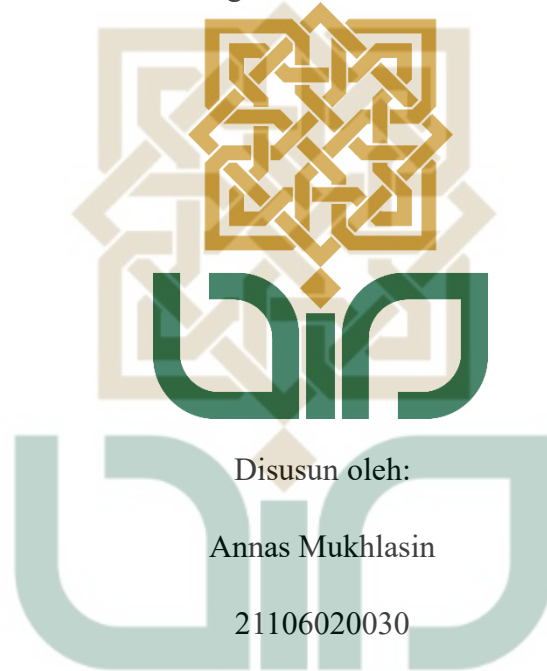


**RANCANG BANGUN SISTEM KLASIFIKASI LEMAK
BABI DAN SAPI BERBASIS AKUISISI CITRA
TERKOMBINASI *MACHINE LEARNING*
*VISION TRANSFORMER***

LAPORAN TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh derajat Sarjana S1

Program Studi Fisika.



Disusun oleh:

Annas Mukhlisin

21106020030

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2026

LEMBAR PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1211/Un.02/DST/PP.00.9/06/2026

Tugas Akhir dengan judul : Rancang Bangun Sistem Klasifikasi Lemak Babi dan Sapi Berbasis Akuisisi Citra
Terkombinasi Machine Learning Vision Transformer.

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : ANNAS MUKHLASIN
Nomor Induk Mahasiswa : 21106020030
Telah diujikan pada : Kamis, 04 Juni 2026
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang
Frida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 6a2265d2a7b81



Penguji I
Asih Melati, S.Si., M.Sc., Ph.D.
SIGNED

Valid ID: 6a2274752a774



Penguji II
Cecilia Yanuarief, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6a222d88a66a1



Yogyakarta, 04 Juni 2026
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6a22791e8a3ee

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Annas Mukhlisin
NIM : 21106020030
Program Studi : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan dengan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Klasifikasi Lemak Babi Dan Sapi Berbasis Akuisisi Citra Terkombinasi Machine Learning Vision Transformer” adalah hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diujikan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 25 Mei 2026

Penulis



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Annas Mukhlisin
NIM. 21106020030

SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi

Lamp : -

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Annas Mukhlisin
NIM : 21106020030
Judul Skripsi : Rancang Bangun Sistem Klasifikasi Lemak Babi Dan Sapi Berbasis Akuisisi Citra Terkombinasi *Machine Learning Vision Transformer*

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Pembimbing II

Ade Kurniawan, M.Si., Ph.D
NIP.19890312 201903 1 009

Yogyakarta, 25 Mei 2026

Pembimbing I

Frida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Sc.
NIP.19780510 200501 1 003

HALAMAN MOTTO

“They are already special, because they were born into this world.”

-Clara Jaeger-



HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini dipersembahkan untuk:

Allah SWT.

Diri saya sendiri

Kedua orang tua penulis Bapak Basuki dan Ibu Giyem

Kakak Itaq

Kakak Ridho

Fisika 2021

Study club instrumentasi

Program studi fisika uin sunan kalijaga yogyakarta



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puja dan puji syukur kepada Allah SWT berkat rahmatnya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul. “Rancang Bangun Sistem Klasifikasi Lemak Babi Dan Sapi Berbasis Akuisisi Citra Terkombinasi *Machine Learning Vision Transformer*” dengan baik. Tidak lupa shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, semoga kita mendapatkan syafaatnya.

Penulisan skripsi ini merupakan bentuk tanggung jawab penulis untuk menyelesaikan studi yang merupakan salah satu syarat kelulusan. Penulis berharap tulisan ini dapat membawa manfaat dan keberkahan terhadap berbagai macam pihak. Dalam penyusunan serta pelaksanaan tugas akhir ini penulis telah mendapat banyak bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, sepatutnya penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Basuki dan Ibu Giyem. Terima kasih atas kasih sayang dan doa yang diberikan..
2. Kedua saudara penulis, kakak Itaq dan Ridho. Terimakasih telah menemani penulis dalam keadaan saat senang maupun susah.
3. Bapak Prof. H. Noorhaidi Hasan, S.Ag., M.A., M.Phil., Ph.D. selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Ibu Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

5. bu Dr. Widayanti, S.Si., M.Si. selaku Ketua Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
6. Bapak Frida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Sc. selaku dosen pembimbing akademik Program Studi Fisika Angkatan 2021 sekaligus pembimbing I dalam viii skripsi yang senantiasa memberikan pengarahan dalam pelaksanaan sampai penyusunan skripsi ini selesai.
7. Bapak Ade Kurniawan, M.Si., Ph.D. selaku dosen pembimbing II dalam skripsi yang senantiasa memberikan arahan teknis serta menjadi motivasi bagi penulis untuk terus mengembangkan diri dan memiliki semangat.
8. Seluruh Dosen Program Studi Fisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan ilmu, wawasan, motivasi selama masa studi berlangsung.
9. Ibu Asih Melati, S.Si., M.Sc., Ph.D. serta Bapak Cecilia Yanuarief, M.Si. selaku dosen penguji skripsi yang telah memberikan saran dan masukan terhadap penyempurnaan skripsi ini.
10. Saudara/saudari Akmal Nur Sya'ban, Iin Nur Aprilia, dan M. Zaenal Arifin yang senantiasa menjadi rekan diskusi, berbagi, pemikiran, serta partner penelitian yang telah memberikan dukungan selama proses penyusunan skripsi ini.
11. Seluruh rekan Fisika Instrumentasi yang senantiasa menemani dalam suka dan duka serta menjadi tempat saling bertukar ilmu.
12. Seluruh teman seperjuangan Fisika Angkatan 2021 yang telah kebersamaan selama menjalani proses perkuliahan serta memberikan pengalaman dan

dukungan dalam setiap proses perkembangan penulis selama berada di lingkungan kampus.

13. Seluruh pihak yang telah memberikan, doa, bantuan, dan dukungan dalam penyusunan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu

Penulis menyadari adanya keterbatasan pengetahuan yang penulis miliki, sehingga skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang bersifat membangun serta harapan penulis skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya.

Yogyakarta, 25 Mei 2026

Penulis

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

RANCANG BANGUN SISTEM KLASIFIKASI LEMAK BABI DAN SAPI BERBASIS AKUISISI CITRA TERKOMBINASI *MACHINE LEARNING VISION TRANSFORMER*

Annas Mukhlisin
21106020030

INTISARI

Keberadaan lemak babi sebagai bahan tambahan dalam produk pangan menjadi persoalan penting bagi jaminan kehalalan konsumsi umat Muslim. Lemak babi dan lemak sapi memiliki karakteristik visual yang sangat mirip sehingga sulit dibedakan secara kasat mata, sementara metode pengujian laboratorium konvensional memerlukan waktu, tenaga ahli dan analisis hasil lebih lanjut. Penelitian ini bertujuan merancang, membuat, dan menguji sistem klasifikasi lemak babi dan sapi berbasis akuisisi citra terkombinasi *machine learning Vision Transformer*. Sistem yang dikembangkan terdiri atas dua subsistem utama, yaitu subsistem akuisisi citra menggunakan casing akrilik berukuran 10,7 cm × 10,5 cm × 14,8 cm yang dilengkapi mikroskop digital Ezren Ez-0234, serta subsistem perangkat lunak berbasis model *Vision Transformer pretrained vit_base_patch16_224* yang diimplementasikan menggunakan Python di platform *Google Colaboratory*. Dataset dibangun dari 259 citra lemak babi dan 259 citra lemak sapi, kemudian diperluas melalui augmentasi data dengan metode *flipping*, rotasi, dan *color jitter* sehingga diperoleh total 3.367 citra kelas babi dan 3.367 citra kelas sapi. Model dilatih selama 25 *epoch* dengan pembagian data latih 70%, validasi 15% dan data uji 15%. Hasil pengujian menunjukkan sistem mencapai akurasi 99,51%, presisi 99,51%, *f1-score* 99,51%, dan AUC 1,00. Pengembangan sistem berbasis citra dan kecerdasan buatan ini membuka peluang bagi penelitian lebih lanjut dalam upaya mendukung pengawasan kehalalan produk pangan secara ilmiah, objektif, dan terukur.

Kata kunci: klasifikasi lemak babi dan sapi, akuisisi citra, *Vision Transformer*, *machine learning*

**DESIGN AND DEVELOPMENT OF A PORK AND BEEF FAT
CLASSIFICATION SYSTEM BASED ON IMAGE ACQUISITION
COMBINED WITH VISION TRANSFORMER MACHINE LEARNING**

Annas Mukhlisin
21106020030

ABSTRACT

The presence of pork fat as an additive in food products poses a serious challenge to halal food assurance for Muslim consumers. Pork fat and beef fat share highly similar visual characteristics, making them difficult to distinguish with the naked eye, while conventional laboratory testing methods are both time-consuming and costly. This research aims to design, develop, and test a pork and beef fat classification system based on image acquisition combined with Vision Transformer machine learning. The developed system consists of two main subsystems: an image acquisition subsystem using an acrylic casing measuring 10.7 cm × 10.5 cm × 14.8 cm equipped with an Ezren Ez-0234 digital microscope, and a software subsystem based on the pretrained Vision Transformer model vit_base_patch16_224 implemented using Python on the Google Colaboratory platform. The dataset was built from 259 pork fat images and 259 beef fat images, then expanded through data augmentation using flipping, rotation, and color jitter methods, resulting in a total of 3,367 images per class. The model was trained for 25 epochs with a data split of 70% training, 15% validation, and 15% testing. Testing results show that the system achieved an accuracy of 99,51%, precision of 99,51%, F1-score of 99,51%, and AUC of 1.00. The development of this image-based and artificial intelligence system opens opportunities for further research in supporting scientifically grounded, objective, and measurable halal food product monitoring.

Keywords: *pork and beef fat classification, image acquisition, Vision Transformer, machine learning*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	iv
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
INTISARI	x
ABSTRACT.....	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xv
GLOSARIUM	xvi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	11
1.3 Tujuan Penelitian.....	11
1.4 Batasan Penelitian.....	12
1.5 Manfaat Penelitian.....	12
BAB II.....	13
TINJAUAN PUSTAKA.....	13
2.1 Studi Pustaka.....	13
2.2 Landasan Teori	18
2.2.1 Jaringan Lemak	18
2.2.2 <i>Vision instrument</i>	22
2.2.3 <i>Machine Learning</i>	25
2.2.4 <i>Vision Transformer (ViT)</i>	29
2.2.5 Python	33
2.2.6 <i>Google Colaboratory</i>	37
2.2.7 Parameter Pengujian Klasifikasi	39

2.2.8	Ketentuan Syariat Mengenai Lemak Babi	45
BAB III		47
METODE PENELITIAN		47
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	47
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	47
3.2.1	Alat Penelitian.....	47
3.2.2	Bahan Penelitian	48
3.3	Prosedur Penelitian	48
3.3.1	Perancangan Sistem	50
3.3.2	Pembuatan Sistem.....	52
3.3.3	Pengujian Sistem.....	55
3.4	Sistematika Pembahasan Hasil Penelitian	58
3.4.1	Sistematika Pembahasan Hasil Perancangan dan Pembuatan Sistem	58
3.4.2	Sistematika Pembahasan Hasil Pengujian Sistem.....	58
BAB IV		59
HASIL DAN PEMBAHASAN		59
4. 1	Hasil Penelitian	59
4.1.1	Hasil perancangan sistem.....	59
4.1.2	Hasil Pembuatan Sistem.....	62
4.1.3	Hasil Pengujian Sistem	63
4. 2	Pembahasan	64
4.2.1	Pembahasan hasil perancangan dan pembuatan sistem.....	65
4.2.2	Pembahasan hasil pengujian sistem	68
BAB V		75
PENUTUP		75
5. 1	Kesimpulan	75
5. 2	Saran	76
DAFTAR PUSTAKA		78
LAMPIRAN		83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Model arsitektur ViT(Dovietsky, 2021).....	31
Gambar 2. 2 Logo Bahasa pemrograman Python (Python.org, 2001).....	34
Gambar 2. 3 Logo Google Colaboratory (developers.google.com, 2017)	38
Gambar 2.4 Confusion matrix (ISO, 2022).....	39
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian sistem klasifikasi lemak babi dan sapi bagian perancangan sistem dan pembuatan sistem.....	49
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian sistem klasifikasi lemak babi dan sapi bagian pengujian sistem	50
Gambar 4.1 Desain casing 3D sistem akuisisi citra a) tampak depan, b)tampak samping atas, c) tampak atas, d) tampak belakang.....	60
Gambar 4.2 Diagram alir perangkat lunak	61
Gambar 4.3 Hasil pembuatan sistem akuisisi citra.....	62
Gambar 4.4 Tampilan file hasil pelatihan model.....	63
Gambar Lampiran 1.1 proses perancangan sistem akuisisi citra di aplikasi web SketchUp.....	83
Gambar Lampiran 1.2 Proses perancangan perangkat lunak di aplikasi web draw.io...	84
Gambar Lampiran 2.1 Proses persiapan alat dan bahan.	85
Gambar Lampiran 2.2 Proses pembuatan sistem akuisisi citra	86
Gambar Lampiran 2.3 Proses akuisisi citra lemak babi dan sapi	86
Gambar Lampiran 2.4 Proses pembuatan kode augmentasi citra.....	87
Gambar Lampiran 2.5 Grafik distribusi dataset	87
Gambar Lampiran 2.6 Proses running kode augmentasi citra.....	88
Gambar Lampiran 2.7 Contoh hasil augmentasi citra lemak sapi	88
Gambar Lampiran 2.8 Contoh hasil augmentasi citra lemak babi.....	89
Gambar Lampiran 2.9 Proses running kode pelatihan model.....	89
Gambar Lampiran 2.10 Grafik loss dari data latih dan validasi tiap epoch.....	90
Gambar Lampiran 2.11 Grafik loss dari data latih dan validasi tiap epoch.....	90
Gambar Lampiran 2.12 Contoh hasil attention roll out per-head.....	91
Gambar Lampiran 2. 13 Contoh hasil attention roll out per-head yang gagal di prediksi model	91
Gambar Lampiran 2. 14 Contoh hasil attention roll out total.....	92
Gambar Lampiran 2. 15 Contoh hasil attention roll out total yang gagal diprediksi model	92

Gambar Lampiran 2. 16 Contoh hasil grad cam.....	93
Gambar Lampiran 2. 17 Contoh hasil grad cam yang gagal di prediksi model	93
Gambar Lampiran 3.1 Tabel confusion matrix.....	102
Gambar Lampiran 3. 2 Grafik presisi, recall, f1-score tiap kelas dan total akurasi, presisi, recall, dan f1 score.....	102
Gambar Lampiran 3. 3 Grafik t-SNE feature embedding.....	103
Gambar Lampiran 3. 4 Grafik ROC	103

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Interpretasi nilai AUC.....	44
Tabel 3.1 Alat perancangan sistem klasifikasi lemak babi dan sapi.....	47
Tabel 3.3 Bahan pembuatan sistem klasifikasi lemak babi dan sapi.....	48
Tabel 3.4 Hasil nilai pengujian sistem.....	57
Tabel 3.1 Alat perancangan sistem klasifikasi lemak babi dan sapi	47
Tabel 3.3 Bahan pembuatan sistem klasifikasi lemak babi dan sapi	48
Tabel 3.4 Hasil nilai evaluasi	57
Tabel 4.1 Hasil Pengujian sistem	63

GLOSARIUM

Adam	: <i>Optimizer deep learning</i> yang menggabungkan momentum dengan penyesuaian <i>learning rate</i> adaptif untuk setiap parameter.
AlexNet	: Arsitektur CNN 5 lapisan konvolusi + 3 <i>fully connected layer</i> karya Krizhevsky dkk. (2012) yang pertama memenangkan kompetisi ImageNet dengan selisih besar.
Batch	: Sekumpulan sampel data yang diproses sekaligus dalam satu iterasi pelatihan untuk memperbarui bobot model secara efisien.
CCD (<i>Charge-Coupled Device</i>)	: Sensor citra elektronik yang mengubah cahaya menjadi muatan listrik lalu membacanya secara serial untuk menghasilkan sinyal digital.
CMOS (<i>Complementary Metal-Oxide-Semiconductor</i>)	: Sensor citra hemat daya yang mengubah cahaya menjadi sinyal listrik per piksel, umum digunakan pada kamera digital dan smartphone modern.
Cross-Entropy Loss	: Fungsi kerugian klasifikasi yang mengukur perbedaan antara distribusi probabilitas prediksi model dan label kelas sebenarnya.
Data Loader	: Komponen perangkat lunak yang mengelola pemuatan, <i>batching</i> , dan <i>shuffling</i> data secara otomatis selama proses pelatihan model.
Pipeline	: Alur pemrosesan data terstruktur mulai dari pemuatan hingga penyajian ke model secara otomatis dan berulang selama pelatihan <i>deep learning</i> .
DeiT (<i>Data-efficient Image Transformers</i>)	: Varian <i>Vision Transformer</i> dari Facebook <i>AI Research</i> yang dirancang efisien untuk dataset kecil tanpa pra-pelatihan berskala besar.
draw.io	: Aplikasi web untuk membuat diagram alir, arsitektur, dan visualisasi proses secara interaktif.
EfficientNet-B6	: Varian CNN dari Google yang melakukan penskalaan <i>compound</i> (kedalaman, lebar, resolusi) secara seimbang.
Epoch	: Satu siklus penuh ketika algoritma melatih model menggunakan keseluruhan dataset.
Feature Map	: Representasi citra intermediet yang dihasilkan lapisan konvolusi CNN, merepresentasikan respons terhadap fitur tertentu seperti tepi atau tekstur.
Fine-tuning	: Teknik <i>transfer learning</i> di mana bobot model <i>pretrained</i> diperbarui ulang menggunakan data spesifik untuk tugas baru.

<i>Forward Pass</i>	: Tahap pelatihan neural network di mana data input diproses dari masukan ke keluaran untuk menghasilkan prediksi dan menghitung nilai loss.
<i>Fully Connected Layer</i>	: Lapisan jaringan saraf di mana setiap <i>neuron</i> terhubung ke semua <i>neuron</i> lapisan sebelumnya, digunakan di akhir CNN untuk menghasilkan prediksi kelas.
GoogleNet (<i>Inception</i>)	: Arsitektur CNN Google dengan modul <i>Inception</i> yang memungkinkan ekstraksi fitur multi-skala dalam satu lapisan.
<i>Hyperplane</i>	: Subspasi $n-1$ dimensi dalam ruang n dimensi yang berfungsi sebagai batas pemisah antara dua kelas dalam algoritma klasifikasi linear.
ImageNet	: Dataset citra berskala besar berisi lebih dari 14 juta gambar dalam 20.000+ kategori, digunakan sebagai <i>benchmark</i> standar kompetisi klasifikasi citra dengan dataset ILSVRC.
Inferensi	: Proses penggunaan model <i>deep learning</i> yang telah dilatih untuk membuat prediksi pada data baru.
Kernel	: Matriks bobot kecil pada lapisan konvolusi CNN yang digeser di atas citra untuk mengekstraksi fitur seperti tepi, sudut, atau tekstur.
<i>Learning Rate</i>	: Parameter yang menentukan seberapa besar pembaruan bobot model dilakukan pada setiap langkah optimasi.
<i>Loss Function</i>	: Fungsi matematis yang mengukur selisih antara prediksi model dan label sebenarnya sebagai dasar optimasi pelatihan.
<i>Multi-Head Self-Attention</i> (MHSA)	: Mekanisme pada arsitektur <i>transformer</i> yang menggunakan beberapa <i>attention head</i> secara paralel untuk menghitung tingkat keterkaitan antar token <i>input</i> .
MobileNet	: Keluarga arsitektur CNN ringan dari Google yang dirancang untuk perangkat dengan sumber daya komputasi terbatas.
Non-destruktif	: Sifat metode pengujian yang tidak merusak atau mengubah sampel yang dianalisis.
OP-ViT (<i>Overlapping Patches Vision Transformer</i>)	: Varian arsitektur <i>Vision Transformer</i> karya Huang dkk. (2021) yang dirancang untuk klasifikasi citra <i>fine-grained</i> menggunakan <i>patch</i> yang saling tumpang tindih.
<i>Optimizer</i>	: Algoritma yang mengatur cara bobot model diperbarui selama pelatihan berdasarkan gradien dari <i>loss function</i> .
<i>Overfitting</i>	: Kondisi di mana model mempelajari pola pelatihan terlalu spesifik sehingga kehilangan kemampuan generalisasi pada data baru.

<i>Pooling</i>	: Operasi CNN yang mereduksi dimensi spasial <i>feature map</i> dengan merangkum informasi dari suatu area menjadi satu nilai.
<i>Pre-training</i>	: Tahap pelatihan awal model <i>deep learning</i> pada dataset berskala besar sebelum digunakan untuk tugas spesifik.
<i>Receptive Field</i>	: Area pada citra input yang mempengaruhi aktivasi suatu <i>neuron</i> tertentu dalam jaringan CNN.
ResNet (<i>Residual Network</i>)	: Arsitektur CNN yang menggunakan <i>residual connection</i> (<i>skip connection</i>) untuk memungkinkan pelatihan jaringan sangat dalam tanpa degradasi performa.
RMSprop	: Algoritma optimizer yang menyesuaikan <i>learning rate</i> secara adaptif berdasarkan rata-rata kuadrat gradien terbaru untuk setiap parameter.
SGD (<i>Stochastic Gradient Descent</i>)	: Algoritma optimasi yang memperbarui bobot model menggunakan gradien dari satu sampel atau mini-batch data secara acak pada setiap langkah.
<i>Swin Transformer</i>	: Varian arsitektur <i>Vision Transformer</i> yang menggunakan hierarki patch untuk klasifikasi citra.
VGG16	: Arsitektur CNN 16 lapisan berbobot dari <i>Visual Geometry Group Oxford</i> , terdiri dari 13 lapisan konvolusi dan 3 <i>fully connected layer</i> .

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Prinsip halal dan haram menjadi pedoman dasar yang mengatur berbagai aspek kehidupan termasuk dalam hal konsumsi pangan dalam ajaran Islam. Umat Muslim diperintahkan untuk hanya mengonsumsi makanan yang halal dan baik karena apa yang dikonsumsi oleh seseorang tidak hanya memengaruhi kesehatan fisik tetapi juga kesucian jiwa dan perilakunya (Amini, 2022). Dengan demikian pemilihan makanan halal tidak semata berkaitan dengan aspek gizi tetapi juga merupakan bentuk ketaatan spiritual yang mencerminkan ketaatan terhadap perintah Allah SWT. Salah satu dasar pokok mengenai ketentuan halal dan haram dalam konsumsi terdapat dalam Q.S Al-Baqarah ayat 173 di mana Allah SWT berfirman:

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

Artinya: “Sesungguhnya Dia hanya mengharamkan atasmu bangkai, darah, daging babi, dan (daging) hewan yang disembelih dengan (menyebut nama) selain Allah. Akan tetapi, siapa yang terpaksa (memakannya), bukan karena menginginkannya dan tidak (pula) melampaui batas, maka tidak ada dosa baginya. Sesungguhnya Allah Maha Pengampun lagi Maha Penyayang.” (Kementerian Agama Republik Indonesia, 2022)

Al-Qur'an sebagai sumber hukum utama dalam Islam memberikan penjelasan yang tegas mengenai jenis-jenis makanan yang diharamkan, sebagaimana tercantum dalam ayat di atas. Keempat kategori yang disebutkan bangkai, darah, daging babi, dan hewan yang disembelih atas nama selain Allah

menjadi pedoman bagi umat islam dalam memilih makanan yang akan dikonsumsi. Di antara keempat kategori tersebut, larangan terhadap babi memiliki kekhususan karena mencakup seluruh bagian dari hewan tersebut, tidak terbatas pada dagingnya semata. Menurut Shihab (1999), ayat ini menegaskan bahwa larangan konsumsi daging babi mencakup seluruh bagian tubuhnya, termasuk lemak dan turunannya, karena Al-Qur'an sering menggunakan istilah "daging" untuk mewakili keseluruhan bagian tubuh hewan. Beliau menjelaskan bahwa penyebutan kata *lahma al-khinzīr* (daging babi) bersifat representatif (*ta'bīr bi al-juz' 'an al-kull*), bukan pembatasan (*taqyīd*), sehingga segala bentuk olahan babi baik daging, lemak, minyak, maupun turunan lainnya termasuk dalam keharaman yang dimaksud.

DPR Republik Indonesia telah mengesahkan Undang-Undang Nomor 33 Tahun 2014 tentang Jaminan Produk Halal sebagai bentuk komitmen negara dalam memberikan perlindungan kepada konsumen Muslim serta menjamin kepastian hukum terhadap produk yang beredar di masyarakat. Undang-undang ini menetapkan bahwa setiap produk yang beredar dan diperdagangkan di wilayah Indonesia wajib bersertifikat halal, kecuali produk yang secara jelas dinyatakan tidak halal seperti produk yang mengandung babi baik sebagai bahan baku, bahan olahan, bahan tambahan, maupun bahan penolong. Ketentuan ini tercantum dalam Pasal 4 dan Pasal 17, yang menegaskan bahwa produk berbahan babi tidak dapat diajukan untuk sertifikasi halal dan wajib diberi label tidak halal agar masyarakat memperoleh informasi yang benar dan terlindungi dalam memilih produk konsumsi. Pelaksanaan UU JPH melibatkan koordinasi antara Badan Penyelenggara Jaminan Produk Halal (BPJPH), Majelis Ulama Indonesia (MUI),

dan Lembaga Pemeriksa Halal (LPH) dalam proses pemeriksaan, penetapan, dan sertifikasi halal. Lebih lanjut, Pasal 31 ayat 1 sampai 4 menyatakan bahwa LPH dapat bekerja sama dengan laboratorium pengujian terakreditasi untuk melakukan pengujian bahan baku, bahan tambahan, bahan penolong, maupun produk akhir. Hasil pengujian laboratorium tersebut digunakan sebagai bukti ilmiah dalam penetapan status halal suatu produk. Dengan demikian, UU JPH menjadi landasan yuridis bagi penerapan pendekatan ilmiah dalam menjamin kehalalan produk pangan di Indonesia.

Fatwa MUI Nomor 80 Tahun 2022 menyatakan bahwa bahan yang berasal dari babi dan seluruh turunannya termasuk lemak, enzim, dan derivat lainnya ditetapkan sebagai haram dan tidak dapat disertifikasi halal. Hal tersebut sejalan dengan ketentuan keharaman babi yang ditegaskan dalam Q.S. al-Baqarah ayat 173, dan Undang-Undang Jaminan Produk Halal. Fatwa ini juga mewajibkan pengujian laboratorium untuk memastikan tidak adanya unsur kandungan babi dan turunannya pada bahan baku, bahan tambahan, maupun bahan penolong. Pengujian tersebut dilaksanakan melalui berbagai metode uji yang dilakukan di laboratorium terakreditasi, sehingga penetapan kehalalan tidak hanya bertumpu pada pertimbangan fikih, tetapi juga dilandasi validitas ilmiah sebagai bukti objektif. Penekanan pada bukti ilmiah ini secara langsung memperkuat mandat BPJPH. Melalui mandat ini, BPJPH tidak hanya fokus pada penetapan hukum, tetapi juga secara aktif mendorong, memfasilitasi, serta mengadopsi pengembangan riset dan teknologi untuk memberikan jaminan produk pangan halal.

Keberadaan kandungan turunan babi sebagai bahan tambahan pada berbagai produk pangan halal masih menjadi persoalan yang sering luput dari perhatian konsumen maupun pemerintah. Masalah ini semakin kompleks karena bahan turunan babi seperti gelatin, lemak (*lard*), dan kolagen kerap dimanfaatkan sebagai substitusi maupun campuran dalam produk berbahan dasar daging sapi, seperti bakso, sosis, dendeng, dan olahan daging lainnya. Secara visual, tekstur, warna, maupun aroma daging babi olahan maupun lemaknya sangat menyerupai produk sapi, sehingga hampir mustahil dibedakan tanpa bantuan metode analisis ilmiah yang memadai (Yayla dan Doğan, 2021). Kemiripan karakteristik fisik inilah yang menjadikan pemalsuan atau pencampuran bahan babi ke dalam produk olahan sapi sebagai modus yang mudah tersembunyi dari pengawasan konsumen awam maupun inspeksi visual petugas di lapangan.

Situasi tersebut terefleksikan dalam sejumlah kasus nyata di masyarakat. Kasus bakso yang diklaim berbahan sapi di Bantul pada tahun 2025 menjadi contoh konkret, di mana konsumen Muslim baru menyadari kandungan babi di dalamnya setelah MUI dan dewan masjid setempat memasang spanduk penanda tidak halal (Yuwono dan Lutfipambudi, 2025; Pertama, 2025). Fakta bahwa produk tersebut telah beredar dan dikonsumsi dalam jangka waktu tertentu tanpa sepengetahuan konsumen menunjukkan betapa sulitnya mendeteksi pemalsuan sapi-babi secara kasat mata. Kasus serupa terjadi pada olahan ayam goreng di Solo pada tahun yang sama, yang terungkap menggunakan lemak babi sebagai pengganti lemak hewani halal dalam proses penggorengannya (Mohay, 2025; Wahyu, 2025) — sekali lagi memperlihatkan pola substitusi bahan halal dengan turunan babi yang tidak

terdeteksi tanpa uji laboratorium. Selain itu, kontroversi Babiambo menggarisbawahi bagaimana ketidakjelasan status bahan pangan yang bersinggungan dengan identitas Muslim dapat memicu dampak sosial yang luas (Hastanto, 2022).

Kasus-kasus tersebut menegaskan bahwa kesamaan sifat fisik antara produk babi dan sapi menciptakan celah besar dalam sistem jaminan kehalalan berbasis inspeksi visual semata. Tanpa verifikasi ilmiah, konsumen Muslim yang mengonsumsi produk olahan sapi sekalipun tidak dapat memastikan ketiadaan kontaminasi bahan babi di dalamnya. Oleh karena itu, selain mengharamkan melalui fatwa, MUI juga mewajibkan pengujian laboratorium berbasis metode molekuler dan biokimia sebagai satu-satunya cara yang andal untuk memastikan tidak adanya bahan tambahan yang berasal dari babi dalam produk pangan olahan.

Berdasarkan fatwa MUI Nomor 80 Tahun 2022 klasifikasi kontaminan babi dalam bahan tambahan dilakukan menggunakan metode uji laboratorium. Uji laboratorium tersebut ialah *Polymerase Chain Reaction (PCR)*, *Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA)*, *Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS)*, dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*. Meskipun metode laboratorium tersebut telah terbukti mampu mengklasifikasi bahan tambahan berupa lemak babi secara akurat, proses analisis sering kali membutuhkan peralatan dan peranan ahli serta menghasilkan data kompleks yang memerlukan pemrosesan *multivariat* (Prihandiwati dkk, 2024). Bahkan dalam studi yang menggabungkan *FTIR-ATR* dan *GC-MS*, disebutkan bahwa interferensi bahan dan interpretasi spektra yang tumpang-tindih masih menjadi tantangan (Lestari dkk, 2025). Oleh

sebab itu, diperlukan metode klasifikasi bahan pangan yang objektif, efisien, dan mudah diterapkan, terutama dalam membedakan lemak babi dan lemak sapi yang memiliki kemiripan visual. Pemilihan lemak sapi sebagai pembanding didasarkan pada beberapa pertimbangan penting. Pertama, lemak sapi merupakan lemak hewani yang halal dan umum digunakan dalam industri pangan. Kedua, jenis lemak tersebut memiliki tingkat kemiripan visual yang tinggi

Penerapan *vision instrument* semakin dipertimbangkan sebagai solusi potensial dalam bidang autentikasi produk halal. Peluang ini didukung oleh temuan bahwa ciri-ciri visual seperti warna, tekstur, dan struktur morfologi merupakan indikator yang kuat untuk membedakan spesies hewani. Secara spesifik, studi menunjukkan bahwa fitur tekstur yang diekstrak menggunakan metode *Gray Level Co-occurrence Matrix* (GLCM), seperti kontras dan *sum of square variance*, terbukti mampu mengklasifikasikan daging sapi dan babi (Anwar dkk, 2017). Pemanfaatan *vision instrument* yang dipadukan dengan *machine learning* dapat menjadi metode verifikasi yang objektif dan efisien untuk menjamin keaslian dan kehalalan produk pangan.

Kemajuan teknologi *artificial intelligence* khususnya dalam bidang *machine learning* telah memberi kontribusi yang besar dalam pengenalan pola visual dan klasifikasi citra dalam beberapa tahun terakhir. *Machine learning* bekerja dengan mempelajari pola atau fitur dari sejumlah besar data gambar, kemudian menggunakan pola tersebut untuk membedakan dan mengklasifikasikan objek baru secara otomatis (Müller dan Guido, 2016). Dalam implementasinya, perkembangan *machine learning* telah melahirkan arsitektur yang semakin

kompleks dimulai dari *neural network* sederhana hingga model *deep learning* seperti sekarang ini.

Multi-layer Perceptrons (MLP) merupakan awal dari algoritma yang memulai perkembangan penerapan *machine learning* pada pengolahan citra. MLP menjadi model *neural network* pertama yang mampu mempelajari hubungan nonlinear, sehingga memungkinkan pengenalan pola visual yang lebih kompleks dibandingkan metode statistik klasik (Minsky dan Papert, 1988). Perkembangan selanjutnya ditandai dengan munculnya *convolutional neural network* (CNN). CNN merevolusi pengolahan citra dengan memperkenalkan lapisan konvolusi dan *pooling*, yang memungkinkannya mengekstraksi fitur spasial (tepi, tekstur, dan bentuk) secara hierarkis dan otomatis (Lecun dkk, 1998; Krizhevsky dkk, 2012). Selanjutnya, *Recurrent Neural Network* (RNN) memainkan peran penting dalam analisis data sekuensial. Model RNN mempertahankan status internal yang menyebarkan informasi dari langkah waktu sebelumnya, memungkinkan jaringan mengondisikan *output* saat ini berdasarkan konteks historis. Oleh karenanya model dapat memahami konteks temporal atau sekuensial antar elemen visual (Hochreiter dan Schmidhuber, 1997).

Munculnya arsitektur *transformer* mengubah paradigma *neural network* secara fundamental. *Transformer* adalah arsitektur *neural network* yang dibangun sepenuhnya di atas mekanisme *attention*, menghilangkan lapisan *recurrent* dan konvolusional demi pemrosesan berbasis *attention* murni. *Transformer* menggantikan pemrosesan sekuensial dengan operasi paralel, menggunakan *multi-head self-attention* untuk menangkap hubungan dan *position encodings* untuk

mempertahankan informasi urutan. Kemampuan *transformer*, melalui efisiensi dalam menangkap ketergantungan jarak jauh dan dukungan paralelisme masif selama pelatihan dan inferensi memungkinkan arsitektur ini mencapai kinerja *state of the art* pada berbagai domain, termasuk pemodelan bahasa, terjemahan, dan klasifikasi citra skala besar (Vaswani dkk, 2017). Akan tetapi, penerapan arsitektur *transformer* khususnya *vision transformer* dalam bidang klasifikasi kehalalan produk pangan masih tergolong baru dan belum banyak diteliti, khususnya untuk kasus bahan yang memiliki kesamaan morfologi seperti lemak hewani. Kebanyakan penelitian sebelumnya masih berfokus pada deteksi bahan haram menggunakan metode laboratorium atau CNN berbasis *deep learning* konvensional. Oleh karena itu, penggunaan *vision transformer* sebagai model klasifikasi citra lemak hewani menjadi inovasi yang diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sistem klasifikasi bahan haram berbasis *vision instrument* dan *machine learning*.

Implementasi model *deep learning* yang kompleks termasuk *vision transformer* memerlukan ekosistem pemrograman yang kuat dan terintegrasi. Dalam konteks ini Python dipilih sebagai bahasa pemrograman utama. Python diakui secara luas dalam komunitas *data science* dan *machine learning* berkat sintaksisnya yang ringkas sehingga memudahkan pengembangan prototipe dan *debugging* (Pedregosa dkk, 2011). Selain itu Python didukung oleh pustaka (*libraries*) yang spesifik dan sangat efisien untuk *deep learning* seperti TensorFlow dan PyTorch. Pustaka-pustaka ini menyediakan semua fungsionalitas yang diperlukan mulai dari operasi matriks dan konvolusi berkecepatan tinggi yang

memanfaatkan *Graphics Processing Unit* (GPU) hingga implementasi siap pakai untuk arsitektur mutakhir seperti *vision transformer* (Abadi dkk, 2016; Paszke dkk, 2019). Dukungan komprehensif ini menjadikan Python sebagai alat esensial untuk merancang, melatih, dan menguji sistem klasifikasi citra lemak hewani berbasis *vision instrument* ini. Untuk mendukung kebutuhan komputasi yang intensif dari pelatihan model *deep learning*, terutama pada arsitektur kompleks seperti *vision transformer*, dibutuhkan prosesor yang bekerja menggunakan komputasi paralel agar pemrosesan berjalan optimal dan cepat. Salah satu perangkat keras yang memanfaatkan komputasi secara paralel secara efektif adalah GPU. Mengingat tidak semua komputer lokal memiliki GPU berkinerja tinggi, komputasi *cloud* (*cloud computing*) dapat dijadikan pilihan untuk menjalankan pelatihan model secara optimal. Pemanfaatan *cloud* memungkinkan peneliti mengakses sumber daya terakselerasi seperti GPU dan TPU (*Tensor Processing Unit*) sesuai permintaan. Komputasi *cloud* yang menyediakan akses ke akselerator perangkat keras tersebut diimplementasikan menggunakan *Google Colaboratory*.

Google Colaboratory (Colab) adalah layanan *cloud-based* yang menyediakan lingkungan Jupyter Notebook tanpa memerlukan konfigurasi instalasi. Keunggulan utama Colab adalah kemudahan akses terhadap sumber daya komputasi berkinerja tinggi, termasuk GPU dan TPU. Akses pada perangkat keras yang terakselerasi ini sangat penting karena mempercepat waktu pelatihan model secara signifikan, yang sebaliknya akan memakan waktu berjam-jam atau bahkan berhari-hari jika dilakukan hanya dengan CPU lokal (Bisong, 2019). Selain itu, Colab mendukung kolaborasi *real-time* dan terintegrasi dengan Google Drive, yang

memastikan kemudahan akses data dan berbagi kode, menjadikannya pilihan ideal untuk penelitian di bidang *Deep Learning* yang efisien dan *scalable*.

Pengaplikasian teknologi *vision transformer* dan pemanfaatan *cloud computing* dalam kasus klasifikasi lemak hewani menuntut dilakukannya tahap perancangan sistem yang cermat. Tahap ini krusial karena berfungsi sebagai kerangka kerja. Perancangan memastikan bahwa seluruh komponen sistem, mulai dari arsitektur perangkat keras untuk akuisisi citra (*vision instrument*), hingga alur data (*data pipeline*) dan konfigurasi arsitektur *vision transformer*, dapat terintegrasi secara fungsional. Tanpa perancangan yang terstruktur, proses pengembangan model akan berisiko menghadapi inefisiensi komputasi, ketidaksesuaian antarmuka, dan kegagalan integrasi perangkat lunak (Python/Colab) dengan perangkat keras. Oleh karena itu, perancangan sistem adalah langkah fundamental untuk memastikan kelayakan teknis, optimalisasi sumber daya (GPU/TPU), dan mencapai tujuan penelitian secara efektif dan sistematis, yakni membangun sistem klasifikasi lemak babi dan sapi.

Tahap pengujian merupakan langkah kritis setelah perancangan dan pembuatan selesai. Tahapan ini bertujuan untuk memvalidasi kinerja sistem klasifikasi secara objektif. Pengujian dilakukan untuk menilai apakah sistem yang dibangun telah memenuhi tujuan penelitian dalam membedakan lemak babi dan lemak sapi. Proses ini melibatkan pengumpulan dan pemrosesan data citra dari kedua jenis lemak menggunakan *vision instrument* diikuti oleh pelatihan model *vision transformer* di lingkungan *cloud* Colab. Evaluasi kinerja model didasarkan pada metrik kuantitatif standar dalam klasifikasi berupa akurasi, presisi, *f1-score*,

dan *Receiver Operating Characteristic/Area Under the Curve* (ROC/AUC) yang mengukur kemampuan prediktif model secara keseluruhan. Melalui pengujian yang terstruktur dan evaluasi berbasis parameter yang ada, tahapan ini bertujuan untuk memastikan tingkat akurasi sistem klasifikasi lemak hewani berbasis *vision transformer* serta memvalidasi kontribusinya dalam mendukung pengawasan jaminan produk halal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan sistem klasifikasi lemak babi dan sapi berbasis teknologi akuisisi citra terkombinasi *machine learning vision transformer*?
2. Bagaimana hasil pembuatan sistem klasifikasi lemak babi dan sapi berbasis teknologi akuisisi citra terkombinasi *machine learning vision transformer*?
3. Bagaimana kinerja sistem klasifikasi lemak babi dan sapi yang telah dibuat berbasis teknologi akuisisi citra terkombinasi *machine learning vision transformer*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Merancang sistem klasifikasi lemak babi dan sapi berbasis teknologi akuisisi citra terkombinasi *machine learning vision transformer*.
2. Membuat sistem klasifikasi lemak babi dan sapi berbasis teknologi akuisisi citra terkombinasi *machine learning vision transformer*.

3. Menguji sistem klasifikasi lemak babi dan sapi yang telah dibuat berbasis teknologi akuisisi citra terkombinasi *machine learning vision transformer*.

1.4 Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi beberapa hal sebagai berikut:

1. Objek penelitian yang digunakan adalah lemak babi dan sapi yang masih mentah dengan ukuran kurang lebih 1x1 cm.
2. Parameter pengujian yang digunakan ialah akurasi, presisi, *f-1 score*, dan AUC.
3. Akuisisi citra dilakukan menggunakan mikroskop digital Ezren Ez-0234 dengan perbesaran tetap pada kondisi pencahayaan yang terkontrol.
4. Platform komputasi yang digunakan terbatas pada *Google Colaboratory* dengan akses T4 TPU *cloud* yang tersedia.
5. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah Python dengan versi 3.12.12.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan memiliki beberapa manfaat di antaranya:

1. Menghasilkan prototipe sistem klasifikasi yang dapat membedakan lemak babi dan sapi secara otomatis dan nondestruktif.
2. Menjadi acuan pengembangan metode klasifikasi visual bahan pangan dengan pendekatan *machine learning*, serta membuka peluang penelitian lanjutan dalam klasifikasi komponen makanan berbasis citra digital.
3. Mendukung pengawasan jaminan produk halal.

BAB V

PENUTUP

5. 1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membuat, dan menguji sistem klasifikasi lemak babi dan sapi berbasis akuisisi citra terkombinasi *machine learning Vision Transformer* menggunakan Python dan platform *Google Colaboratory*. Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sistem klasifikasi lemak babi dan sapi berbasis akuisisi citra terkombinasi *machine learning Vision Transformer* telah berhasil dirancang. Perancangan dilakukan dengan membagi sistem ke dalam dua subsistem utama, yaitu sistem akuisisi citra dan perangkat lunak berbasis *machine learning*. Sistem akuisisi citra dirancang menggunakan desain *casing* berbahan akrilik berukuran 10,7 cm x 10,5 cm x 14,8 cm yang dikombinasikan dengan mikroskop digital Ezren Ez-0234. Perangkat lunak dirancang dengan menyusun diagram alir *machine learning* yang mencakup tahapan akuisisi data citra, *preprocessing* citra, pelatihan model *Vision Transformer*, serta evaluasi kinerja model.
2. Sistem klasifikasi lemak babi dan sapi berbasis akuisisi citra terkombinasi *machine learning Vision Transformer* telah berhasil dibuat. Sistem akuisisi citra berhasil direalisasikan dalam bentuk *casing* berbahan akrilik yang mengakomodasi mikroskop digital Ezren Ez-0234. Dataset berhasil dibuat dengan mengambil 270 citra lemak babi dan 340 citra lemak sapi menggunakan sistem akuisisi citra yang telah dibangun, kemudian diperluas melalui

augmentasi data menggunakan metode *flipping*, rotasi, dan *color jitter* sehingga diperoleh total 3.108 citra kelas babi dan 4.268 citra kelas sapi. Perangkat lunak berhasil dibuat dengan mengimplementasikan model *Vision Transformer pretrained vit_base_patch16_224* menggunakan bahasa pemrograman Python di platform *Google Colaboratory*, dan menghasilkan file berisi model dengan format *.pth*.

3. Sistem klasifikasi lemak babi dan sapi berbasis akuisisi citra terkombinasi *machine learning Vision Transformer* telah berhasil diuji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mencapai nilai akurasi sebesar 99,51%, presisi sebesar 99,51%, *f1-score* sebesar 99,51%, dan AUC sebesar 1,00.

5. 2 Saran

Inovasi teknologi merupakan proses yang terus berkembang dan tidak pernah berhenti pada satu tahap penyempurnaan. Setiap inovasi yang dihasilkan senantiasa membuka peluang untuk peningkatan performa serta penyesuaian terhadap kebutuhan pengguna yang semakin beragam. Oleh karena itu, meskipun sistem yang dirancang, dibuat, dan diuji telah berhasil selesai, masih terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk pengembangan dan penyempurnaan pada tahap selanjutnya. Berdasarkan hal tersebut, maka beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Dataset yang digunakan dalam penelitian ini masih bersumber dari pengambilan citra secara mandiri dengan jumlah citra awal yang terbatas. Penelitian berikutnya disarankan untuk memperluas *dataset* dengan menambah

jumlah sampel lemak dari berbagai sumber dan variasi sampel lemak hewani agar model yang dihasilkan lebih *general* dan tidak rentan terhadap *overfitting*.

2. Penelitian ini menggunakan model *Vision Transformer* berbasis *pretrained vit_base_patch16_224* yang memanfaatkan bobot dari pelatihan pada *dataset* ImageNet. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengeksplorasi variasi arsitektur ViT lain seperti *DeiT*, *Swin Transformer*, atau model *multistage ViT*, serta membandingkan kinerjanya secara sistematis agar dapat diperoleh arsitektur yang paling optimal.
3. Penelitian ini difokuskan pada klasifikasi dua kelas, yaitu lemak babi dan lemak sapi dalam kondisi mentah. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas cakupan klasifikasi dengan menambahkan jenis lemak hewani lain, serta mempertimbangkan sampel dalam kondisi yang bervariasi seperti lemak yang telah diproses atau dimasak, guna meningkatkan relevansi praktis sistem terhadap kebutuhan pengawasan produk pangan halal di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, M., Agarwal, A., Barham, P., ...dan Zheng, X. 2016. TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Distributed Systems. *arXiv preprint*. arXiv:1603.04467.
- Amini, A., Fasa, M. I., dan Suharto. 2022. Urgensi halal food dalam tinjauan konsumsi islami. *Jurnal Ekonomi Industri Halal*, **Vol. 2 No. 2 2022**:1-14.
- An nawawi, I. 1994. *Terjemah syarah syahih muslim*. Mustaqim. Jakarta selatan.
- Anwar, K., Harjoko, A., dan Suharti. 2017. *Identifikasi Daging Sapi Dan Babi Berdasarkan Fitur Tekstur Citra Digital*. Disertasi, Jurusan Ilmu Komputer, FMIPA, UGM, Sleman.
- Bisong, E. 2019. *Building Machine Learning and Deep Learning Models on Google Cloud Platform*. Apress. Ottawa.
- Chaki, J., dan Dey, N. 2019. *A Beginner's Guide To Image Preprocessing Techniques*. CRC Press. Boca Raton.
- DLY, I. A., Jasril, J., Sanjaya, S., Handayani, L., dan Yanto, F. 2023. Klasifikasi Citra Daging Sapi dan Babi Menggunakan CNN Alexnet dan Augmentasi Data. *Journal of Information System Research JOSH*, **Vol.4 No.4** : 1176–1185.
- Dosovitskiy, A., Beyer, L., Kolesnikov, A., Weissenborn, D., Zhai, X., Unterthiner, T., Dehghani, M., Minderer, M., Heigold, G., Gelly, S., Uszkoreit, J., dan Hounsby, N. 2021. An image is worth 16×16 words: Transformers for image recognition at scale. *arXiv preprint*. arXiv:2010.11929.
- Esra, M., Yayla, A., dan Doğan, C. E. 2021. Development of a new and sensitive method for the detection of pork adulteration in gelatin and other highly processed food products. *Food Additives dan Contaminants*.
- Feiner, G. 2006. *Meat products handbook technology*. Woodhead publishing limited. Cambridge.
- Géron, A. 2019.. *Hands-on Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow*. O'reilly. Sebastopol.
- Ghanem, M., Ghaith, A. K., El-hajj, V. G., Bhandarkar, A., Giorgio, A. De, Elmiterander, A., dan Bydon, M. 2023. Limitations in Evaluating Machine Learning Models for Imbalanced Binary Outcome Classification in Spine Surgery : A Systematic Review. *brain sciences*,

- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. 2018. *Digital Image Processing, 4e*. Pearson. New York.
- Guido, S., dan Müller, A. C. 2016. *Introduction to Machine Learning with Python*. O'Reilly. Sebastopol.
- Hastanto, I. 2022. *Restoran Babiambo viral jual masakan Padang non-halal, dikecam tokoh Minangkabau, diperiksa polisi*. Diakses 5 November 2025 pukul 14.38 dari <https://vice.com>
- Hochreiter, S., dan Schmidhuber, J. 1997. Long Short-Term Memory. *Neural Computation*. **VOL.9 No.8** : 1735–1780.
- Hossin, M., dan Sulaiman, M. N. 2015. A Review On Evaluation Metrics For Data Classification Evaluations. *Internasional Journal Of Data Mining & Data Knowledge Management Process*, **Vol.5 No.2** : 1–11.
- Huang, Z., Du, J., dan Zhang, H. 2021. A Multi-Stage Vision Transformer for Fine-grained Image Classification. *ITME*. 191–195.
- IMARC Group. 2024. *Edible animal fat market size, share, trends, and forecast by type, source, end user, and region, 2025-2033*. Diakses pada 2 Desember 2025 pukul 13.21 dari <https://imarcgroup.com>.
- ISO/IEC. 2022. *ISO/IEC 23053: Information technology — Artificial intelligence AI — Framework for AI systems using machine learning*. International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission, Geneva.
- Jähne, B. 1995.. *Digital Image Processing*. Springer verlag, New York.
- Khan, S., Naseer, M., Hayat, M., dan Zamir, S. W. 2022. Transformers in Vision : A Survey. *arXiv preprint*. arXiv:2010.11929.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., dan Hinton, G. E. 2012. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*. **Vol.25** : 1-9.
- Lecun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., dan Haffner, P. 1998. Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition. *Proceedings of the IEEE*, **Vol.86 No.11** : 2278-2324.
- Lei, T., dan Nandi, A. K. 2023. *Image Segmentation*. Wiley, Pondicherry.
- Lestari, D., dan Dela, P. 2024. The employment of FTIR-ATR spectroscopy and GC-MS combined with chemometrics for rapid detection of adulteration of pork oil in Gabus fish oil *Channa striata* for halal authentication. *Open Veterinary Journal*, **Vol.15 No.2** : 646–659.

- Li, J. 2024. Area under the ROC Curve has the most consistent evaluation for binary classification. *Plos One*, 1-28.
- Luo, W., Li, Y., Urtasun., dan Zemel, R. 2016. Understanding the Effective Receptive Field in Deep Convolutional Neural Networks. *Nips*.
- Lutz, M. 2009.. *Learning Python*. O'reilly, Sebastopol.
- Mahmudy, W. F., dan Kurnianingtyas, D. 2025. Opportunities of Artificial Intelligence for Authentication and Assurance of Halal Products. *Journal of Information*, **Vol.10 No.1** : 37–48.
- Majelis Ulama Indonesia. 2022. *Keputusan Komisi Fatwa Majelis Ulama Indonesia Nomor 80 Tahun 2022 tentang produk dan/atau bahan yang harus dilakukan uji laboratorium*. Majelis Ulama Indonesia. Jakarta.
- Martias, M. F., Jasril, J., Sanjaya, S., Handayani, L., dan Yanto, F. 2023. Klasifikasi Citra Daging Sapi dan Daging Babi Menggunakan CNN Arsitektur EfficientNet-B6 dan Augmentasi Data. *Jurnal Sistem Komputer Dan Informatika JSON*, **Vol.4 No.4** :642-651.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., dan Wilkinson, S. A. 2011.. *Animal Nutrition*. Pearson Education, London.
- Minicho, J., Howse, J. 2015. *Learning OpenCV 3 Computer Vision with Python*. Packt Publishing, Birmingham.
- Minsky., M. L., dan Papert., S. A. 1988. *Perceptrons: An introduction to computational geometry*. MIT Press. Cambridge.
- Mohay, F. 2025. *Update kondisi ayam goreng Widuran, Wali Kota Solo beri syarat setelah diizinkan beroperasi lagi*. Diakses 5 November 2025 pukul 14.22 dari <https://tribunnews.com>
- Mortas, M., Awad, N., dan Ayvaz, H. 2022. Adulteration detection technologies used for halal/kosher food products : an overview. *Discover Food*. **Vol.2 No. 15**.
- Nahm, F. S. 2022. Receiver operating characteristic curve : overview and practical use for clinicians. *Korean Journal Of Anesthesiology*.
- Nashirun. 2020. Makanan Halal dan Haram Dalam Perspektif Al-Quran. *Jurnal Kajian Manajemen Halal dan Pariwisata Syariah*, **Vol.3 No.2** :1-15.
- Paszke, A., Gross, S., Bradbury, J.,... dan Yang, E. 2019. PyTorch : An Imperative Style, High-Performance Deep Learning Library. *arXiv*. arXiv:1912.01703v1.

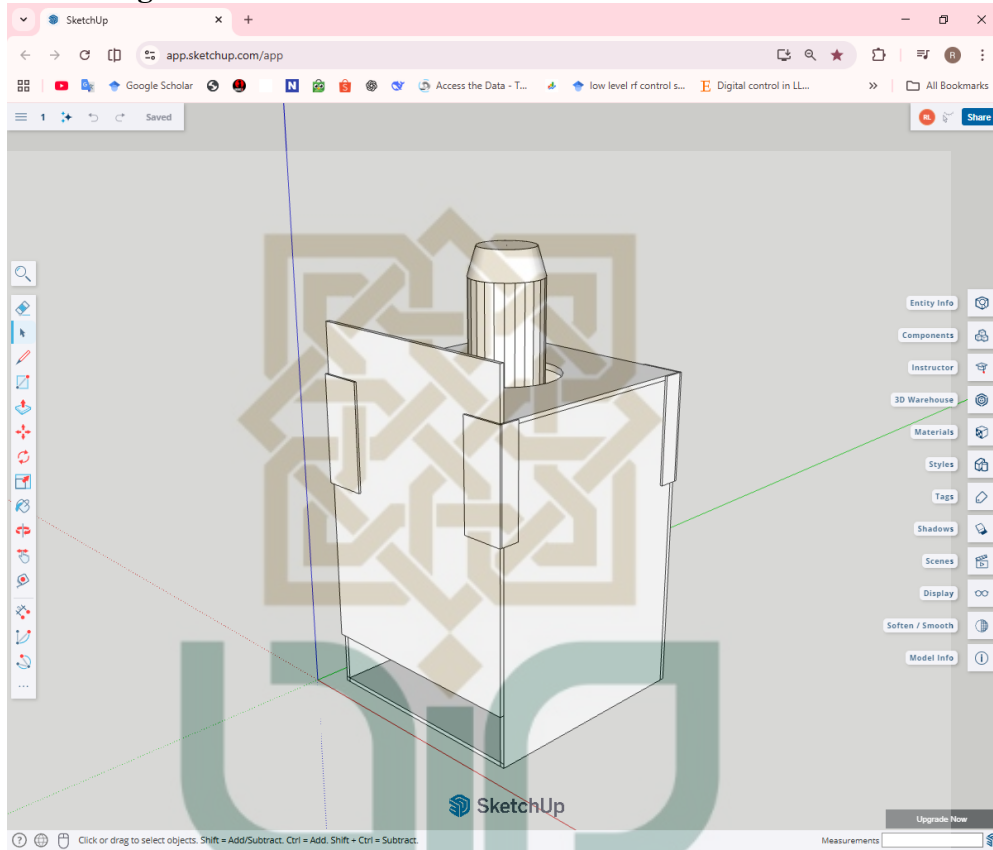
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., ... dan Duchesnay, E. 2011. Scikit-learn : Machine Learning in Python. *arXiv*. arXiv:1201.0490v4.
- Pertana, P. R. 2025. *Viral bakso babi di Bantul berspanduk tidak halal, MUI–DMI beri penjelasan*. Diakses 5 November 2025 pukul 14.19 dari <https://detik.com>
- Powers ,D. M. W. 2011. Evaluation: From precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness & correlation. *Journal of Machine Learning Technologies*, **Vol.2 No.1** : 37–63.
- Prihandiwati, E., Rohman, A., Fadzillah, N. A., ... dan Febrianti, D. R. 2024. A review of the developed methods for the analysis of lard and pork in food and pharmaceutical products for halal authentication. *Food Research*, **Vol.8 No.3**: 14–27.
- Qardhawi, M. Y. 1993. *HALAL DAN HARAM DALAM ISLAM*. Penerjemah: Mu'ammal Hamidy. Bina Ilmu, Surabaya.
- Raschka, S., dan Mirjalili, V. 2019.. *Python Machine Learning*.Packt Publishing, Birmingham.
- Republik Indonesia. 2014. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 33 Tahun 2014 tentang Jaminan Produk Halal. Jakarta.
- Saidin, N., dan Yaakob, M. A. Z. 2025. Permissible and Prohibited Animals in Islam : Insights from the Qur ’ an and Hadis. *Journal of Halal Science and Management Research*, **Vol.1 No.1** : 181-204.
- Saraswati, I., Fahrizal, R., Faauzan, A. N., dan Yudono, M. A. S. 2024. Klasifikasi Daging Sapi , Kambing , dan Babi menggunakan Jaringan Saraf Tiruan Perambatan Balik Berbasis Tekstur GLCM. *Sistemasi*. **Vol.13 No.6**: 2698–2708.
- Shihab,. M. Q. 1999.. *TAFSIR AL-MISBAH*. Lentera Hati. Tangerang Selatan
- Sinha, P. K. n.d.. *Image Acquisition and Preprocessing for Machine Vision Systems*. SPIE, Bellingham.
- Sokolova, M., & Lapalme, G. 2009. A systematic analysis of performance measures for classification tasks. *Information Processing and Management*, **Vol.45 No.4** : 427–437.
- Stevens, E., Antiga, L., dan Viehmann, T. 2020. *Deep Learning With PyTorch*. Manning Publication, Shelter Island.

- Vakili, M., Ghamsari, M., & Rezaei, M. 2020. Performance Analysis and Comparison of Machine and Deep Learning Algorithms for IoT Data Classification. *arXiv preprint*. arXiv:2010.11929.
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., dan Polosukhin, I.. 2017. *Attention Is All You Need*. *Nips*. *arXiv preprint*. arXiv:2010.11929.
- Wahyu, T. 2025. *Wali Kota Solo Respati izinkan ayam goreng Widuran kembali buka*. Diakses 5 November 2025 pukul 14.27 dari <https://detik.com>
- Yusuf, A. U., dan Fatwa, A. B. S. 2023.. *Fiqih Praktis Tentang Makanan*. Pustaka Al-Furqon, Gresik.
- Yuwono, M., dan Lutfipambudi, V. R. 2025. *Spanduk bakso babi di Bantul sudah terpasang sejak awal tahun, DMI tidak*. Diakses 5 November 2025 pukul 14.13 dari <https://kompas.com>
- Zhang, X., Liu, C., Kong, Y., dan Li, F. 2022. Effects of intramuscular fat on meat quality and its regulation mechanism in Tan sheep. *Frontiers in Nutrition*,
- Zulfikar, W. B., Angelyna., Irfan, M., Atmadja, A. R., dan Jumaidi. 2025. A Deep Learning Approach Using VGG16 to Classify Beef and Pork Images. *Internasional Journal on Informatics Visualization*, Vol.9 No.2 : 568–574.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perancangan Sistem

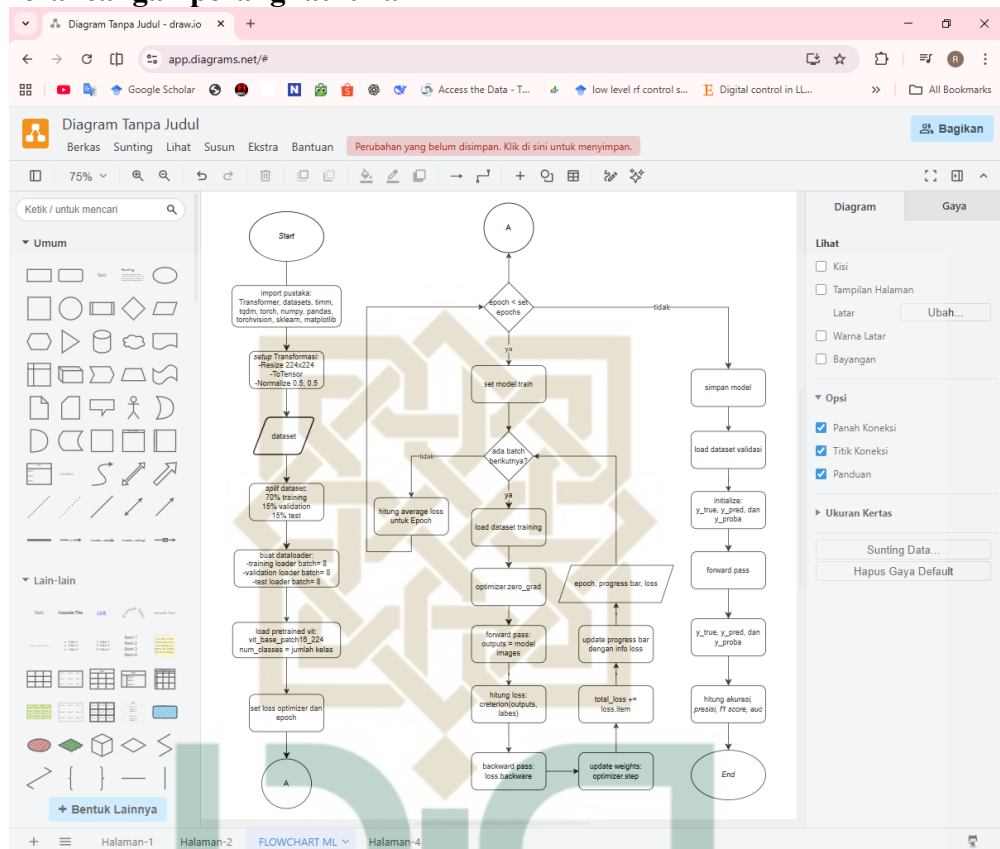
1.1 Perancangan sistem akuisisi citra



Gambar Lampiran 1.1 proses perancangan sistem akuisisi citra di aplikasi web SketchUp

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

1.2 Perancangan perangkat lunak



Gambar Lampiran 1.2 Proses perancangan perangkat lunak di aplikasi web draw.io

Lampiran 2 Pembuatan Sistem

2.1 Persiapan alat dan bahan



Gambar Lampiran 2.1 Proses persiapan alat dan bahan.

2.2 Pembuatan sistem akuisisi citra



Gambar Lampiran 2.2 Proses pembuatan sistem akuisisi citra

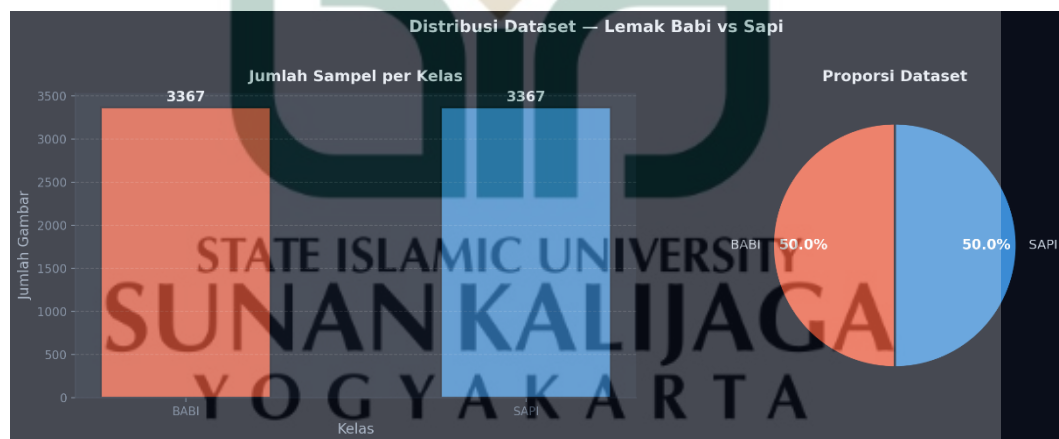
2.3 Pembuatan perangkat lunak



Gambar Lampiran 2.3 Proses akuisisi citra lemak babi dan sapi



Gambar Lampiran 2.4 Proses pembuatan kode augmentasi citra



Gambar Lampiran 2.5 Grafik distribusi dataset

```
print('*' * 50)

run_augmentation_babi1()

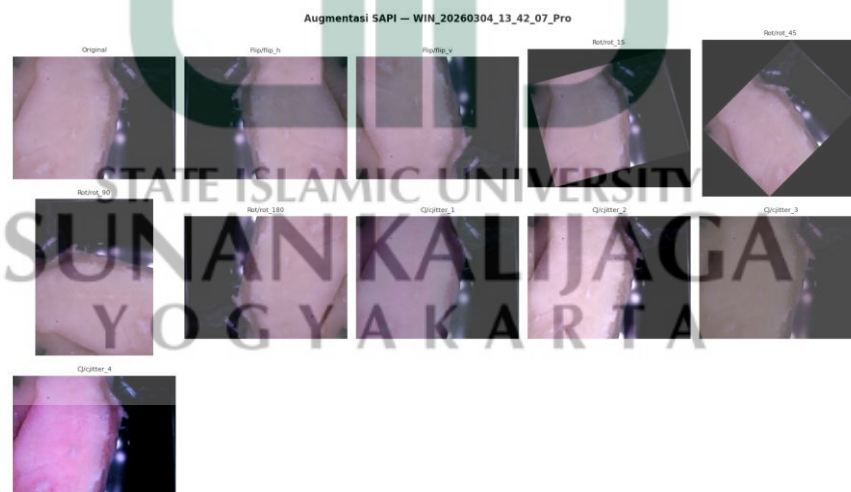
[10/259] MIN_20260226_15_16_42_Pro ✓
[20/259] MIN_20260226_15_19_36_Pro ✓
[30/259] MIN_20260226_15_23_26_Pro ✓
[40/259] MIN_20260226_15_27_25_Pro ✓
[50/259] MIN_20260226_15_29_59_Pro ✓
[60/259] MIN_20260226_15_32_21_Pro ✓
[70/259] MIN_20260226_15_35_24_Pro ✓
[80/259] MIN_20260226_15_38_15_Pro ✓
[90/259] MIN_20260226_15_41_11_Pro ✓
[100/259] MIN_20260226_15_43_42_Pro ✓
[110/259] MIN_20260226_15_46_40_Pro ✓
[120/259] MIN_20260226_15_50_49_Pro ✓
[130/259] MIN_20260226_16_01_34_Pro ✓
[140/259] MIN_20260226_16_06_12_Pro ✓
[150/259] MIN_20260226_16_09_50_Pro ✓
[160/259] MIN_20260226_16_14_24_Pro ✓
[170/259] MIN_20260226_16_17_01_Pro ✓
[180/259] MIN_20260226_16_19_20_Pro ✓
[190/259] MIN_20260226_16_21_03_Pro ✓
[200/259] MIN_20260226_16_23_01_Pro ✓
[210/259] MIN_20260226_16_24_51_Pro ✓
[220/259] MIN_20260226_16_26_43_Pro ✓
[230/259] MIN_20260226_16_31_06_Pro ✓
[240/259] MIN_20260226_16_34_10_Pro ✓
[250/259] MIN_20260226_16_36_08_Pro ✓
[259/259] MIN_20260226_16_38_18_Pro ✓

=====
AUGMENTASI BABI SELESAI
Original      : 259
Flip          : 518
Rotasi        : 1295
Color Jitter  : 1036
TOTAL OUTPUT  : 3108
Disimpan di   : /content/drive/MyDrive/SKRIPSI/AUGMENTASI/BABI
=====

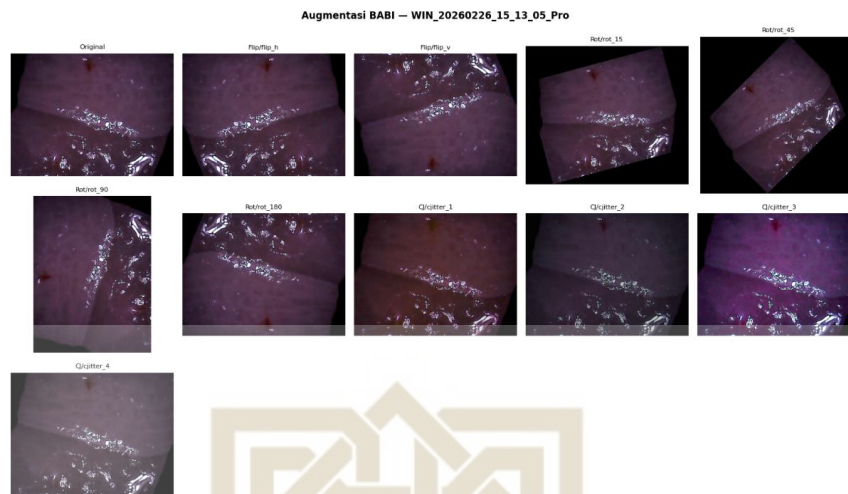
7. Visualisasi Hasil Augmentasi

def visualize_augmentations(img_path):
    """Tampilkan semua varian augmentasi dari satu gambar."""
```

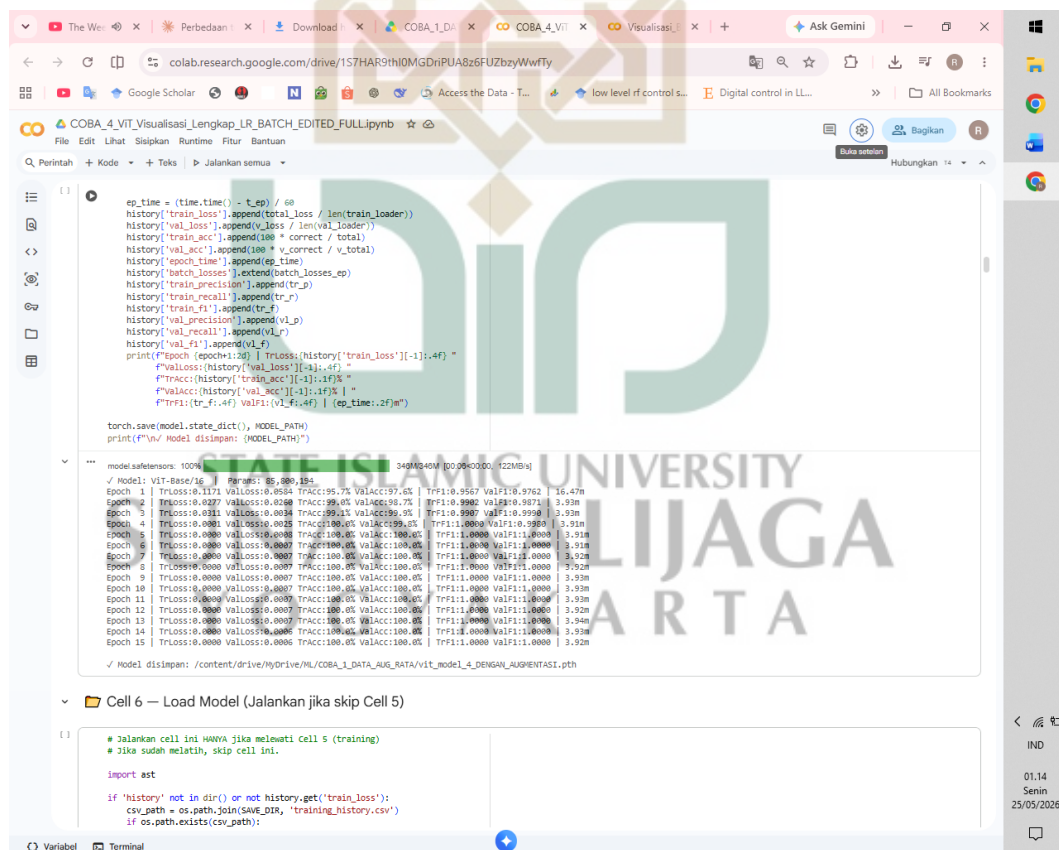
Gambar Lampiran 2.6 Proses running kode augmentasi citra



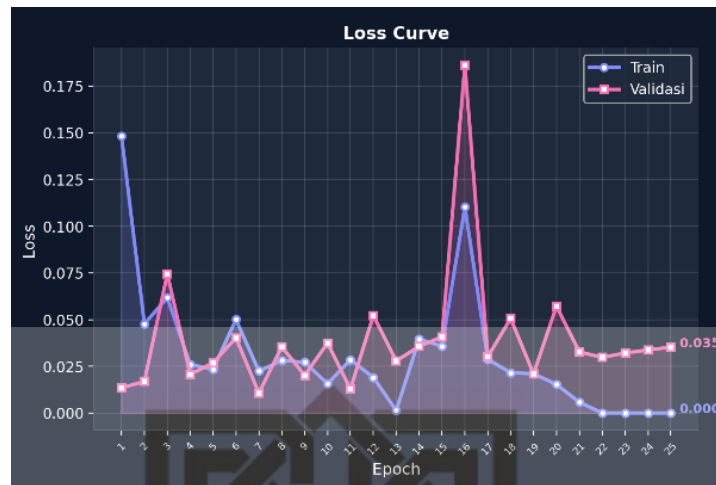
Gambar Lampiran 2.7 Contoh hasil augmentasi citra lemak sapi



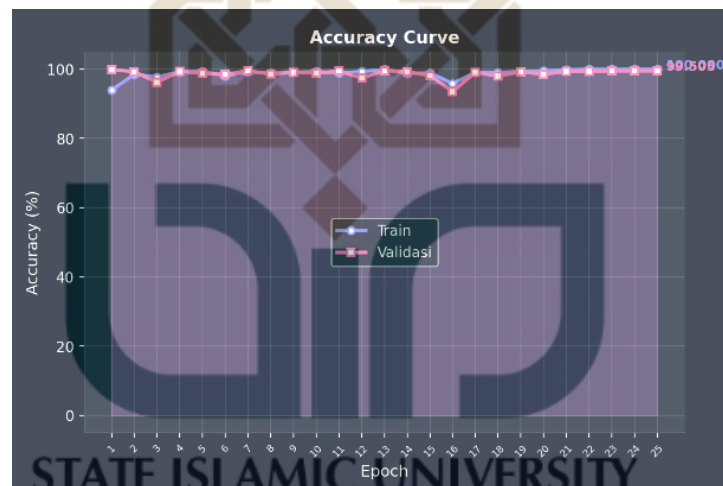
Gambar Lampiran 2.8 Contoh hasil augmentasi citra lemak babi



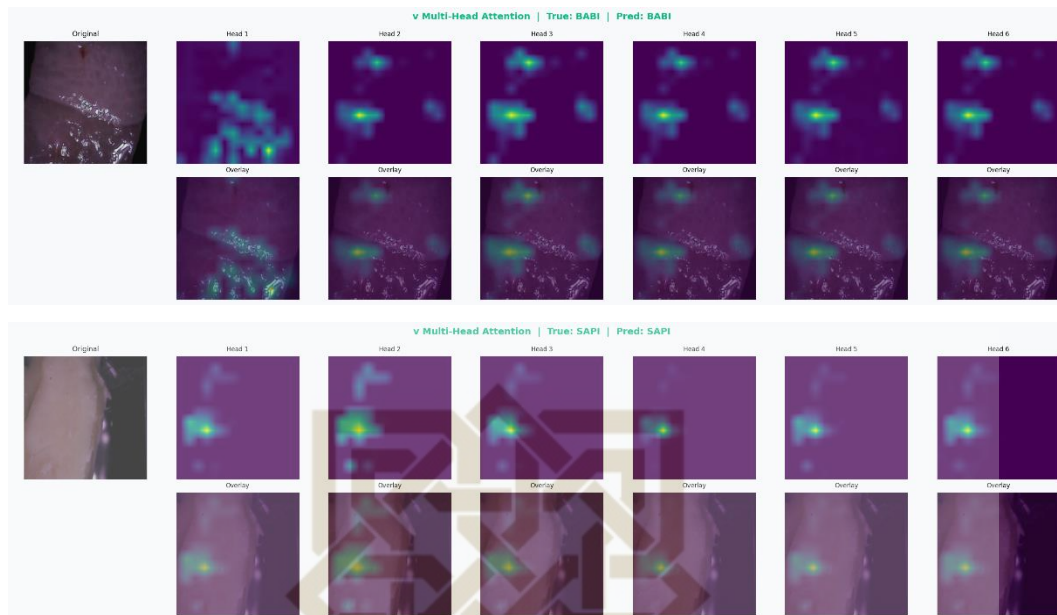
Gambar Lampiran 2.9 Proses running kode pelatihan model



Gambar Lampiran 2.10 Grafik *loss* dari data latih dan validasi tiap *epoch*



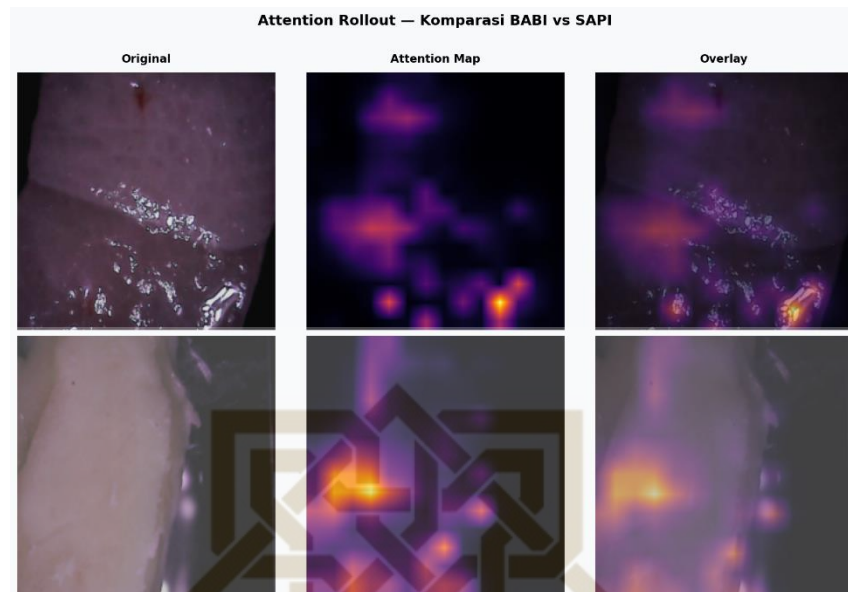
Gambar Lampiran 2.11 Grafik *loss* dari data latih dan validasi tiap *epoch*



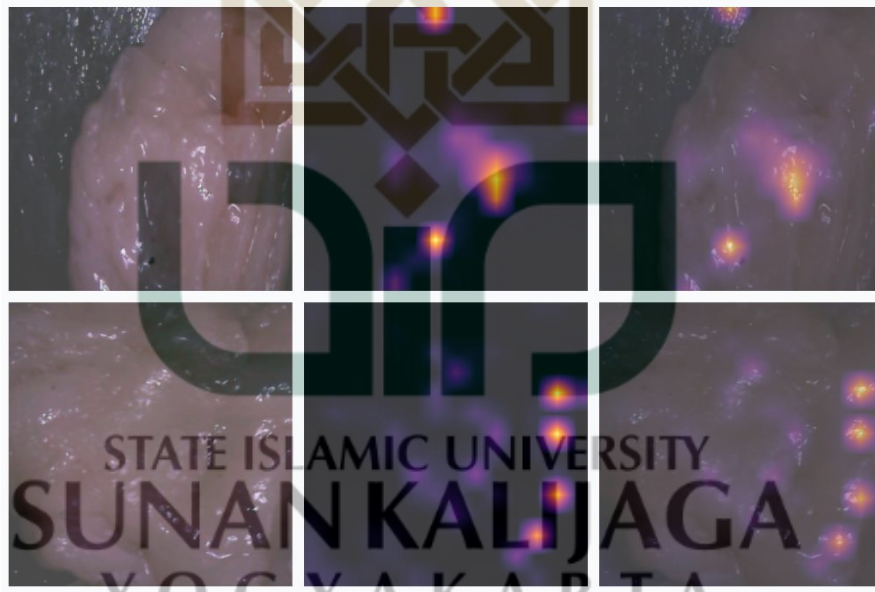
Gambar Lampiran 2.12 Contoh hasil *attention roll out* per-head



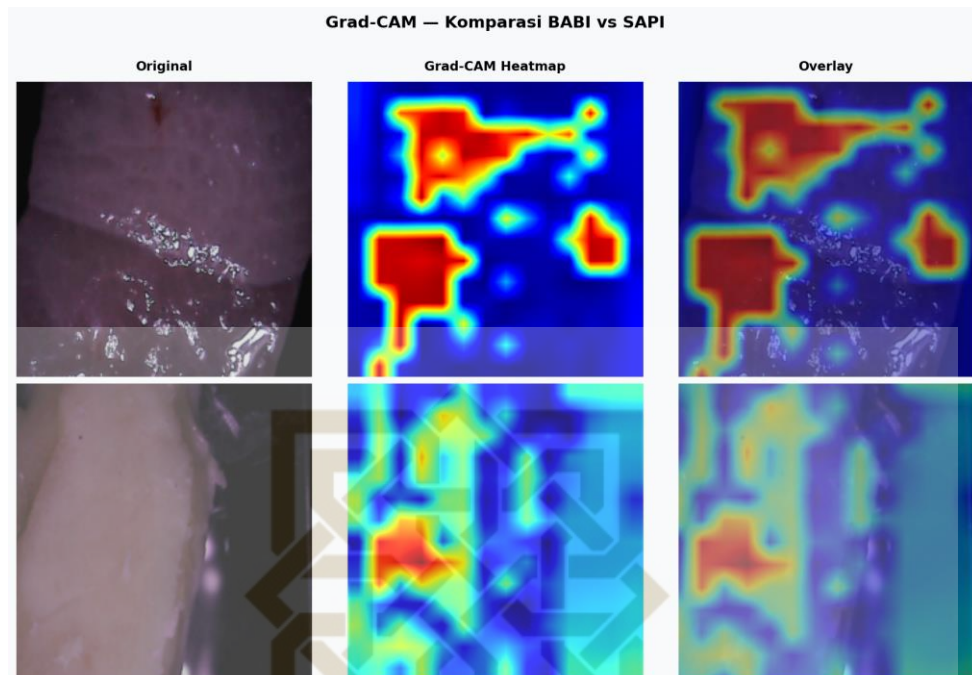
Gambar Lampiran 2. 13 Contoh hasil *attention roll out* per-head yang gagal di prediksi model



Gambar Lampiran 2. 14 Contoh hasil *attention roll out* total



Gambar Lampiran 2. 15 Contoh hasil *attention roll out* total yang gagal diprediksi model



Gambar Lampiran 2. 16 Contoh hasil *grad cam*



Gambar Lampiran 2. 17 Contoh hasil *grad cam* yang gagal di prediksi model

2.3.1 Kode program augmentasi citra

```
from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')
```

```
!pip install torch torchvision Pillow opencv-python-headless -q
```

```
import os
import shutil
import random
import numpy as np
from PIL import Image, ImageFilter
import torchvision.transforms as T
import torchvision.transforms.functional as TF
import torch
import cv2
import matplotlib.pyplot as plt
from pathlib import Path

# ===== KONFIGURASI =====
SOURCE_DIR =
'/content/drive/MyDrive/SKRIPSI/FOTO/SAPI'
OUTPUT_DIR =
'/content/drive/MyDrive/SKRIPSI/AUGMENTASI/SAPI'
LABEL = 'sapi'

#
=====

os.makedirs(OUTPUT_DIR, exist_ok=True)

# Daftar ekstensi gambar yang didukung
IMG_EXTENSIONS = {'.jpg', '.jpeg', '.png', '.bmp',
'.webp'}

def get_image_list(folder):
    return sorted([
        os.path.join(folder, f)
        for f in os.listdir(folder)
        if Path(f).suffix.lower() in IMG_EXTENSIONS
    ])

image_paths = get_image_list(SOURCE_DIR)
print(f'📁 Folder sumber : {SOURCE_DIR}')
print(f'📁 Folder output : {OUTPUT_DIR}')
print(f'🖼️ Total gambar : {len(image_paths)}')
```



```

def augment_flip(img: Image.Image):
    """
    Menghasilkan 2 varian flipping:
        - horizontal flip
        - vertical flip
    """
    results = {}
    results['flip_h'] = TF.hflip(img)
    results['flip_v'] = TF.vflip(img)
    return results

def augment_rotation(img: Image.Image, angles=(15, 30,
45, 90, 180, 270)):
    """
    Rotasi gambar pada berbagai sudut.
    Default: 15°, 30°, 45°, 90°, 180°, 270°
    """
    results = {}
    for angle in angles:
        results[f'rot_{angle}'] = TF.rotate(img, angle,
expand=True)
    return results

def augment_color_jitter(img: Image.Image,
n_variants=4):
    """
    Color Jitter: mengubah brightness, contrast,
    saturation, dan hue secara acak.
    Menghasilkan n_variants gambar dengan parameter
    acak berbeda.
    """
    jitter = T.ColorJitter(
        brightness=0.4,
        contrast=0.4,
        saturation=0.4,
        hue=0.1
    )
    results = {}
    for i in range(n_variants):
        results[f'cjitter_{i+1}'] = jitter(img)
    return results

```

```

def save_image(img: Image.Image, folder: str,
base_name: str, suffix: str, ext: str = '.jpg'):
    """Simpan gambar PIL ke folder output."""
    out_path = os.path.join(folder,
f'{base_name}_{suffix}{ext}')
    img.convert('RGB').save(out_path, quality=95)
    return out_path

def run_augmentation_sapi():
    image_paths = get_image_list(SOURCE_DIR)
    total = len(image_paths)

    if total == 0:
        print('✗ Tidak ada gambar ditemukan di folder
sumber!')
        return

    count_saved = {'original': 0, 'flip': 0,
'rotation': 0, 'color_jitter': 0}

    for idx, img_path in enumerate(image_paths):
        base_name = Path(img_path).stem
        ext = Path(img_path).suffix.lower()

        try:
            img = Image.open(img_path).convert('RGB')
        except Exception as e:
            print(f'⚠ Gagal buka {img_path}: {e}')
            continue

        # --- Salin gambar asli ---
        shutil.copy2(img_path, os.path.join(OUTPUT_DIR,
f'{base_name}_original{ext}'))
        count_saved['original'] += 1

        # --- Flipping ---
        flip_results = augment_flip(img)
        for suffix, aug_img in flip_results.items():
            save_image(aug_img, OUTPUT_DIR, base_name,
suffix)
            count_saved['flip'] += 1

        # --- Rotasi ---

```



```

        rot_results = augment_rotation(img)
        for suffix, aug_img in rot_results.items():
            save_image(aug_img, OUTPUT_DIR, base_name,
suffix)

            count_saved['rotation'] += 1

    # --- Color Jitter ---
    cj_results = augment_color_jitter(img,
n_variants=4)
    for suffix, aug_img in cj_results.items():
        save_image(aug_img, OUTPUT_DIR, base_name,
suffix)

        count_saved['color_jitter'] += 1

    if (idx + 1) % 10 == 0 or (idx + 1) == total:
        print(f' [{idx+1}/{total}] {base_name}
✓ ')

    print()
    print('=' * 50)
    print(f' AUGMENTASI SAPI SELESAI')
    print(f'    Original      :
{count_saved["original"]}')
    print(f'    Flip          : {count_saved["flip"]}')
    print(f'    Rotasi         :
{count_saved["rotation"]}')
    print(f'    Color Jitter   :
{count_saved["color_jitter"]}')
    total_out = sum(count_saved.values())
    print(f'    TOTAL OUTPUT : {total_out}')
    print(f'    Disimpan di   : {OUTPUT_DIR}')
    print('=' * 50)

run_augmentation_sapi()

def visualize_augmentations(img_path):
    """Tampilkan semua varian augmentasi dari satu
gambar."""
    img = Image.open(img_path).convert('RGB')
    base = Path(img_path).stem

    flip_results = augment_flip(img)

```

```

    rot_results    = augment_rotation(img, angles=[15,
45, 90, 180])
    cj_results     = augment_color_jitter(img,
n_variants=4)

    all_imgs      = {'Original': img}
    all_imgs.update({f'Flip/{k}': v for k, v in
flip_results.items()})
    all_imgs.update({f'Rot/{k}':  v for k, v in
rot_results.items()})
    all_imgs.update({f'CJ/{k}':   v for k, v in
cj_results.items()})

    ncols = 5
    nrows = (len(all_imgs) + ncols - 1) // ncols
    fig, axes = plt.subplots(nrows, ncols,
figsize=(ncols * 3, nrows * 3))
    axes = axes.flatten()

    for ax, (title, im) in zip(axes, all_imgs.items()):
        ax.imshow(im)
        ax.set_title(title, fontsize=8)
        ax.axis('off')

    for ax in axes[len(all_imgs):]:
        ax.axis('off')

    fig.suptitle(f'Augmentasi SAPI - {base}',
fontsize=12, fontweight='bold')
    plt.tight_layout()
    plt.show()

# Pilih 1 gambar contoh untuk divisualisasikan
sample_img = image_paths[0]

visualize_augmentations(sample_img)

output_files = get_image_list(OUTPUT_DIR)
print(f'📁 Total file di folder output SAPI:
{len(output_files)}')

# Hitung per metode
categories = {

```

```

        'original'      : [f for f in output_files if
'_original' in os.path.basename(f)],
        'flip_h'        : [f for f in output_files if
'_flip_h' in os.path.basename(f)],
        'flip_v'        : [f for f in output_files if
'_flip_v' in os.path.basename(f)],
        'rotation'      : [f for f in output_files if
'_rot_' in os.path.basename(f)],
        'color_jitter': [f for f in output_files if
'_cjitter_' in os.path.basename(f)],
    }

```

```

print('\n📄 Rincian per metode augmentasi:')
for cat, files in categories.items():
    print(f'    {cat:<15} : {len(files)} gambar')

```

2.3.2 Kode program pelatihan model

```

from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive', force_remount=True)

# Install Library
!pip install -q transformers datasets timm

import os
import numpy as np
import torch
import pandas as pd
from torchvision import datasets, transforms
from torch.utils.data import DataLoader
from timm import create_model
from torch import nn, optim
from sklearn.metrics import classification_report,
accuracy_score, f1_score

# Transformasi gambar (ViT pretrained expects 224x224)
transform = transforms.Compose([
    transforms.Resize((224, 224)),
    transforms.ToTensor(),
    transforms.Normalize([0.5], [0.5])
])

#transforms.compose berfungsi untuk menyusun atau
menggabungkan beberapa transformasi jadi satu

```

```

# Dataset
data_dir = '/content/drive/MyDrive/SKRIPSI/AUGMENTASI'
dataset = datasets.ImageFolder(data_dir,
transform=transform)
class_names = dataset.classes
print("Kelas:", class_names)

#imageFolder berfungsi untuk A generic data loader
where the images are arranged in this way by default:

# Split data (70% train, 15% val, 15% test)
train_size = int(0.7 * len(dataset))
val_size = int(0.15 * len(dataset))
test_size = len(dataset) - train_size - val_size
train_set, val_set, test_set=
torch.utils.data.random_split(dataset, [train_size,
val_size, test_size])

# DataLoader
train_loader = DataLoader(train_set, batch_size=8,
shuffle=True)
val_loader = DataLoader(val_set, batch_size=8,
shuffle=False)
test_loader = DataLoader(test_set, batch_size=8,
shuffle=False)

device = torch.device("cuda" if
torch.cuda.is_available() else "cpu")

# Load pretrained ViT from timm
model = create_model('vit_base_patch16_224',
pretrained=True, num_classes=len(class_names))
model.to(device)

#create_model library dari timm untuk mengimpor model
pretrained yang berfungsi untuk menggunakan model yang
sudah terlatih dahulu sehingga memudahkan proses
komputasi

!pip install tqdm
import torch
import torch.nn as nn
import torch.optim as optim
from tqdm import tqdm

criterion = nn.CrossEntropyLoss()
optimizer = optim.Adam(model.parameters(), lr=1e-4)

```

```

#criterion loss function
#optimizer adalah algoritma untuk mengubah secara
otomatis learning rate dan bobot untuk mengurangi loss
dan meningkatkan akurasi

epochs = 15

for epoch in range(epochs):
    model.train()
    total_loss = 0

    print(f"\nEpoch {epoch + 1}/{epochs}")
    loop = tqdm(enumerate(train_loader),
total=len(train_loader), leave=False) #memanggil
training dataset

    for batch_idx, (images, labels) in loop:
        images, labels = images.to(device),
labels.to(device)

        optimizer.zero_grad()
        outputs = model(images)
        loss = criterion(outputs, labels)
        loss.backward()
        optimizer.step()

        total_loss += loss.item()

        # Update progress bar
        loop.set_description(f"Batch
{batch_idx+1}/{len(train_loader)}")
        loop.set_postfix(loss=loss.item())

    avg_loss = total_loss / len(train_loader)
    print(f"Epoch [{epoch + 1}/{epochs}] - Average
Loss: {avg_loss:.4f}")

#validasi model
model.eval()
y_true, y_pred = [], []

with torch.no_grad():
    for images, labels in val_loader: #memanggil
validation dataset
        images = images.to(device)
        outputs = model(images)

```

```

        preds = torch.argmax(outputs,
dim=1).cpu().numpy()
        y_pred.extend(preds)
        y_true.extend(labels.numpy())

print("Accuracy :", accuracy_score(y_true, y_pred))
print("F1 Score :", f1_score(y_true, y_pred,
average='weighted'))
print("\nClassification Report:")

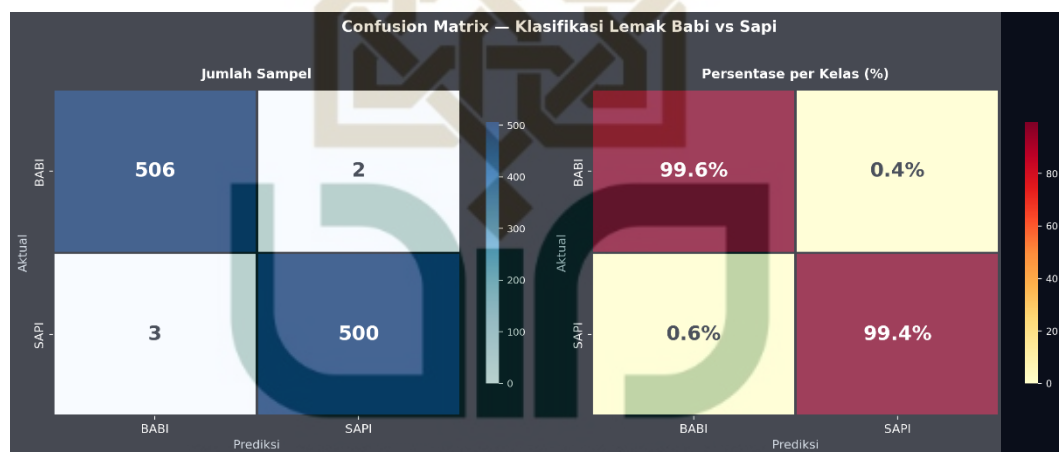
```

2.3.3 Link hasil pembuatan *dataset* dan model

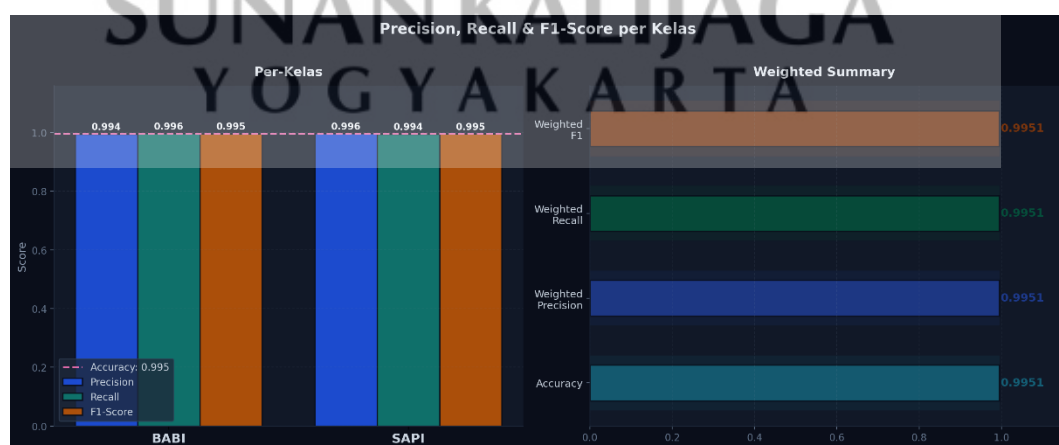
https://drive.google.com/drive/folders/1SPf_0f2UcLJJkhrKVq0QjQZ8CvqGZoC?usp=sharing

Lampiran 3 Pengujian Alat

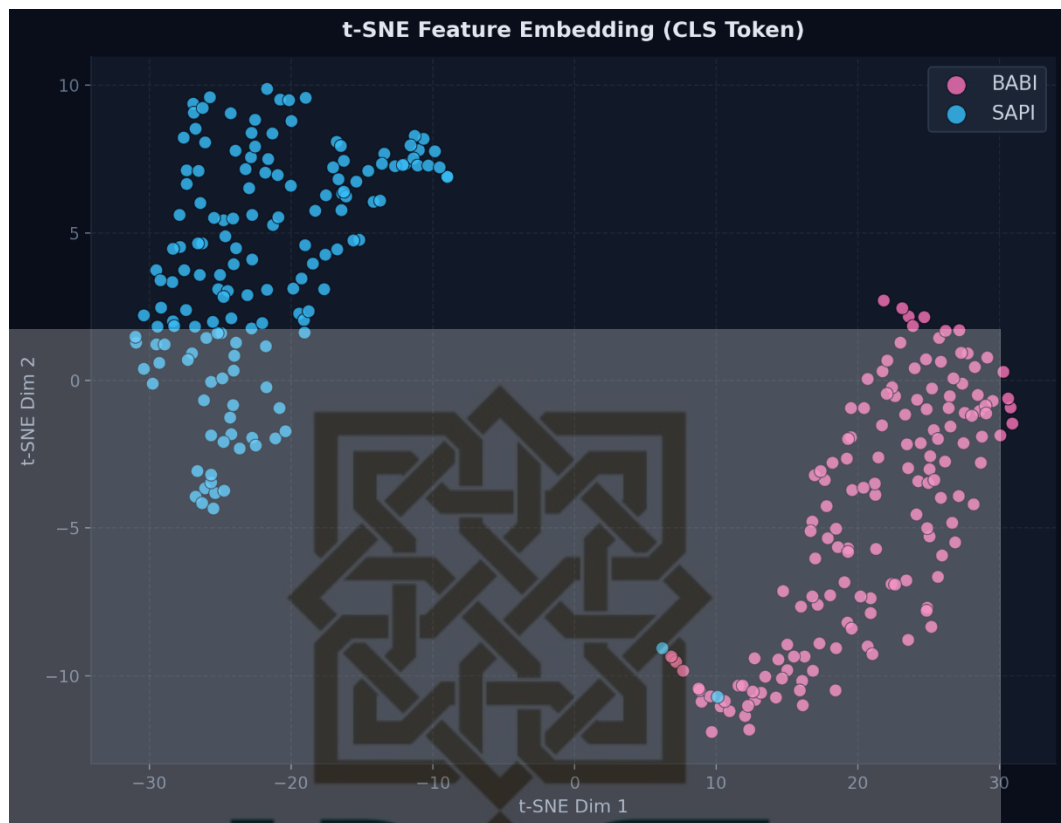
3.1 pengolahan data



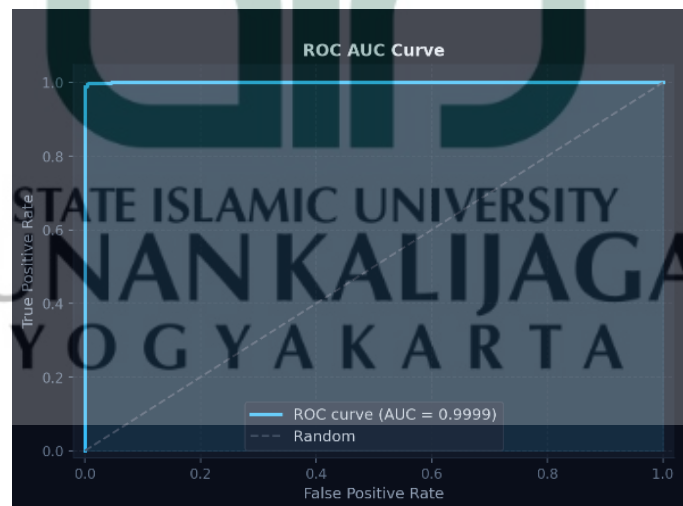
Gambar Lampiran 3.1 Tabel *confusion matrix*



Gambar Lampiran 3. 2 Grafik presisi, *recall*, *f1-score* tiap kelas dan total akurasi, presisi, *recall*, dan *f1 score*



Gambar Lampiran 3. 3 Grafik t-SNE *feature embedding*



Gambar Lampiran 3. 4 Grafik ROC

3.2.1 Kode program pengolahan data

```
from sklearn.metrics import average_precision_score,
roc_curve, auc, RocCurveDisplay
```

```
#menyimpan model
```

```

torch.save(model.state_dict(),
"/content/drive/MyDrive/SKRIPSI/AUGMENTASI/vit_model_lemak_babi_vs_sapi.pth")
xxx="/content/drive/MyDrive/SKRIPSI/AUGMENTASI/vit_model_lemak_babi_vs_sapi.pth"
#/content/drive/MyDrive/SKRIPSI/AUGMENTASI/FOTO

#run model dari format.pth atau model yang sudah di buat
#evaluasi dari test_data

model.load_state_dict(torch.load(xxx))

import matplotlib.pyplot as plt

model.eval()
y_true, y_pred, y_proba = [], [], []

with torch.no_grad():
    for images, labels in test_loader:
        images = images.to(device);
        outputs = model(images)
        preds = torch.argmax(outputs,
dim=1).cpu().numpy()
        probabilities = torch.softmax(outputs,
dim=1)[ :, 1].cpu().numpy() # Get probability for the positive class
        y_pred.extend(preds)
        y_true.extend(labels.numpy())
        y_proba.extend(probabilities)

print("Accuracy :", accuracy_score(y_true, y_pred))
print("precision :", average_precision_score(y_true, y_pred))
print("F1 Score :", f1_score(y_true, y_pred, average='weighted'))
print("\nClassification Report:")

# Generate ROC AUC Curve
fpr, tpr, _ = roc_curve(y_true, y_proba)
roc_auc = auc(fpr, tpr)

plt.figure(figsize=(8, 6))
plt.plot(fpr, tpr, color='darkorange', lw=2,
label=f'ROC curve (area = {roc_auc:.2f})')
plt.plot([0, 1], [0, 1], color='navy', lw=2,
linestyle='--')

```

```
plt.xlim([0.0, 1.0])  
plt.ylim([0.0, 1.05])  
plt.xlabel('False Positive Rate')  
plt.ylabel('True Positive Rate')  
plt.title('Receiver Operating Characteristic (ROC)  
Curve')  
plt.legend(loc="lower right")  
plt.show()
```



Nama	: Annas Mukhlisin
NIM	: 21106020030
Fakultas	: Sains dan Teknologi
Prodi	: Fisika
Email	: annasmukhlisin@gmail.com
Alamat	: Sukoharso, Rt 14, Kedawung, Mondokan, Sragen
Nomor Hp	: 089513136966



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA