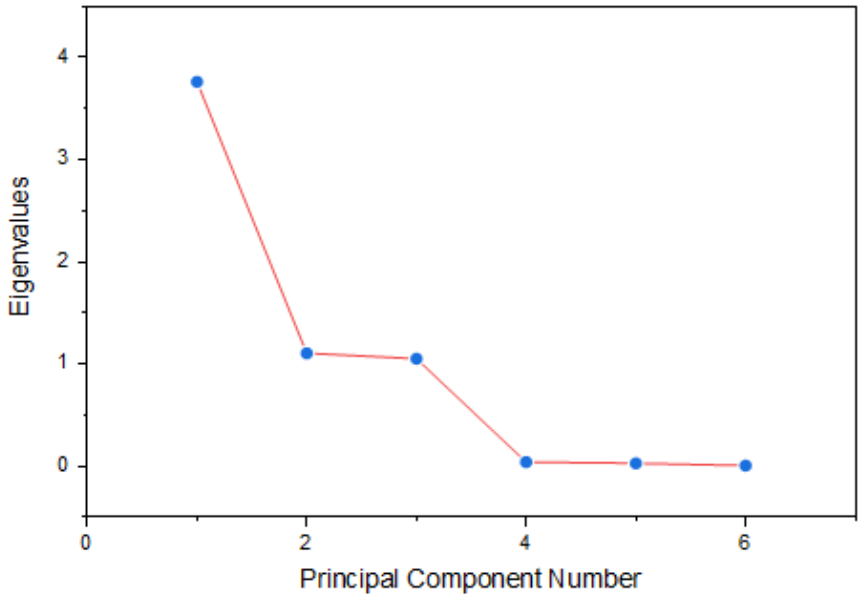
Tabel 4.4 menunjukkan hasil analisis PCA menunjukkan bahwa sebagian besar informasi dalam data dapat dijelaskan oleh dua komponen utama pertama (PC1 dan PC2) di seluruh variasi konsentrasi gelatin. Nilai eigen dari PC1 selalu memiliki kontribusi tertinggi terhadap total variansi, mengindikasikan bahwa komponen ini paling dominan dalam menyederhanakan kompleksitas data. Proporsi variansi yang dijelaskan oleh PC1 berkisar antara 44.02% hingga 75.84%, sementara akumulasi variansi dari PC1 dan PC2 secara umum melebihi 80%, bahkan mencapai lebih dari 97% pada beberapa konsentrasi. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar pola dan perbedaan antar data sensor dapat direpresentasikan dengan baik oleh dua dimensi utama saja. Dengan demikian, tabel tersebut mengindikasikan efektivitas PCA sebagai metode reduksi dimensi yang tetap mempertahankan informasi penting dalam proses klasifikasi gelatin ikan, sapi dan babi.

Gambar 4.5 scree plot yang menggambarkan nilai eigen dari masing-masing konsentrasi gelatin menunjukkan pola penurunan yang konsisten dari komponen utama pertama (PC1) hingga komponen selanjutnya. Pada semua grafik, PC1 memiliki nilai eigen paling tinggi, yang menandakan bahwa komponen ini memberikan kontribusi terbesar terhadap variasi data. Penurunan nilai eigen yang tajam dari PC1 ke PC2 kemudian diikuti oleh penurunan yang lebih landai pada komponen-komponen berikutnya, mengindikasikan bahwa dua komponen utama pertama sudah cukup menjelaskan sebagian besar variansi data. Hal ini terlihat jelas pada konsentrasi 0.5% dan 0.7%, di mana PC1 memiliki nilai eigen sangat tinggi (>4), dan nilai eigen dari PC3 hingga PC6 mendekati nol. Dengan demikian,

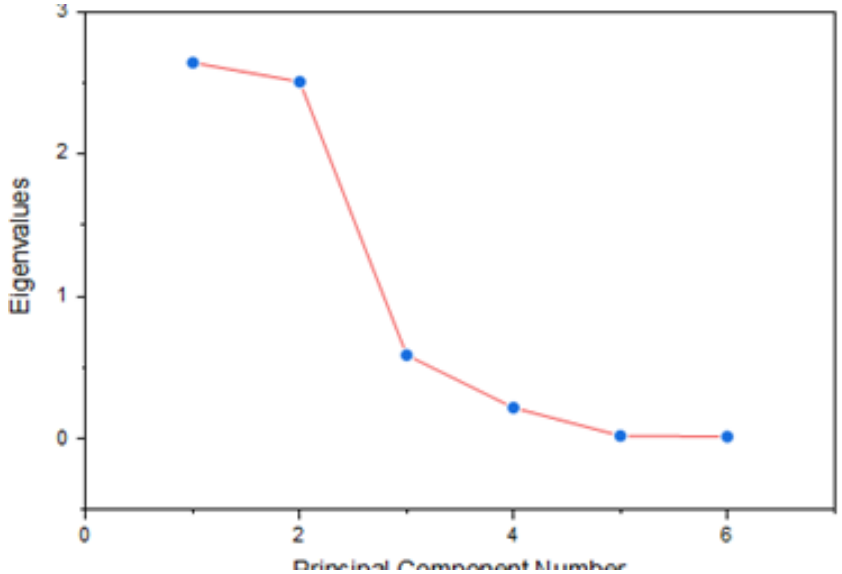
visualisasi scree plot ini mendukung efektivitas PCA dalam mereduksi dimensi data.



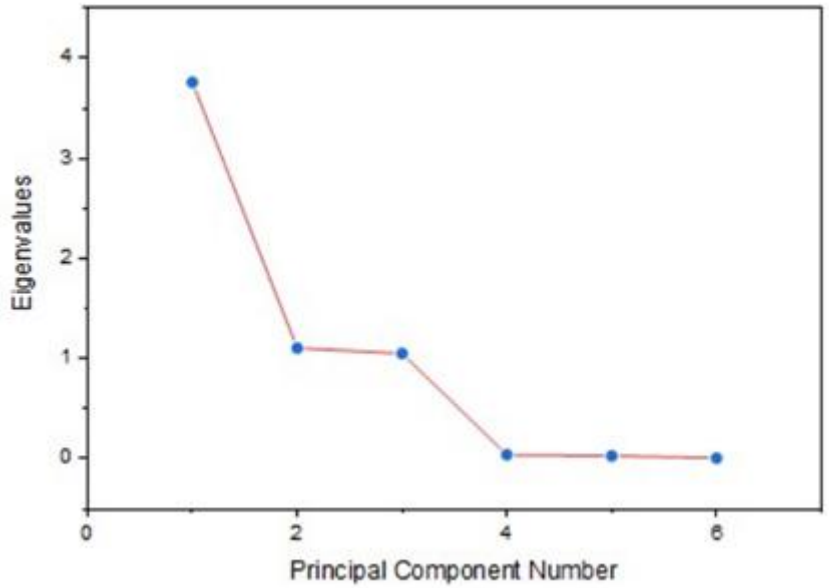
Gambar 4.5 Scree plot nilai eigen dari hasil analisis PCA konsentrasi gelatin 1%



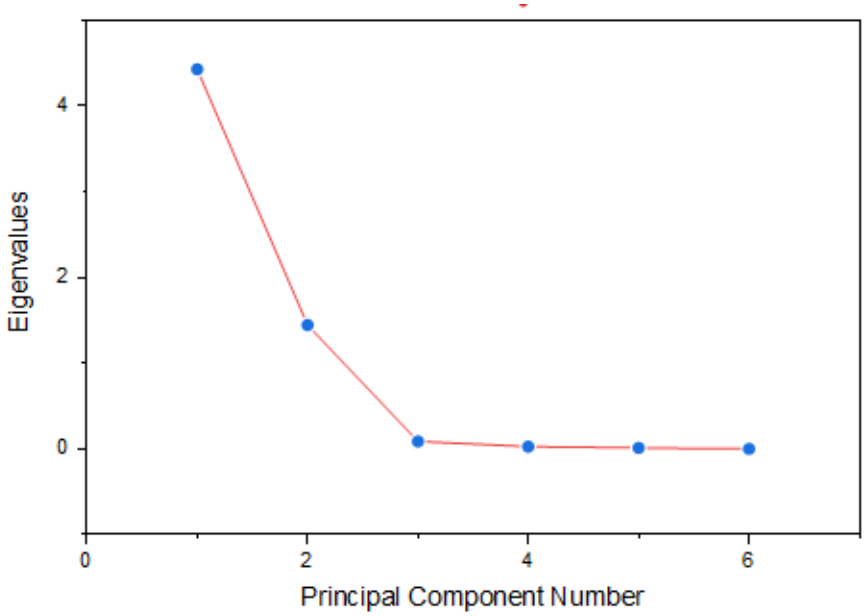
Gambar 4.6 Scree plot nilai eigen dari hasil analisis PCA konsentrasi gelatin 2%



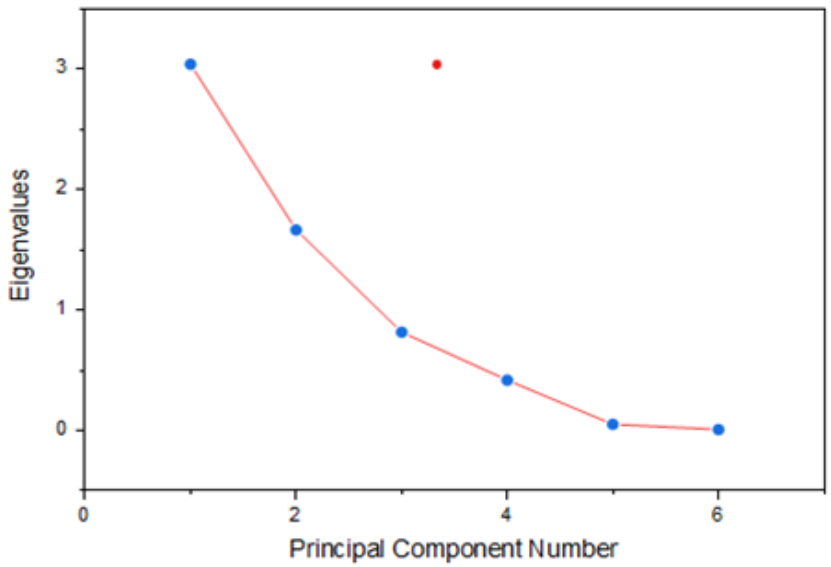
Gambar 4.7 Scree plot nilai eigen dari hasil analisis PCA konsentrasi gelatin 3%



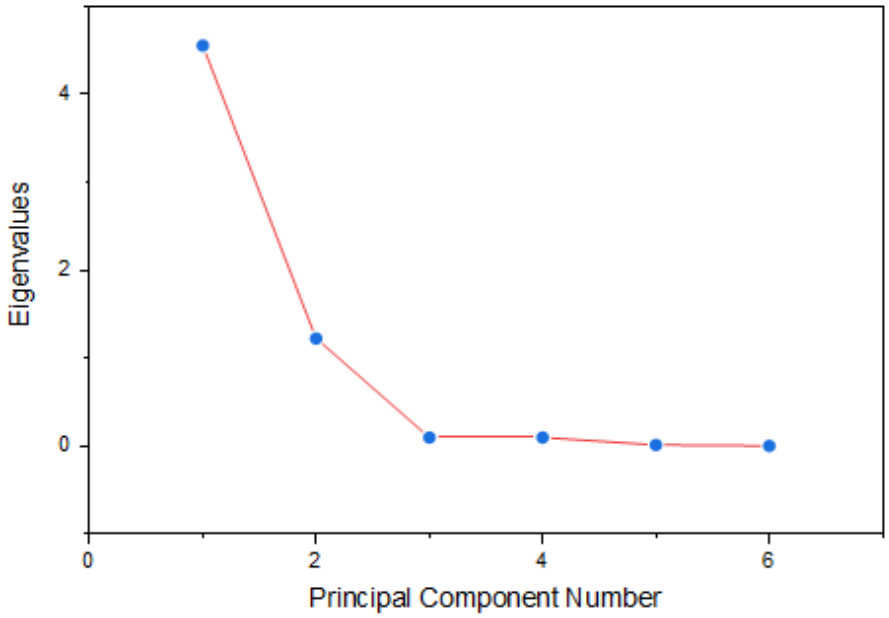
Gambar 4.8 Scree plot nilai eigen dari hasil analisis PCA konsentrasi gelatin 4%



Gambar 4.9 Scree plot nilai eigen dari hasil analisis PCA konsentrasi gelatin 5%



Gambar 4.10 Scree plot nilai eigen dari hasil analisis PCA konsentrasi gelatin 6%



Gambar 4.11 Scree plot nilai eigen dari hasil analisis PCA konsentrasi gelatin 7%

4.3.2 Analisis *Eigenvector* dan Loading Plot

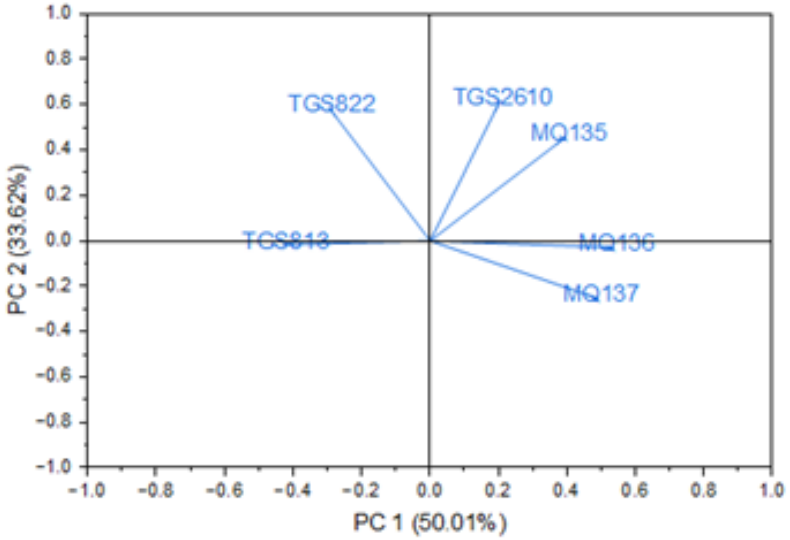
Berdasarkan hasil analisis eigenvector pada berbagai konsentrasi gelatin, terlihat bahwa kontribusi masing-masing sensor terhadap komponen utama (PC1 dan PC2) bervariasi namun menunjukkan pola yang konsisten pada sensor-sensor tertentu. Sensor MQ136, MQ137, dan TGS2610 secara umum memiliki koefisien positif dan relatif tinggi pada PC1 di hampir semua konsentrasi, menandakan bahwa sensor ini memiliki pengaruh dominan dalam membentuk dimensi utama yang merepresentasikan data. Sensor TGS822 dan TGS813, meskipun kontribusinya tidak selalu besar, menunjukkan arah koefisien yang berbeda-beda, mencerminkan peran sensor tersebut dalam membedakan arah variansi. Selain itu, kontribusi pada PC2 juga memberikan informasi tambahan tentang hubungan antar sensor, seperti TGS822 yang menunjukkan nilai positif besar pada PC2 di beberapa konsentrasi, khususnya 7%. Pola ini memperlihatkan bahwa PCA berhasil mengidentifikasi

dimensi pembeda antar variabel (sensor) secara efisien, yang dapat digunakan lebih lanjut untuk klasifikasi dan interpretasi data gelatin.

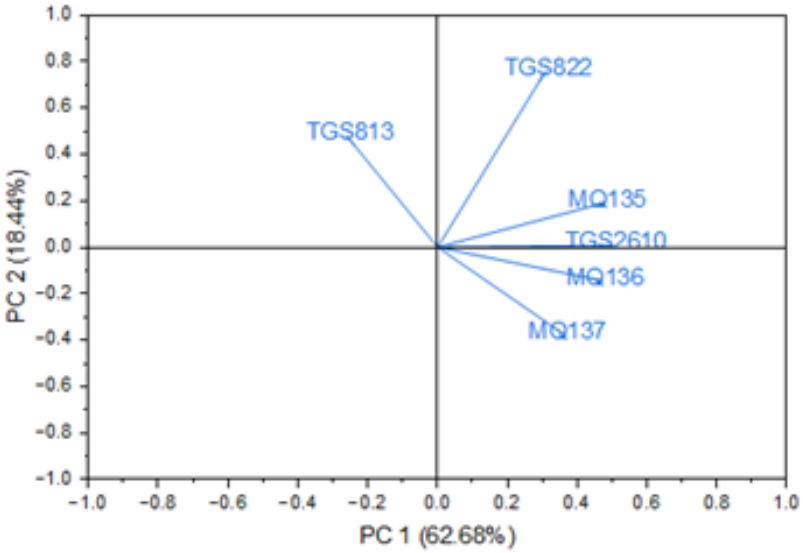
Tabel 4.5 *Eigenvector* setiap variasi konsentrasi gelatin

Gelatin	Sensor	PC1 Coefficient	PC2 Coefficient
1%	TGS822	-0.29633	0.58807
	MQ135	0.39705	0.45779
	MQ136	0.53551	-0.02982
	TGS2610	0.2042	0.61583
	TGS813	-0.43065	-0.01624
	MQ137	0.49052	-0.25337
2%	TGS822	0.30845	0.75613
	MQ135	0.47939	0.19176
	MQ136	0.47157	-0.14325
	TGS2610	0.50237	0.00817
	TGS813	-0.25962	0.47784
	MQ137	0.36455	-0.3776
3%	TGS822	0.34653	0.42532
	MQ135	0.22455	0.54887
	MQ136	0.5526	-0.22259
	TGS2610	0.41595	0.39186
	TGS813	0.31571	-0.44845
	MQ137	0.50144	-0.33711
4%	TGS822	0.30845	0.75613
	MQ135	0.47939	0.19176
	MQ136	0.47157	-0.14325
	TGS2610	0.50237	0.00817
	TGS813	-0.25962	0.47784
	MQ137	0.36455	-0.3776
5%	TGS822	-0.08929	0.81436
	MQ135	0.46001	0.13536
	MQ136	0.47365	-0.00149
	TGS2610	0.39088	0.4437
	TGS813	-0.42423	0.3473
	MQ137	0.47256	-0.03163
6%	TGS822	0.05772	0.589
	MQ135	0.3496	-0.49245
	MQ136	0.5408	0.15302
	TGS2610	0.45179	0.40038

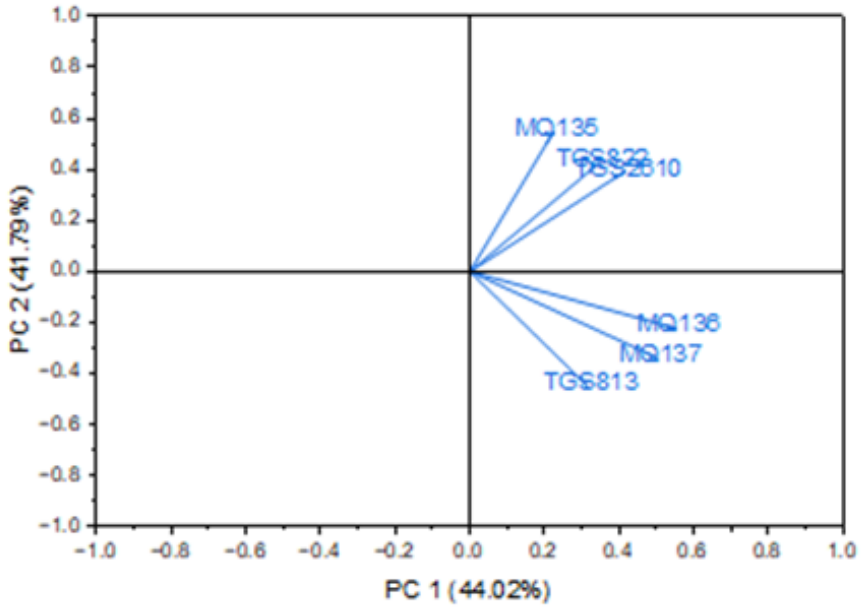
	TGS813	-0.31105	0.47447
	MQ137	0.53021	0.04169
7%	TGS822	0.11518	0.86558
	MQ135	0.41369	-0.36024
	MQ136	0.46703	0.02566
	TGS2610	0.45555	0.13879
	TGS813	0.44781	0.18996
	MQ137	0.43522	-0.25491



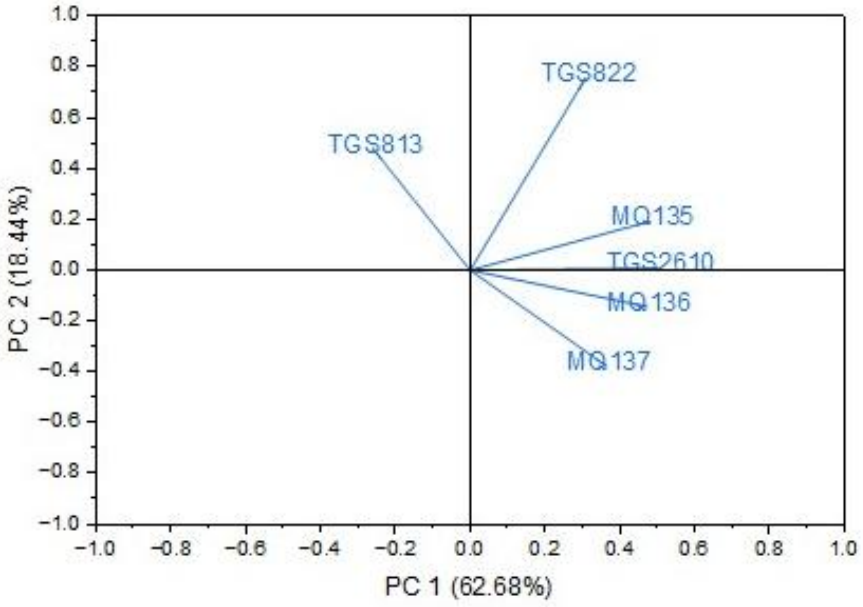
Gambar 4.12 Loading plot nilai eigenvectoor dari hasil analisis PCA untuk konsentrasi gelatin 1%



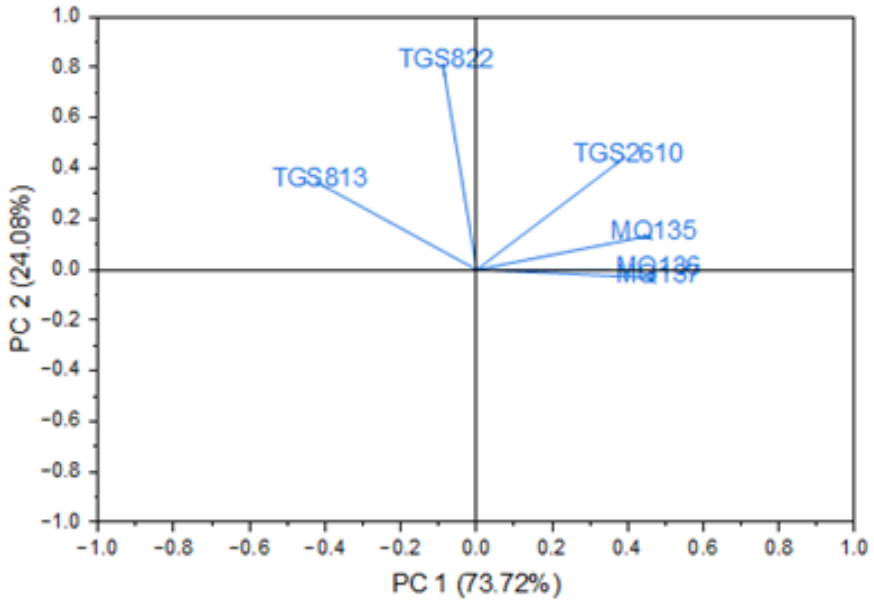
Gambar 4.13 Loading plot nilai eigenvectoor dari hasil analisis PCA untuk konsentrasi gelatin 2%



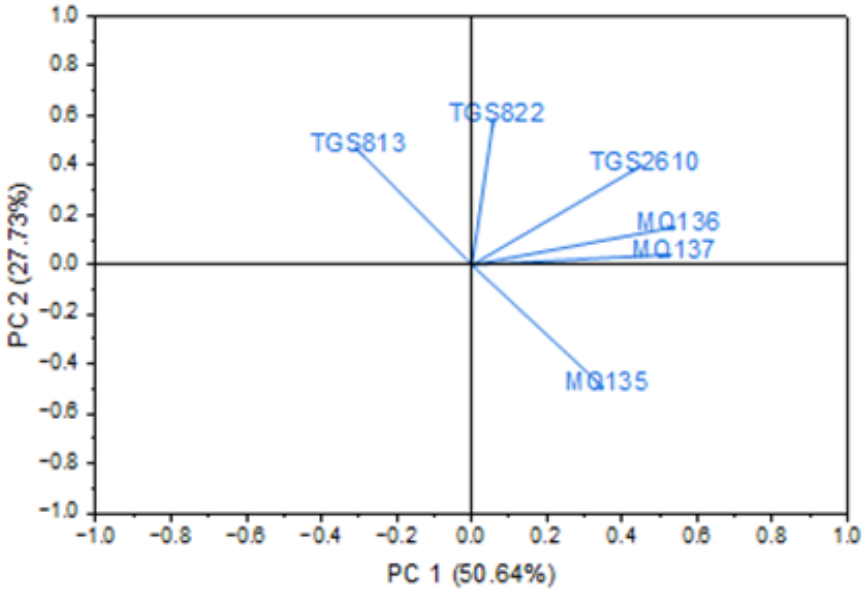
Gambar 4.14 Loading plot nilai eigenvectoor dari hasil analisis PCA untuk konsentrasi gelatin 3%



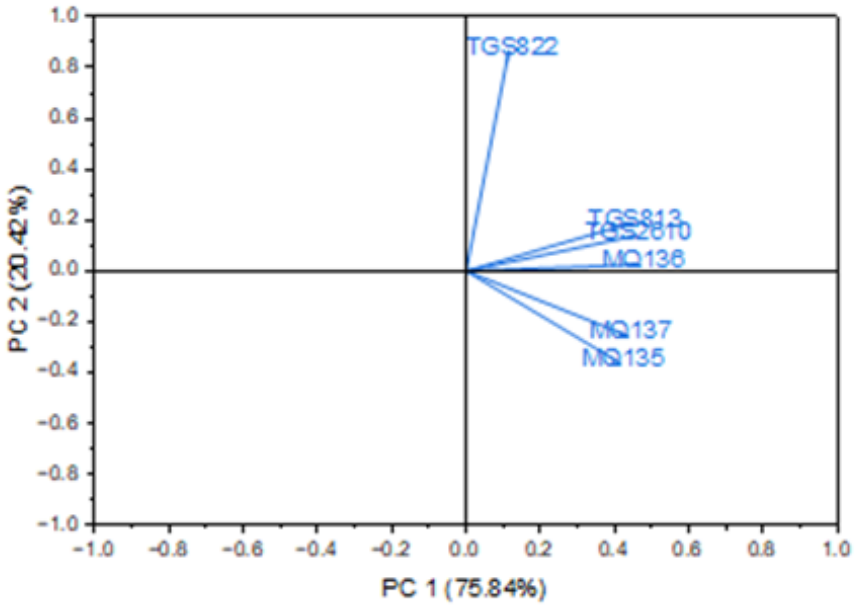
Gambar 4.15 Loading plot nilai eigenvectoor dari hasil analisis PCA untuk konsentrasi gelatin 4%



Gambar 4.16 Loading plot nilai eigenvectoor dari hasil analisis PCA untuk konsentrasi gelatin 5%



Gambar 4.17 Loading plot nilai eigenvectoor dari hasil analisis PCA untuk konsentrasi gelatin 6%



Gambar 4.18 Loading plot nilai eigenvectoor dari hasil analisis PCA untuk konsentrasi gelatin 7%

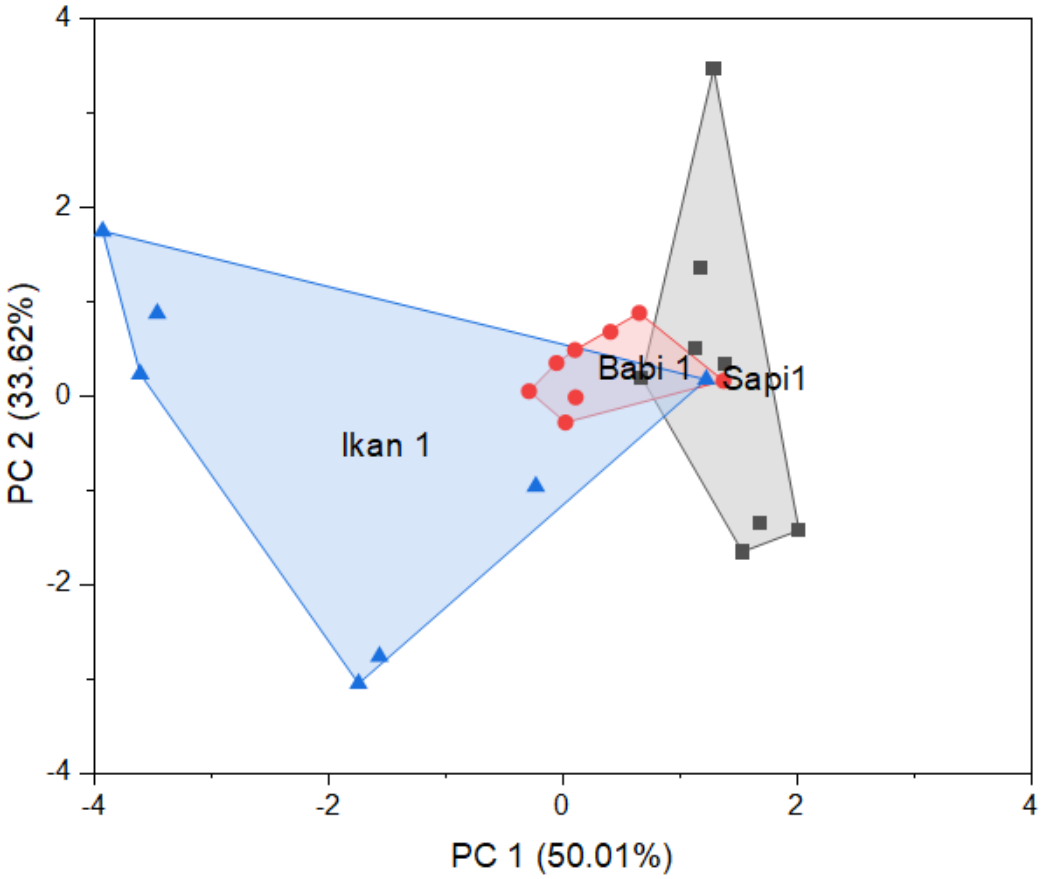
Gambar 4.12 – 4.18 loading plot yang ditampilkan menunjukkan arah dan kontribusi masing-masing sensor gas terhadap dua komponen utama pertama (PC1 dan PC2) dari hasil analisis PCA untuk berbagai konsentrasi gelatin. Terlihat bahwa sensor MQ136, MQ137, dan TGS2610 secara konsisten menunjukkan vektor yang cukup panjang dan mengarah secara signifikan ke PC1, mengindikasikan bahwa ketiganya berperan besar dalam menjelaskan variansi utama data. Pada konsentrasi gelatin 7%, arah vektor sensor-sensor ini mengelompok dalam satu kuadran yang menguatkan keterkaitan antar variabel, sedangkan pada konsentrasi rendah seperti 1% atau 2%, vektor-vektor menunjukkan arah yang lebih menyebar, mencerminkan keragaman kontribusi variabel. Sensor TGS822 cenderung memberikan kontribusi besar terhadap PC2 di beberapa konsentrasi, seperti pada 2% dan 5%, yang ditunjukkan oleh arah vektor tegak lurus ke sumbu PC1. Panjang vektor yang berbeda mencerminkan kekuatan kontribusi masing-masing sensor, dan arah yang

membentuk sudut tajam atau saling berlawanan mengindikasikan korelasi positif atau negatif antar sensor. Secara keseluruhan, loading plot ini menegaskan peran sensor tertentu yang dominan dalam pembentukan komponen utama dan membantu dalam interpretasi klasifikasi gelatin berdasarkan pola sensor.

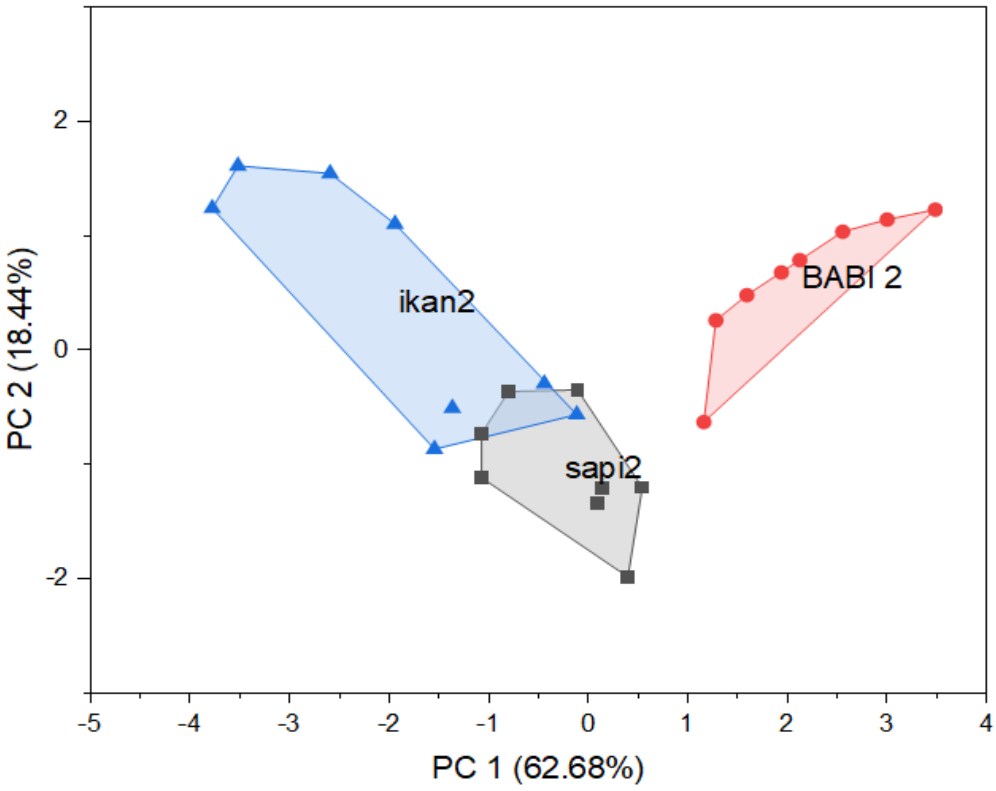
4.3.3 Grafik Score Plot 2D

Dalam perangkat lunak Origin, tersedia dua jenis visualisasi grafis utama untuk menampilkan dan menganalisis pola dalam data hasil *Principal Component Analysis* (PCA), yaitu dalam bentuk dua dimensi (2D). Visualisasi 2D umumnya merepresentasikan hubungan antarobservasi dalam ruang dua komponen utama pertama, yakni PC1 dan PC2, sedangkan visualisasi 3D memungkinkan eksplorasi struktur data dalam tiga komponen utama secara bersamaan (PC1, PC2, dan PC3). Keduanya berperan penting dalam reduksi dimensi serta penyederhanaan representasi data multivariat yang kompleks.

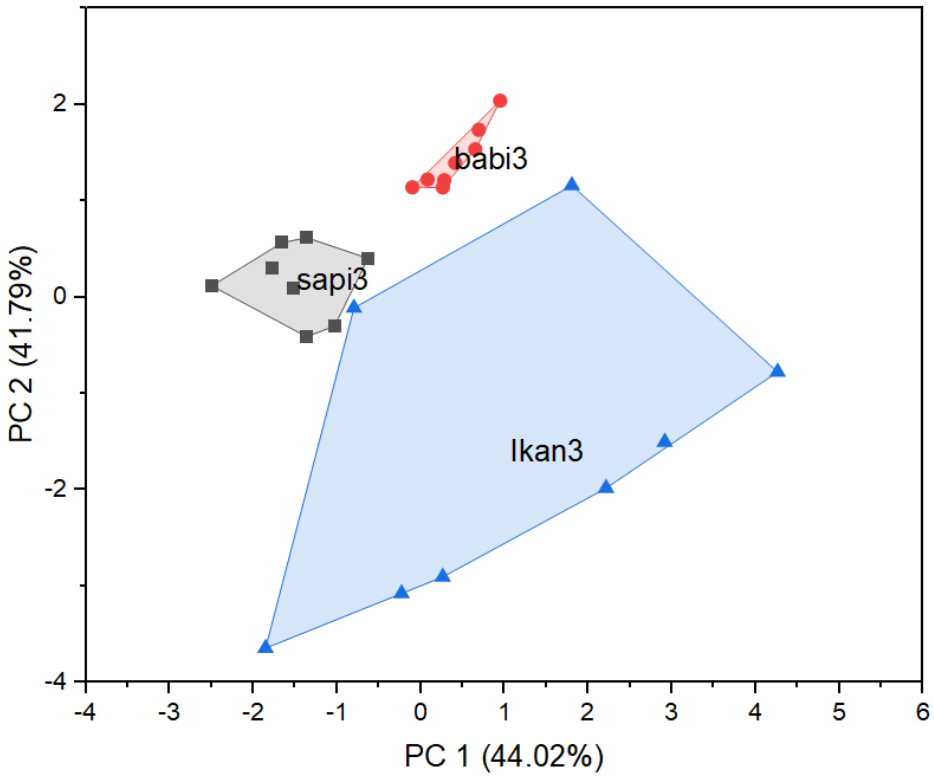
Pada visualisasi 2D, Origin menyediakan *score plot* dan *loading plot* sebagai alat interpretasi utama. *Score plot* digunakan untuk menggambarkan distribusi observasi dalam ruang komponen utama dan mendeteksi pola *clustering*, penyebaran data, serta kemungkinan *outlier*. Sementara itu, *loading plot* merepresentasikan arah dan kontribusi masing-masing variabel terhadap komponen utama, serta mengilustrasikan hubungan korelasional antar variabel. Antarmuka Origin yang interaktif memungkinkan pengguna dengan mudah memilih komponen utama yang ditampilkan pada sumbu x dan y, sehingga mendukung fleksibilitas dalam eksplorasi data.



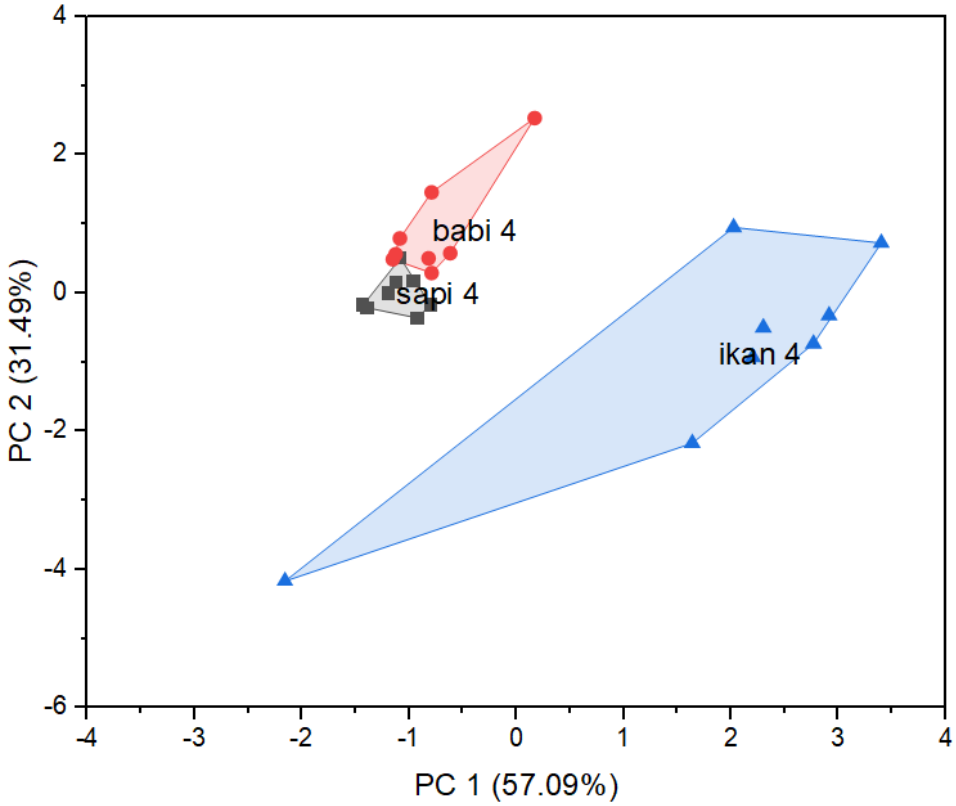
Gambar 4.19 Grafik Score Plot 2D Gelatin Sapi, Babi,Ikan 1%



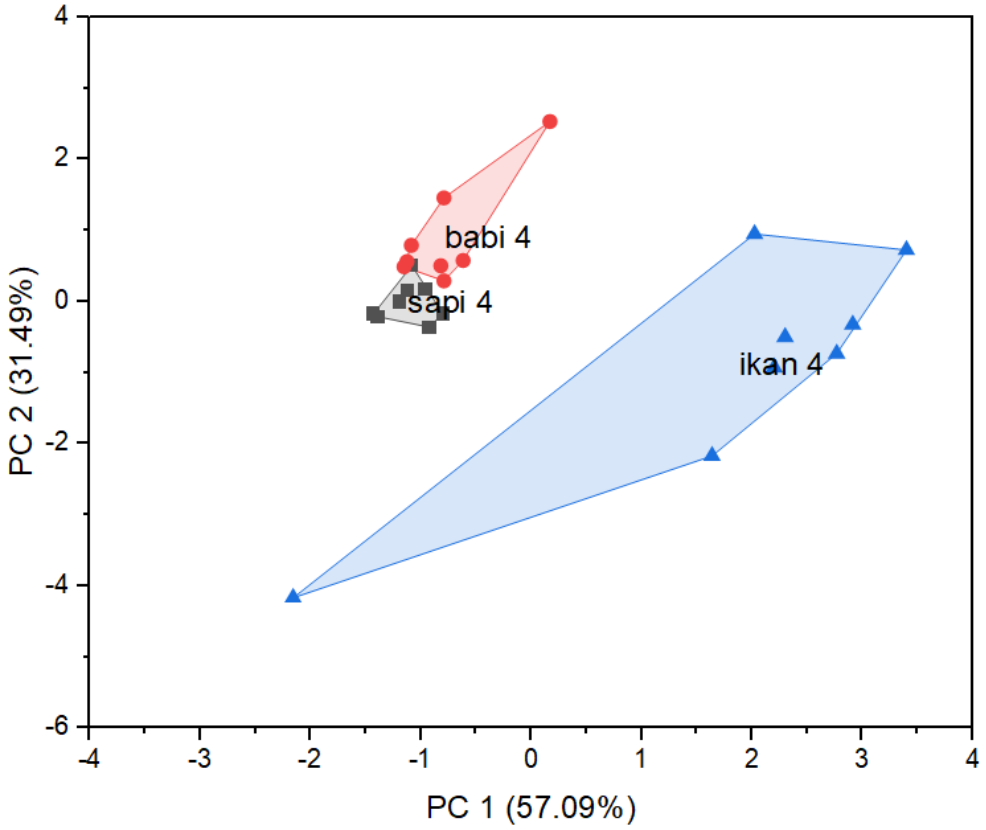
Gambar 4.20 Grafik Score Plot 2D Gelatin Sapi, Babi,Ikan 2%



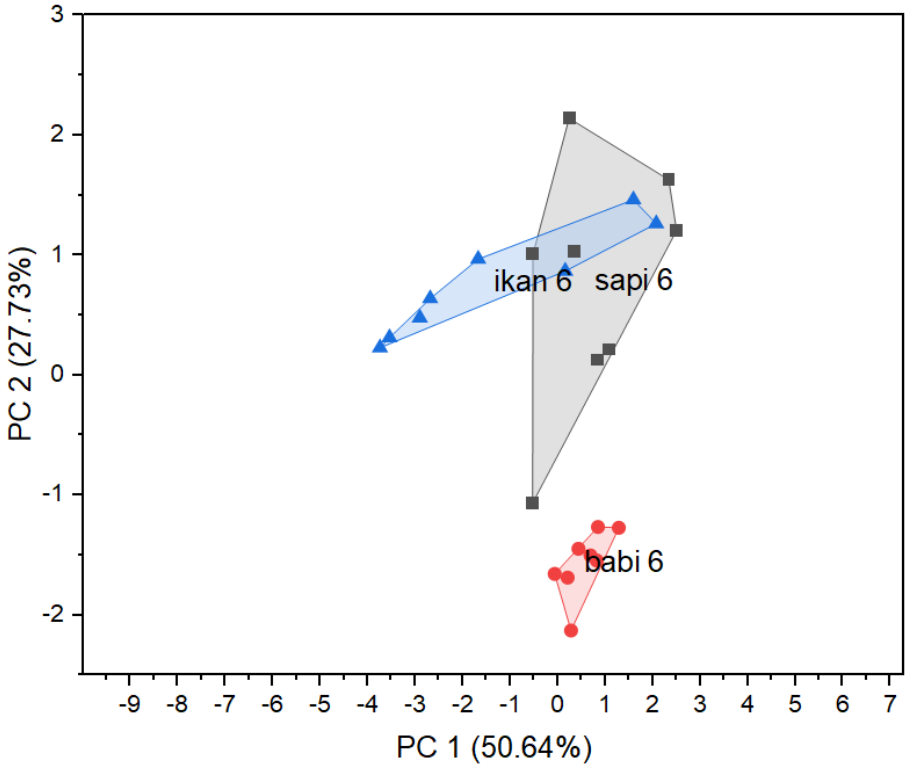
Gambar 4.21 Grafik Score Plot 2D Gelatin Sapi, Babi,Ikan 3%



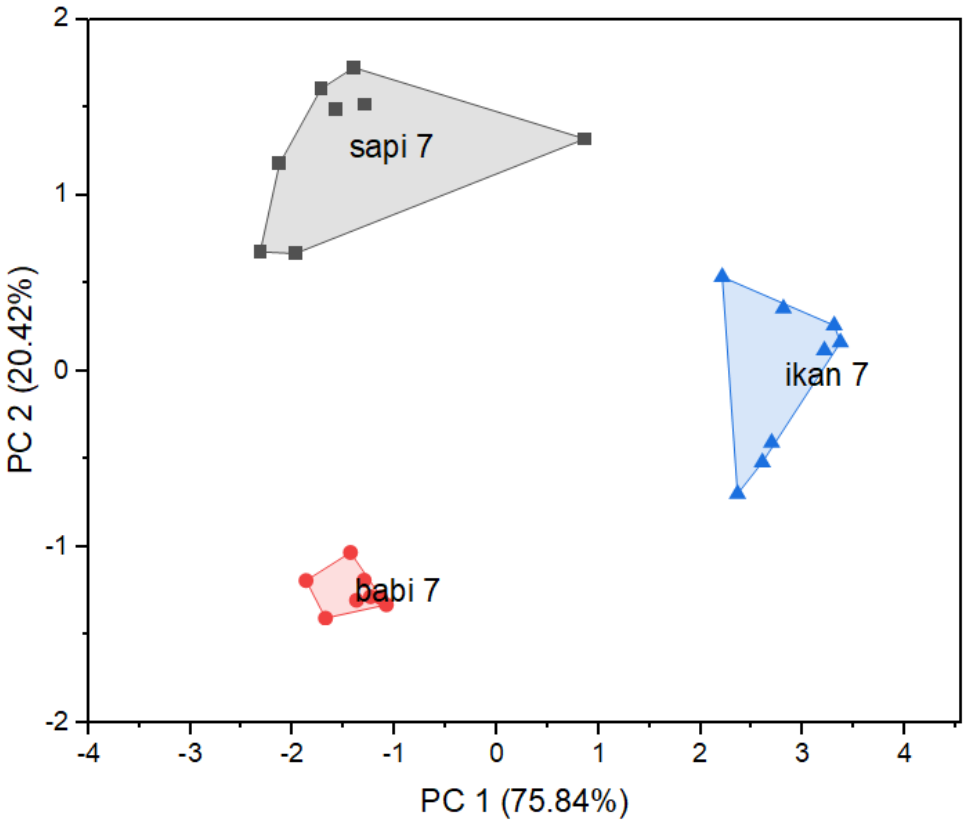
Gambar 4.22 Grafik Score Plot 2D Gelatin Sapi, Babi,Ikan 4%



Gambar 4.23 Grafik Score Plot 2D Gelatin Sapi, Babi,Ikan 5%



Gambar 4.24 Grafik Score Plot 2D Gelatin Sapi, Babi,Ikan 6%



Gambar 4.25 Grafik Score Plot 2D Gelatin Sapi, Babi,Ikan 7%

Gambar 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, 4.23, 4.24, 4.25 menunjukkan plot 2 dimensi PCA ini menunjukkan pola klasifikasi tiga jenis gelatin (ikan, sapi, dan babi) berdasarkan komponen utama pertama (PC1) dan kedua (PC2) pada tujuh variasi konsentrasi gelatin. Secara umum, visualisasi menunjukkan bahwa metode PCA berhasil mengelompokkan data dengan cukup baik. Pada konsentrasi 1% hingga 3%, terlihat bahwa terdapat beberapa tumpang tindih antar kelompok, khususnya antara gelatin sapi dan babi, yang menandakan bahwa pada konsentrasi rendah, pemisahan antar jenis belum optimal. Namun, mulai konsentrasi 4% hingga 7%, cluster masing-masing jenis gelatin mulai tampak lebih terpisah, dengan PC1 menjadi komponen dominan dalam memisahkan kelompok. Konsentrasi 7% menunjukkan pemisahan yang sangat jelas antara ketiga kelompok, dengan

distribusi data yang tidak saling bertumpuk, menandakan performa klasifikasi yang sangat baik. Pola ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi gelatin memperkuat sinyal sensor, sehingga struktur data yang terbentuk menjadi lebih jelas dan mudah dipisahkan oleh PCA. Dengan demikian, hasil ini membuktikan bahwa PCA efektif dalam mengidentifikasi pola klasifikasi gelatin, terutama pada konsentrasi sedang hingga tinggi.

4.4 Hasil Analisis Diskriminan Linier (LDA)

Setelah dilakukan analisis PCA untuk mereduksi dimensi dan mengeksplorasi pola data, tahap selanjutnya adalah menerapkan analisis diskriminan linier (*Linear Discriminant Analysis*) atau LDA guna menguji kemampuan pemisahan antar kelompok gelatin berdasarkan sinyal sensor. LDA merupakan metode klasifikasi yang bertujuan memaksimalkan perbedaan antar kelompok sekaligus meminimalkan variansi dalam kelompok. Salah satu output utama dari LDA adalah nilai eigen, yang merepresentasikan besarnya kontribusi fungsi diskriminan dalam memisahkan kelompok data. Analisis berikut akan membahas nilai eigen dari fungsi diskriminan yang terbentuk pada setiap variasi konsentrasi gelatin.

4.4.1 Analisis *Eigenvalue*

Tabel 4.6 *Eigenvalue* setiap variasi konsentrasi gelatin

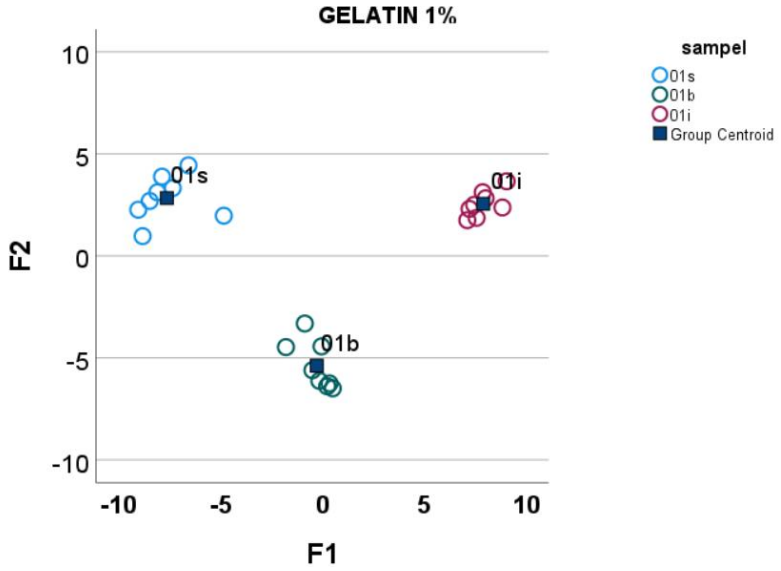
Gelatin	Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1%	1	45.955	73.5	73.5	0.989
	2	16.585	26.5	100	0.971
2%	1	297.767	97.6	97.6	0.998
	2	7.366	2.4	100	0.938
3%	1	145.153	99.1	99.1	0.997
	2	1.277	0.9	100	0.749
4%	1	381.336	99.6	99.6	0.999
	2	1.693	0.4	100	0.793
5%	1	124.983	97	97	0.996
	2	3.886	3	100	0.892
6%	1	189.379	90.2	90.2	0.997
	2	20.514	9.8	100	0.976
7%	1	127.619	86.8	86.8	0.996
	2	19.4	13.2	100	0.975

Berdasarkan Tabel 4.6, hasil analisis eigenvalue pada metode Linear Discriminant Analysis (LDA) menunjukkan bahwa fungsi diskriminan pertama (*Function* 1) secara konsisten memberikan kontribusi paling besar terhadap pemisahan antar kelompok gelatin di seluruh variasi konsentrasi. Nilai eigen tertinggi ditemukan pada konsentrasi 4% dengan nilai 381.336 dan kontribusi sebesar 99.6% terhadap total variansi, diikuti oleh konsentrasi 2% dan 6% yang juga menunjukkan kontribusi sangat tinggi dari fungsi pertama. Secara umum, fungsi pertama menjelaskan lebih dari 85% variansi pada semua konsentrasi, sementara fungsi kedua (Function 2) hanya menambahkan sedikit informasi tambahan, berkisar antara 4% hingga 26.5%. Hal ini menunjukkan bahwa satu fungsi diskriminan saja sudah sangat efektif dalam memisahkan kelompok. Selain

itu, nilai korelasi kanonik (*canonical correlation*) yang tinggi, sebagian besar di atas 0.95, mengindikasikan adanya hubungan kuat antara fungsi diskriminan dan kelas kategori, sehingga model LDA memiliki akurasi tinggi dalam mengklasifikasikan jenis gelatin berdasarkan sinyal sensor.

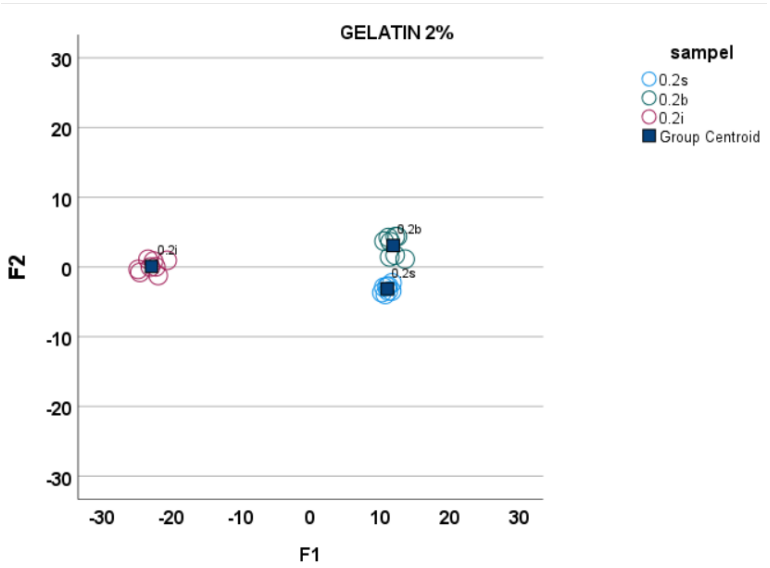
4.4.2 Analisis pola Klasifikasi Gelatin dengan LDA

Kemudian hasil visualisasi plot LDA dua dimensi untuk masing-masing konsentrasi gelatin (1% hingga 7%) yang menunjukkan pola pemisahan antar kelompok sampel berdasarkan dua fungsi diskriminan (Function 1 dan Function 2). Secara keseluruhan, LDA menunjukkan performa klasifikasi yang sangat baik, terutama pada konsentrasi mulai dari 3% ke atas. Pada konsentrasi 1% dan 2%, masih terlihat adanya sedikit tumpang tindih antara kelompok, khususnya antara gelatin sapi dan babi, yang mengindikasikan bahwa perbedaan fitur antar kelompok belum terlalu kuat pada konsentrasi rendah. Namun, mulai konsentrasi 3% hingga 7%, masing-masing kelompok menunjukkan klaster yang terpisah secara jelas, baik secara posisi maupun sebaran, yang diperkuat dengan jarak centroid antar kelompok yang cukup signifikan. Fungsi pertama (Function 1) tampak menjadi dimensi paling berkontribusi dalam memisahkan kelompok, sebagaimana didukung oleh nilai eigen tertinggi dari Function 1 pada hampir semua konsentrasi. Hasil ini menunjukkan bahwa LDA sangat efektif dalam membedakan jenis gelatin dengan bantuan sensor, dan efektivitas pemisahan meningkat seiring dengan naiknya konsentrasi gelatin.



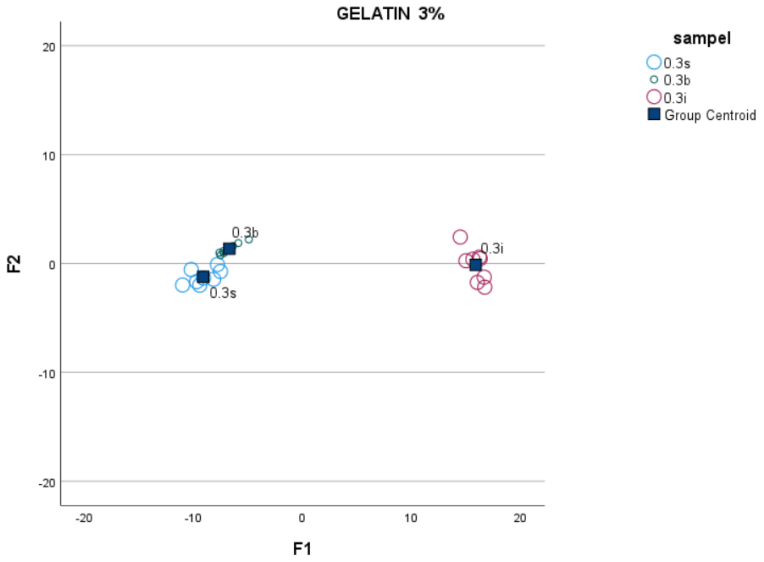
Cross-validated[b]	Count	1s	8	0	0	8
		1b	0	8	0	8
		1i	0	1	7	8
	%	1s	100.0	.0	.0	100.0
		1b	.0	100.0	.0	100.0
		1i	.0	12.5	87.5	100.0

Gambar 4.26 Plot LDA 1%



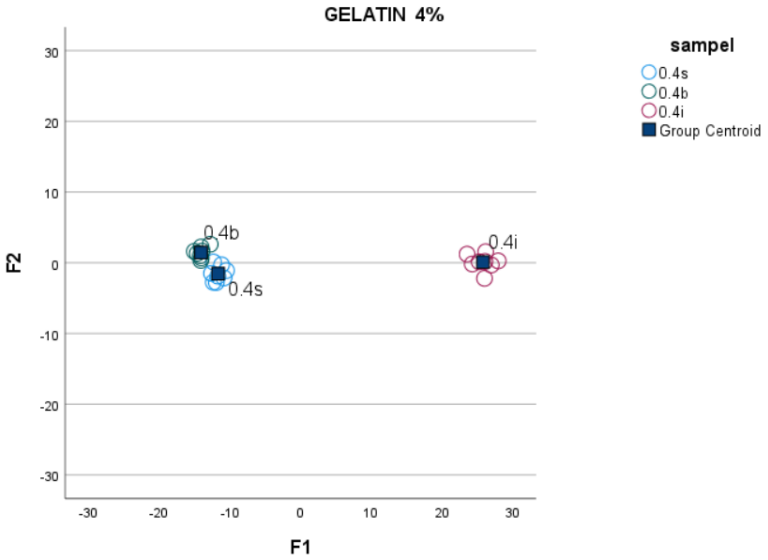
Cross-validated[b]	Count	2s	8	0	0	8
		2b	0	8	0	8
		2i	0	0	8	8
	%	2s	100.0	.0	.0	100.0
		2b	.0	100.0	.0	100.0
		2i	.0	.0	100.0	100.0

Gambar 4.27 Plot LDA 2%



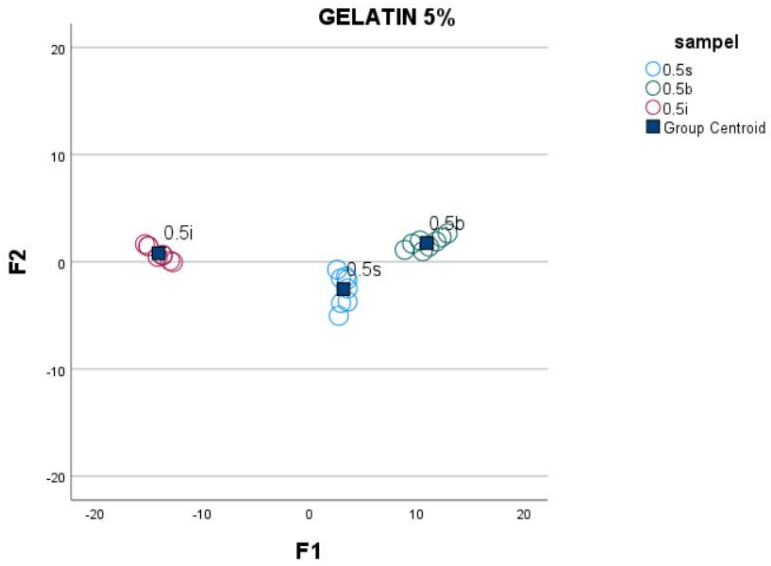
Cross-validated[b]	Count	3s	7	1	0	8
		3b	0	8	0	8
		3i	0	0	8	8
	%	3s	87.5	12.5	.0	100.0
		3b	.0	100.0	.0	100.0
		3i	.0	.0	100.0	100.0

Gambar 4.28 Plot LDA 3%



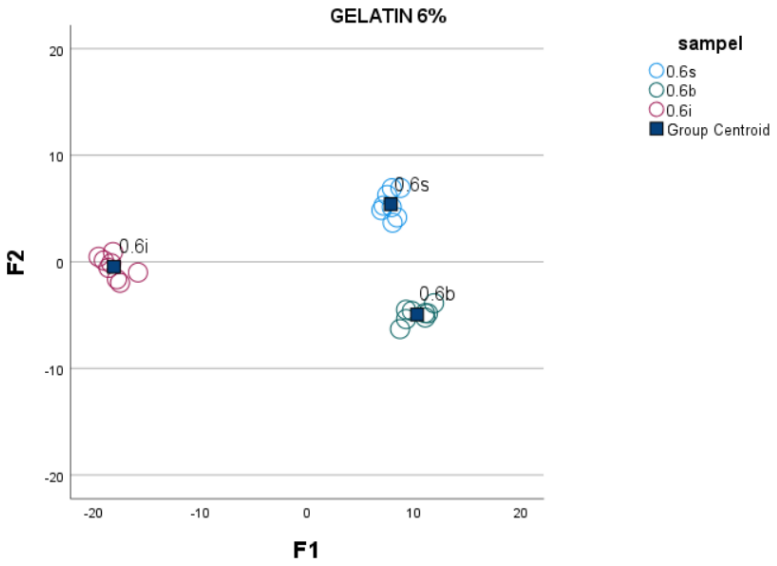
Cross-validated[b]	Count	4s	7	1	0	8
		4b	0	8	0	8
		4i	0	0	8	8
	%	4s	87.5	12.5	.0	100.0
		4b	.0	100.0	.0	100.0
		4i	.0	.0	100.0	100.0

Gambar 4.29 Plot LDA 4%



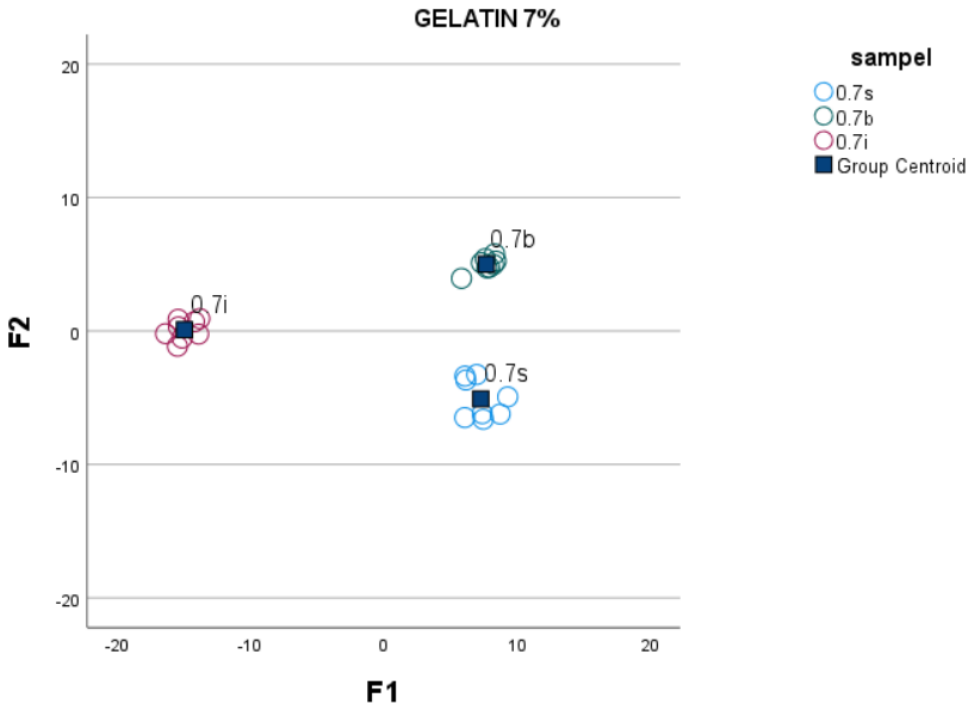
Cross-validated[b]	Count	5s	8	0	0	8
		5b	0	8	0	8
		5i	0	0	8	8
	%	5s	100.0	.0	.0	100.0
		5b	.0	100.0	.0	100.0
		5i	.0	.0	100.0	100.0

Gambar 4.30 Plot LDA 5%



Cross-validated[b]	Count	6s	8	0	0	8
		6b	0	8	0	8
		6i	0	0	8	8
	%	6s	100.0	.0	.0	100.0
		6b	.0	100.0	.0	100.0
		6i	.0	.0	100.0	100.0

Gambar 4.31 Plot LDA 6%



Cross-validated[b]	Count	7s	7	1	0	8
		7b	0	8	0	8
		7i	0	0	8	8
	%	7s	87.5	12.5	.0	100.0
		7b	.0	100.0	.0	100.0
		7i	.0	.0	100.0	100.0

Gambar 4.32 Plot LDA 7%

4.5 Pembahasan

4.5.1 Interpretasi Pola Aroma Volatil Organic Component (VOC) Gelatin

Hasil analisis PCA dan LDA menunjukkan bahwa setiap jenis gelatin baik dari sapi, babi, maupun ikan memiliki pola aroma volatil (VOC) yang berbeda dan dapat direpresentasikan secara konsisten melalui data sensor. Perbedaan pola yang terbentuk dari distribusi data PCA maupun pemisahan yang tajam pada LDA mengindikasikan bahwa masing-masing jenis gelatin menghasilkan senyawa volatil dominan yang khas. Gelatin babi, misalnya, cenderung membentuk klaster tersendiri yang terpisah cukup jauh dari gelatin ikan dan sapi, yang mengisyaratkan adanya senyawa VOC unik yang tidak banyak tumpang tindih

dengan jenis lainnya. Begitu pula dengan gelatin ikan, yang dalam sebagian besar visualisasi PCA/LDA menempati posisi berbeda dibandingkan gelatin babi dan sapi. Hal ini sejalan dengan literatur yang menyebutkan bahwa sumber protein berbeda (ikan, sapi, babi) akan menghasilkan profil volatil yang spesifik akibat proses penguapan dari protein yang unik (Zhong et al., 2020).

Perbedaan ini sejalan dengan temuan dalam literatur yang menyebutkan bahwa profil senyawa volatil dari gelatin sangat dipengaruhi oleh sumber hewani asalnya. Gelatin yang berasal dari ikan diketahui mengandung senyawa volatil yang berbeda secara struktural dan sensoris dibandingkan gelatin dari mamalia, akibat proses hidrolisis, komposisi protein, serta jenis asam amino dominan yang terkandung di dalamnya (Zhong et al., 2020). Dengan demikian, pola visual pada grafik PCA dan LDA tidak hanya memberikan bukti statistik, tetapi juga secara ilmiah dapat dijadikan indikator awal untuk membedakan asal-usul gelatin berdasarkan profil aromatik yang ditangkap oleh sistem sensor.

4.5.2 Kemampuan E-nose dalam Identifikasi dan Klasifikasi Perbedaan Aroma Gelatin

Sistem electronic nose (E-nose) yang digunakan dalam penelitian ini terbukti mampu mengidentifikasi dan mengklasifikasikan perbedaan aroma dari berbagai jenis gelatin yakni gelatin sapi, babi, dan ikan dengan tingkat akurasi yang baik (Mahmudah et al., 2025).Hasil pengolahan data menggunakan PCA dan LDA memperlihatkan bahwa data sensor dapat mengelompokkan jenis gelatin ke dalam klaster-klaster yang relatif terpisah, khususnya pada konsentrasi di atas 3%. Ini menunjukkan bahwa sinyal aroma yang ditangkap oleh E-nose cukup berbeda

antar jenis gelatin, sehingga memungkinkan sistem untuk mengenali pola karakteristik dari masing-masing sumber gelatin secara konsisten.

Keberhasilan ini tidak terlepas dari sensitivitas dan selektivitas kombinasi sensor gas yang digunakan. Sensor seperti MQ136, MQ137, dan TGS2610 menunjukkan kontribusi dominan terhadap komponen utama (PC1), yang menunjukkan efektivitasnya dalam mendeteksi senyawa volatil spesifik dari masing-masing jenis gelatin. Sementara itu, TGS822 dan MQ135 juga memberikan kontribusi terhadap PC2, yang memperkuat kemampuan diskriminatif sistem terhadap variasi aroma yang lebih halus. Kombinasi ini menghasilkan sinergi antar sensor yang mampu menangkap pola aroma secara multidimensional, sesuai dengan prinsip kerja sistem penciuman buatan yang menyerupai mekanisme olfaktori (Gumelar, 2017).

Sistem E-nose yang menggunakan array sensor berbasis semikonduktor (MOS) seperti Figaro TGS dan MQ memungkinkan deteksi senyawa VOC dari gelatin dengan cara yang cepat dan ekonomis. Seperti dijelaskan dalam proposal, sistem ini mampu mendeteksi aroma dari sampel gelatin melalui respons sensor terhadap uap volatil yang dihasilkan saat pemanasan, yang kemudian diolah menggunakan metode statistik PCA dan LDA untuk membentuk pola klasifikasi.

4.5.3 Perbandingan Hasil PCA dan LDA

Analisis perbandingan antara PCA (*Principal Component Analysis*) dan LDA (Linear Discriminant Analysis) menunjukkan bahwa kedua metode memiliki karakteristik dan kekuatan yang saling melengkapi dalam pengolahan data E-nose untuk klasifikasi aroma gelatin. PCA berfungsi sebagai metode eksplorasi awal

yang sangat efektif untuk mereduksi dimensi data dengan tetap mempertahankan informasi utama yang terkandung di dalamnya. Melalui PCA, data berdimensi tinggi yang dihasilkan oleh enam sensor gas dapat direpresentasikan dalam dua atau tiga komponen utama (PC1, PC2, dan PC3), sehingga memudahkan visualisasi struktur data serta mendeteksi pola umum antar kelompok sampel. PCA juga berguna dalam mengidentifikasi kontribusi relatif dari masing-masing sensor, memberikan informasi mengenai sensor mana yang paling sensitif terhadap perubahan aroma dari masing-masing jenis gelatin.

Namun demikian, karena PCA merupakan metode unsupervised yang tidak memperhitungkan label kelas selama proses ekstraksi fitur, hasil pemisahan antar kelompok (misalnya gelatin sapi, babi, dan ikan) tidak selalu optimal. Hal ini terutama terjadi pada konsentrasi rendah (≤ 3%), di mana variasi sinyal antar jenis gelatin relatif kecil, sehingga klaster yang terbentuk pada PCA cenderung tumpang tindih. Sebaliknya, LDA bekerja dengan pendekatan supervised yang secara langsung mempertimbangkan kelas target saat membentuk kombinasi linier fitur. Dengan demikian, LDA mampu memaksimalkan variansi antar kelas sambil meminimalkan variansi di dalam kelas, menghasilkan klaster yang lebih tajam, terpisah, dan terstruktur jelas berdasarkan jenis gelatin.

Perbedaan kemampuan pemisahan ini berkaitan erat dengan karakteristik *volatile organic compounds* (VOC) dari masing-masing jenis gelatin. Gelatin sapi dan babi diketahui memiliki profil aroma yang relatif mirip karena keduanya berasal dari mamalia dengan struktur kolagen serta proses degradasi termal dan hidrolisis protein yang serupa. Kemiripan ini mengakibatkan senyawa volatil yang dilepaskan juga memiliki komposisi kimia yang berdekatan, seperti senyawa

aldehid dan keton hasil degradasi lipid dan protein hewani (Mahmoud & El-Sayed, 2016). Oleh sebab itu, dalam analisis PCA dua dimensi, data dari gelatin sapi dan babi cenderung membentuk klaster yang berdekatan atau bahkan tumpang tindih. Sebaliknya, gelatin ikan menghasilkan pola aroma yang sangat berbeda karena memiliki komposisi asam amino yang khas, kandungan lemak tak jenuh lebih tinggi, serta menghasilkan senyawa volatil seperti trimetilamina dan alkohol rantai pendek yang tidak ditemukan pada gelatin mamalia (Karbowiak et al., 2007). Kondisi ini menyebabkan gelatin ikan secara konsisten membentuk klaster yang lebih terpisah dalam ruang PCA maupun LDA.

Dalam hasil penelitian ini, fungsi diskriminan pertama (Function 1) pada LDA secara konsisten menjelaskan lebih dari 85% variansi pada semua variasi konsentrasi gelatin. Hal ini diperkuat dengan nilai korelasi kanonik (*canonical correlation*) yang sangat tinggi (rata-rata >0.95), menandakan bahwa fungsi diskriminan memiliki kemampuan prediktif yang sangat baik terhadap klasifikasi. Dengan kata lain, LDA tidak hanya mampu memisahkan kelompok dengan baik, tetapi juga mempertahankan informasi penting dari data mentah yang telah direduksi. Hal ini menjadikan LDA unggul dalam konteks klasifikasi berbasis label, seperti deteksi halal atau tidaknya produk berbasis gelatin.

Oleh karena itu, penerapan kedua metode ini secara berurutan menjadi pendekatan yang ideal dalam penelitian klasifikasi aroma gelatin. PCA digunakan pada tahap awal untuk menyederhanakan data dan mengevaluasi kontribusi variabel sensor, sedangkan LDA diaplikasikan untuk memperkuat pemisahan antar kelas serta meningkatkan akurasi dalam proses klasifikasi.

4.6 Kajian Integrasi Islam

Gelatin merupakan zat yang diperoleh dari kolagen hewani, umumnya berasal dari tulang atau kulit sapi, ikan, maupun babi. Dalam konteks industri pangan dan farmasi modern, gelatin sering digunakan sebagai bahan tambahan dalam produk-produk seperti permen, kapsul obat, dan makanan olahan. Meskipun secara ilmiah gelatin mengalami proses hidrolisis sehingga bentuk asalnya berubah, namun dalam kajian Islam, asal-usul bahan tersebut tetap menjadi pertimbangan utama dalam penetapan status halal-haramnya.

Dalam perspektif fiqh Islam, penggunaan bahan yang berasal dari babi, termasuk turunannya seperti gelatin, secara tegas diharamkan. Hal ini merujuk pada f dalam Al-Qur'an tentang Pengharaman Babi dan Segala Unsurnya Allah Ta'ala berfirman:

اِنَّمَا حَرَّمَ عَلَيْكُمُ الْمَيْتَةَ وَالدَّمَ وَلَحْمَ الْخِنْزِيْرِ وَمَآ اُهِلَّ بِهٖ لِغَيْرِ اللّٰهِۚ فَمَنِ

اضْطُرَّ غَيْرَ بَاغٍ وَّلَا عَادٍ فَلَآ اِثْمَ عَلَيْهِۗ اِنَّ اللّٰهَ غَفُوْرٌ رَّحِيْمٌ ﴿١٧٣﴾

Artimya: "Sesungguhnya Allah hanya mengharamkan atasmu bangkai, darah, daging babi, dan hewan yang disembelih dengan menyebut nama selain Allah" (QS.Al-Baqarah ayat 173)

Ayat ini menjadi dasar utama dalam menetapkan bahwa semua bagian dari babi, tanpa terkecuali, termasuk gelatin yang berasal darinya, haram dikonsumsi oleh umat Islam. Meskipun gelatin tersebut mengalami proses kimiawi dan perubahan bentuk (istihalah), mayoritas ulama dari mazhab Syafi'i, Maliki, dan

Hanbali menyatakan bahwa istihalah tidak mengubah hukum keharaman asal bahan jika zat haram tersebut tetap identifikable dari sumber najis seperti babi. Adapun mazhab Hanafi memiliki pandangan lebih longgar dalam kasus istihalah, namun dengan syarat perubahan zat tersebut benar-benar sempurna dan tidak menyisakan sifat asalnya.

Pandangan Ibnu Katsir terhadap pengharaman daging babi memberikan penegasan penting terhadap otoritas hukum Al-Qur'an yang bersifat *qat'i* atau absolut. Dalam tafsirnya terhadap QS. Al-An‘am ayat 145, Ibnu Katsir menekankan bahwa larangan konsumsi daging babi tidak membuka ruang untuk ijtihad atau reinterpretasi hukum karena statusnya sebagai larangan yang tegas dan tidak ambigu. Namun demikian, beliau juga mengakui adanya pengecualian dalam konteks darurat (*idhthirār*), di mana prinsip *al-darūrāt tubīḥ al-maḥẓūrāt* (keadaan darurat membolehkan hal yang dilarang) diberlakukan untuk menjaga kelangsungan hidup. Pandangan ini mencerminkan harmonisasi antara ketegasan hukum wahyu dan fleksibilitas fiqh dalam konteks kemaslahatan manusia, sebagaimana dijelaskan dalam maqāṣid al-syarī'ah.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pola aroma VOC dari gelatin sapi, babi, dan ikan dapat dianalisis secara efektif menggunakan metode *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Linier Descriminant Analysis* (LDA)**.** Metode PCA berhasil mereduksi dimensi data serta memberikan gambaran visual dalam bentuk score plot dan loading plot 2D yang membedakan pola aroma masing-masing gelatin pada berbagai variasi konsentrasi (1% – 7%). Sementara itu, metode LDA mampu memaksimalkan perbedaan antar kelompok (kelas) gelatin dan menunjukkan hasil klasifikasi yang lebih tajam dibandingkan PCA, yaitu dengan nilai komulatif 100% dengan pola pemisahan antar jenis gelatin yang jelas pada setiap level konsentrasi.
2. Sistem E-nose berbasis sensor gas mampu mengidentifikasi dan mengklasifikasikan perbedaan aroma gelatin berdasarkan sumber hewannya. Hasil pengukuran dan pengolahan data menunjukkan bahwa respon sensor terhadap uap gelatin dari sapi, babi, dan ikan memiliki karakteristik yang berbeda. Kombinasi penggunaan E-nose dengan metode PCA dan LDA mampu mengelompokkan dan membedakan aroma gelatin secara konsisten, baik pada konsentrasi rendah maupun tinggi. Hal ini membuktikan bahwa E-nose dapat digunakan sebagai alat bantu identifikasi kehalalan bahan berbasis gelatin secara efisien dan akurat.

5.2 Saran

Penelitian terkait klasifikasi aroma gelatin dari sumber sapi, babi, dan ikan sebaiknya mempertimbangkan integrasi sistem electronic nose (E-nose) dengan teknik analisis lanjutan seperti Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) atau Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR).

DAFTAR PUSTAKA

Berli Paripurna Kamiel, Y. A. (2020). Deteksi kavitasi menggunakan linear discriminant analysis pada pompa sentrifugal. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*, 238-244.

Desi Nurnaningsih, D. A. (2021). Implementasi Metode Linear Discriminant Analysis (LDA) Pada Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Nanas. Gedung Informatika .

Dian Ami Widyati, R. R. (2021). Analisis Pengenalan Pola Daun Menggunakan Metode Linear Discriminant Analysis (LDA) dan Jarak Minkowski. *Jurnal Transformatika*.

Dwita Mido Gumelar, M. R. (2017). Rancang Bangun Wireless Electronic Nose Berbasis Teknologi Internet of Things. *JURNAL TEKNIK ITS* Vol. 6, No. 2, 2337-3520 .

Dyah Hediyati, I. M. (2021). Penerapan Principal Component Analysis (PCA) Untuk Reduksi Dimensi Pada Proses Clustering Data Produksi Pertanian Di Kabupaten Bojonegoro. *Journal Information Engineering and Educational Technology*, Volume 05 Nomor 02, 49-54.

Gelatin, A. &. (2012). Written and produced by the members of the GMIA *GELATIN MANUFACTURERS INSTITUTE OF AMERICA GELATIN HANDBOOK*. US Customer Service (Vol. 563, Issue 888).

Gumelar, D. M. (2017). *Electronic Nose Sebagai Teknologi Deteksi Aroma Berbasis Sensor Gas*.

Gumelar, D. M. (2017). *Electronic Nose Sebagai Teknologi Deteksi Aroma Berbasis Sensor Gas*.

Hendriyawan A, B. A. (2021). Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan pada Hidung Elektronik Cerdas Untuk Mendeteksi Daging Babi. *Jurnal Informatika dan Teknologi Informasi*, 3-10.

Hendriyawan A, B. A. (2021). Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan pada Hidung Elektronik Cerdas Untuk Mendeteksi Daging Babi . *Jurnal Informatika dan Teknologi Informasi*, 1-3.

Ja'Far Madani, D. D. (2019). Komparasi Sensor Tgs Dan Sensor Mq Berbasis Electronic Nose Untuk Klasifikasi Tembakau Dengan Metode Fuzzy. *Elektronika dan Instrumentasi*, 21-29.

Kosasih, R. (2021). PENGGUNAAN METODE LINEAR DISCRIMINANT ANALYSIS UNTUK PENGENALAN WAJAH DENGAN MEMBANDINGKAN BANYAKNYA DATA LATIH. *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa* Volume 26 No. 1 , 25-34.

Lika Ginanti Febriana, N. A. (2021). Potensi Gelatin dari Tulang Ikan sebagai Alternatif Cangkang Kapsul Berbahan Halal: Karakteristik dan Pra Formulasi. *Majalah Farmasetika*, 6 (3), 223-233.

Minarni Shiddiq, L. B. (2021). Hidung Elektronik Berbasis Sensor Gas Mos Untuk Karakterasi Kematangan Buah Kelapa Sawit. *Jurnal teknik pertanian lampung*.

Pradini, D. K. (2017). DETEKSI GELATIN BABI DALAM MARSHMALLOW MENGGUNAKAN SENSOR QUARTZ . Program Magister Bidang Keahlian Kimia Analitik Jurusan Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Puspitasari, V. P. (2023). SIFAT- SIFAT GEL GELATIN TULANG CAKAR AYAM. *Jurnal Pangan dan Gizi* Vol. 04 No. 07 , 19-28.

Rafida Cahyaningrum, K. K. (2021). Potensi Gelatin Dari Berbagai Sumber Dalam Memperbaiki Karakteristik Mashmallow. *Pasundan Food Technology Journal (PFTJ)*, 38-44.

Rina Firliana, R. W. (2021). Implementasi Principal Component Analysis (PCA) Untuk Pengenalan Wajah Manusia. *Nusantara of Engineering*/Vol. 2/ No. 1, 65-69.

Rizal, A. M. (2019). Perbandingan Kinerja Sensor TGS2610, MQ2, dan MQ6 pada Alat Pendeteksi Kebocoran Tabung Liquified Petroleum Gas (LPG) Menggunakan ATMega2560. *Prisma Fisik*, 23-31.

Sari, D. R. (2023). METODE PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (PCA) SEBAGAI PENANGANAN ASUMSI MULTIKOLINARITAS(STUDI KASUS: DATA PRODUKSI TAPIOKA). *Parameter* .

Sri Endang Aris, ,. A. (2020). IDENTIFIKASI TITIK KRITIS KEHALALAN GELATIN. *Jurnal Pangan Halal* Volume 2 Nomor 1, 17-22.

Sri Endang Aris, A. J. (2020). Identifikasi Titik Kritis Kehalalan Gelatin. *Jurnal Pangan Halal* Volume 2 Nomor 1, 17-22.

Sudianto Manullang, D. A. (2023). Analisis Principal Component Analysis (PCA) dalam Penentuan Faktor Kepuasan Pengunjung terhadap Layanan Perpustakaan Digilib. Edumatic: *Jurnal Pendidikan Informatika*, 123-130.

Wangge, M. (2021). Penerapan Metode Principal Component Analysis (PCA) Terhadap Faktorfaktor yang Mempengaruhi Lamanya Penyelesaian Skripsi Mahasiswa. Jurnal Cendekia: *Jurnal Pendidikan Matematika*, 974-988.

Gumelar, D. M. (2017). *Electronic Nose Sebagai Teknologi Deteksi Aroma Berbasis Sensor Gas*.

Karbowiak, T., Debeaufort, F., Champion, D., & Voilley, A. (2007). Flavour compounds and gelatin source: Evaluation of odour active compounds in bovine, porcine and fish gelatins. *Food Hydrocolloids*, *21*(6), 912–920. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.10.011

Mahmoud, K. F., & El-Sayed, S. A. (2016). Volatile compounds in gelatin from different sources analyzed by SPME-GC–MS and electronic nose. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *10*(1), 23–30. https://doi.org/10.1007/s11694-015-9284-4

Mahmudah, K. R., Biddinika, M. K., Hakika, D. C., Tresna, W. P., Sugiarto, I. T., & Syafarina, I. (2025). Automated Detection of Porcine Gelatin Using Deep Learning-Based E-Nose to Support Halal Authentication. *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics*, *7*(1), 220–230. https://doi.org/10.35882/jeeemi.v7i1.654

LAMPIRAN

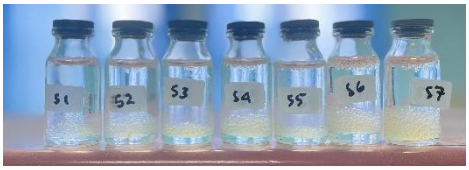
LAMPIRAN 1

Gambar Penelitian

Alat Hidung Elektronik

Penimbangan Sampel Gelatin

Larutan Gelatin



Pengambilan Data Hidung Elektronik

LAMPIRAN 2

Rata-Rata Hasil Pengambilan Data

Jenis sampel	Pengulangan Sampel	TGS822	MQ135	MQ136	TGS2610	TGS813	MQ137
Sapi 1%	1	1191.24	2174.11	1270.17	374.89	2205.49	2958.24
	2	806.68	1731.84	1220.04	315.60	1554.48	2968.16
	3	667.74	1517.25	1245.17	287.67	1296.61	3093.14
	4	707.77	1491.87	1218.64	290.93	1356.42	3029.84
	5	449.43	1245.64	1297.77	226.92	785.97	3219.75
	6	411.95	1421.82	1368.99	215.75	999.40	3256.30
	7	397.06	1302.66	1283.11	204.81	893.27	3173.67
	8	756.64	1263.56	1203.98	277.19	1396.68	2996.56
Sapi 2%	1	423.59	1051.29	1183.26	226.93	916.77	3132.70
	2	517.39	1101.10	1132.99	248.34	1178.14	2923.01
	3	601.41	1063.39	1013.12	237.63	1362.23	2568.54
	4	523.44	944.00	1098.07	237.39	1134.85	2887.63
	5	579.30	915.61	955.87	218.08	1322.67	2437.51
	6	524.83	773.40	937.25	215.75	1183.96	2459.15
	7	474.79	724.29	963.32	214.36	1113.67	2559.46
	8	523.20	794.81	1140.43	237.16	1154.86	2933.01
Sapi 3%	1	631.89	859.75	1128.56	238.33	1517.94	2866.68
	2	518.32	805.06	1139.50	223.43	1273.79	2972.58
	3	667.27	749.20	1041.52	234.37	1550.76	2606.94
	4	621.89	663.77	1014.05	227.39	1394.12	2601.35
	5	665.18	635.85	1000.32	237.86	1490.94	2540.38
	6	590.00	614.43	1035.70	237.40	1332.68	2719.35
	7	579.30	556.95	950.52	220.87	1363.63	2452.17
	8	537.63	575.33	1087.60	232.51	1202.11	2884.83
Sapi 4%	1	720.56	801.10	1070.14	228.09	1658.05	2596.24
	2	699.62	703.35	1073.40	229.95	1514.68	2681.88
	3	511.79	675.42	1116.69	206.68	1144.62	2916.02
	4	675.65	670.99	1038.26	219.01	1484.89	2553.87

Jenis sampel	Pengulangan Sampel	TGS822	MQ135	MQ136	TGS2610	TGS813	MQ137
Sapi 4%	5	655.63	671.00	1043.15	227.39	1463.95	2623.23
	6	686.35	662.62	1043.38	236.70	1499.32	2580.41
	7	635.85	621.89	1013.82	226.46	1428.80	2566.91
	8	576.50	617.93	1085.27	228.55	1286.36	2823.86
Sapi 5%	1	522.73	579.76	1005.68	225.53	1235.62	2745.42
	2	523.90	593.49	1115.06	239.02	1170.92	3019.59
	3	441.51	552.06	1048.97	204.11	1035.00	2845.27
	4	538.80	601.41	1120.18	238.09	1223.75	2987.24
	5	398.45	467.57	1113.67	194.34	867.90	2998.65
	6	368.90	491.78	1098.07	188.06	838.56	2995.62
	7	580.00	609.55	1025.69	237.63	1397.38	2674.90
	8	311.41	402.88	877.90	140.58	694.73	2439.83
Sapi 6%	1	1860.77	539.50	1380.39	291.86	2660.01	2717.26
	2	1449.98	692.41	1731.83	330.73	2255.97	3561.41
	3	1446.02	335.15	1296.83	249.96	1919.42	2656.28
	4	1304.98	380.53	1402.50	279.99	1904.29	2975.84
	5	690.55	274.40	1404.83	182.47	1137.87	3140.85
	6	919.10	400.54	1532.60	261.36	1605.22	3375.22
	7	923.29	455.48	1540.05	275.33	1677.37	3417.58
	8	1234.93	771.31	1660.15	349.81	2079.55	3563.04
Sapi 7%	1	1860.77	539.50	1380.39	291.86	2660.01	2717.26
	2	1449.98	692.41	1731.83	330.73	2255.97	3561.41
	3	1446.02	335.15	1296.83	249.96	1919.42	2656.28
	4	1304.98	380.53	1402.50	279.99	1904.29	2975.84
	5	690.55	274.40	1404.83	182.47	1137.87	3140.85
	6	919.10	400.54	1532.60	261.36	1605.22	3375.22
	7	923.29	455.48	1540.05	275.33	1677.37	3417.58
	8	1234.93	771.31	1660.15	349.81	2079.55	3563.04

Jenis sampel	Pengulangan Sampel	TGS822	MQ135	MQ136	TGS2610	TGS813	MQ137
Babi 1%	1	778.29	1450.45	1426.01	267.42	2012.29	3132.24
	2	939.11	1371.78	1360.38	290.70	2224.78	2960.01
	3	943.54	1267.98	1330.12	280.69	2092.82	2918.12
	4	897.22	1192.57	1267.05	274.40	1974.58	2843.18
	5	911.42	1127.64	1256.11	266.02	1925.48	2824.56
	6	841.13	1026.86	1195.36	259.27	1766.98	2775.45
	7	853.23	1018.48	1252.38	262.30	1719.27	2909.04
	8	768.28	951.92	1207	259.97	1601.73	2893.45
Babi 2%	1	991.48	1838.43	1494.67	293.96	2350.69	3137.83
	2	974.49	1675.98	1424.85	286.51	2229.67	3072.89
	3	944.47	1563.79	1386.44	275.33	2270.86	3033.32
	4	895.83	1432.53	1352.00	266.26	2214.30	3008.89
	5	879.07	1379.23	1334.78	261.37	2109.80	2989.10
	6	822.51	1282.87	1239.35	270.68	1864.73	2864.82
	7	787.83	1232.84	1230.97	254.62	1768.60	2876.22
	8	674.25	1153.24	1285.90	239.72	1466.04	3075.92
Babi 3%	1	829.73	1216.77	1223.29	273.46	1797.70	2833.63
	2	798.31	1170.92	1213.28	263.92	1700.87	2863.42
	3	786.43	1126.47	1219.34	260.67	1650.84	2903.23
	4	768.28	1088.07	1204.67	255.55	1601.96	2880.42
	5	752.92	1058.98	1205.84	249.96	1562.63	2891.35
	6	741.52	1038.73	1205.60	250.66	1528.88	2908.81
	7	754.78	1028.72	1181.40	248.33	1569.14	2838.29
	8	741.75	999.16	1166.73	245.77	1539.59	2815.25
Babi 4%	1	759.90	1173.71	1253.78	251.36	1742.54	2832.23
	2	714.29	1031.74	1144.16	226.92	1616.16	2669.08
	3	686.82	918.63	1112.50	216.68	1532.14	2648.60
	4	644.23	868.59	1116	209.93	1343.85	2703.06

Jenis sampel	Pengulangan Sampel	TGS822	MQ135	MQ136	TGS2610	TGS813	MQ137
Babi 4%	5	625.84	839.73	1152.77	215.05	1228.87	2827.11
	6	680.54	839.96	1099.47	220.40	1480.24	2625.79
	7	609.32	793.65	1156.03	213.65	1192.57	2859.47
	8	633.99	815.29	1164.41	223.20	1212.35	2865.05
Babi 5%	1	763.39	884.88	1361.31	311.87	1170.46	3259.55
	2	686.59	933.53	1321.51	276.72	1204.90	3209.04
	3	655.63	969.60	1351.06	265.55	1192.33	3253.26
	4	558.11	927.94	1396.91	245.07	1008.70	3344.73
	5	593.26	966.34	1450.91	254.15	1028.95	3402.45
	6	606.06	1010.33	1487.92	259.04	1051.99	3436.90
	7	612.58	1043.38	1509.79	259.50	1072.47	3455.98
	8	610.95	1077.59	1525.62	259.27	1085.27	3470.19
Babi 6%	1	717.54	1092.49	1382.02	276.26	1394.35	3211.37
	2	671.00	1054.32	1317.32	254.38	1376.90	3131.31
	3	681.23	1022.43	1293.11	253.92	1368.52	3081.74
	4	457.57	869.06	1261.92	220.17	987.98	3176.69
	5	763.63	1121.58	1345.25	265.09	1701.11	3000.28
	6	636.55	975.88	1258.90	235.06	1453.01	2943.72
	7	686.12	974.72	1270.77	250.19	1453.00	2982.59
	8	641.20	900.24	1212.58	229.25	1427.87	2884.60
Babi 7%	1	515.06	820.64	1149.28	227.15	1137.64	2952.56
	2	480.38	812.73	1248.19	220.87	978.44	3154.81
	3	539.96	870.45	1338.73	235.99	1014.05	3266.76
	4	559.74	911.41	1378.99	240.65	1045.71	3311.22
	5	569.06	951.91	1407.62	240.42	1078.76	3338.91
	6	563.47	977.05	1429.96	239.72	1079.45	3365.22
	7	606.06	1018.47	1255.64	232.04	1404.83	3016.57
	8	578.83	986.35	1302.42	241.81	1234.46	3191.13

Jenis sampel	Pengulangan Sampel	TGS822	MQ135	MQ136	TGS2610	TGS813	MQ137
Ikan 1%	1	1443,23	1896,38	1681,33	596,52	3460,41	3646,60
	2	1401,81	900,01	754,78	267,65	3386,63	2208,96
	3	1228,64	838,33	821,81	246,24	3423,17	2365,59
	4	1100,63	747,10	803,66	225,29	3476,24	2349,53
	5	734,53	769,67	1262,86	256,02	3440,63	3251,87
	6	739,65	1092,49	1434,62	329,10	3520,46	3471,82
	7	444,07	424,28	1077,13	178,28	3457,39	2994,23
	8	363,31	384,95	1025,23	169,20	3374,53	2948,15
Ikan 2%	1	544,38	725,69	1302,19	223,90	4093,94	3219,76
	2	734,07	593,49	761,07	175,72	4091,37	2215,94
	3	698,69	603,27	846,72	198,99	4082,76	2452,40
	4	697,06	433,83	604,67	162,45	4083,46	2007,87
	5	630,26	371,92	607,22	153,38	4086,49	2053,48
	6	498,53	313,97	1207,70	172,00	4150,96	3202,07
	7	615,60	465,95	1229,34	223,66	4155,61	3212,77
	8	522,74	464,09	1131,83	191,08	4156,77	3070,57
Ikan 3%	1	993,34	1064,10	1190,48	260,44	3789,28	3014,25
	2	853,00	694,04	961,46	207,14	3858,17	2672,81
	3	759,67	711,73	1623,38	253,69	3922,40	3517,90
	4	647,02	736,86	1581,02	234,60	3981,98	3477,63
	5	520,88	350,98	1297,77	194,34	3979,42	3214,87
	6	788,30	714,52	1697,62	319,32	3991,30	3607,04
	7	515,52	425,22	1354,09	208,07	4040,64	3262,58
	8	416,61	270,91	1139,51	157,80	4052,04	2998,65
Ikan 4%	1	660,52	507,15	1394,13	251,36	3891,22	3349,39
	2	554,62	674,95	1443,23	239,26	3908,90	3426,43
	3	725,22	853,47	1629,89	261,37	3998,28	3570,50
	4	750,60	843,22	1257,74	278,12	4034,12	3216,03

Jenis sampel	Pengulangan Sampel	TGS822	MQ135	MQ136	TGS2610	TGS813	MQ137
Ikan 4%	5	637,02	745,47	1581,95	235,53	4133,74	3544,66
	6	488,99	488,29	1406,93	200,16	4138,85	3364,75
	7	583,49	637,71	1540,52	237,86	4150,26	3502,54
	8	410,56	306,75	831,35	143,84	4136,06	2507,10
Ikan 5%	1	699,39	199,92	441,75	167,34	3206,72	1829,82
	2	614,90	198,99	455,48	166,18	3204,63	1864,96
	3	669,13	199,46	532,28	192,71	3261,42	1987,62
	4	677,51	195,97	458,97	185,96	2953,73	1853,56
	5	716,38	193,64	569,75	192,01	2776,61	2032,07
	6	712,43	192,71	589,54	207,60	2819,44	2056,04
	7	644,93	198,99	542,75	186,66	2965,60	1964,11
	8	606,99	176,19	532,28	178,05	2972,82	1961,08
Ikan 6%	1	965,18	235,53	716,38	190,62	4556,86	2052,79
	2	880,46	192,48	606,06	197,60	4543,36	2020,20
	3	855,33	184,33	796,44	233,21	4534,75	2369,31
	4	882,33	202,95	1016,62	251,83	4535,45	2755,67
	5	823,44	178,28	765,95	223,43	4526,83	2317,65
	6	718,94	285,34	1543,78	258,81	4375,32	3476,70
	7	815,53	477,59	1764,65	321,18	4400,46	3668,71
	8	825,07	623,75	1840,52	328,17	4088,58	3720,61
Ikan 7%	1	1039,66	932,83	2010,89	630,03	4199,37	3933,58
	2	1076,43	1469,30	2100,50	672,86	4204,25	3968,02
	3	1075,50	1719,96	2258,30	714,05	4329,47	3987,34
	4	1094,35	1906,39	2305,78	705,67	4041,57	3984,55
	5	1095,98	1978,07	2253,64	635,15	4227,53	3944,75
	6	935,86	2012,99	2113,76	551,13	4077,41	3865,38
	7	894,89	2003,68	2083,51	546,25	4049,71	3849,32
	8	854,63	2023,69	2060,23	504,82	3790,67	3818,83