KLASIFIKASI RESTORAN BERDASARKAN LIMBAH MAKANAN MENGGUNAKAN *DECISION TREE C4.5*

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Nama : Wafiq Abdillah Wyananda
No. Mahasiswa : 21522272

PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang seluruhnya sudah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 6 - 11 -2025



(Wafiq Abdillah Wyananda)

21522272

SURAT BUKTI PENELITIAN

FAKULTAS
TEKNOLOGI INDUSTRI
Gedung KH. Mas Mansur
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext. 4110, 4100
F. (0274) 895007
E. ft@uii.ac.id
W. ft.uii.ac.id

Nomor : 27/penelitian TA/Sek.Prodi.S1/20/TI/III/2024
Lampiran : -
Hal : Permohonan ijin penelitian tugas akhir

Kepada Yth.
Bapak/Ibu Pimpinan
LPPT UGM
Jl. Kaliurang Km. 4 Sekip Utara, Yogyakarta 55281
Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb

Berkaitan dengan kegiatan penelitian mahasiswa Prodi Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia yaitu

No	Nama Mahasiswa	NIM (No WA)	Penelitian
1.	Wafiq Abdillah Wyananda	21522272 (082181098996)	Penerapan Klasifikasi dalam Mengatasi Variabilitas Nutrisi pada Limbah Makanan sebagai Pakan Hewan

Adapun sampel yang akan diuji adalah **limbah makanan** dengan parameter uji yaitu **lemak total, serat kasar**, dan **protein**. Dengan kondisi penyimpanan pada **suhu ruangan (<25 derajat celcius) atau freezer.**

Maka bersama ini kami memohon kepada Bapak/Ibu untuk memberikan ijin kepada Mahasiswa tersebut untuk melakukan penelitian di instansi yang Bapak/Ibu pimpin.

Demikianlah surat permohonan ini kami sampaikan, atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 20 Ramadhan 1446 H
20 Maret 2025 M

Sek. Prodi S1 Teknik Industri

Annisa Uswatun Khasanah, S.T., M.Sc.

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

KLASIFIKASI RESTORAN BERDASARKAN LIMBAH MAKANAN MENGGUNAKAN *DECISION TREE C4.5*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Wafiq Abdillah Wyananda

No. Mahasiswa : 21522272

Yogyakarta, 8 September 2025

Dosen Pembimbing

(Atyanti Dyah Prabaswari, S.T., M.Sc.)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

KLASIFIKASI RESTORAN BERDASARKAN LIMBAH MAKANAN MENGGUNAKAN *DECISION TREE C4.5*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Wafiq Abdillah Wyananda

No. Mahasiswa : 21522272

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Tekonologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 23–September–2025

Tim Penguji

Atyanti Dyah Prabaswari, S.T., M.Sc. Ketua	
Dr. Ir. Yuli Agusti Rochman, S.T., M.Eng., IPU. Anggota I	
Wahyudhi Sutrisno, S.T., M.M., M.T. Anggota II	

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph. D., IPM

NIK. 015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Laporan tugas akhir ini saya persembahkan kepada ayah dan almarhumah ibu tercinta yang selalu menjadi sumber semangat, serta kakak-kakak yang senantiasa memberikan dukungan dan doa, sebagai bentuk rasa syukur dan penghargaan atas segala kasih sayang, dorongan, dan pengorbanan yang telah diberikan selama ini.

MOTTO

”Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”

– Q.S. Al-Insyirah [94]:6

”Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

- Q.S. Al-Baqarah [2]:286

“Our greatest glory is not in never falling, but in rising every time we fall.”

- Konfusius

"*Hard times may have held you down, but they will not last forever. When all is said and done, you will be increased."*

- Joel Osteen

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim
Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Dalam pelaksanaannya, penulis menghadapi berbagai tantangan, baik dalam pengumpulan data, analisis, maupun penyusunan laporan. Namun, dengan semangat, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak, seluruh proses tersebut dapat dilalui hingga laporan ini terselesaikan. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Ibu Atyanti Dyah Prabaswari, S.T., M.Sc., dan Bapak Ir. Abdullah ‘Azzam, S.T., M.T., IPM., selaku dosen pembimbing laporan Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi, serta ilmu yang telah beliau berikan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
5. Ayah dan almarhumah ibu tercinta, yang telah menjadi sumber kekuatan, doa, dan semangat dalam setiap langkah penulis.
6. Kak Syadza dan Kak Putri, yang senantiasa memberi dukungan, doa, dan motivasi kepada penulis.
7. Om Victoria dan Ante Bet, yang senantiasa memberikan perhatian serta dukungan moril selama masa studi.
8. Teman-teman MnM, yang menjadi teman seperjuangan dan tempat berbagi keluh kesah bagi penulis selama menempuh perjalanan di bangku kuliah.
9. Teman-teman alumni Cendana, yang menjadi teman perantauan selama berkuliah di Yogyakarta.
10. Fathan, Rifal, Dini, Nayla, dan Khalisa yang menemani penulis secara langsung maupun tidak langsung selama proses pengerjaan Tugas Akhir, baik secara emosional maupun teknis.
11. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, namun telah memberikan bantuan, semangat, dan doa kepada penulis dalam berbagai bentuk.

Penulis berharap laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi referensi yang berguna bagi pengembangan penelitian di masa mendatang. Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan.

Wassalamu’alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

ABSTRAK

Limbah makanan dari sektor restoran berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan pakan alternatif untuk ayam pedaging guna mengurangi dampak lingkungan dan ketergantungan terhadap pakan konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan kelayakan limbah makanan restoran sebagai pakan ayam berdasarkan kandungan nutrisi utama, yaitu protein, serat kasar, dan lemak, menggunakan algoritma *Decision Tree C4.5*. Data penelitian terdiri atas 100 sampel limbah makanan restoran, dengan kriteria kelayakan ditetapkan berdasarkan kandungan nutrisi meliputi protein ≥18%, serat kasar ≤10%, dan lemak 5–15%. Hasil analisis menunjukkan bahwa sebanyak 48 restoran (48%) termasuk dalam kategori layak, sedangkan 52 restoran (52%) tergolong tidak layak sebagai bahan pakan ayam. Atribut serat kasar menjadi faktor paling berpengaruh dalam menentukan hasil klasifikasi, diikuti oleh protein dan lemak. Evaluasi performa model *Decision Tree* menunjukkan hasil yang baik dengan tingkat akurasi sebesar 90% serta nilai *precision* dan *recall* masing-masing sebesar 90%. Selain itu, hasil pengujian menunjukkan nilai *confidence* tinggi, dengan rentang 0,8–0,9 pada kategori "Layak" dan mencapai 1,0 pada kategori "Tidak Layak". Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa algoritma *Decision Tree C4.5* efektif dalam mengklasifikasikan kelayakan limbah makanan restoran sebagai pakan ayam dengan akurasi tinggi dan interpretasi yang mudah, serta dapat menjadi dasar pengembangan sistem pendukung keputusan untuk pemanfaatan limbah makanan secara berkelanjutan di sektor peternakan.

Kata Kunci: Limbah Makanan, Restoran, Pakan ayam, Klasifikasi, *Decision Tree C4.5*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN ..... **ii**
SURAT BUKTI PENELITIAN ..... **iii**
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING ..... **iv**
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI ..... **v**
HALAMAN PERSEMBAHAN ..... **vi**
MOTTO ..... **vii**
KATA PENGANTAR ..... **viii**
ABSTRAK ..... **ix**
DAFTAR ISI ..... **x**
DAFTAR TABEL ..... **xii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 5
1.3 Tujuan Penelitian 5
1.4 Manfaat Penelitian 6
1.5 Batasan Penelitian 6
1.6 Sistematika Penulisan 6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **8**
2.1 Kajian Literatur 8
2.2 Landasan Teori 11
2.2.1 Limbah Makanan 11
2.2.2 Protein 11
2.2.3 Lemak 11
2.2.4 Serat Kasar 11
2.2.5 Restoran 12
2.2.6 Data Mining 12
2.2.7 Klasifikasi 12
2.2.8 Decision Tree C4.5 13
2.2.9 Hypothetical Example 13
2.2.10 Pre-processing Data 14
BAB III METODE PENELITIAN **15**
3.1 Desain Penelitian 15
3.2 Populasi dan Sampel 15
3.3 Teknik Pengumpulan Data 15
3.4 Teknik Analisis Data 16
3.5 Diagram Alur Penelitian 17
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA **21**
4.1 Pengumpulan Data 21
4.1.1 Pengambilan Sampel 21
4.1.2 Analisis Laboratorium 22
4.1.3 Duplikasi Data 22
4.2 Pengolahan Data 26

4.2.1 Labeling 26
4.2.2 Pre-processing data 29
4.2.3 Pembuatan model 33
BAB V PEMBAHASAN 36
5.1 Analisis Hasil 36
5.2 Evaluasi Model 38
BAB VI PENUTUP 40
6.1 Kesimpulan 40
6.2 Saran 40
DAFTAR PUSTAKA 42
LAMPIRAN 45

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data Awal 23
Tabel 4. 2 Kriteria Pakan Ayam 26
Tabel 4. 3 *Labeling* 26
Tabel 4. 4 Aturan Transformasi 30
Tabel 4. 5 Data *Final* 30

DAFTAR GAMBAR

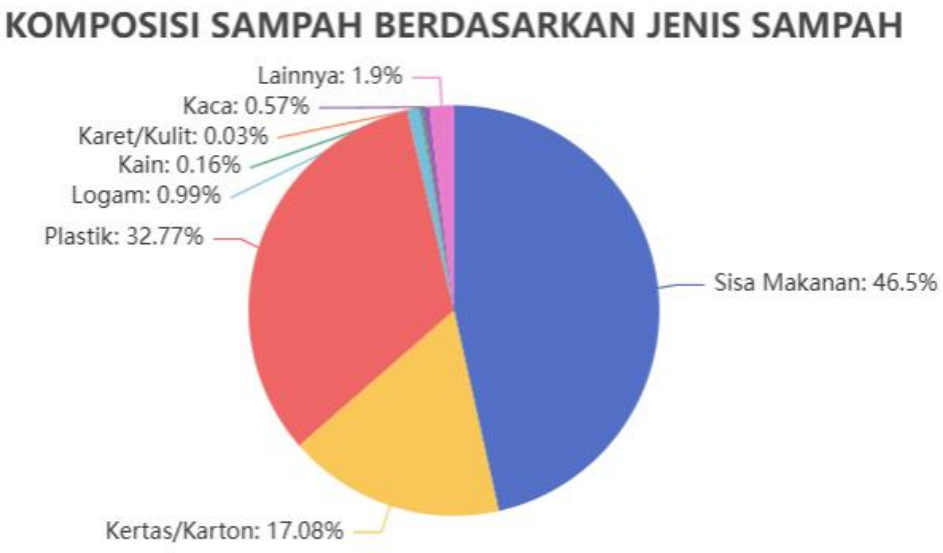
Gambar 1. 1 Komposisi Sampah Kabupaten Sleman 2
Gambar 3. 1 Alur Penelitian 17
Gambar 4. 1 Pengambilan Sampel 21
Gambar 4. 2 Hasil Laboratorium 22
Gambar 4. 3 Impor Data 34
Gambar 4. 4 Model Klasifikasi 35
Gambar 5. 1 Hasil Model 1 36
Gambar 5. 2 Hasil Model 2 37
Gambar 5. 3 *Decision Tree* 37
Gambar 5. 4 *Confusion Matrix* 39

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah merupakan permasalahan lingkungan yang semakin kompleks dan mendesak untuk diatasi. Sampah merupakan suatu limbah yang sudah tidak dipakai, memiliki bau aroma yang tidak sedap, dan biasanya dalam kondisi keberadaannya sudah kotor tidak dan pada tempatnya (Gunadi et al., 2021). Salah satu limbah yang ada pada sampah yaitu limbah makanan. Pertumbuhan jumlah penduduk global dan meningkatnya aktivitas industri pangan telah menyebabkan peningkatan signifikan terhadap produksi limbah makanan. Berdasarkan *United Nations Environment Programme* (UNEP) melalui laporan *Food Waste Index Report* 2024 memperlihatkan bahwa Indonesia merupakan negara dengan penghasil sampah makanan rumah tangga terbanyak se-Asia Tenggara yaitu sebanyak 14,73 juta ton per tahun. Selain itu, Direktur Kewaspadaan Pangan dan Gizi Badan Pangan Nasional mengatakan bahwa 40% dari sampah pada sejumlah TPA di Indonesia merupakan limbah dan sisa makanan. Hal ini menjadi salah satu hal yang harus diperhatikan mengingat dampak dari limbah makanan ini dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan seperti peningkatan emisi gas rumah kaca serta penggunaan air dan tanah yang tidak efisien. Dari sisi ekonomi, hal ini menyebabkan pemborosan dan kerugian nilai makanan. Secara sosial, limbah makanan juga menimbulkan permasalahan kelaparan dan kekurangan gizi (Handoyo & Asri, 2023).

Salah satu daerah di Indonesia yang memiliki permasalahan terkait dengan limbah makanan adalah Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Kepala Bidang Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan Hidup DLHK DIY, Sjamsu Agung Widjaja mengatakan jenis sampah di DIY terbagi menjadi 9. Dimana persentase terbesar dari 9 jenis itu adalah sisa makanan yakni mencapai 53,51% dari total sampah. Sedangkan jenis sampah lainnya yaitu sampah plastik 12,77%, kayu atau ranting 9,95%, kertas atau karton 8,56%, sampah jenis lainnya 7,59 persen, kaca 5,36%, logam 1,73%, kain 0,41%, dan karet atau kulit 0,12%.



Gambar 1. 1 Komposisi Sampah Kabupaten Sleman

Pada Gambar 1. 1 merupakan data yang didapatkan dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). Dimana data tersebut merupakan komposisi sampah berdasarkan jenis sampah yang diambil dari Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta pada tahun 2023. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa persentase terbesar ada pada sisa makanan yaitu sebesar 46,5%. Sehingga diperlukan adanya pengelolaan atau pemanfaatan sampah terutama pada limbah makanan yang memiliki persentase terbesar untuk mengurangi angka tersebut.

Food waste mengacu pada bahan yang tersisa setelah, atau dihasilkan selama, proses pengolahan, produksi, persiapan, maupun penjualan makanan untuk manusia. Hal ini dapat mencakup berbagai jenis biomassa pangan dan bahan yang awalnya ditujukan untuk konsumsi manusia, yang muncul di setiap titik dalam rantai pasok makanan, misalnya yang dikumpulkan dari restoran, ritel, atau sisa makanan rumah tangga (Pinotti et al., 2021). Restoran merupakan salah satu pihak yang harus berperan dalam mengurangi *food waste* (FW), yaitu makanan yang terbuang antara tahap ritel hingga konsumsi (FAO, 2019), karena persoalan ini sangat umum terjadi di sektor tersebut. Faktanya, sekitar 26% dari FW yang dihasilkan pada rantai pasok dari ritel hingga konsumen berasal dari sektor jasa makanan (*foodservice sector*) (United Nation Environmental Program, 2021). Oleh karena itu, penerapan strategi pengurangan limbah makanan (*Food Waste Reduction Strategies* / FWRSs) perlu dilakukan guna menekan jumlah limbah makanan (Lévesque et al., 2024).

Salah satu upaya dalam mengatasi permasalahan limbah makanan adalah dengan melakukan pengolahan ulang atau pemanfaatan kembali, lalu menjadikannya sebagai bahan baku alternatif untuk pakan hewan. Limbah makanan dapat diolah menjadi pakan ternak yang dapat membuka

peluang usaha bagi industri peternakan. Selain bisa dijadikan peluang usaha bagi industri peternakan, pengelolaan limbah sampah pada restoran pun dapat menjadi solusi untuk mengurangi sampah yang tidak bisa didaur ulang (Dewi et al., 2021). Pada penelitian ini pakan hewan yang akan dijadikan acuan adalah pakan ayam. Kualitas nutrisi bahan pakan merupakan faktor utama dalam memilih dan menggunakan bahan makanan sebagai sumber zat makanan untuk memenuhi kebutuhan hidup dan produksi dari hewan ternak. (Bahry et al., 2023). Kandungan nutrisi yang baik dapat mempercepat pertumbuhan hewan dan dapat menghasilkan daging yang cukup besar dan sehat (Asmara et al., 2023).

Seiring meningkatnya jumlah restoran dan konsumsi pangan, limbah makanan yang dihasilkan juga meningkat signifikan. Menurut *Food and Agriculture Organization (FAO)*, lebih dari 30% makanan yang diproduksi secara global berakhir menjadi limbah, termasuk dari sektor restoran dan rumah makan. Limbah makanan ini sebenarnya masih memiliki potensi tinggi untuk dimanfaatkan kembali sebagai bahan pakan alternatif yang ekonomis dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, pengelolaan limbah makanan restoran menjadi bahan pakan memerlukan klasifikasi kandungan nutrisi untuk memastikan kesesuaiannya bagi jenis hewan tertentu.

Namun demikian, pemanfaatan limbah makanan sebagai pakan menghadapi tantangan tersendiri, yaitu adanya variabilitas kandungan nutrisi yang cukup tinggi. Variabilitas nutrisi pada limbah makanan merupakan salah satu masalah utama yang mempersulit pengubahannya menjadi pakan hewan (Georganas et al., 2020). Kandungan seperti protein, serat kasar, dan lemak total dapat sangat bervariasi tergantung dari jenis bahan makanan dan cara pengolahannya. Variabilitas ini perlu ditangani dengan pendekatan yang tepat agar pemanfaatan limbah sebagai pakan tetap aman dan efektif. Limbah makanan berasal dari berbagai sumber yang memiliki kandungan nutrisi yang berbeda-beda. Hal tersebut mengakibatkan adanya ketidakkonsistenan dalam pakan hewan sehingga dapat memengaruhi kesehatan dan produktivitas ternak. Pakan memegang peranan penting dalam produksi ternak, formulasi pakan yang tepat akan menghasilkan produksi yang berkualitas (Octavia & Mu'min, 2023).

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengatasi perbedaan kandungan nutrisi tersebut adalah dengan teknik klasifikasi. Klasifikasi memungkinkan pemisahan limbah makanan ke dalam kategori tertentu berdasarkan karakteristik nutrisinya, sehingga memudahkan dalam menentukan apakah suatu limbah layak dijadikan pakan atau tidak.

Klasifikasi merupakan suatu teknik menemukan suatu pola yang mampu memisahkan kelas data yang satu dengan yang lainnya untuk menentukan objek yang masuk dengan kategori tertentu dengan melihat kelakuan dan atribut dari kelompok yang telah didefinisikan (Romli & Zy, 2020). Dalam membangun model klasifikasi terdapat beberapa algoritma yang dapat digunakan, diantaranya adalah algoritma *Decission Tree* (C4.5), *K-Nearest Neighbour* (k-NN), *Support Vektor Machine* (SVM), serta *Naïve Bayes* (NB) (Khotimah, 2021).

Penelitian ini menggunakan pendekatan klasifikasi data dengan algoritma *Decision Tree C4.5*. Algoritma ini dipilih karena mampu menangani atribut numerik dan menghasilkan model pohon keputusan yang mudah dipahami. Algoritma C4.5 digunakan dalam proses pembuatan pohon keputusan, yang merupakan salah satu teknik klasifikasi dan prediksi paling populer dan berkembang saat ini. Metode ini berguna untuk mengeksplorasi keterkaitan tersembunyi antara berbagai variabel masukan dan satu variabel tujuan (Ramadhani et al., 2024). Algoritma C4.5 memiliki sejumlah manfaat dan keunggulan yang menjadikannya banyak digunakan dalam klasifikasi data. Beberapa kelebihannya antara lain kemampuannya dalam mengolah data baik dalam bentuk numerik maupun kategorik, dapat menangani data dengan nilai atribut yang tidak lengkap, menghasilkan aturan-aturan yang mudah dipahami, serta memiliki kecepatan pemrosesan yang tinggi dibandingkan dengan algoritma lainnya (Romli & Zy, 2020).

Dalam penelitian berbasis *machine learning*, keterbatasan jumlah data sering kali menjadi kendala utama yang dapat memengaruhi akurasi dan kemampuan generalisasi model klasifikasi. Untuk mengatasi hal tersebut, digunakan pendekatan *hypothetical example* dan metode duplikasi data, yaitu pembuatan data sintetis yang menggambarkan kondisi realistis berdasarkan teori atau distribusi empiris yang sudah ada. Dalam konteks penelitian ini, *hypothetical example* diterapkan dengan menambahkan variasi nilai kandungan nutrisi (protein, serat kasar, dan lemak total) berdasarkan rentang realistis pada FAO. Selain itu, metode duplikasi data dilakukan dengan menambahkan variasi numerik ±10% dari hasil laboratorium guna memperkaya dataset. Teknik pembuatan data sintetis memungkinkan pengembangan himpunan data baru yang berisi kombinasi atribut atau kondisi unik yang tidak terdapat pada dataset asli. Berbagai metode dapat digunakan dalam proses ini, dengan tujuan yang beragam seperti memperluas data untuk pelatihan dan pengujian model, meningkatkan variasi data pada kondisi terbatas, serta menjaga kerahasiaan informasi dan privasi data (Goyal & Mahmoud, 2024).

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dan mengklasifikasikan kelayakan pakan ayam pedaging dari limbah makanan restoran berdasarkan kandungan nutrisinya, meliputi kadar protein, serat kasar, dan lemak. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah algoritma *Decision Tree C4.5*, karena mampu mengolah data numerik dan menghasilkan model klasifikasi berbentuk pohon keputusan yang mudah dipahami. Data yang digunakan mencakup 100 sampel limbah makanan yang telah melalui tahap analisis laboratorium, pembersihan, serta pelabelan berdasarkan kriteria pakan ayam, dengan tambahan data sintetis melalui metode *hypothetical example* untuk meningkatkan variasi dataset. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan model klasifikasi dengan tingkat akurasi yang baik dalam menentukan kategori Layak dan Tidak Layak sebagai pakan ayam, serta memberikan gambaran faktor nutrisi yang paling berpengaruh terhadap hasil klasifikasi. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan sistem pendukung keputusan yang membantu dalam pemanfaatan limbah makanan secara efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan untuk mendukung keberlanjutan sektor peternakan unggas di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut merupakan rumusan masalah pada penelitian ini:

1. Bagaimana hasil dari klasifikasi restoran berdasarkan limbah makanan sebagai pakan ayam?
2. Atribut nutrisi apa yang paling berpengaruh dalam menentukan kelayakan limbah makanan sebagai pakan ayam?
3. Bagaimana tingkat akurasi, *precision*, dan *recall* model *Decision Tree C4.5* dalam menentukan kelayakan pakan ayam dari limbah makanan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan penelitian pada penelitian ini:

1. Mengklasifikasikan limbah makanan restoran yang layak dan tidak layak dalam kategori kelayakan pakan ayam.
2. Menganalisis atribut nutrisi yang paling berpengaruh dalam menentukan kelayakan pakan ayam pedaging.

3. Menerapkan algoritma *Decision Tree C4.5* dalam proses klasifikasi kelayakan pakan ayam berdasarkan data nutrisi limbah makanan, serta mengukur performa model melalui nilai akurasi, *precision*, dan *recall* sebagai indikator.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini antara lain:

1. Dapat mengurangi dan membantu pengelolaan dari limbah makanan restoran.
2. Meningkatkan kesehatan dan kualitas pakan hewan.
3. Dapat dijadikan referensi untuk perkembangan pada penelitian selanjutnya.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan-batasan yang ada penelitian ini yaitu:

1. Penelitian ini hanya berfokus pada klasifikasi limbah makanan restoran berdasarkan kandungan protein, serat kasar, dan lemak total.
2. Penelitian ini berfokus pada limbah makanan yang bersumber dari restoran.
3. Pengumpulan data atau sampel dilakukan di Kabupaten Sleman, Yogyakarta.

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut merupakan sistematika penulisan yang akan disusun pada penelitian ini:

BAB I **Pendahuluan**

Pada bab ini berisi mengenai pendahuluan mengapa penelitian ini dilakukan. Mulai dari Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, dan Batsaan Penelitian, serta Sistematika Penulisan.

BAB II **Tinjauan Pustaka**

Berisi mengenai kajian yang dijadikan acuan atau prinsip dasar dalam melakukan penelitian ini yang berisi Kajian Literatur dan Landasan Teori.

BAB III **Metode Penelitian**

Memuat metode yang digunakan pada penelitan ini seperti obyek penelitian, data yang digunakan, dan tahapan yang ada dalam melakukan penelitian ini secara ringkas dan jelas.

BAB IV	**Pengumpulan dan Pengolahan Data** Proses pengumpulan dan pengolahan data dengan langkah-langkah yang diperlukan. Dimana pengumpulan dan pengolahan data ini dilakukan dengan pengambilan sampel dan analisis laboratorium.
BAB V	**Pembahasan** Bab ini berisi mengenai pembahasan berdasarkan hasil dari pengumpulan dan pengolahan data yang sudah dianalisis sehingga mendapatkan hasil dari penelitian ini.
BAB VI	**Penutup** Berisi tentang kesimpulan dan saran berdasarkan hasil dari penelitian ini. Kesimpulan dan saran yang diberikan berisikan jawaban dari rumusan masalah yang telah dirancang.
DAFTAR PUSTAKA	Berisi mengenai sumber-sumber pustaka yang digunakan dalam penelitian ini.
LAMPIRAN	Berisikan seluruh hasil dokumentasi seperti tabel, gambar, proses penelitianm dan lainnya yang perlu dilampirkan .untuk memperjalas uraian dalam laporan penelitian ini.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Indonesia sendiri diperkirakan menghasilkan 13 juta ton sampah makanan setiap tahunnya, dan berada pada peringkat ke 2 setelah Arab (Handoyo & Asri, 2023). Di tingkat global, sekitar 33–40% makanan yang diproduksi untuk konsumsi manusia terbuang tanpa dikonsumsi, menciptakan pemborosan sumber daya seperti lahan, air, dan energi serta menyumbang sekitar 8–10% dari total emisi gas rumah kaca dunia (Shurson et al., 2023). Salah satu solusi strategis yang semakin banyak dikaji adalah *upcycling* atau pemanfaatan limbah makanan menjadi pakan ternak, yang dinilai lebih bernilai dibandingkan metode pengelolaan lain seperti kompos atau pembuangan ke TPA (Aleisa & Alsaleh, 2024). Limbah makanan yang "dibiarkan rusak atau kedaluwarsa karena perilaku ekonomi, manajemen stok yang buruk, atau kelalaian" (Beuving et al., 2024).

Di Indonesia, sampah makanan belum mendapatkan perhatian secara khusus padahal potensi yang dimiliki sangat besar bila dilakukan pengelolaan yang lebih baik (Chaerul & Zatadini, 2020). Limbah makanan dapat menjadi pengganti sebagian biji-bijian sereal dan sumber protein nabati yang digunakan dalam nutrisi hewan, yang akan mengurangi persaingan makanan antara manusia dan hewan (Georganas et al., 2020). Limbah akan menjadi masalah jika hanya dibiarkan begitu saja tanpa adanya pengolahan. Namun, limbah akan menjadi manfaat jika diolah menjadi sesuatu yang berguna seperti untuk pakan hewan ternak (Asmara et al., 2023). Pada pengabdian ini masyarakat diberikan pelatihan budidaya magot dimana tujuannya adalah mensosialisasikan kepada masyarakat akan pemanfaatan dan pengolahan sampah agar bernilai ekonomis dimana hasilnya dapat digunakan untuk pakan ternak (Mulyani et al., 2021). Salah satu solusi pemanfaatan limbah produk cacat es krim dan teh adalah dengan memanfaatkannya sebagai sumber nutrisi dalam budidaya maggot (Nainggolan et al., 2024).

Limbah makanan diketahui memiliki komposisi nutrisi yang bervariasi, bergantung pada sumber dan jenisnya. Limbah makanan berbasis hewani cenderung mengandung kadar protein dan lemak yang lebih tinggi, sementara yang berbasis nabati cenderung kaya akan serat dan karbohidrat (Moonsamy et al., 2024). Variabilitas ini menjadi tantangan dalam pemanfaatan limbah sebagai pakan, karena dapat memengaruhi performa hewan ternak. Oleh karena itu, pengklasifikasian berdasarkan kandungan nutrisi menjadi langkah penting untuk memastikan

keamanan dan efisiensi penggunaannya. Upaya klasifikasi dan penyesuaian nutrisi juga dapat didukung dengan pendekatan teknologi, termasuk penggunaan metode fermentasi mikroba untuk meningkatkan kandungan protein dan menurunkan faktor anti-nutrisi (Yafetto et al., 2023). Pakan memegang peranan penting dalam produksi ternak, formulasi pakan yang tepat akan menghasilkan produksi yang berkualitas (Octavia & Mu'min, 2023). Kualitas nutrisi bahan pakan merupakan faktor utama dalam memilih dan menggunakan bahan makanan sebagai sumber zat makanan untuk memenuhi kebutuhan hidup dan produksi dari hewan ternak. Kualitas nutrisi bahan pakan terdiri dari komposisi nilai gizi, serat, energi, dan aplikasinya pada nilai palatabilitas dan daya cernanya (Bahry et al., 2023).

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa sektor restoran memiliki kontribusi signifikan terhadap timbulan limbah makanan di wilayah urban. (Lévesque et al., 2024) mengungkapkan bahwa variasi bahan dan metode pengolahan pada restoran menyebabkan komposisi nutrisi limbah menjadi sangat heterogen, namun masih mengandung energi dan protein yang cukup tinggi untuk digunakan sebagai pakan alternatif. Temuan serupa oleh (Aleisa & Alsaleh, 2024) menekankan bahwa pengelolaan limbah makanan restoran dapat diarahkan pada strategi *valorization* atau pemanfaatan kembali untuk mendukung ekonomi sirkular, salah satunya melalui konversi menjadi bahan pakan. Selain itu, (Shurson et al., 2023) menyatakan bahwa limbah makanan dari restoran dapat dijadikan sumber bahan pakan potensial karena masih mengandung zat gizi penting seperti protein kasar, lemak, dan serat, asalkan dilakukan proses klasifikasi dan pengolahan yang tepat untuk menjaga keamanan dan kestabilan nutrisi.

Data adalah sebuah cerminan berupa fakta yang di dunia nyata, yang merupakan karakteristik terpenting dari data itu sendiri (Dessiaming et al., 2022). Sampah organik dan anorganik dipisah oleh sistem yang diimplementasikan dalam mesin. Sistem terdiri dari kecerdasan buatan dengan model *Support Machine Vector* (SVM). SVM adalah model algoritma kecerdasan buatan yang dapat digunakan untuk mengklasifikasi kategori secara *unsupervised* maupun *supervised* (Fahmi et al., 2023). Pada sebuah penelitian dilakukan klasifikasi menggunakan *decision tree*. *Decision tree* ini menggunakan representasi struktur pohon, di mana setiap *node* merepresentasikan atribut, cabangnya merepresentasikan nilai dari atribut, dan daun merepresentasikan kelas. Konsep dasar dari *decision tree* ini adalah mengumpulkan data, kemudian membuat *decision tree* yang akan menghasilkan rule-rule sebagai solusi permasalahan (Ikhsanudin et al., 2024). Dalam bidang pertanian dan pengelolaan lingkungan, (Pushpa Athisaya Sakila Rani & Suresh Singh, 2025) decision tree berbasis fitur

citra daun tanaman digunakan untuk mengidentifikasi hama, penyakit, dan kekurangan nutrisi pada tanaman padi dengan akurasi mencapai 97,88%.

Penelitian mengenai sintesis data atau hypothetical example berfokus pada upaya mengatasi keterbatasan data riil dalam pembelajaran mesin dengan menciptakan data tiruan yang menyerupai distribusi asli. Evaluasi metrik statistik dan topologis pada data sintetis berukuran kecil, menegaskan pentingnya pendekatan multidimensional untuk menilai kesetaraan distribusi antara data asli dan sintetis (Marin, 2025) Tinjauan sistematis mengenai pemanfaatan machine learning dan deep generative models seperti GAN dan VAE dalam pembuatan data sintetis di berbagai domain, menekankan tantangan privasi dan keadilan (Lu et al., 2025). Sementara itu, (Poinsot & Leite, 2023) memperkenalkan metode causal data augmentation berbasis graf campuran terarah (ADMG) untuk memperkuat robustitas model pada skenario small data. (Onishi & Meguro, 2023) berfokus pada augmentasi data tabular melalui metode Mask Token Replacement (MTR) yang memanfaatkan arsitektur Transformer untuk meningkatkan performa pembelajaran self-supervised. (Goyal & Mahmoud, 2024) meninjau secara sistematik peran generative AI termasuk LLM, GAN, dan VAE dalam mengatasi keterbatasan data nyata dan isu privasi. Sementara itu, (Figueira & Vaz, 2022) menekankan integrasi metode evaluasi kualitas data sintetis dan arsitektur GAN untuk menghasilkan data tiruan yang sesuai dengan distribusi data riil. Secara umum, seluruh kajian ini menunjukkan bahwa data sintetis bukan sekadar pelengkap, tetapi representasi hipotetik yang dirancang untuk menjaga karakteristik statistik, struktural, dan kausal dari data asli, sekaligus memungkinkan generalisasi model yang lebih baik dalam kondisi data terbatas.

C4.5 merupakan salah satu algoritma pohon keputusan yang paling populer dalam data mining, karena kemampuannya dalam menangani atribut kontinu dan menghasilkan aturan yang mudah dipahami. Dalam penelitian oleh (Ramadhani et al., 2024), algoritma ini digunakan untuk mengklasifikasikan menu makanan dalam upaya pencegahan stunting pada anak-anak. Hasilnya menunjukkan tingkat akurasi yang cukup tinggi, yakni mencapai 82,5%, yang membuktikan potensi algoritma ini dalam bidang kesehatan Masyarakat. Penggunaan C4.5 juga ditemukan dalam analisis stabilitas tegangan pada sistem tenaga listrik yang menunjukkan bahwa pohon keputusan berbasis C4.5 dapat digunakan untuk mengevaluasi stabilitas sistem secara real-time melalui pemilihan atribut yang relevan dari hasil simulasi kurva P-V dan analisis modal (Meng et al., 2020). Sementara itu, dalam pengembangan sistem pendukung keputusan (DSS) untuk mesin penjual otomatis, C4.5 diterapkan dalam membangun model

klasifikasi produk dan memperkirakan volume penjualan menggunakan jaringan saraf tiruan. Kombinasi metode ini meningkatkan efisiensi sistem, menunjukkan bahwa algoritma C4.5 dapat diadaptasi untuk berbagai konteks industri dengan hasil yang menjanjikan (Li et al., 2024).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Limbah Makanan

Limbah makanan merujuk pada sisa biomassa yang muncul setelah aktivitas seperti pengolahan, produksi, penyajian, atau penjualan makanan, dan biasanya ditemukan pada tahap akhir rantai pasok, yakni di tingkat konsumen dan ritel (Pinotti et al., 2021).

2.2.2 Protein

Protein adalah salah satu zat gizi utama yang sangat dibutuhkan hewan untuk pertumbuhan, perbaikan jaringan tubuh, dan produksi enzim serta hormon. Protein memiliki peran krusial dalam nutrisi manusia dan hewan karena memengaruhi pertumbuhan secara langsung. Selain sebagai penyusun utama otot, protein juga terlibat dalam pembentukan berbagai senyawa penting lainnya. Kekurangan protein dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada hewan ternak, sehingga penting untuk memastikan ketersediaan sumber protein yang cukup dan bernilai gizi tinggi (Malenica et al., 2023a).

2.2.3 Lemak

Lipid memiliki berbagai peran penting dalam biologi, termasuk komponen struktur membran sel, penyimpanan energi, lapisan pelindung dan insulator, sinyal kimia, pigmen, vitamin, dan hormon. Lemak merupakan sumber energi tinggi yang diperlukan oleh hewan, serta membantu penyerapan vitamin larut lemak. Dalam limbah makanan, kandungan lemak biasanya berasal dari sisa minyak goreng dan bahan makanan berlemak lainnya.

2.2.4 Serat Kasar

Serat berperan dalam memperlancar pencernaan dan metabolisme pada hewan ternak, terutama pada hewan pemamah biak seperti sapi dan kambing. Sisa sayuran dan buah-buahan dalam limbah makanan adalah sumber utama serat yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung kesehatan sistem pencernaan ternak. Serat dalam diet ruminansia mempengaruhi fungsi

gastrointestinal, kesehatan mikrobiota, dan performa ternak. Serat yang tinggi dalam pakan meningkatkan proses mengunyah, waktu fermentasi di rumen, dan produksi air liur yang semuanya esensial untuk menjaga pH optimal dan fungsi mikroba digestif seperti mikroba selulolitik. Berkat proses ini, dapat terbentuk asam asetat yang merupakan prekursor penting untuk produksi lemak susu pada ternak penghasil susu (Malenica et al., 2023).

2.2.5 Restoran

Restoran merupakan sektor yang berkontribusi besar terhadap timbulan limbah makanan. (Lévesque et al., 2024) dan (Aleisa & Alsaleh, 2024) menjelaskan bahwa limbah makanan dari restoran biasanya masih memiliki kandungan energi dan nutrisi tinggi yang berpotensi digunakan sebagai bahan pakan alternatif. Namun, variabilitas bahan dan proses pengolahan menyebabkan komposisi nutrisi limbah menjadi heterogen.

2.2.6 Data Mining

Data mining didefinisikan sebagai suatu proses sistematis yang memanfaatkan satu atau lebih teknik pembelajaran komputasi (*machine learning*) untuk melakukan analisis mendalam terhadap data serta mengekstraksi pengetahuan secara otomatis. Proses ini bertujuan untuk menemukan pola, hubungan, dan informasi yang bermakna dari data dalam jumlah besar, sehingga dapat mendukung pengambilan keputusan berbasis data (Putri Yuanita et al., 2024). *Data mining* berperan dalam memprediksi pola serta karakteristik yang akan datang, sehingga mendukung perusahaan dalam mengambil keputusan yang lebih tepat. Aktivitas analisis data mencakup pembersihan, pengolahan, dan pemodelan data agar dapat menghasilkan informasi serta wawasan yang berguna (Kamath et al., 2021).

2.2.7 Klasifikasi

Klasifikasi adalah proses untuk menemukan model atau fungsi yang menjelaskan atau membedakan konsep atau kelas data, dengan tujuan untuk dapat memperkirakan kelas dari suatu objek yang labelnya tidak diketahui. Model itu sendiri bisa berupa aturan “jika maka”, decision tree ataupun formula matematis (Febriani & Sulistiani, 2021). Pada metode klasifikasi terdapat beberapa algoritma yaitu *decision tree, rule based, neural network, support vector machine, naïve bayes, rough set,* dan *nearest neihgbour.*

Menurut Gorunescu (2011), terdapat empat komponen dasar pada proses klasifikasi antara lain:

a. Kelas (*Class*): Variabel dependen dari model yang berupa kategori dan menjelaskan sebuah 'label' pada objek setelah proses klasifikasi.
b. *Predictor/Attribute*: variabel independen dari model yang diwakili oleh karakteristik (atribut) data yang akan diklasifikasikan dan berdasarkan klasifikasi yang dibuat.
c. *Training Set* / Dataset Latihan: kumpulan data yang berisi nilai-nilai atau record untuk dua komponen sebelumnya (kelas dan prediktor / atribut) dapat berupa variabel kontinyu maupun kategoris, dan digunakan untuk 'pelatihan' atau pembangunan model untuk menyesuaikan dengan kelasnya berdasarkan prediktor yang tersedia.
d. *Testing Set* / Dataset Pengujian: Berisi data baru yang akan diklasifikasikan oleh model klasifikasi (*classifier*) dan untuk mengukur tingkat akurasi klasifikasi (kinerja model) sehingga performansi model klasifikasi dapat dievaluasi.

2.2.8 Decision Tree C4.5

Algoritma C.4.5 merupakan metode probabilistik pengklasifikasian *Decision Tree* berguna untuk mengekploitasi data dan akan menemukan hubungan yang tersembunyi antara jumlah variabel input dengan variabel target (Darmawan, 2017). Algoritma C4.5 adalah salah satu algoritma yang banyak digunakan dan cukup populer di kalangan peneliti di seluruh dunia. Algoritma ini merupakan versi yang dikembangkan dari algoritma ID3 yang sebelumnya dibuat oleh J. Ross Quinlan.

2.2.9 Hypothetical Example

Hypothetical example merujuk pada data tiruan yang dihasilkan secara artifisial menggunakan model generative untuk meniru pola dan distribusi dari data asli. Dalam konteks penelitian, data sintetis digunakan untuk mensimulasikan situasi nyata ketika data asli sangat terbatas, misalnya hanya tersedia beberapa sampel. Dengan membuat *hypothetical examples* yakni contoh data yang “dihipotesiskan” menyerupai data asli peneliti dapat menguji model pembelajaran mesin tanpa harus menunggu atau mengumpulkan data tambahan dari dunia nyata (Marin, 2025).

2.2.10 Pre-processing Data

Pre-processing Data berfungsi untuk analisis data yang valid. Proses ini merupakan langkah yang sangat diperlukan dalam analisis data dengan mempertimbangkan kompleksitas dari operasi pengujian dan kekurangan dalam kualitas data. Beberapa teknik *pre-processing data* yaitu seperti imputasi nilai (pengisian data yang hilang), reduksi data, penskalaan data, transformasi data, dan partisi data (Dessiaming et al., 2022).

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan menggunakan metode klasifikasi berbasis *machine learning* untuk tujuan mengklasifikasikan pakan ayam yang layak dari limbah makanan restoran berdasarkan kandungan nutrisinya. Dimulai dengan pengambilan sampel limbah makanan dari beberapa restoran di Kabupaten Sleman, Yogyakarta, dan kemudian akan dianalisis pada laboratorium guna mengetahui profil nutrisi dari sampel tersebut. Lalu, dari data tersebut akan digunakan untuk membangun model dengan tujuan dapat mengelompokkan limbah makanan berdasarkan profil nutrisinya secara otomatis.

3.2 Populasi dan Sampel

Adapun populasi pada penelitian ini adalah restoran yang ada di Kabupaten Sleman, Yogyakarta. Sedangkan sampel yang digunakan adalah limbah makanan yang diambil dari beberapa restoran yang ada dalam penelitian ini.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Studi Literatur

   Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan informasi yang relevan mengenai pengelolaan limbah makanan, teknik klasifikasi dalam *machine learning*, serta faktor-faktor yang mempengaruhi kandungan nutrisi dalam makanan. Sumber yang digunakan meliputi jurnal ilmiah, buku referensi, dan publikasi akademik yang berkaitan dengan topik penelitian ini.
2. Observasi

   Observasi dilakukan di restoran yang menjadi objek penelitian untuk memahami pola konsumsi makanan dan faktor yang berkontribusi terhadap pembentukan limbah makanan.
3. Data Sampel

   Data sampel dikumpulkan dengan cara mengambil sampel makanan yang dibuang untuk dianalisis kandungan nutrisinya. Proses ini melibatkan pengambilan sampel dari berbagai jenis makanan yang sering terbuang, kemudian dilakukan analisis untuk memahami nilai

gizi yang tersisa dalam limbah makanan tersebut. Data yang diperoleh dari analisis ini digunakan sebagai input dalam pemodelan klasifikasi untuk mengelompokkan limbah berdasarkan kandungan nutrisinya

3.4 Teknik Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini melalui beberapa tahap, yaitu:

1. Pengumpulan Data

   Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data dari restoran. Dimana data yang akan diambil adalah limbah makanan restoran.

2. *Labelling Data*

   Pelabelan data sesuai dengan kategori pakan yang telah ditentukan berdasarkan kandungan nutrisinya. Label ini akan menjadi acuan untuk pembuatan model klasifikasi.

3. *Pre-Processing Data*

   Pre-processing Data yaitu dilakukannya normalisasi data untuk mencegah adanya satu jenis kategori yang mendominasi model yang akan dibuat karena adanya perbedaan skala.

4. Pembangunan Model

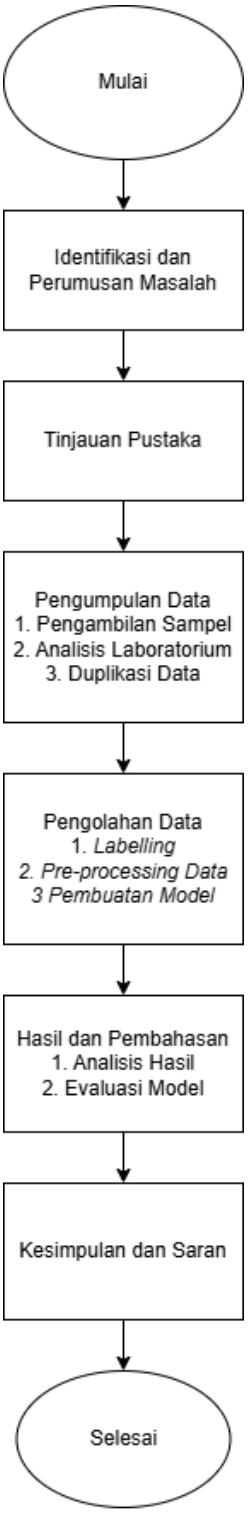
   Pembangunan model awal klasifikasi dengan *training dataset* sebagai data awal yang digunakan dalam pembangunan model menggunakan *machine learning* yaitu *decision tree.*

5. Evaluasi Model

   Melakukan uji model klasifikasi yang telah dibuat untuk melihat hasil apakah sudah sesuai dengan parameter yang telah ditentukan. Dari evaluasi model ini dapat dinilai bagaimanaa akurasi, presisi, recall, dan matrik lainnya

3.5 Diagram Alur Penelitian

Berikut merupakan alur penelitian pada penelitian ini.



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

1. Mulai

   Penelitian diawali dengan mempersiapkan segala hal yang berkaitan dengan penelitian ini mulai dari identifikasi masalah, tinjauan pustaka, dan seterusnya. Identifikasi permasalahan utama terkait kandungan nutrisi dalam limbah makanan restoran dan bagaimana pengelolaannya dapat dioptimalkan sebagai pakan ayam.

2. Identifikasi & Perumusan Masalah

   Mengidentifikasi permasalahan utama terkait kandungan nutrisi dalam limbah makanan dan bagaimana pengelolaannya dapat dioptimalkan serta menentukan pertanyaan penelitian yang berfokus pada penggunaan metode klasifikasi untuk mengelompokkan limbah makanan berdasarkan kandungan nutrisinya.

3. Tinjauan Pustaka

   Peneliti mengumpulkan berbagai referensi ilmiah dari jurnal, buku, maupun laporan terdahulu yang berkaitan dengan topik penelitian. Tinjauan pustaka bertujuan untuk memahami konsep-konsep dasar, teori pendukung, dan hasil-hasil penelitian sebelumnya yang relevan, serta untuk memperkuat landasan teori dalam penelitian.

4. Pengumpulan Data

   a. Pengambilan Sampel

      Sampel limbah makanan diambil dari restoran di wilayah Kabupaten Sleman. Sampel berupa sisa makanan yang dikumpulkan, lalu sampel dihaluskan menggunakan blender dan dikeringkan melalui proses penjemuran langsung di bawah sinar matahari guna mengurangi kadar air. Sampel yang telah kering kemudian disimpan dalam wadah tertutup untuk menjaga kestabilan dan kebersihannya sebelum dianalisis.

   b. Analisis Laboratorium

      Sampel kering yang telah disiapkan dikirim ke laboratorium untuk dilakukan pengujian kandungan nutrisinya. Analisis dilakukan untuk mengukur kadar protein, serat kasar, dan lemak total. Hasil dari analisis laboratorium ini menjadi data utama dalam penentuan kelayakan pakan ayam dari limbah makanan serta digunakan sebagai *input* dalam proses klasifikasi menggunakan algoritma *Decision Tree C4.5*.

   c. Duplikasi Data

      Duplikasi data dilakukan dengan tujuan memperluas jumlah *dataset* agar proses pelatihan model klasifikasi menggunakan algoritma *Decision Tree C4.5* dapat

berjalan lebih optimal. Proses ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan *hypothetical example*, yaitu pembuatan data sintetis berdasarkan rentang nilai nutrisi yang realistis.

5. Pengolahan Data
   a. *Labelling*

      Setiap sampel atau data duplikat diberi label berupa kategori kelayakan sebagai pakan hewan. Label ini ditentukan berdasarkan kriteria kandungan nutrisi minimum atau karakteristik pakan hewan yang telah ditentukan. Proses pelabelan sangat penting karena menjadi dasar dalam membangun model klasifikasi.

   b. *Pre-processing* Data

      Pada tahap ini, data yang telah terkumpul harus dibersihkan dan diproses sebelum digunakan dalam model. Ada 4 proses pada tahap ini yaitu data integrasi, data cleaning, data diskretisasi, dan data transformasi.

   c. Pembuatan Model *Decision Tree*

      Setelah data siap, proses pembuatan model klasifikasi dilakukan menggunakan algoritma *Decision Tree C4.5*. Algoritma ini akan mempelajari pola dari data nutrisi (protein, serat kasar, lemak) dan label kelayakan pakan untuk menghasilkan pohon keputusan. Pohon ini kemudian digunakan untuk memprediksi kategori dari data limbah makanan lain yang belum diketahui.

6. Hasil dan Pembahasan
   a. Analisis Hasil

      Menyajikan hasil klasifikasi limbah makanan dalam bentuk tabel, grafik, atau visualisasi lainnya. Menganalisis bagaimana variabilitas nutrisi dapat dikendalikan menggunakan metode klasifikasi dan dampaknya terhadap pakan ternak.

   b. Evaluasi Model

      Evaluasi dilakukan dengan menggunakan metrik evaluasi seperti akurasi, presisi, dan *recall* untuk mengukur seberapa baik model dalam melakukan klasifikasi. Penilaian ini penting untuk menentukan keandalan model dan potensi penerapannya pada data aktual di lapangan.

7. Kesimpulan dan Saran

Menyimpulkan hasil penelitian berdasarkan tujuan yang telah ditetapkan. Memberikan saran untuk penelitian selanjutnya, seperti penggunaan metode klasifikasi yang lebih kompleks atau integrasi dengan teknologi lain dalam pengelolaan limbah makanan.

8. Selesai

   Penelitian diakhiri dengan dokumentasi hasil dan publikasi temuan jika diperlukan.

BAB IV
PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam melakukan klasifikasi terhadap limbah makanan berdasarkan kandungan nutrisi utamanya, yaitu protein, serat kasar, dan lemak total. Data dikumpulkan melalui tiga tahapan utama, yaitu pengambilan sampel, analisis laboratorium, dan proses duplikasi data untuk keperluan pelatihan model klasifikasi.

4.1.1 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan terhadap limbah makanan dari dari restoran di wilayah Kabupaten Sleman. Sampel tersebut dikumpulkan dalam wadah dan segera diblender hingga halus, kemudian dikeringkan dengan cara dijemur di bawah sinar matahari untuk mengurangi kadar air. Sampel yang telah kering selanjutnya disimpan dalam wadah tertutup untuk mencegah kontaminasi hingga waktu analisis.



Gambar 4. 1 Pengambilan Sampel

Pada gambar 4.1 merupakan pengambilan sampel pada salah satu restoran di Kabupaten Sleman yaitu Penyetan Wonosari. Dimana sampel yang diambil merupakan limbah makanan yang telah dikumpulkan oleh restoran tersebut. Sampel tersebut terdiri dari beberapa komponen

seperti nasi, ayam, tahu, dan kol. Kemudian sampel akan melalui proses yang telah dijelaskan sebelumnya untuk proses pengumpulan data.

4.1.2 Analisis Laboratorium

Sampel limbah makanan yang telah dikeringkan kemudian dikirimkan ke laboratorium untuk dilakukan analisis kandungan nutrisinya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode standar sesuai prosedur dan dilakukan pada Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) UGM. Parameter utama yang diuji dalam laboratorium meliputi kadar protein, serat kasar, dan lemak total. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kandungan gizi dari limbah makanan yang digunakan sebagai data input dalam proses klasifikasi.

Hasil Pengujian

Nama Sampel : Limbah Makanan
Kode Sampel : -
Bentuk Sampel : Padat

No.	Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
1	Protein	20,84	% b/b	Kjeldahl
2	Serat kasar	13,49	% b/b	Gravimetri
3	Lemak total	14,79	% b/b	Gravimetri

Gambar 4. 2 Hasil Laboratorium

Gambar diatas merupakan hasil analisis laboratorium pada salah satu sampel. Sampel yang diuji pada laboratorium tersebut adalah sampel nomor 1 yaitu Penyetan Wonosari dengan komposisi makanan yaitu Nasi, Ayam, Tahu, Kol. Dapat dilihat dari hasil analisis tersebut diketahui kandungan dari protein, serat kasar, dan lemak total yaitu 20.84%, 13.49%, dan 14,79%.

4.1.3 Duplikasi Data

Duplikasi data dilakukan untuk memperluas jumlah dataset dari hasil pengukuran awal yang masih terbatas. Metode duplikasi pada penelitian ini menggunakan pendekatan *hypothetical example*, yaitu dengan membuat variasi data tambahan berdasarkan rentang nilai nutrisi realistis dari sumber resmi seperti FAO. Proses ini memastikan bahwa data sintetis yang dihasilkan tetap memiliki distribusi nutrisi yang seimbang dan sesuai dengan kondisi alami pakan. Tahapan duplikasi meliputi: (1) analisis rentang nutrisi aktual dari sampel awal, (2) penambahan variasi nilai dengan interval ±10% dari nilai rata-rata tiap atribut nutrisi, dan (3) validasi distribusi untuk

memastikan tidak terjadi bias ekstrem. Data hasil duplikasi ini kemudian digabung dengan data asli untuk membentuk dataset akhir yang digunakan dalam proses klasifikasi. Berikut merupakan data yang telah diduplikasi.

Tabel 4. 1 Data Awal

No	Restoran	Kandungan Nutrisi Limbah Makanan		
		Protein (%)	Serat Kasar (%)	Lemak (%)
1	Restoran 1	20,84	13,49	14,79
2	Restoran 2	14,1	18,8	11
3	Restoran 3	19,99	9,71	12,92
4	Restoran 4	23,58	7	6,29
5	Restoran 5	14,93	18,36	11,41
6	Restoran 6	25,33	4,83	14,65
7	Restoran 7	24,32	7,9	6,59
8	Restoran 8	18,93	9,37	10,53
9	Restoran 9	20,91	9,16	11,54
10	Restoran 10	16,23	9,17	8,71
11	Restoran 11	21,3	17,06	6,8
12	Restoran 12	22,23	9,98	4,83
13	Restoran 13	23,72	7,23	5,25
14	Restoran 14	29,18	19,95	13,8
15	Restoran 15	18,87	6,06	12,37
16	Restoran 16	21,04	6,45	10,19
17	Restoran 17	14,55	19,05	7,48
18	Restoran 18	24,6	9,49	10,48
19	Restoran 19	22,75	7,46	14,1
20	Restoran 20	26,4	19,53	14,79
21	Restoran 21	23,57	19,25	5,52
22	Restoran 22	18,14	5,22	8,24
23	Restoran 23	20,22	8,84	14,03
24	Restoran 24	19,71	8,99	10,74
25	Restoran 25	16,25	17,34	5,36
26	Restoran 26	29,79	16,86	6,79
27	Restoran 27	14,09	17,55	12,63
28	Restoran 28	25,66	9,84	5,35
29	Restoran 29	19,74	6,35	14,43
30	Restoran 30	23,97	9,79	5,23

No	Restoran	Kandungan Nutrisi Limbah Makanan		
		Protein (%)	Serat Kasar (%)	Lemak (%)
31	Restoran 31	18,98	9,7	12,89
32	Restoran 32	24,2	18,7	9,93
33	Restoran 33	15,91	15,91	13,25
34	Restoran 34	22,98	16,84	10,18
35	Restoran 35	22,36	11,34	4,79
36	Restoran 36	19,73	5	11,82
37	Restoran 37	19,03	12,64	14,94
38	Restoran 38	17,99	11,07	13,19
39	Restoran 39	18,66	5,73	7,83
40	Restoran 40	24,69	9,2	10,95
41	Restoran 41	27,57	4,74	16,07
42	Restoran 42	26,4	17,66	13,36
43	Restoran 43	16,82	17,39	14,93
44	Restoran 44	25,53	9,17	12,45
45	Restoran 45	18,3	8,34	10,56
46	Restoran 46	25,12	4,32	6,39
47	Restoran 47	14,58	11,3	11,39
48	Restoran 48	25,26	9,85	6,23
49	Restoran 49	17,55	11,17	19,03
50	Restoran 50	19,71	4,14	7,79
51	Restoran 51	27,52	6,63	4,86
52	Restoran 52	21,63	7,01	10,69
53	Restoran 53	24,83	6,26	14,93
54	Restoran 54	13,35	7,91	17,3
55	Restoran 55	17,79	17,26	7,63
56	Restoran 56	18,86	5,24	7,78
57	Restoran 57	20,64	11,85	12,32
58	Restoran 58	24,52	8,04	7,75
59	Restoran 59	25,28	12	6,61
60	Restoran 60	21,43	17,85	9,89
61	Restoran 61	14,66	13,85	16,79
62	Restoran 62	20,76	7,19	14,1
63	Restoran 63	14,59	10,25	14,7
64	Restoran 64	19,26	14,71	14,4
65	Restoran 65	18,59	4,77	14,06

No	Restoran	Kandungan Nutrisi Limbah Makanan		
		Protein (%)	Serat Kasar (%)	Lemak (%)
66	Restoran 66	13,46	5,07	18,9
67	Restoran 67	22,53	17,23	10,48
68	Restoran 68	23,82	9,45	13,49
69	Restoran 69	14,11	15,06	11,39
70	Restoran 70	19,35	6,62	9,39
71	Restoran 71	14,01	4,75	8,15
72	Restoran 72	20,65	13,76	16,29
73	Restoran 73	14,81	8,07	16,17
74	Restoran 74	15,1	17,46	10,87
75	Restoran 75	23,91	8,85	5,23
76	Restoran 76	23,28	4,01	7,75
77	Restoran 77	16,19	5,44	17,67
78	Restoran 78	18,62	9,19	12,33
79	Restoran 79	19,31	9,78	5,82
80	Restoran 80	14,65	14,3	6,48
81	Restoran 81	22,98	13,37	4,39
82	Restoran 82	18,88	6,45	12,74
83	Restoran 83	15,03	13,17	10,12
84	Restoran 84	18,34	9,67	8,33
85	Restoran 85	22,96	17,8	8,78
86	Restoran 86	23,88	6,7	8,65
87	Restoran 87	27,01	11,38	15,61
88	Restoran 88	19,23	15,84	4,42
89	Restoran 89	14,75	12,35	18,91
90	Restoran 90	17	16,55	9,24
91	Restoran 91	22,44	7,49	11,8
92	Restoran 92	20,75	9,14	15,16
93	Restoran 93	21,3	9,89	11,22
94	Restoran 94	21,51	17,96	11,81
95	Restoran 95	20,47	8,01	14,04
96	Restoran 96	23,61	4,05	10,58
97	Restoran 97	19,12	17,86	12,34
98	Restoran 98	22,36	9,29	7,66
99	Restoran 99	13,38	16,53	11,47
100	Restoran 100	22,41	7,9	13,03

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Labeling

Kriteria penentuan kelayakan pakan pada penelitian ini mengacu pada kebutuhan nutrisi ayam pedaging (broiler). Berdasarkan standar yang ditetapkan oleh *National Research Council* (NRC, 2021) dan SNI 01-3931-2006, pakan ayam pedaging idealnya memiliki kadar protein lebih dari 18, serat kasar tidak lebih dari 10%, serta lemak total berkisar antara 5–15%. Sebuah data akan diberi label "*Yes*" jika memenuhi kriteria pakan pada tabel dibawah.

Tabel 4. 2 Kriteria Pakan Ayam

Nutrisi	Syarat Minimum Layak Pakan
Protein (%)	≥18%
Serat Kasar (%)	≤10%
Lemak (%)	5-15%

Jika data tidak memenuhi kriteria diatas, maka data akan diberi label "*No*". Berikut merupakan tabel dengan data yang sudah diberi label "*Yes*" atau "*No*".

Tabel 4. 3 *Labeling*

No	Restoran	Kandungan Nutrisi Limbah Makanan			Kategori Pakan
		Protein (%)	Serat Kasar (%)	Lemak (%)	
1	Restoran 1	20,84	13,49	14,79	No
2	Restoran 2	14,1	18,8	11	No
3	Restoran 3	19,99	9,71	12,92	Yes
4	Restoran 4	23,58	7	6,29	Yes
5	Restoran 5	14,93	18,36	11,41	No
6	Restoran 6	25,33	4,83	14,65	Yes
7	Restoran 7	24,32	7,9	6,59	Yes
8	Restoran 8	18,93	9,37	10,53	Yes
9	Restoran 9	20,91	9,16	11,54	Yes
10	Restoran 10	16,23	9,17	8,71	No
11	Restoran 11	21,3	17,06	6,8	No
12	Restoran 12	22,23	9,98	4,83	No
13	Restoran 13	23,72	7,23	5,25	Yes
14	Restoran 14	29,18	19,95	13,8	No
15	Restoran 15	18,87	6,06	12,37	Yes
16	Restoran 16	21,04	6,45	10,19	Yes

No	Restoran	Kandungan Nutrisi Limbah Makanan			Kategori Pakan
		Protein (%)	Serat Kasar (%)	Lemak (%)	
17	Restoran 17	14,55	19,05	7,48	No
18	Restoran 18	24,6	9,49	10,48	Yes
19	Restoran 19	22,75	7,46	14,1	Yes
20	Restoran 20	26,4	19,53	14,79	No
21	Restoran 21	23,57	19,25	5,52	No
22	Restoran 22	18,14	5,22	8,24	Yes
23	Restoran 23	20,22	8,84	14,03	Yes
24	Restoran 24	19,71	8,99	10,74	Yes
25	Restoran 25	16,25	17,34	5,36	No
26	Restoran 26	29,79	16,86	6,79	No
27	Restoran 27	14,09	17,55	12,63	No
28	Restoran 28	25,66	9,84	5,35	Yes
29	Restoran 29	19,74	6,35	14,43	Yes
30	Restoran 30	23,97	9,79	5,23	Yes
31	Restoran 31	18,98	9,7	12,89	Yes
32	Restoran 32	24,2	18,7	9,93	No
33	Restoran 33	15,91	15,91	13,25	No
34	Restoran 34	22,98	16,84	10,18	No
35	Restoran 35	22,36	11,34	4,79	No
36	Restoran 36	19,73	5	11,82	Yes
37	Restoran 37	19,03	12,64	14,94	No
38	Restoran 38	17,99	11,07	13,19	No
39	Restoran 39	18,66	5,73	7,83	Yes
40	Restoran 40	24,69	9,2	10,95	Yes
41	Restoran 41	27,57	4,74	16,07	No
42	Restoran 42	26,4	17,66	13,36	No
43	Restoran 43	16,82	17,39	14,93	No
44	Restoran 44	25,53	9,17	12,45	Yes
45	Restoran 45	18,3	8,34	10,56	Yes
46	Restoran 46	25,12	4,32	6,39	Yes
47	Restoran 47	14,58	11,3	11,39	No
48	Restoran 48	25,26	9,85	6,23	Yes
49	Restoran 49	17,55	11,17	19,03	No
50	Restoran 50	19,71	4,14	7,79	Yes
51	Restoran 51	27,52	6,63	4,86	No

No	Restoran	Kandungan Nutrisi Limbah Makanan			Kategori Pakan
		Protein (%)	Serat Kasar (%)	Lemak (%)	
52	Restoran 52	21,63	7,01	10,69	Yes
53	Restoran 53	24,83	6,26	14,93	Yes
54	Restoran 54	13,35	7,91	17,3	No
55	Restoran 55	17,79	17,26	7,63	No
56	Restoran 56	18,86	5,24	7,78	Yes
57	Restoran 57	20,64	11,85	12,32	No
58	Restoran 58	24,52	8,04	7,75	Yes
59	Restoran 59	25,28	12	6,61	No
60	Restoran 60	21,43	17,85	9,89	No
61	Restoran 61	14,66	13,85	16,79	No
62	Restoran 62	20,76	7,19	14,1	Yes
63	Restoran 63	14,59	10,25	14,7	No
64	Restoran 64	19,26	14,71	14,4	No
65	Restoran 65	18,59	4,77	14,06	Yes
66	Restoran 66	13,46	5,07	18,9	No
67	Restoran 67	22,53	17,23	10,48	No
68	Restoran 68	23,82	9,45	13,49	Yes
69	Restoran 69	14,11	15,06	11,39	No
70	Restoran 70	19,35	6,62	9,39	Yes
71	Restoran 71	14,01	4,75	8,15	No
72	Restoran 72	20,65	13,76	16,29	No
73	Restoran 73	14,81	8,07	16,17	No
74	Restoran 74	15,1	17,46	10,87	No
75	Restoran 75	23,91	8,85	5,23	Yes
76	Restoran 76	23,28	4,01	7,75	Yes
77	Restoran 77	16,19	5,44	17,67	No
78	Restoran 78	18,62	9,19	12,33	Yes
79	Restoran 79	19,31	9,78	5,82	Yes
80	Restoran 80	14,65	14,3	6,48	No
81	Restoran 81	22,98	13,37	4,39	No
82	Restoran 82	18,88	6,45	12,74	Yes
83	Restoran 83	15,03	13,17	10,12	No
84	Restoran 84	18,34	9,67	8,33	Yes
85	Restoran 85	22,96	17,8	8,78	No
86	Restoran 86	23,88	6,7	8,65	Yes

No	Restoran	Kandungan Nutrisi Limbah Makanan			Kategori Pakan
		Protein (%)	Serat Kasar (%)	Lemak (%)	
87	Restoran 87	27,01	11,38	15,61	No
88	Restoran 88	19,23	15,84	4,42	No
89	Restoran 89	14,75	12,35	18,91	No
90	Restoran 90	17	16,55	9,24	No
91	Restoran 91	22,44	7,49	11,8	Yes
92	Restoran 92	20,75	9,14	15,16	Yes
93	Restoran 93	21,3	9,89	11,22	Yes
94	Restoran 94	21,51	17,96	11,81	No
95	Restoran 95	20,47	8,01	14,04	Yes
96	Restoran 96	23,61	4,05	10,58	Yes
97	Restoran 97	19,12	17,86	12,34	No
98	Restoran 98	22,36	9,29	7,66	Yes
99	Restoran 99	13,38	16,53	11,47	No
100	Restoran 100	22,41	7,9	13,03	Yes

4.2.2 Pre-processing data

Pre-processing data dilakukan untuk memastikan bahwa *dataset* yang digunakan dalam model klasifikasi memiliki format yang sesuai. Beberapa tahapan *pre-processing* yang dilakukan antara lain:

1. Data Integrasi

   Data integrasi merupakan proses menggabungkan berbagai data menjadi satu basis data terpadu yang siap digunakan untuk analisis klasifikasi. Dalam penelitian ini, data yang diambil berasal dari limbah makanan dari restoran yang ada di Kabupaten Sleman, Yogyakarta. Jumlah data yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 100 data dengan variabel yang ada yaitu, protein, serat kasar, dan lemak total.

2. *Data Cleaning*

   Data cleaning merupakan proses pembersihan data dari sejumlah data yang memiliki duplikat, terdapat nilai yang kosong pada data, atau perbedaan yang sangat jauh dari data lainnya. Sehingga data tersebut tidak dapat digunakan dalam proses klasifikasi.

3. Data Diskretisasi

Data Diskretisasi merupakan proses pembuatan kelas-kelas data (*range)* yang akan digunakan untuk tahapan transformasi data. Pada proses ini akan dibuat aturan transformasi pada atribut Protein, Lemak, dan Serat Kasar untuk menentukan kelas-kelas yang ada pada atribut tersebut. Dalam pembuatan kelas-kelas data ini menggunakan rumus *equal width interval* sebagai berikut.

$$Widht = \frac{Max-Min}{k}$$

Berikut merupakan tabel dengan bentuk data dan aturan transformasi yang akan digunakan.

Tabel 4. 4 Aturan Transformasi

Atribut	Aturan Transformasi	
Protein	>23%	Tinggi
	18% - 23%	Sedang
	<18%	Rendah
Lemak	>14%	Tinggi
	9% - 14%	Sedang
	<9%	Rendah
Serat Kasar	>14%	Tinggi
	9% - 14%	Sedang
	<9	Rendah

4. Data Transformasi

Data transformasi merupakan proses mengubah skala data aktual menjadi skala data tertentu sesuai dengan aturan transformasi yang telah dibuat. Hal ini dilakukan untuk mempermudah proses klasifikasi. Berikut merupakan tabel dari hasil data transformasi yang nantinya akan digunakan dalam proses klasifikasi menggunakan *Rapidminer* dengan algoritma *Decision Tree C4.5.*

Tabel 4. 5 Data *Final*

No	Restoran	Protein	Serat	Lemak	Kategori Pakan
1	Restoran 1	Sedang	Sedang	Tinggi	No
2	Restoran 2	Rendah	Tinggi	Sedang	No
3	Restoran 3	Sedang	Sedang	Sedang	Yes
4	Restoran 4	Tinggi	Rendah	Rendah	Yes

No	Restoran	Protein	Serat	Lemak	Kategori Pakan
5	Restoran 5	Rendah	Tinggi	Sedang	No
6	Restoran 6	Tinggi	Rendah	Tinggi	Yes
7	Restoran 7	Tinggi	Rendah	Rendah	Yes
8	Restoran 8	Sedang	Sedang	Sedang	Yes
9	Restoran 9	Sedang	Sedang	Sedang	Yes
10	Restoran 10	Rendah	Sedang	Rendah	No
11	Restoran 11	Sedang	Tinggi	Rendah	No
12	Restoran 12	Sedang	Sedang	Rendah	No
13	Restoran 13	Tinggi	Rendah	Rendah	Yes
14	Restoran 14	Tinggi	Tinggi	Sedang	No
15	Restoran 15	Sedang	Rendah	Sedang	Yes
16	Restoran 16	Sedang	Rendah	Sedang	Yes
17	Restoran 17	Rendah	Tinggi	Rendah	No
18	Restoran 18	Tinggi	Sedang	Sedang	Yes
19	Restoran 19	Sedang	Rendah	Tinggi	Yes
20	Restoran 20	Tinggi	Tinggi	Tinggi	No
21	Restoran 21	Tinggi	Tinggi	Rendah	No
22	Restoran 22	Sedang	Rendah	Rendah	Yes
23	Restoran 23	Sedang	Rendah	Tinggi	Yes
24	Restoran 24	Sedang	Rendah	Sedang	Yes
25	Restoran 25	Rendah	Tinggi	Rendah	No
26	Restoran 26	Tinggi	Tinggi	Rendah	No
27	Restoran 27	Rendah	Tinggi	Sedang	No
28	Restoran 28	Tinggi	Sedang	Rendah	Yes
29	Restoran 29	Sedang	Rendah	Tinggi	Yes
30	Restoran 30	Tinggi	Sedang	Rendah	Yes
31	Restoran 31	Sedang	Sedang	Sedang	Yes
32	Restoran 32	Tinggi	Tinggi	Sedang	No
33	Restoran 33	Rendah	Tinggi	Sedang	No
34	Restoran 34	Sedang	Tinggi	Sedang	No
35	Restoran 35	Sedang	Sedang	Rendah	No
36	Restoran 36	Sedang	Sedang	Sedang	Yes
37	Restoran 37	Sedang	Sedang	Tinggi	No
38	Restoran 38	Rendah	Sedang	Sedang	No
39	Restoran 39	Sedang	Rendah	Rendah	Yes
40	Restoran 40	Tinggi	Sedang	Sedang	Yes

No	Restoran	Protein	Serat	Lemak	Kategori Pakan
41	Restoran 41	Tinggi	Rendah	Tinggi	No
42	Restoran 42	Tinggi	Tinggi	Sedang	No
43	Restoran 43	Rendah	Tinggi	Tinggi	No
44	Restoran 44	Tinggi	Sedang	Sedang	Yes
45	Restoran 45	Sedang	Rendah	Sedang	Yes
46	Restoran 46	Tinggi	Rendah	Rendah	Yes
47	Restoran 47	Rendah	Sedang	Sedang	No
48	Restoran 48	Tinggi	Sedang	Rendah	Yes
49	Restoran 49	Rendah	Sedang	Tinggi	No
50	Restoran 50	Sedang	Rendah	Rendah	Yes
51	Restoran 51	Tinggi	Rendah	Rendah	No
52	Restoran 52	Sedang	Rendah	Sedang	Yes
53	Restoran 53	Tinggi	Rendah	Tinggi	Yes
54	Restoran 54	Rendah	Rendah	Tinggi	No
55	Restoran 55	Rendah	Tinggi	Rendah	No
56	Restoran 56	Sedang	Rendah	Rendah	Yes
57	Restoran 57	Sedang	Sedang	Sedang	No
58	Restoran 58	Tinggi	Rendah	Rendah	Yes
59	Restoran 59	Tinggi	Sedang	Rendah	No
60	Restoran 60	Sedang	Tinggi	Sedang	No
61	Restoran 61	Rendah	Sedang	Tinggi	No
62	Restoran 62	Sedang	Rendah	Tinggi	Yes
63	Restoran 63	Rendah	Sedang	Tinggi	No
64	Restoran 64	Sedang	Tinggi	Tinggi	No
65	Restoran 65	Sedang	Rendah	Tinggi	Yes
66	Restoran 66	Rendah	Rendah	Tinggi	No
67	Restoran 67	Sedang	Tinggi	Sedang	No
68	Restoran 68	Tinggi	Sedang	Sedang	Yes
69	Restoran 69	Rendah	Tinggi	Sedang	No
70	Restoran 70	Sedang	Rendah	Sedang	Yes
71	Restoran 71	Rendah	Rendah	Rendah	No
72	Restoran 72	Sedang	Sedang	Tinggi	No
73	Restoran 73	Rendah	Rendah	Tinggi	No
74	Restoran 74	Rendah	Tinggi	Sedang	No
75	Restoran 75	Tinggi	Rendah	Rendah	Yes
76	Restoran 76	Tinggi	Rendah	Rendah	Yes

No	Restoran	Protein	Serat	Lemak	Kategori Pakan
77	Restoran 77	Rendah	Rendah	Tinggi	No
78	Restoran 78	Sedang	Sedang	Sedang	Yes
79	Restoran 79	Sedang	Sedang	Rendah	Yes
80	Restoran 80	Rendah	Tinggi	Rendah	No
81	Restoran 81	Sedang	Sedang	Rendah	No
82	Restoran 82	Sedang	Rendah	Sedang	Yes
83	Restoran 83	Rendah	Sedang	Sedang	No
84	Restoran 84	Sedang	Sedang	Rendah	Yes
85	Restoran 85	Sedang	Tinggi	Rendah	No
86	Restoran 86	Tinggi	Rendah	Rendah	Yes
87	Restoran 87	Tinggi	Sedang	Tinggi	No
88	Restoran 88	Sedang	Tinggi	Rendah	No
89	Restoran 89	Rendah	Sedang	Tinggi	No
90	Restoran 90	Rendah	Tinggi	Sedang	No
91	Restoran 91	Sedang	Rendah	Sedang	Yes
92	Restoran 92	Sedang	Sedang	Tinggi	Yes
93	Restoran 93	Sedang	Sedang	Sedang	Yes
94	Restoran 94	Sedang	Tinggi	Sedang	No
95	Restoran 95	Sedang	Rendah	Tinggi	Yes
96	Restoran 96	Tinggi	Rendah	Sedang	Yes
97	Restoran 97	Sedang	Tinggi	Sedang	No
98	Restoran 98	Sedang	Sedang	Rendah	Yes
99	Restoran 99	Rendah	Tinggi	Sedang	No
100	Restoran 100	Sedang	Rendah	Sedang	Yes

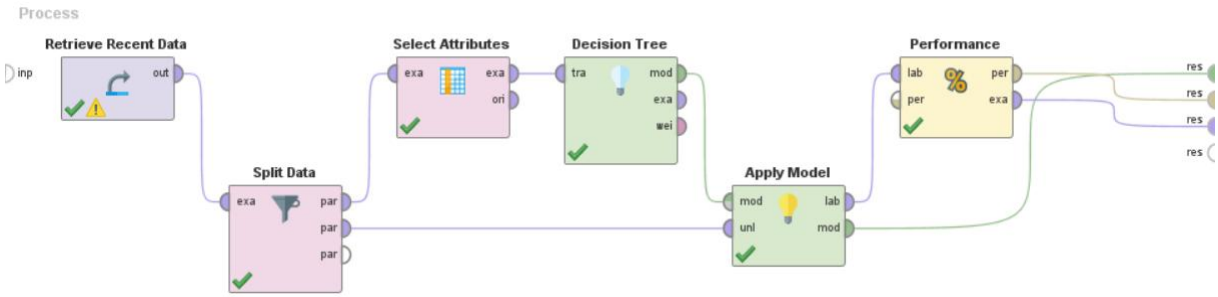
4.2.3 Pembuatan model

Pembuatan model pada penelitian ini menggunakan *RapidMiner* dengan metode *Decision Tree.* Pada tahap awal, data yang telah ada akan diimpor pada *RapidMiner* untuk menentukan atribut dan label yang akan digunakan pada penelitian ini. Atribut pada penelitian ini adalah Protein, Serat Kasar, dan Lemak. Sedangkan label pada penelitian ini adalah Kategori Pakan. Berikut merupakan contoh dari beberapa data yang telah diimpor pada *RapidMiner.*

Row No.	Kategori Pa...	Restoran	Protein	Serat	Lemak
1	No	Restoran 1	Sedang	Sedang	Tinggi
2	No	Restoran 2	Rendah	Tinggi	Sedang
3	Yes	Restoran 3	Sedang	Sedang	Sedang
4	Yes	Restoran 4	Tinggi	Rendah	Rendah
5	No	Restoran 5	Rendah	Tinggi	Sedang
6	Yes	Restoran 6	Tinggi	Rendah	Tinggi
7	Yes	Restoran 7	Tinggi	Rendah	Rendah
8	Yes	Restoran 8	Sedang	Sedang	Sedang
9	Yes	Restoran 9	Sedang	Sedang	Sedang
10	No	Restoran 10	Rendah	Sedang	Rendah
11	No	Restoran 11	Sedang	Tinggi	Rendah
12	No	Restoran 12	Sedang	Sedang	Rendah
13	Yes	Restoran 13	Tinggi	Rendah	Rendah
14	No	Restoran 14	Tinggi	Tinggi	Sedang
15	Yes	Restoran 15	Sedang	Rendah	Sedang

Gambar 4. 3 Impor Data

Setelah itu, data yang telah diimpor akan dimasukkan pada model. Kemudian akan dimasukkan beberapa proses yaitu *Split Data*, *Select Attributes*, *Decision Tree, Apply Model*, dan *Performance*. Pada *Split Data* akan dilakukan proses pembagian *training data* dan *testing data* dengan *ratio* pembagiannya yaitu *training data* 0.8 dan *testing data* 0.2. Kemudian pada proses *Select Attributes* akan digunakan untuk menentukan variabel-variabel mana saja yang akan menjadi atribut dalam *decision tree,* pada kasus ini yang menjadi atribut adalah Jenis Restoran, Protein, Serat Kasar, dan Lemak. Setelah itu akan dimasukkan algoritma *decision tree* sebagai algoritma yang digunakan dalam proses. Lalu menambahkan proses *apply model* untuk mengaplikasikan *testing data* dengan model yang telah dilatih menggunakan *training* data. Terakhir pada proses *performance* untuk melihat bagaimana performa dari model yang telah dibuat dalam bentuk *confusion matrix*. Berikut merupakan model yang telah dibuat untuk proses klasifikasi menggunakan *RapidMiner* dengan algoritma *Decision Tree* C4.5 pada penelitian ini.



Gambar 4. 4 Model Klasifikasi

BAB V
PEMBAHASAN

5.1 Analisis Hasil

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa dari total keseluruhan data, terdapat 52 restoran (52%) yang termasuk dalam kategori pakan "*No*" dan 48 restoran (48%) yang tergolong "*Yes*". Hasil ini menunjukkan bahwa sebagian besar limbah makanan restoran belum memenuhi kriteria pakan ayam pedaging, yaitu protein ≥18%, serat kasar ≤10%, dan lemak 5–15%. Banyaknya kategori *No* umumnya disebabkan oleh tingginya kadar serat kasar yang melebihi ambang batas atau kadar protein yang rendah, sehingga tidak sesuai dengan kebutuhan nutrisi ayam broiler. Hal ini mengindikasikan bahwa kualitas nutrisi limbah makanan sangat bervariasi pada setiap restoran.

Analisis hasil dilakukan untuk mengevaluasi kinerja model klasifikasi *Decision Tree C4.5* dalam mengelompokkan limbah makanan berdasarkan kelayakannya sebagai pakan ayam. Evaluasi ini mencakup dua aspek utama, yaitu akurasi prediksi model terhadap data uji dan interpretasi terhadap struktur pohon keputusan yang dihasilkan. Data uji yang digunakan merupakan hasil transformasi dari data nutrisi limbah makanan yang telah melalui tahapan diskretisasi, sehingga masing-masing atribut yaitu protein, serat kasar, dan lemak dikategorikan ke dalam kelas rendah, sedang, atau tinggi. Berikut merupakan hasil dari proses yang telah dilakukan dengan model yang telah dibuat.

Ro... ↑	Kategori Pakan	prediction...	confidence(No)	confidence(Yes)	Restoran	Protein	Serat	Lemak
1	No	No	1	0	Restoran 5	Rendah	Tinggi	Sedang
2	Yes	Yes	0.111	0.889	Restoran 7	Tinggi	Rendah	Rendah
3	No	No	1	0	Restoran 11	Sedang	Tinggi	Rendah
4	Yes	Yes	0.111	0.889	Restoran 13	Tinggi	Rendah	Rendah
5	Yes	Yes	0	1	Restoran 16	Sedang	Rendah	Sedang
6	Yes	Yes	0.286	0.714	Restoran 28	Tinggi	Sedang	Rendah
7	No	Yes	0.111	0.889	Restoran 41	Tinggi	Rendah	Tinggi
8	No	No	1	0	Restoran 42	Tinggi	Tinggi	Sedang
9	Yes	Yes	0.286	0.714	Restoran 48	Tinggi	Sedang	Rendah
10	No	No	1	0	Restoran 54	Rendah	Rendah	Tinggi

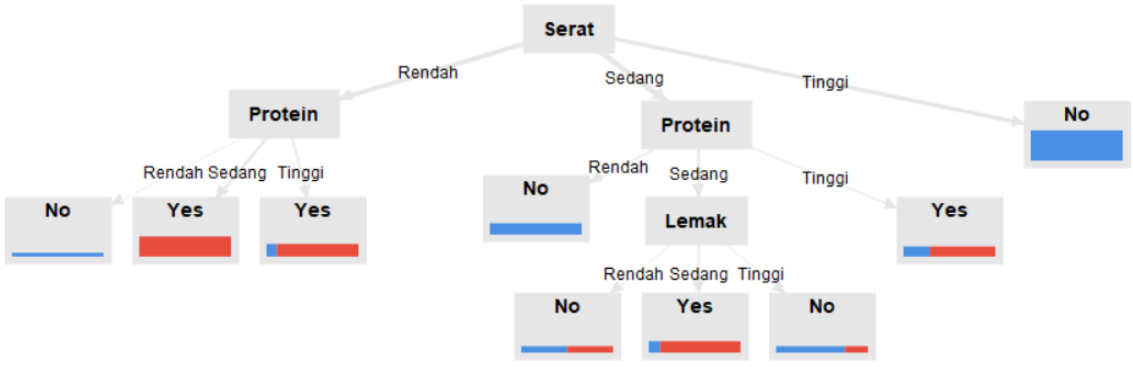
Gambar 5. 1 Hasil Model 1

11	Yes	Yes	0	1	Restoran 56	Sedang	Rendah	Rendah
12	No	No	1	0	Restoran 73	Rendah	Rendah	Tinggi
13	Yes	Yes	0.111	0.889	Restoran 76	Tinggi	Rendah	Rendah
14	No	No	1	0	Restoran 77	Rendah	Rendah	Tinggi
15	Yes	No	0.500	0.500	Restoran 79	Sedang	Sedang	Rendah
16	No	No	1	0	Restoran 80	Rendah	Tinggi	Rendah
17	No	No	0.500	0.500	Restoran 81	Sedang	Sedang	Rendah
18	Yes	Yes	0	1	Restoran 91	Sedang	Rendah	Sedang
19	No	No	1	0	Restoran 94	Sedang	Tinggi	Sedang
20	Yes	Yes	0	1	Restoran 95	Sedang	Rendah	Tinggi

Gambar 5. 2 Hasil Model 2

Pada gambar 5.1 dan gambar 5.2, dapat dilihat bagaimana hasil dari aplikasi model yang telah dilatih terhadap *testing data.* Hasil pengujian menunjukkan bahwa model mampu melakukan klasifikasi dengan tingkat akurasi tinggi, ditunjukkan dengan sebagian besar prediksi model sesuai dengan kategori aktual (*true class*). Pada tabel hasil pengujian, setiap data restoran disertai dengan nilai *confidence*, yang menunjukkan tingkat keyakinan model terhadap hasil prediksi.

Nilai *confidence* untuk kategori "*Yes*" umumnya berkisar antara 0.8–0.9, menandakan keyakinan yang kuat bahwa data tersebut benar-benar termasuk kategori layak. Sebaliknya, nilai *confidence* untuk "*No*" bahkan mencapai 1.0 pada beberapa restoran, menandakan kepastian penuh bahwa limbah makanan tersebut tidak sesuai dengan kriteria pakan ayam. Hal ini memperlihatkan kemampuan model dalam membedakan pola nutrisi antara pakan yang layak dan tidak layak secara jelas. Dengan demikian, model *Decision Tree* yang dibangun dapat memberikan hasil klasifikasi yang stabil dan akurat pada data uji.



Gambar 5. 3 *Decision Tree*

Hasil klasifikasi tersebut kemudian dipertegas melalui *decision tree* yang ditampilkan pada gambar diatas. Berdasarkan hasil pada gambar 5.3, atribut serat kasar menjadi faktor utama

yang digunakan sebagai akar pohon (*root node*) dalam menentukan kelayakan pakan. Hal ini berarti serat kasar memiliki pengaruh paling besar terhadap hasil klasifikasi. Jika kadar serat kasar tergolong tinggi, maka pakan secara otomatis dikategorikan Tidak Layak (*No*). Sementara jika kadar serat berada pada tingkat sedang atau rendah, keputusan akhir akan bergantung pada kadar protein dan lemak.

Struktur keputusan ini menunjukkan bahwa kombinasi serat rendah, lemak sedang, dan protein sedang hingga tinggi merupakan karakteristik utama pakan yang layak, sesuai dengan teori nutrisi ayam pedaging yang membutuhkan pakan tinggi protein dan rendah serat serta lemak yang cukup untuk mendukung pertumbuhan optimal. Warna batang pada setiap *node* menggambarkan proporsi kelas hasil klasifikasi, di mana warna merah menunjukkan kelas *Yes* dan biru menunjukkan kelas *No*. Dengan demikian, model *Decision* Tree berhasil mengidentifikasi atribut yang paling berpengaruh terhadap kelayakan pakan serta menghasilkan pola klasifikasi yang mudah diinterpretasikan.

Secara keseluruhan, hasil analisis ini menegaskan bahwa kandungan protein dan serat kasar merupakan faktor paling dominan dalam menentukan kelayakan pakan ayam broiler. Dengan demikian, hasil *decision tree* ini menegaskan bahwa komposisi nutrisi optimal pakan ayam broiler harus menjaga keseimbangan antara rendahnya kadar serat dan kecukupan protein serta lemak. Model ini juga dapat menjadi dasar rekomendasi bagi pemanfaatan limbah makanan restoran: limbah dengan serat rendah hingga sedang dan protein sedang hingga tinggi dapat langsung digunakan atau diolah minimal, sedangkan limbah dengan serat tinggi atau lemak ekstrem perlu diproses atau dicampur dengan bahan lain agar memenuhi standar nutrisi yang ideal bagi pakan ayam broiler.

5.2 Evaluasi Model

Evaluasi model *Decision Tree* C4.5 pada *RapidMiner* dilakukan untuk mengukur seberapa baik model dalam mengklasifikasikan data limbah makanan menjadi kategori layak atau tidak layak sebagai pakan. *RapidMiner* secara otomatis menghasilkan *confusion matrix*, yang menunjukkan jumlah prediksi benar dan salah untuk masing-masing kelas. Dari *confusion matrix* ini, dihitung metrik evaluasi seperti akurasi, precision, *error rate* dan sensitivas. Berikut merupakan penjelasan mengenai akurasi, *precision*, *error rate*, dan sensitivitas yang ada pada *confusion matrix.*

accuracy: 90.00%

	true No	true Yes	class precision
pred. No	9	1	90.00%
pred. Yes	1	9	90.00%
class recall	90.00%	90.00%	

Gambar 5. 4 *Confusion Matrix*

Evaluasi performa model Decision Tree dilakukan menggunakan *confusion matrix* untuk mengukur tingkat ketepatan dan kemampuan model dalam mengenali setiap kategori. Berdasarkan hasil pengujian, model menunjukkan tingkat akurasi sebesar 90%, dengan nilai *precision* dan *recall* masing-masing 90% untuk kelas "*Yes*" dan "No*"*. Dari 20 data uji yang digunakan, sebanyak 18 data berhasil diklasifikasikan dengan benar, sedangkan 2 data mengalami kesalahan prediksi (*misclassification*).

Nilai akurasi yang tinggi ini menunjukkan bahwa model memiliki kinerja yang baik dan mampu membedakan antara kategori layak dan tidak layak dengan tingkat kesalahan yang rendah. Nilai precision yang seimbang menandakan bahwa model tidak bias terhadap salah satu kelas, sehingga hasil klasifikasi dapat diandalkan. Hasil ini memperkuat bahwa metode *Decision Tree C4.5* efektif dalam menganalisis data nutrisi dan dapat menjadi dasar sistem pendukung keputusan (*decision support system*) untuk menentukan kelayakan pakan ayam berbasis limbah makanan restoran.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan *Decision Tree C4.5* mampu mengklasifikasikan data nutrisi limbah makanan restoran dengan baik. Faktor serat kasar terbukti menjadi atribut paling berpengaruh, diikuti oleh protein dan lemak. Model yang dihasilkan memiliki tingkat akurasi tinggi serta interpretasi yang mudah, sehingga berpotensi untuk diterapkan dalam sistem klasifikasi otomatis guna mendukung pengelolaan limbah makanan menjadi pakan alternatif yang ekonomis dan berkelanjutan.

BAB VI
PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berikut merupakan Kesimpulan pada penelitian ini:

1. Berdasarkan hasil klasifikasi pada data awal yang berisi 100 sampel limbah makanan restoran, diperoleh bahwa 48 restoran (48%) termasuk dalam kategori layak (*Yes*) untuk dijadikan bahan pakan ayam, sedangkan 52 restoran (52%) termasuk dalam kategori tidak layak (*No*).
2. Berdasarkan hasil model *Decision Tree C4.5* yang dihasilkan menggunakan *RapidMiner*, diketahui bahwa atribut serat kasar menjadi faktor utama dalam menentukan kelayakan pakan, diikuti oleh protein dan lemak. Jika kadar serat tinggi maka pakan cenderung dikategorikan tidak layak, sedangkan pada kadar serat sedang hingga rendah, klasifikasi akan ditentukan oleh kombinasi kadar protein dan lemak.
3. Berdasarkan hasil *confusion matrix*, model *Decision Tree C4.5* memiliki akurasi sebesar 90%, serta nilai *precision* dan *recall* masing-masing sebesar 90% untuk kedua kategori. Hal ini menunjukkan bahwa model memiliki performa yang sangat baik dalam membedakan antara pakan layak dan tidak layak, serta dapat dijadikan dasar dalam pengembangan sistem pendukung keputusan (*decision support system*) untuk klasifikasi limbah makanan sebagai pakan ayam.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan masukan untuk penelitian selanjutnya. Pertama, perlu dilakukan pengembangan terhadap jumlah dan variasi data, baik dari segi jenis restoran maupun wilayah pengambilan sampel, agar model klasifikasi memiliki kemampuan generalisasi yang lebih baik dan dapat menggambarkan karakteristik limbah makanan secara lebih representatif. Selain itu, penelitian berikutnya dapat mempertimbangkan penggunaan algoritma klasifikasi lain seperti *Random Forest, Support Vector Machine (SVM*), atau *Naïve Bayes* untuk dibandingkan dengan algoritma *Decision Tree C4.5*, sehingga dapat diperoleh model dengan tingkat akurasi dan stabilitas yang lebih tinggi. Selanjutnya, disarankan untuk menambahkan parameter nutrisi lain seperti kadar air, abu, dan energi metabolik pada proses analisis agar penentuan kelayakan pakan menjadi lebih

komprehensif dan mendekati standar formulasi pakan unggas komersial. Penelitian juga dapat dikembangkan menuju tahap implementasi lapangan melalui kerja sama dengan pihak restoran dan industri pakan guna menguji efektivitas model dalam kondisi nyata. Penerapan hasil penelitian ini diharapkan dapat mendukung upaya pengelolaan limbah makanan secara berkelanjutan serta memberikan solusi alternatif bagi penyediaan bahan baku pakan yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan bagi sektor peternakan, khususnya unggas pedaging.

DAFTAR PUSTAKA

Aleisa, E., & Alsaleh, A. (2024). Upcycling food waste into animal feed: An environmental assessment based on food waste quantities in different district types in Kuwait. *Journal of Engineering Research (Kuwait)*. https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.09.005

Asmara, Y., Ellyana, S., Wardana, L., & Ningrum, D. (2023). *Sumber Pakan Berkualitas: Pemanfaatan Kotoran Olahan Bandeng Presto dalam Pemeliharaan Pakan Hewan Ternak dan Tanaman*. *3*. http://ejournal.uin-malang.ac.id/index.php/experiment

Bahry, N. A., Nurrohkayati, A., Pranoto, S., & Nugroho, A. (2023). Pembuatan prototype mesin pencacah sebagai pengolah limbah organik untuk pupuk kompos dan pakan ternak. *TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi Dan Informatika*, *10*(1), 12–19. https://doi.org/10.37373/tekno.v10i1.251

Beuving, M., McNabb, W. C., & Smith, N. W. (2024). Global nutrient content embedded in food losses and waste: Identifying the sources and magnitude along the food supply chain. *Sustainable Production and Consumption*, *51*, 519–531. https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.10.005

Chaerul, M., & Zatadini, S. U. (2020). Perilaku Membuang Sampah Makanan dan Pengelolaan Sampah Makanan di Berbagai Negara: Review. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *18*(3), 455–466. https://doi.org/10.14710/jil.18.3.455-466

Darmawan, W. (2017). *Algoritma Klasifikasi Data Mining Untuk Prediksi Status Mahasiswa Menggunakan Algoritma Decision Tree (C4.5)*. *XII*. http://jurnal.stmik-wp.ac.id

Dessiaming, T. Z., Anraeni, S., & Pomalingo, S. (2022). College Academic Data Analysis Using Data Visualization. *Jurnal Teknik Informatika (Jutif)*, *3*(5), 1203–1212. https://doi.org/10.20884/1.jutif.2022.3.5.310

Dewi, I., Taufikurohman, M., & Bross, N. (2021). Analisis Kelayakan Finansial Pembuatan Pakan Ternak dari Sampah Organik Dapur. *Jurnal Ekonomi Pertanian Dan Agribisnis*, *5*(3), 869–877. https://doi.org/10.21776/ub.jepa.2021.005.03.24

Fahmi, M., Yudhana, A., & Sunardi. (2023). Pemilahan Sampah Menggunakan Model Klasifikasi Support Vector Machine Gabungan dengan Convolutional Neural Network. *Jurnal Riset Komputer)*, *10*(1), 2407–389. https://doi.org/10.30865/jurikom.v10i1.5468

Febriani, S., & Sulistiani, H. (2021). *Analisis Data Hasil Diagnosa Untuk Klasifikasi Gangguan Kepribadian Menggunakan Algoritma C4.5*. *2 (4)*. http://jim.teknokrat.ac.id/index.php/JTSI

Figueira, A., & Vaz, B. (2022). Survey on Synthetic Data Generation, Evaluation Methods and GANs. In *Mathematics* (Vol. 10, Issue 15). MDPI. https://doi.org/10.3390/math10152733

Georganas, A., Giamouri, E., Pappas, A. C., Papadomichelakis, G., Galliou, F., Manios, T., Tsiplakou, E., Fegeros, K., & Zervas, G. (2020). Bioactive compounds in food waste: A review on the transformation of food waste to animal feed. In *Foods* (Vol. 9, Issue 3). MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute. https://doi.org/10.3390/foods9030291

Goyal, M., & Mahmoud, Q. H. (2024). A Systematic Review of Synthetic Data Generation Techniques Using Generative AI. In *Electronics (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 17). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/electronics13173509

Gunadi, R., Misriandi, Farihen, Yusuf, N., Sumardi, A., & Murdiratno, H. (2021). *Sociopreneurship Pengolahan Sampah Organik Menjadi Pakan Ikan dan Pakan Ternak*. *5*. http://pkm.uika-bogor.ac.id/index.php/ABDIDOS/issue/archive

Handoyo, M. A. P., & Asri, N. P. (2023). *Kajian Tentang Food Loss dan Food Waste: Kondisi, Dampak, dan Solusinya*. *10*(2), 247–258.

Ikhsanudin, I., Kurniawan, P., & Syafiuddin Usman, M. (2024). *Klasifikasi Tingkat Kepuasan Mahasiswa Terhadap Fasilitas dan Layanan Universitas Teknologi Digital Menggunakan Metode C4.5*.

Kamath, P., Patil, P., S, S., Sushma, & S, S. (2021). Crop yield forecasting using data mining. *Global Transitions Proceedings*, *2*(2), 402–407. https://doi.org/10.1016/j.gltp.2021.08.008

Khotimah, K. (2021). *Teknik Data Mining menggunakan Algoritma Decision Tree (C4.5) untuk Prediksi Seleksi Beasiswa Jalur KIP pada Universitas Muhammadiyah Kotabumi*. *04*(02).

Lévesque, J., Perreault, V., & Mikhaylin, S. (2024). Eco-efficiency as a prioritization tool in the reduction of food waste in restaurants. *Science of the Total Environment*, *927*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171515

Li, P., Xiong, F., Huang, X., & Wen, X. (2024). Construction and optimization of vending machine decision support system based on improved C4.5 decision tree. *Heliyon*, *10*(3). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25024

Lu, Y., Chen, L., Zhang, Y., Shen, M., Wang, H., Wang, X., van Rechem, C., Fu, T., & Wei, W. (2025). *Machine Learning for Synthetic Data Generation: A Review*. http://arxiv.org/abs/2302.04062

Malenica, D., Kass, M., & Bhat, R. (2023a). Sustainable Management and Valorization of Agri-Food Industrial Wastes and By-Products as Animal Feed: For Ruminants, Non-Ruminants and as Poultry Feed. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 1). MDPI. https://doi.org/10.3390/su15010117

Malenica, D., Kass, M., & Bhat, R. (2023b). Sustainable Management and Valorization of Agri-Food Industrial Wastes and By-Products as Animal Feed: For Ruminants, Non-Ruminants and as Poultry Feed. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 1). MDPI. https://doi.org/10.3390/su15010117

Marin, J. (2025). *Evaluating Synthetic Tabular Data Generated To Augment Small Sample Datasets*. http://arxiv.org/abs/2211.10760

Meng, X., Zhang, P., Xu, Y., & Xie, H. (2020). Construction of decision tree based on C4.5 algorithm for online voltage stability assessment. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, *118*. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.105793

Moonsamy, T. A., Rajauria, G., Priyadarshini, A., & Jansen, M. A. K. (2024). Food waste: analysis of the complex and variable composition of a promising feedstock for valorisation. *Food and Bioproducts Processing*, *148*, 31–42. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.08.012

Mulyani, R., Anwar, D. I., & Nurbaeti, N. (2021). *Pemanfaatan Sampah Organik untuk Pupuk Kompos dan Budidaya Maggot Sebagai Pakan Ternak*. *6 (1)*. https://doi.org/10.21067/jpm

Nainggolan, A., Sari, G., & Harisandi, P. (2024). Analisis Potensi Pemanfaatan Limbah Produk Cacat Es Krim dan Serbuk Teh Sebagai Sumber Nutrisi Pada Budidaya Maggot. *Jurnal Reka Lingkungan ISSN*, *12 (2)*(2), 187–198. https://doi.org/10.26760/rekalingkungan.v12.187-198

Octavia, R., & Mu'min, N. (2023). Analisa Nutrisi Pakan Ayam Kampung Berbahan Baku Jagung dan Dedak. *Journal of Sustainable Research In Management of Agroindustry (SURIMI)*, *3*(1). https://doi.org/10.35970/surimi.v3i1.1140

Onishi, S., & Meguro, S. (2023). *Rethinking Data Augmentation for Tabular Data in Deep Learning*. http://arxiv.org/abs/2305.10308

Pinotti, L., Luciano, A., Ottoboni, M., Manoni, M., Ferrari, L., Marchis, D., & Tretola, M. (2021). Recycling food leftovers in feed as opportunity to increase the sustainability of livestock production. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 294). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126290

Poinsot, A., & Leite, A. (2023). *A Guide for Practical Use of ADMG Causal Data Augmentation*. http://arxiv.org/abs/2304.01237

Pushpa Athisaya Sakila Rani, A., & Suresh Singh, N. (2025). Classification and identification of pest, diseases and nutrient deficiency in paddy using layer based EMD phase features with decision tree. *Information Processing in Agriculture*, *12*(2), 232–244. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2024.09.003

Putri Yuanita, S., Lutfina, E., Dimentieva, I., Naufal Pribadi, A., Shaunan Syahidan, M., Alief Fauzan Akbar Safa, M., Loekito, J., Nuswantoro PSDKU Kediri, D., Penanggungan No, J., Lor, B., Kota, K., Kediri, K., & Timur, J. (2024). Science, Technology and Management Journal Identifikasi Teknik Data Mining Metode Asosiasi: Systematic Literature Review Info Artikel. *Science Technology and Management Journal*, *4*(2), 57. https://doi.org/10.53416/stmj.v4i2

Ramadhani, R., Bustami, & Fitri, Z. (2024). *Algorithm Implementation C4.5 For Classification Food Menu to Prevent Stunting in Children*. *2*. https://doi.org/10.29103/icomden.v2.860

Romli, I., & Zy, A. T. (2020). Penentuan Jadwal Overtime Dengan Klasifikasi Data Karyawan Menggunakan Algoritma C4.5. In *Jurnal Sains Komputer & Informatika (J-SAKTI* (Vol. 4, Issue 2).

Shurson, G. C., Dierenfeld, E. S., & Dou, Z. (2023). Rules are meant to be broken – Rethinking the regulations on the use of food waste as animal feed. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 199). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107273

Yafetto, L., Odamtten, G. T., & Wiafe-Kwagyan, M. (2023). Valorization of agro-industrial wastes into animal feed through microbial fermentation: A review of the global and Ghanaian case. In *Heliyon* (Vol. 9, Issue 4). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14814

LAMPIRAN

A. Pengambilan sampel



B. Sampel limbah makanan





C. Hasil uji laboratorium



UNIVERSITAS GADJAH MADA
LABORATORIUM PENELITIAN DAN PENGUJIAN TERPADU
Jl. Kaliurang Km. 4 Sekip Utara Yogyakarta 55281 Telp. (0274) 548348, 546868 WA. 0811274565
Email: lppt_info@mail.ugm.ac.id Website: https://lppt.ugm.ac.id

RDP/7.8.1/LPPT
Rev.0
Halaman 1 dari 1

LAPORAN HASIL UJI

No. Sertifikat : 1175/UN1/LPPT/TR/2025
No. Pengujian : MP - 250301000784

Informasi Umum

Nama : Wafiq Abdillah Wyananda
Alamat : Universitas Islam Indonesia
Tanggal Penerimaan : 21 Maret 2025
Tanggal Pengujian : 9-30 April 2025
Lokasi Pengujian : Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu

Hasil Pengujian

Nama Sampel : Limbah Makanan
Kode Sampel : -
Bentuk Sampel : Padat

No.	Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
1	Protein	20,84	% b/b	Kjeldahl
2	Serat kasar	13,49	% b/b	Gravimetri
3	Lemak total	14,79	% b/b	Gravimetri

Yogyakarta, 5 Mei 2025
Koordinator Bidang Ilmu Kimia & Teknologi Material Fungsional & Kalibrasi,

Taufik Abdillah Natsir, S.Si., M.Sc., Ph.D.
NIP. 198404232012121001

Perhatian

1. *LHU ini hanya berlaku pada sampel yang diujikan*
2. *LHU ini dibuat semata-mata untuk penggunaan yang disebutkan dalam LHU ini*
3. *LPPT tidak bertanggung jawab atas setiap kerugian, kerusakan atau tanggung jawab hukum yang diderita oleh pihak ketiga sebagai akibat dari kepercayaan atau penggunaan LHU ini*
4. *Tidak diperkenankan menggandakan sebagian LHU ini, tanpa seizin LPPT UGM*
5. *Setelah sampel selesai dikerjakan, sisa sampel akan disimpan selama satu bulan untuk kemudian dimusnahkan*
6. *Pengaduan diterima paling lambat satu minggu setelah LHU terbit*