

## Sustainable Chicken Waste Product Selection Using a Hybrid CRITIC–MARCOS-Based Decision Support System

*(Pemilihan Produk Limbah Ayam Berkelanjutan Menggunakan Sistem Pendukung Keputusan Berbasis Hybrid CRITIC–MARCOS)*

**Nurmaliana Pohan<sup>a,\*</sup>, Aditya Widodo<sup>b</sup>, Arlan Tri Handika<sup>b</sup>, Cindy Afriana Jambak<sup>b</sup>, Hari Prayuda<sup>b</sup>, Rayhan Atricha Rambe<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> Universitas Putra Indoensia YPTK Padang, Sumatera Barat, 25173, Indonesia

<sup>b</sup> Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, 20235, Indonesia

\* Corresponding author.

*E-mail:* [qytrew9080@gmail.com](mailto:qytrew9080@gmail.com)

Received 6 February 2026; Revised 25 March 2026; Accepted 30 March 2026;

Available online 31 March 2026.

### ABSTRACT

The growth of the poultry industry has led to an increase in chicken waste volume, which may cause environmental and health problems if not properly managed. However, chicken waste also has the potential to be processed into value-added products that support sustainable agriculture and a circular economy. This study aims to develop an objective and systematic decision support system to determine the most sustainable chicken waste product based on economic efficiency and environmental impact within the operational context of the Agricultural Modernization and Assembly Agency (BRMP) of North Sumatra. A hybrid Multi-Criteria Decision Making (MCDM) approach was applied by integrating the Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) method and the Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution (MARCOS) method. The CRITIC method determines criteria weights objectively based on data variability and inter-criteria correlation, while the MARCOS method ranks alternatives based on utility values relative to ideal and anti-ideal solutions. Fifteen chicken waste product alternatives were evaluated using seven economic, technical, and environmental criteria. The results show that chicken manure compost is the best alternative, with the highest utility value ( $K_i > 1$ ), indicating superior performance in terms of production cost, market feasibility, environmental impact, and raw material availability. Sensitivity analysis confirms that the ranking results remain stable despite changes in criteria weights. This study contributes to the development of hybrid MCDM methods for agricultural waste management and provides a transparent and reliable decision-making framework for policymakers.

**Keywords:** *chicken waste; CRITIC-MARCOS; decision support system; sustainability*

### ABSTRAK

Peningkatan industri perunggasan menyebabkan lonjakan volume limbah ayam yang berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan dan kesehatan apabila tidak dikelola dengan baik. Di sisi lain, limbah ayam memiliki potensi untuk diolah menjadi produk bernilai tambah yang mendukung pertanian berkelanjutan dan ekonomi sirkular. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model sistem pendukung keputusan yang objektif dan sistematis dalam menentukan produk limbah ayam paling berkelanjutan berdasarkan efisiensi ekonomi dan dampak lingkungan pada konteks operasional Badan Perakitan Modernisasi Pertanian (BRMP) Sumatera Utara. Penelitian ini menggunakan pendekatan Multi-Criteria Decision Making (MCDM) hybrid dengan mengintegrasikan metode Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) dan Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution (MARCOS). Metode CRITIC digunakan untuk menentukan bobot kriteria secara objektif berdasarkan variabilitas data dan korelasi antar kriteria, sedangkan metode MARCOS digunakan untuk memeringkat alternatif berdasarkan nilai utilitas relatif terhadap solusi ideal dan anti-ideal. Sebanyak 15 alternatif produk limbah ayam dievaluasi menggunakan tujuh kriteria yang mencakup aspek ekonomi, teknis, dan lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kompos kotoran ayam merupakan alternatif terbaik dengan nilai utilitas tertinggi ( $K_i > 1$ ), yang



menunjukkan kinerja unggul secara keseluruhan dalam aspek biaya produksi, kelayakan pasar, dampak lingkungan, dan ketersediaan bahan baku. Uji sensitivitas menunjukkan bahwa hasil pemeringkatan stabil terhadap perubahan bobot kriteria. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan metode hybrid MCDM untuk pengelolaan limbah pertanian serta menyediakan kerangka pengambilan keputusan yang transparan dan andal. Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar pertimbangan bagi pengambil kebijakan dalam mengoptimalkan pemanfaatan limbah ayam secara berkelanjutan di tingkat daerah.

**Kata kunci:** limbah ayam; keberlanjutan; CRITIC-MARCOS; sistem pendukung keputusan

## 1. PENDAHULUAN

Industri perunggasan global terus mengalami pertumbuhan yang signifikan, yang berdampak pada meningkatnya volume limbah ayam. Apabila tidak dikelola secara tepat, limbah tersebut dapat menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan seperti pencemaran udara dan air, degradasi tanah, peningkatan emisi gas rumah kaca, serta risiko terhadap kesehatan masyarakat [1]–[4]. Di sisi lain, limbah ayam memiliki potensi ekonomi yang besar untuk diolah menjadi produk bernilai tambah seperti pupuk organik, sumber energi, dan bahan baku lainnya yang mendukung prinsip pertanian berkelanjutan dan ekonomi sirkular [5]–[7]. Kondisi ini juga terjadi di Provinsi Sumatera Utara sebagai salah satu sentra produksi unggas di Indonesia, di mana peningkatan populasi ayam berbanding lurus dengan lonjakan volume limbah pada peternakan rakyat maupun skala komersial. Namun, praktik pengelolaan limbah yang masih cenderung konvensional menunjukkan perlunya pendekatan yang lebih sistematis dan berkelanjutan.

Seiring berkembangnya konsep ekonomi sirkular, berbagai penelitian telah mengkaji pemanfaatan limbah ayam dari berbagai perspektif. Beberapa studi menunjukkan bahwa limbah unggas dapat diolah menjadi kompos dengan kualitas hara yang tinggi [8], [9], sementara penelitian lain menegaskan potensinya sebagai bahan baku biogas untuk meningkatkan efisiensi energi pada sektor peternakan [10], [11]. Selain itu, produksi biochar dari kotoran ayam juga terbukti memberikan manfaat dalam memperbaiki struktur tanah sekaligus mengurangi emisi karbon [12]–[14]. Dari perspektif lingkungan, pendekatan Life Cycle Assessment (LCA) menunjukkan bahwa pengolahan limbah ayam dapat menurunkan jejak karbon secara signifikan, meskipun efektivitasnya bergantung pada kesesuaian teknologi dengan kondisi lokal [15], [16]. Di sisi lain, pendekatan Multi-Criteria Decision Making (MCDM) mulai banyak digunakan untuk mengevaluasi alternatif pengelolaan limbah, di mana integrasi pembobotan objektif dan subjektif terbukti mampu meningkatkan kualitas serta stabilitas hasil keputusan [17]–[19].

Meskipun demikian, terdapat kesenjangan penelitian yang penting. Sebagian besar studi terdahulu masih berfokus pada aspek teknis pengolahan limbah, seperti produksi kompos, biogas, dan biochar, tanpa menyediakan kerangka evaluasi komprehensif untuk menentukan alternatif terbaik berdasarkan berbagai kriteria secara simultan, khususnya dalam konteks kelembagaan pemerintah daerah [20]–[22]. Selain itu, penerapan metode hybrid dalam MCDM, terutama yang menggabungkan pembobotan objektif dan metode pemeringkatan berbasis solusi kompromi, masih terbatas pada kasus limbah ayam. Padahal, pendekatan ini penting untuk mengakomodasi konflik antar kriteria ekonomi dan lingkungan serta meningkatkan transparansi dalam proses pengambilan keputusan.

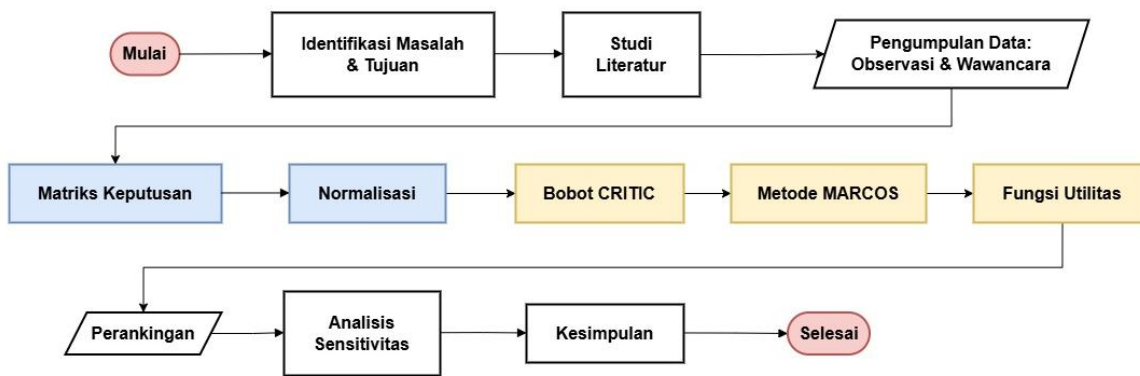
Untuk menjawab kesenjangan tersebut, metode Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) dan Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution (MARCOS) digunakan dalam penelitian ini. Metode CRITIC memungkinkan penentuan bobot kriteria secara objektif berdasarkan variabilitas data dan hubungan antar kriteria, sedangkan metode MARCOS digunakan untuk menghasilkan pemeringkatan alternatif berdasarkan kedekatannya terhadap solusi ideal dan anti-ideal [23]–[25]. Integrasi kedua metode ini memberikan kerangka analisis yang lebih robust dan sistematis dalam mengevaluasi alternatif pengelolaan limbah ayam.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model sistem pendukung keputusan yang objektif dan terukur dalam menentukan produk limbah ayam paling berkelanjutan berdasarkan efisiensi ekonomi dan dampak lingkungan pada konteks operasional Badan Perakitan Modernisasi Pertanian (BRMP) Sumatera Utara. Kontribusi utama penelitian ini meliputi: (1) pengembangan model hybrid CRITIC–MARCOS untuk evaluasi alternatif pengelolaan limbah ayam, (2) penyusunan pembobotan kriteria yang objektif dan bebas bias, (3) penyediaan hasil pemeringkatan alternatif yang stabil melalui pendekatan solusi kompromi, serta (4) penyajian analisis sensitivitas untuk menguji konsistensi hasil. Selain itu, penelitian ini memberikan implikasi praktis berupa rekomendasi prioritas produk limbah ayam yang dapat mendukung kebijakan pengelolaan limbah berbasis keberlanjutan di tingkat daerah.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini dirancang menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan kerangka kerja sistem pendukung keputusan. Alur penelitian dimulai dari identifikasi potensi limbah di lapangan hingga penentuan prioritas produk menggunakan integrasi metode *Criteria Importance Through Intercriteria Correlation* (CRITIC) dan *Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution* (MARCOS). Secara sistematis, tahapan pelaksanaan penelitian divisualisasikan pada *flowchart* di bawah.



Gambar 1. Tahap Pelaksanaan Penelitian

Berdasarkan pada Gambar 1, penelitian diawali dengan identifikasi masalah dan penetapan tujuan yang menjadi dasar dalam menentukan ruang lingkup penelitian, kemudian dilanjutkan dengan studi literatur untuk memperoleh landasan teori dan metode yang relevan. Tahap pengumpulan data dilakukan melalui observasi dan wawancara guna memperoleh alternatif dan kriteria penilaian. Data yang terkumpul selanjutnya disusun dalam bentuk matriks keputusan dan dinormalisasi untuk memastikan keseragaman skala penilaian. Bobot kriteria dihitung menggunakan metode CRITIC, kemudian digunakan dalam metode MARCOS untuk memperoleh nilai fungsi utilitas setiap alternatif. Hasil perhitungan tersebut menghasilkan perankingan alternatif yang kemudian dianalisis melalui analisis sensitivitas sebelum ditarik kesimpulan akhir dari penelitian.

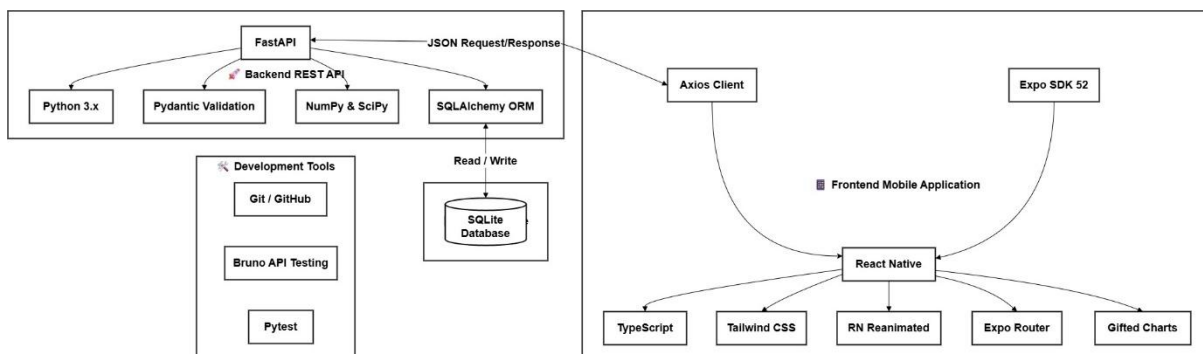
### 2.2 Lokasi dan Teknik Pengumpulan Data

Penelitian mengambil lokasi studi kasus di wilayah operasional Badan peRakitan Modernisasi Pertanian (BRMP) Sumatera Utara. Untuk memperoleh data yang akurat dan mendalam, teknik pengumpulan data dibatasi pada dua metode utama:

1. Observasi Lapangan: Peneliti melakukan pengamatan langsung terhadap proses eksisting penanganan limbah ayam, ketersediaan volume bahan baku, serta infrastruktur produksi yang tersedia di lokasi mitra atau peternakan sekitar. Observasi ini bertujuan memetakan variabel nyata yang mempengaruhi *Cost* (biaya) dan kemudahan produksi.
2. Wawancara: Pengambilan data preferensi dan nilai teknis dilakukan melalui wawancara dengan narasumber ahli (*expert judgment*). Narasumber terdiri dari praktisi industri pengolahan limbah dan akademisi terkait. Data yang dihimpun meliputi estimasi biaya produksi, potensi keuntungan, dampak lingkungan, dan efisiensi energi dari setiap produk turunan. Data hasil wawancara ini kemudian dikuantifikasi untuk menyusun matriks keputusan awal

### 2.3 Pemodelan Sistem

Pemodelan sistem pada penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan kerangka kerja terintegrasi dalam mengevaluasi keberlanjutan produk limbah ayam berdasarkan efisiensi ekonomi dan dampak lingkungan. Sistem dirancang dalam bentuk *client-server* dengan pendekatan komputasi terdistribusi, di mana proses pengambilan keputusan berbasis metode Hybrid CRITIC–MARCOS dijalankan pada sisi *backend* dan hasil perhitungan ditampilkan melalui aplikasi *mobile frontend*. Secara visual, pemodelan sistem disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Pemodelan Sistem

Berdasarkan Gambar 2 di atas, arsitektur sistem dibangun menggunakan pendekatan *Client-Server* yang terpisah antara *Frontend* dan *Backend*. Pemisahan ini memungkinkan pengembangan yang lebih fleksibel dan skalabilitas yang lebih baik. Berikut adalah rincian komponen teknologi yang digunakan:

1. *Frontend Layer (Mobile Application)*: Sisi klien dibangun sebagai aplikasi *mobile* menggunakan React Native dengan kerangka kerja Expo SDK 52. Penggunaan Expo memudahkan proses pengembangan dan *deployment* ke

perangkat Android maupun iOS. Bahasa pemrograman TypeScript digunakan untuk menjamin keamanan tipe data dan meminimalisir *bug* saat *runtime*. Untuk antarmuka pengguna, sistem menggunakan NativeWind yang mengadopsi sintaks Tailwind CSS, serta React Native Reanimated untuk memberikan pengalaman pengguna yang halus. Komponen *Gifted Charts* diimplementasikan untuk memvisualisasikan hasil analisis data dalam bentuk grafik yang interaktif.

2. *Backend Layer* (REST API): Sisi server bertindak sebagai pusat pemrosesan data (otak sistem). Dibangun menggunakan FastAPI, sebuah *framework* Python modern yang memiliki performa tinggi dan mendukung proses asynchronous. Di lapisan ini, logika perhitungan metode CRITIC untuk pembobotan dan MARCOS untuk perankingan diproses menggunakan pustaka komputasi ilmiah NumPy dan SciPy. Validasi data input ditangani secara ketat oleh Pydantic untuk memastikan matriks keputusan yang dikirimkan klien sesuai dengan format yang dibutuhkan.
3. Komunikasi Data: Hubungan antara *Frontend* dan *Backend* dijembatani oleh protokol HTTP. Aplikasi *mobile* menggunakan pustaka Axios untuk mengirimkan request berisi data matriks penilaian dalam format JSON. Server kemudian merespons dengan hasil analisis, *ranking*, dan rekomendasi keputusan yang juga dalam format JSON untuk ditampilkan kembali kepada pengguna.
4. *Data Storage*: Penyimpanan data menggunakan SQLite yang diakses melalui SQLAlchemy ORM. *Database* ini menyimpan data master seperti daftar kriteria dan alternatif produk limbah ayam. SQLite dipilih karena karakteristiknya yang ringan, *serverless*, dan sangat efisien untuk skala aplikasi ini.
5. *Development Tools*: Seluruh kode sumber dikelola menggunakan Git dan disimpan di platform GitHub. Pengujian API dilakukan menggunakan Bruno untuk memastikan setiap *endpoint* berjalan dengan benar, sementara pengujian unit logika *backend* dilakukan menggunakan Pytest.

#### 2.4 Pembobotan Kriteria dengan Metode CRITIC

Mengingat pentingnya objektivitas dalam menilai efisiensi ekonomi dan dampak lingkungan yang sering kali bertolak belakang, metode CRITIC (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation) digunakan untuk menentukan bobot setiap kriteria. Berbeda dengan metode subjektif seperti AHP, metode CRITIC menetapkan bobot secara objektif berdasarkan kontras intensitas (standar deviasi) dan korelasi antar kriteria dalam matriks keputusan [26].

Langkah-langkah prosedural metode CRITIC adalah sebagai berikut:

1. Normalisasi Matriks Keputusan:  
Mengubah nilai asli menjadi skala baku dalam rentang  $[0, 1]$ .
2. Perhitungan Standar Deviasi ( $\sigma_j$ ):  
Mengukur tingkat dispersi atau keragaman nilai pada setiap kriteria  $j$ .
3. Perhitungan Koefisien Korelasi ( $r_{jk}$ ):  
Mengukur hubungan linear antara pasangan kriteria  $j$  dan  $k$ .
4. Penentuan Kuantitas Informasi ( $C_j$ ):  
Dihitung menggunakan rumus:

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - r_{jk}) \quad (1)$$

5. Perhitungan Bobot Akhir ( $W_j$ ):  
Diperoleh dengan menormalkan nilai  $C_j$  sebagai berikut:

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^n C_j} \quad (2)$$

#### 2.5 Pemeringkatan Alternatif dengan Metode MARCOS

Metode MARCOS (*Measurement of Alternatives and Ranking according to COmpromise Solution*) dipilih karena stabilitasnya dalam menangani variasi data serta kemampuannya mendefinisikan hubungan antara alternatif dengan solusi ideal dan anti-ideal [26]. Tahapan analisis pada metode MARCOS adalah sebagai berikut:

1. Pembentukan Matriks Keputusan Diperluas (*Extended Decision Matrix*)  
Pada tahap ini, matriks keputusan awal diperluas dengan menambahkan Solusi Ideal (AI) dan Solusi Anti-Ideal (AAI).
  - a) AI (*Ideal Alternative*): Nilai terbaik untuk setiap kriteria (maksimum untuk kriteria manfaat, minimum untuk kriteria biaya).
  - b) AAI (*Anti-Ideal Alternative*): Nilai terburuk untuk setiap kriteria (minimum untuk kriteria manfaat, maksimum untuk kriteria biaya).
2. Normalisasi Matriks Diperluas ( $n_{ij}$ )  
Proses normalisasi dilakukan untuk menempatkan seluruh nilai pada skala yang seragam. Rumusnya sebagai berikut:

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{ai}} \text{ untuk kriteria manfaat (benefit)} \quad (3)$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ai}}{x_{ij}} \text{ untuk kriteria biaya (cost)} \quad (4)$$

### 3. Perhitungan Matriks Tertimbang ( $v_{ij}$ )

Setelah normalisasi, dilakukan pembobotan berdasarkan bobot yang diperoleh dari metode CRITIC.

$$v_{ij} = n_{ij} \times W_j \quad (5)$$

### 4. Perhitungan Derajat Utilitas ( $K_i$ )

Derajat utilitas menunjukkan kedekatan relatif setiap alternatif terhadap solusi ideal dan anti-ideal. Rumus yang digunakan adalah:

$$K_i^- = \frac{S_i}{S_{ai}} \text{ dan } K_i^+ = \frac{S_i}{S_{ai}} \quad (6)$$

dengan

$S_i$  merupakan jumlah nilai tertimbang pada baris ke- $i$ ,

$S_{ai}$  adalah nilai total dari solusi anti-ideal, dan

$S_{ai}$  adalah nilai total dari solusi ideal.

### 5. Penentuan Fungsi Utilitas ( $f(K_i)$ )

Fungsi utilitas merepresentasikan posisi kompromi setiap alternatif terhadap solusi ideal dan anti-ideal. Persamaan umumnya dapat dinyatakan sebagai:

$$f(K_i) = K_i^+ + \frac{1-K_i^-}{K_i^- + K_i^+} \quad (7)$$

### 6. Pemingkatan Akhir

Alternatif dengan nilai  $f(K_i)$  tertinggi menunjukkan tingkat kedekatan paling besar dengan solusi ideal, sehingga dianggap sebagai alternatif paling direkomendasikan dalam konteks penelitian ini, produk limbah ayam yang paling layak untuk dikembangkan oleh BRMP.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Data Alternatif

Berdasarkan hasil identifikasi potensi limbah ayam, penelitian ini menetapkan 15 (lima belas) alternatif produk A yang akan diperingkat kinerjanya berdasarkan 7 (tujuh) kriteria evaluasi C. Objek penelitian mencakup berbagai varian produk turunan limbah seperti pada [Tabel 1](#).

Tabel 1. Alternatif

Kode	Nama Alternatif Produk	Jenis Limbah Utama
A1	Kompos Kotoran Ayam	Kotoran Padat
A2	POC (Pupuk Organik Cair) Kotoran Ayam	Kotoran/Urin
A3	Biogas	Kotoran Basah
A4	Briket Biomassa	Kotoran Padat/Sekam
A5	Pakan Fermentasi	Kotoran/Limbah Pakan
A6	Tepung Bulu Ayam	Bulu Ayam
A7	Kerajinan Bulu Ayam	Bulu Ayam
A8	<i>Eco-enzyme</i>	Limbah Organik
A9	BSF (Budidaya Larva <i>Black Soldier Fly</i> )	Kotoran Ayam
A10	Biochar (Arang Hayati)	Kotoran/Sekam
A11	Pelet Energi	Biomassa Padat
A12	Bioslurry (Ampas Biogas)	Slurry (Lumpur)
A13	Enzim Keratinase	Bulu Ayam
A14	Pelet Ikan	Campuran Limbah
A15	Air Irigasi Limbah Cair	Limbah Cair

Berdasarkan [Tabel 1](#) alternatif yang digunakan dalam penelitian ini merupakan berbagai jenis produk turunan limbah ayam yang telah diolah menjadi komoditas bernilai tambah. Total terdapat 15 alternatif yang mewakili pemanfaatan limbah dalam bentuk padat, cair, maupun organik campuran, seperti kompos, pupuk organik cair, biogas, pakan fermentasi, serta produk berbasis bulu ayam seperti tepung dan kerajinan. Selain itu, beberapa inovasi teknologi juga diikutsertakan seperti budidaya larva BSF, *biochar*, *eco-enzyme*, hingga pemanfaatan limbah cair sebagai air irigasi.

Pemilihan alternatif ini bertujuan untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai potensi pemanfaatan limbah ayam dalam berbagai bentuk olahan yang dapat mendukung pengelolaan limbah berkelanjutan.

### 3.2 Data dan Kriteria Pembobotan

Penilaian terhadap alternatif yang telah dijelaskan sebelumnya didasarkan pada parameter efisiensi ekonomi dan keberlanjutan lingkungan kriteria sebagai berikut:

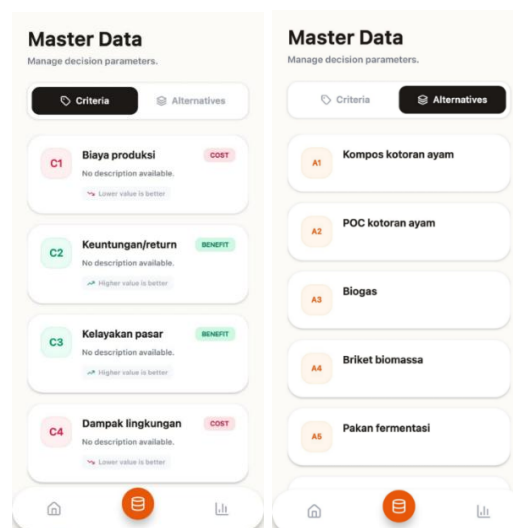
Tabel 2. Kriteria

Kode	Kriteria	Deskripsi	Atribut	Bobot
C1	Biaya Produksi	Modal operasional yang dibutuhkan untuk produksi.	Cost	0.15
C2	Keuntungan / Return	Estimasi tingkat profitabilitas produk.	Benefit	0.25
C3	Kelayakan Pasar	Potensi permintaan dan serapan pasar.	Benefit	0.20
C4	Dampak Lingkungan	Potensi polusi atau residu yang dihasilkan.	Cost	0.10
C5	Kemudahan Proses Produksi	Tingkat kesederhanaan teknologi dan operasional.	Benefit	0.10
C6	Ketersediaan Bahan Baku	Kontinuitas suplai limbah ayam sebagai input.	Benefit	0.15
C7	Efisiensi Energi	Rasio output energi atau penghematan yang dihasilkan.	Benefit	0.05

Berdasarkan Tabel 2 penilaian pada penelitian ini menggunakan tujuh kriteria utama yang dianggap berpengaruh dalam menentukan kelayakan produk olahan limbah ayam. Kriteria tersebut meliputi aspek ekonomi seperti biaya produksi (C1) dan keuntungan/return (C2), serta aspek kelayakan usaha yang tercermin melalui kelayakan pasar (C3) dan kemudahan proses produksi (C5). Selain itu, aspek keberlanjutan juga dipertimbangkan melalui dampak lingkungan (C4) dan efisiensi energi (C7). Faktor ketersediaan bahan baku (C6) turut dimasukkan untuk memastikan bahwa alternatif yang dipilih mudah diaplikasikan dalam kondisi nyata. Kombinasi kriteria cost dan benefit ini memastikan bahwa hasil yang diperoleh tidak hanya menguntungkan secara finansial, tetapi juga layak dan berkelanjutan untuk diterapkan di lapangan.

### 3.3 Hasil

Pada tahap ini sistem pendukung keputusan yang telah dikembangkan diimplementasikan menggunakan data asli sebanyak 7 kriteria dan 15 alternatif produk limbah ayam. Seluruh nilai kriteria diinput ke dalam sistem berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan narasumber. Setelah data terisi lengkap, sistem melakukan proses penghitungan bobot menggunakan metode CRITIC serta pemeringkatan alternatif dengan metode MARCOS secara otomatis. Hasil akhir perhitungan kemudian ditampilkan dalam bentuk visual pada aplikasi untuk memudahkan pengguna dalam melihat rekomendasi produk yang paling layak serta perubahan peringkat pada uji sensitivitas.



Gambar 3. Halaman Kriteria dan Alternatif

Proses analisis diawali dengan tahap pendefinisian data yang meliputi penentuan kriteria keputusan dan alternatif produk sebagai komponen utama dalam Sistem Pendukung Keputusan. Pada antarmuka Data Master Kriteria, setiap parameter diklasifikasikan berdasarkan sifatnya terhadap tujuan optimasi sistem, yaitu atribut *benefit* untuk parameter yang diharapkan memiliki nilai maksimal dan atribut *cost* untuk parameter yang diharapkan memiliki nilai minimal.

Klasifikasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa proses perhitungan dan evaluasi selanjutnya dapat berjalan secara tepat sesuai dengan karakteristik masing-masing kriteria.

Sementara itu, pada antarmuka Data Master Alternatif, sistem memuat dan mengelola data alternatif berupa 15 jenis produk hasil pengolahan limbah ayam. Alternatif-alternatif tersebut merepresentasikan keberagaman potensi yang dapat dikembangkan, baik dari sisi ekonomi, nilai tambah produk, maupun kontribusinya terhadap pengelolaan lingkungan. Dengan adanya pendefinisian alternatif yang jelas dan terstruktur, sistem mampu memberikan gambaran komprehensif terhadap pilihan yang tersedia sebagai dasar dalam proses analisis dan penentuan rekomendasi produk terbaik.

Gambar 4. Halaman *Input Data*

Gambar 3 menampilkan antarmuka proses penilaian yang digunakan untuk mengevaluasi alternatif usaha berbasis limbah ayam dalam sebuah Sistem Pendukung Keputusan. Pada Gambar 4 ditunjukkan form input penilaian untuk alternatif kompos kotoran ayam, di mana pengguna memasukkan nilai berdasarkan beberapa kriteria, yaitu biaya produksi sebagai kriteria *cost*, keuntungan atau *return* sebagai kriteria *benefit*, serta kelayakan pasar yang dinilai menggunakan skala penilaian kualitatif. *Form* ini dirancang agar pengguna dapat memberikan penilaian secara terstruktur, sistematis, dan konsisten sesuai dengan karakteristik serta sifat masing-masing kriteria yang digunakan dalam proses pengambilan keputusan.

Setelah proses pengisian nilai selesai, sistem secara otomatis memuat dan menyimpan data ke dalam tabel penilaian, yang ditandai dengan munculnya notifikasi “Data Terisi”. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem telah berhasil melakukan validasi dan pengolahan awal terhadap data penilaian yang dimasukkan oleh pengguna. Data yang telah tersimpan tersebut selanjutnya menjadi input utama pada tahap perhitungan metode SPK, sehingga dapat digunakan untuk menentukan nilai preferensi dan menghasilkan rekomendasi alternatif terbaik secara objektif.



Gambar 5. Halaman Hasil Rekomendasi dan Uji Sensitivitas

Gambar 5 menampilkan hasil akhir proses pengambilan keputusan berupa rekomendasi produk terbaik. Sistem menetapkan *kompos kotoran ayam* sebagai alternatif peringkat pertama berdasarkan nilai *utility score* tertinggi, yaitu 4,1176, yang menunjukkan bahwa alternatif tersebut paling optimal dibandingkan alternatif lainnya. Selain itu, ditampilkan grafik perbandingan lima alternatif terbesar yang memperlihatkan perbedaan nilai preferensi masing-masing alternatif secara visual. Gambar diatas juga menyajikan bobot kriteria yang diperoleh dari metode CRITIC, yang menunjukkan kepentingan keputusan setiap kriteria dalam proses penilaian. Pada bagian bawah, ditampilkan ranking lengkap seluruh alternatif, sehingga pengguna dapat melihat urutan prioritas secara menyeluruh sebagai dasar pengambilan keputusan yang objektif dan sistematis.

Tahap terakhir yang ditunjukkan adalah halaman Uji Sensitivitas, yang berfungsi untuk menguji stabilitas peringkat terhadap perubahan parameter Alpha ( $\alpha$ ) dalam rentang 0,0 hingga 1,0. Grafik ini melacak pergerakan tiga alternatif teratas (A9, A1, dan A14) untuk melihat apakah perubahan bobot akan mengubah urutan peringkat secara signifikan. Dalam analisis ini, garis yang mendatar menunjukkan bahwa peringkat alternatif tersebut stabil, sementara titik persilangan antar garis mengindikasikan bahwa hasil peringkat sensitif terhadap perubahan metode pembobotan atau preferensi parameter.

### 3.4 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kompos kotoran ayam (A1) merupakan alternatif terbaik berdasarkan pendekatan hybrid CRITIC–MARCOS. Keunggulan alternatif ini dipengaruhi oleh performa yang relatif seimbang pada beberapa kriteria utama, khususnya kemudahan proses produksi (C5), ketersediaan bahan baku (C6), dan kelayakan pasar (C3). Selain itu, biaya produksi yang relatif rendah (C1) menjadikan kompos sebagai solusi yang lebih mudah diimplementasikan pada skala peternakan maupun kelembagaan daerah.

Temuan ini konsisten dengan berbagai penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa pengomposan limbah unggas merupakan salah satu metode paling efektif dalam mengelola limbah secara berkelanjutan. Pengomposan tidak hanya meningkatkan kualitas hara tanah, tetapi juga relatif sederhana dari sisi teknologi dan operasional [8], [9]. Hal ini menjadikan kompos sebagai alternatif yang unggul terutama dalam konteks implementasi praktis.

Dibandingkan dengan alternatif lain seperti biogas (A3), meskipun memiliki keunggulan dalam aspek energi dan pengurangan emisi [10], [11], implementasinya cenderung memerlukan investasi awal yang lebih besar, teknologi yang lebih kompleks, serta pengelolaan operasional yang lebih intensif. Oleh karena itu, ketika kriteria biaya dan kemudahan proses turut dipertimbangkan, biogas menjadi relatif kurang kompetitif dibanding kompos dalam konteks penelitian ini. Sementara itu, alternatif biochar (A10) memiliki potensi yang kuat dalam meningkatkan kualitas tanah dan mengurangi emisi gas rumah kaca [12]–[14]. Namun, penerapannya sangat dipengaruhi oleh faktor teknologi, skala produksi, dan kelayakan ekonomi [22]. Dalam konteks daerah seperti Sumatera Utara, yang membutuhkan solusi yang lebih sederhana dan mudah diadopsi, biochar cenderung belum sekompetitif kompos.

Hasil analisis sensitivitas memperkuat validitas temuan penelitian ini. Stabilitas peringkat alternatif, khususnya pada posisi teratas, menunjukkan bahwa model hybrid CRITIC–MARCOS mampu menghasilkan keputusan yang robust meskipun terjadi perubahan preferensi atau bobot kriteria. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menekankan pentingnya stabilitas dalam pengambilan keputusan berbasis Multi-Criteria Decision Making (MCDM) [17]–[19].

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan hybrid CRITIC–MARCOS efektif dalam mengevaluasi alternatif pengelolaan limbah ayam dengan mempertimbangkan berbagai kriteria secara simultan. Selain menghasilkan pemeringkatan alternatif, pendekatan ini juga memberikan dasar analitis yang kuat bagi pengambil kebijakan, khususnya BRMP Sumatera Utara, dalam menentukan strategi pemanfaatan limbah ayam yang paling realistis, efisien, dan berkelanjutan.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan model sistem pendukung keputusan berbasis hybrid CRITIC–MARCOS untuk menentukan prioritas produk limbah ayam berkelanjutan berdasarkan efisiensi ekonomi dan dampak lingkungan. Penerapan model pada studi kasus BRMP Sumatera Utara menunjukkan bahwa pendekatan yang diusulkan mampu menghasilkan proses evaluasi yang objektif, sistematis, dan terukur.

Metode CRITIC memberikan pembobotan kriteria secara objektif berdasarkan variasi data dan korelasi antar kriteria, sedangkan metode MARCOS menghasilkan pemeringkatan alternatif yang transparan melalui pendekatan solusi ideal dan anti-ideal. Hasil analisis menunjukkan bahwa alternatif kompos kotoran ayam menjadi pilihan terbaik dengan performa paling seimbang, serta hasil pemeringkatan terbukti stabil berdasarkan uji sensitivitas.

Secara keilmuan, penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan pendekatan hybrid Multi-Criteria Decision Making (MCDM) untuk pengelolaan limbah pertanian. Secara praktis, model yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan bagi pemangku kepentingan, khususnya BRMP, dalam menentukan strategi pemanfaatan limbah ayam yang efisien dan berkelanjutan.

Namun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, antara lain penggunaan data yang masih terbatas pada konteks wilayah tertentu serta adanya potensi subjektivitas dalam proses pengumpulan data melalui wawancara. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas cakupan data, melibatkan lebih banyak responden ahli, serta mengombinasikan metode hybrid ini dengan pendekatan lain atau data real-time guna meningkatkan akurasi dan generalisasi hasil.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. M. Rahman, A. Hassan, I. Hossain, M. M. R. Jahangir, E. H. Chowdhury, and R. Parvin, “Current state of poultry waste management practices in Bangladesh, environmental concerns, and future recommendations,” *J. Adv. Vet. Anim. Res.*, vol. 9, no. 3, pp. 490–500, Sep. 2022, doi: [10.5455/javar.2022.i618](https://doi.org/10.5455/javar.2022.i618).
- [2] R. Khiewwijit, S. Chainetr, S. Thiangchanta, and K. Ngoenkhumkhong, “Development of sustainable poultry waste management using integrated microalgae cultivation: Towards performance, resource recovery and environmental impact,” *Heliyon*, vol. 10, no. 23, p. e40885, Dec. 2024, doi: [10.1016/j.heliyon.2024.e40885](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40885).
- [3] V. Mozhiarasi and T. S. Natarajan, “Slaughterhouse and poultry wastes: management practices, feedstocks for renewable energy production, and recovery of value added products,” *Biomass Convers. Biorefin.*, vol. 15, no. 2, pp. 1705–1728, Jan. 2025, doi: [10.1007/s13399-022-02352-0](https://doi.org/10.1007/s13399-022-02352-0).
- [4] K. Fakkaew, S. Kongkratoke, K. Tantrakarnapa, C. Polprasert, and S. Sudsandee, “Characteristics of Gases Emitted from Chicken Manure Wastewater and Potential Effects on Human Health,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, no. 42, pp. 63227–63232, Sep. 2022, doi: [10.1007/s11356-022-20357-0](https://doi.org/10.1007/s11356-022-20357-0).
- [5] N. B. Preuss and F. You, “Comparative Life Cycle Analysis of Poultry Manure Management Technologies,” *Chem. Eng. Trans.*, 2023.
- [6] A. S. Ayantokun, T. Matambo, C. Rahama, I. Merwe, and J. Niekerk, “A critical review of food waste and poultry manure anaerobic co-digestion: an eco-friendly valorization for sustainable waste management and biogas production,” *Frontiers in Sustainable Food*, 2025, doi: [10.3389/fsufs.2025.1695945](https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1695945).
- [7] S. Oyedeji, N. Patel, R. Krishnamurthy, and P. O. Fatoba, “Agricultural Wastes to Value-Added Products: Economic and Environmental Perspectives for Waste Conversion,” 2024, pp. 215–248. doi: [10.1007/10\\_2024\\_274](https://doi.org/10.1007/10_2024_274).
- [8] R. Vicentin, C. E. Masín, M. R. Lescano, and C. S. Zalazar, “Poultry litter stabilization by two-stage composting-vermicomposting process: Environmental, energetic and economic performance,” *Chemosphere*, vol. 281, p. 130872, Oct. 2021, doi: [10.1016/j.chemosphere.2021.130872](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130872).
- [9] G. Kim, W. Chung, J. Hur, H. S. Lee, and H. S. Shin, “Changes in organic matter composition during poultry manure composting: A new perspective on compost maturity using DAX resin fractionation and spectroscopic analysis,” *Waste Management*, vol. 205, p. 115015, Aug. 2025, doi: [10.1016/j.wasman.2025.115015](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2025.115015).
- [10] J. Chen, J. Li, B. Ye, X. Zhang, R. D. Tyagi, and X. Gao, “Energy balance assessment on chicken manure for biogas production in Rabat-Salé-Zemmour-Zair of Morocco,” *J. Environ. Manage.*, vol. 299, p. 113656, Dec. 2021, doi: [10.1016/j.jenvman.2021.113656](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113656).

- [11] A. Kalogiannis, I. A. Vasiliadou, A. Spyridonidis, V. Diamantis, and K. Stamatelatu, "Biogas production from chicken manure wastes using an LBR-CSTR two-stage system: process efficiency, economic feasibility, and carbon dioxide footprint," *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, vol. 97, no. 10, pp. 2952–2961, Oct. 2022, doi: [10.1002/jctb.7170](https://doi.org/10.1002/jctb.7170).
- [12] M. Ginebra, C. Muñoz, R. Calvelo-Pereira, M. Doussoulin, and E. Zagal, "Biochar impacts on soil chemical properties, greenhouse gas emissions and forage productivity: A field experiment," *Science of The Total Environment*, vol. 806, p. 150465, Feb. 2022, doi: [10.1016/j.scitotenv.2021.150465](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150465).
- [13] L. Liu, J. Li, G. Wu, H. Shen, G. Fu, and Y. Wang, "Combined effects of biochar and chicken manure on maize (*Zea mays* L.) growth, lead uptake and soil enzyme activities under lead stress," *PeerJ*, vol. 9, p. e11754, Jul. 2021, doi: [10.7717/peerj.11754](https://doi.org/10.7717/peerj.11754).
- [14] E. C. Umejuru *et al.*, "Application of zeolite based nanocomposites for wastewater remediation: Evaluating newer and environmentally benign approaches," *Environ. Res.*, vol. 231, p. 116073, Aug. 2023, doi: [10.1016/j.envres.2023.116073](https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116073).
- [15] M. Costantini, V. Ferrante, M. Guarino, and J. Bacenetti, "Environmental sustainability assessment of poultry productions through life cycle approaches: A critical review," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 110, pp. 201–212, Apr. 2021, doi: [10.1016/j.tifs.2021.01.086](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.086).
- [16] R. Khiewwijit, S. Chainetr, S. Thiangchanta, and K. Ngoenkhumkhong, "Development of sustainable poultry waste management using integrated microalgae cultivation: Towards performance, resource recovery and environmental impact," *Heliyon*, vol. 10, no. 23, p. e40885, Dec. 2024, doi: [10.1016/j.heliyon.2024.e40885](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40885).
- [17] A. E. Torkayesh, B. Malmir, and M. Rajabi Asadabadi, "Sustainable waste disposal technology selection: The stratified best-worst multi-criteria decision-making method," *Waste Management*, vol. 122, pp. 100–112, Mar. 2021, doi: [10.1016/j.wasman.2020.12.040](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.12.040).
- [18] A. R. Mishra, P. Rani, D. Pamucar, I. M. Hezam, and A. Saha, "Entropy and discrimination measures based q-rung orthopair fuzzy MULTIMOORA framework for selecting solid waste disposal method," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 30, no. 5, pp. 12988–13011, Sep. 2022, doi: [10.1007/s11356-022-22734-1](https://doi.org/10.1007/s11356-022-22734-1).
- [19] R. Narmada Devi, S. Sowmiya, and A. Anuja, "Selecting the Suitable Waste to Energy Technology for India Using MULTIMOORA Method under Pythagorean Neutrosophic Fuzzy Logic," *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 56, pp. 276–290, Jul. 2023.
- [20] M. P. Hemavarshini *et al.*, "Sustainable Management of Chicken Waste: Exploring Conversion Technologies for Environmental Benefits," *Frontiers in Bioscience-Elite*, vol. 17, no. 2, May 2025, doi: [10.31083/FBE25930](https://doi.org/10.31083/FBE25930).
- [21] K. Ma *et al.*, "Poultry litter utilization for waste-to-wealth: Valorization process simulation and comparative analysis based on thermodynamic and techno-economic assessment," *Energy Convers. Manag.*, vol. 269, p. 116135, Oct. 2022, doi: [10.1016/j.enconman.2022.116135](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116135).
- [22] D. Rathnayake *et al.*, "Biochar from animal manure: A critical assessment on technical feasibility, economic viability, and ecological impact," *GCB Bioenergy*, vol. 15, no. 9, pp. 1078–1104, Sep. 2023, doi: [10.1111/gcbb.13082](https://doi.org/10.1111/gcbb.13082).
- [23] Y. Wang, W. Wang, Z. Wang, M. Deveci, S. K. Roy, and S. Kadry, "Selection of sustainable food suppliers using the Pythagorean fuzzy CRITIC-MARCOS method," *Inf. Sci. (N Y)*, vol. 664, p. 120326, Apr. 2024, doi: [10.1016/j.ins.2024.120326](https://doi.org/10.1016/j.ins.2024.120326).
- [24] Ž. Stević, D. Pamučar, A. Puška, and P. Chatterjee, "Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COMpromise solution (MARCOS)," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 140, p. 106231, Feb. 2020, doi: [10.1016/j.cie.2019.106231](https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106231).
- [25] A. El-Araby, I. Sabry, and A. El-Assal, "Ranking Performance of MARCOS Method for Location Selection Problem in the Presence of Conflicting Criteria," *Decision Making Advances*, vol. 2, no. 1, pp. 148–162, Apr. 2024, doi: [10.31181/dma21202435](https://doi.org/10.31181/dma21202435).
- [26] N. Sharkasi and S. Rezakhah, "A modified CRITIC with a reference point based on fuzzy logic and hamming distance," *Knowl. Based. Syst.*, vol. 255, p. 109768, Nov. 2022, doi: [10.1016/j.knosys.2022.109768](https://doi.org/10.1016/j.knosys.2022.109768).

## BIOGRAFI PENULIS



**Nurmaliana Pohan**, e-mail: [qytrew9080@gmail.com](mailto:qytrew9080@gmail.com), merupakan tenaga pengajar di jenjang perguruan tinggi sejak September 2014 hingga saat ini. Memiliki minat yang kuat dalam bidang komputasi dan teknologi komputer, penulis dikenal sebagai pribadi yang antusias dalam mengeksplorasi berbagai aspek dunia teknologi melalui pendekatan eksperimen dan uji coba. Semangat belajar yang tinggi serta keinginan untuk terus berkembang menjadi karakter utama yang mendorong penulis dalam kegiatan penelitian dan pengajaran. Keterlibatannya dalam dunia akademik juga mencerminkan komitmen terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan inovasi teknologi, khususnya di bidang informatika.



**Aditya Widodo**, [aditya.0702222086@uinsu.ac.id](mailto:aditya.0702222086@uinsu.ac.id), Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia. Aditya Widodo adalah mahasiswa Program Studi Sistem Informasi Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia. Minat akademiknya mencakup pengembangan web dan perancangan antarmuka pengguna (UI/UX). Ia memiliki pengalaman dalam pengembangan sistem berbasis web menggunakan PHP, MySQL, dan Laravel, serta mengimplementasikan desain UI/UX ke dalam aplikasi web. Fokus ketertarikannya berada pada pengembangan sistem yang fungsional, mudah digunakan, dan berorientasi pada pengalaman pengguna.



**Arlan Tri Handika**, [arlan.0702222088@uinsu.ac.id](mailto:arlan.0702222088@uinsu.ac.id), Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia. Arlan Tri Handika adalah mahasiswa Program Studi Sistem Informasi di Universitas Islam Negeri Sumatera Utara Medan. Ia memiliki minat pada bidang pengembangan perangkat lunak, khususnya pengembangan web dan *back-end engineering*. Arlan berpengalaman mengembangkan sistem informasi, REST API, serta aplikasi berbasis web menggunakan berbagai teknologi modern. Fokus penelitiannya meliputi sistem informasi, chatbot berbasis NLP, dan pengembangan aplikasi untuk mendukung kebutuhan industri dan institusi.



**Cindy Afriana Jambak**, [cindyafriana82@gmail.com](mailto:cindyafriana82@gmail.com), Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia. Ia memiliki minat pada desain, khususnya desain grafis, UI/UX, dan perancangan visual untuk media digital. Cindy berfokus pada penyusunan aset visual dan rancangan antarmuka yang komunikatif, estetik, serta selaras dengan kebutuhan pengguna, guna mendukung penyajian informasi pada proyek akademik dan pengembangan aplikasi. Ia terbiasa menggunakan Canva dan Adobe Illustrator untuk mengolah materi branding, poster, dan konten publikasi dengan memperhatikan konsistensi identitas visual, keterbacaan, dan kebutuhan audiens.



**Hari Prayudha**, [hari.0702223128@uinsu.ac.id](mailto:hari.0702223128@uinsu.ac.id), Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia. Hari Prayudha merupakan mahasiswa Program Studi Sistem Informasi semester 7 di UIN Sumatera Utara. Memiliki pengalaman lebih dari satu tahun sebagai Full-Stack Web dan *Mobile Developer*, mengembangkan aplikasi berbasis Laravel, React.js, dan React Native. Berpengalaman menyelesaikan lebih dari sepuluh proyek produksi secara *end-to-end*, mulai dari analisis kebutuhan hingga pemeliharaan sistem. Memiliki keahlian dalam perancangan basis data, debugging, peningkatan performa aplikasi, serta kolaborasi lintas tim di lingkungan profesional.



**Rayhan Atricha Rambe**, [rayhan.0702222099@uinsu.ac.id](mailto:rayhan.0702222099@uinsu.ac.id), Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia. Rayhan Atricha Rambe adalah mahasiswa Program Studi Sistem Informasi Universitas Islam Negeri Sumatera Utara. Minat akademiknya mencakup analisis data, *machine learning* terapan, serta pengembangan sistem berbasis web dan mobile. Ia memiliki pengalaman menggunakan Python, FastAPI, React, dan React Native dalam berbagai proyek akademik. Fokus penelitiannya berkaitan dengan pengolahan data, teknologi digital, dan penerapannya pada bidang pertanian serta lingkungan berkelanjutan..

#### Cara Sitasi:

N. Pohan, A. Widodo, A.T. Handika, C.A Jambak, H. Prayudha and R.A. Rambe, "Sustainable Chicken Waste Product Selection Using a Hybrid CRITIC–MARCOS-Based Decision Support System", *Sistem Pendukung Keputusan dengan Aplikasi*, vol. 5, no. 1, pp. 22-32, March. 2026.