

# Pengembangan Model Klasifikasi Kualitas Pakan Sapi Menggunakan *Spektrum Near Infrared (NIR)* berbasis *Machine Learning*

<sup>1\*</sup>Fera Annisa, <sup>2</sup>Intan Nur Farida, <sup>3</sup>Ardi Sanjaya

<sup>1,2,3</sup> Teknik Informatika, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: <sup>1</sup>[lferaannisa895@gmail.com](mailto:lferaannisa895@gmail.com), <sup>2</sup>[intannf@unpkediri.ac.id](mailto:intannf@unpkediri.ac.id), <sup>3</sup>[dersky@gmail.com](mailto:dersky@gmail.com)

*Penulis Korespondens : Fera Annisa*

**Abstrak**—Kualitas pakan merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi produktivitas, pertumbuhan, dan kesehatan ternak sapi. Evaluasi kualitas pakan secara konvensional melalui pengujian laboratorium membutuhkan waktu, biaya, dan tenaga ahli sehingga kurang efisien untuk kebutuhan identifikasi cepat. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model klasifikasi kualitas pakan sapi menggunakan data *spektrum Near Infrared (NIR)* berbasis *machine learning*. Metode penelitian menggunakan pendekatan *Cross Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM)* yang meliputi tahapan *Business Understanding*, *Data Understanding*, *Data Preparation*, *Modeling*, dan *Evaluation*. Model dikembangkan menggunakan algoritma *Random Forest Regression* dengan pendekatan *multi-output regression* untuk memprediksi beberapa parameter nutrisi pakan, yaitu protein kasar, lemak kasar, serat kasar, abu, dan bahan kering. Proses *preprocessing* dilakukan menggunakan *Pipeline* yang mengintegrasikan imputasi data, standarisasi fitur, dan pemodelan untuk menjaga konsistensi proses analisis. Hasil evaluasi model menunjukkan nilai *Mean Absolute Error (MAE)* sebesar 1,229 dan  $R^2$  sebesar 0,861, yang menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan prediksi yang baik. Hasil prediksi nutrisi selanjutnya dikonversi menjadi skor dan diklasifikasikan ke dalam kategori kualitas pakan berbasis *grade*. Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi teknologi *NIR* dan algoritma *Random Forest* berpotensi menjadi alternatif dalam evaluasi kualitas pakan secara lebih cepat, efisien, dan mendukung pengambilan keputusan dalam manajemen nutrisi ternak.

**Kata Kunci**—*CRISP-DM*, Klasifikasi Pakan, *Machine Learning*, *Near Infrared (NIR)*, *Random Forest*.

**Abstract**—*Feed quality is one of the key factors affecting the productivity, growth, and health of cattle. Conventional feed quality evaluation through laboratory testing requires considerable time, cost, and expert personnel, making it less efficient for rapid identification purposes. This study aims to develop a cattle feed quality classification model using Near Infrared (NIR) spectral data based on machine learning. The research employed the Cross Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM) approach, which includes the stages of Business Understanding, Data Understanding, Data Preparation, Modeling, and Evaluation. The model was developed using the Random Forest Regression algorithm with a multi-output regression approach to predict several feed nutritional parameters, namely crude protein, crude fat, crude fiber, ash content, and dry matter. The preprocessing stage was implemented using a Pipeline that integrates data imputation, feature standardization, and modeling to ensure consistency throughout the analytical process. The evaluation results showed a Mean Absolute Error (MAE) value of 1.229 and an  $R^2$  value of 0.861, indicating that the model achieved good predictive performance. The predicted nutritional values were subsequently converted into scores and classified into feed quality categories based on a grading system. The findings indicate that the combination of NIR technology and the Random Forest algorithm has the potential to serve as a faster and more efficient alternative for feed quality evaluation and to support decision-making in livestock nutritional management.*

**Keywords**— *CRISP-DM, Feed Classification, Machine Learning, Near Infrared (NIR), Random Forest.*

This is an open access article under the CC BY-SA License.



## I. PENDAHULUAN

Pakan merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi produktivitas, pertumbuhan, serta kesehatan ternak sapi. Kualitas pakan yang baik dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan nutrisi sehingga mendukung performa ternak secara optimal [1]. Sebaliknya, pakan dengan kualitas rendah dapat menyebabkan penurunan produktivitas, gangguan kesehatan, hingga kerugian ekonomi bagi peternak. Oleh karena itu, evaluasi kualitas pakan menjadi aspek penting dalam sistem manajemen peternakan untuk memastikan kebutuhan nutrisi ternak terpenuhi secara optimal.

Penentuan kualitas pakan umumnya dilakukan melalui pengujian laboratorium untuk menganalisis kandungan nutrisi seperti protein kasar, lemak kasar, serat kasar, abu, dan bahan kering [2]. Meskipun metode tersebut memiliki tingkat akurasi yang tinggi, proses analisis membutuhkan waktu yang relatif lama, biaya operasional besar, serta tenaga ahli khusus [3]. Kondisi ini menyebabkan metode konvensional kurang efisien untuk kebutuhan identifikasi kualitas pakan secara cepat dan berkelanjutan, terutama pada skala peternakan dengan kebutuhan evaluasi yang tinggi [4].

Perkembangan teknologi *Near Infrared Spectroscopy (NIRS)* memberikan alternatif dalam analisis kualitas bahan pakan secara *non-destruktif* [5]. Teknologi ini bekerja dengan memanfaatkan pantulan *spektrum* cahaya inframerah dekat untuk mengidentifikasi karakteristik kimia suatu sampel [6]. Metode *NIR* memiliki beberapa keunggulan seperti proses pengukuran yang cepat, tidak merusak sampel, serta berpotensi digunakan dalam pengujian secara *real-time* [7]. Namun, data *spektrum* yang dihasilkan memiliki pola kompleks sehingga memerlukan metode analisis yang mampu mengolah dan mengenali hubungan antarvariabel secara efektif.

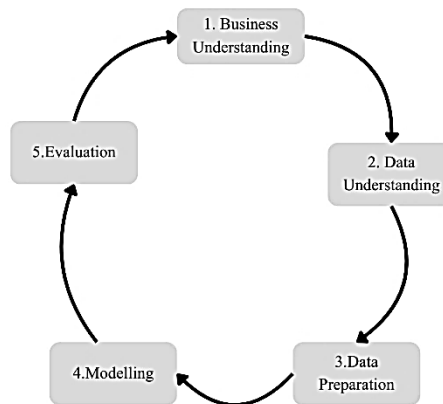
Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengolah data *spektrum NIR* adalah *machine learning*. Metode ini memungkinkan sistem mempelajari pola dari data historis dan menghasilkan prediksi secara otomatis [8]. Dalam penelitian ini digunakan algoritma *Random Forest* karena memiliki kemampuan menangani hubungan *nonlinear*, mengurangi risiko *overfitting*, serta menghasilkan *performa* yang baik pada data numerik [9]. Penelitian sebelumnya umumnya berfokus pada prediksi kandungan nutrisi, sedangkan pengembangan sistem klasifikasi kualitas pakan berbasis *grade* atau kategori mutu masih terbatas.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan model klasifikasi kualitas pakan sapi menggunakan data *spektrum Near Infrared (NIR)* berbasis *machine learning*. Model yang dikembangkan memanfaatkan algoritma *Random Forest* untuk memprediksi parameter nutrisi pakan, kemudian dilakukan proses pembobotan dan klasifikasi untuk menentukan tingkat kualitas pakan. Sistem ini diharapkan dapat membantu proses evaluasi kualitas pakan secara lebih cepat, efisien, dan mendukung pengambilan keputusan dalam manajemen nutrisi ternak.

## II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode *Cross Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM)* sebagai pendekatan dalam pengembangan model *machine learning* [10]. *CRISP-DM* merupakan kerangka kerja yang umum digunakan pada penelitian *data mining* dan *machine*

*learning* karena memiliki tahapan sistematis mulai dari identifikasi permasalahan hingga evaluasi model [11]. Pada penelitian ini, tahapan *CRISP-DM* yang digunakan meliputi *Business Understanding*, *Data Understanding*, *Data Preparation*, *Modeling*, dan *Evaluation*. Tahap *deployment* tidak dilakukan karena penelitian difokuskan pada pengembangan dan pengujian performa model klasifikasi kualitas pakan.



Gambar 1. Metode Penelitian *CRISP-DM*

#### A. *Business Understanding*

Tahap *Business Understanding* bertujuan mengidentifikasi permasalahan penelitian serta menentukan tujuan pengembangan model. Evaluasi kualitas pakan sapi umumnya masih dilakukan melalui analisis laboratorium yang membutuhkan waktu, biaya, dan tenaga ahli. Kondisi tersebut menyebabkan proses identifikasi kualitas pakan menjadi kurang efisien untuk kebutuhan monitoring cepat.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan model *machine learning* berbasis data *spektrum Near Infrared (NIR)* untuk memprediksi kandungan nutrisi pakan dan mengklasifikasikan kualitas pakan ke dalam beberapa kategori mutu. Model diharapkan mampu membantu proses evaluasi kualitas pakan secara lebih cepat dan efisien.

#### B. *Data Understanding*

Tahap *Data Understanding* dilakukan untuk memahami karakteristik dataset yang digunakan pada penelitian. Data penelitian terdiri dari *data spektrum Near Infrared (NIR)* dan suhu sampel sebagai variabel *input*, sedangkan variabel target berupa kandungan nutrisi pakan.

Data ini diperoleh dari gelombang *spektrum Near Infrared (NIR)*. Terdiri dari beberapa parameter hasil pembacaan sensor, yaitu variabel *r, s, t, u, v, w*, serta *temperatur* dengan jumlah 345 data. Data ini diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya pada pengabdian masyarakat di Kelompok Ternak “Tri Mulyo Tenggur” Tulungagung, yang pada saat itu peneliti merupakan anggota dari pengabdian tersebut.

Tabel 1. Data *Spektrum NIR*

| <i>Column</i> | <i>r</i> | <i>s</i> | <i>t</i> | <i>u</i> | <i>v</i> | <i>w</i> | <i>temp</i> |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|
| 1             | 22032001 | 8331     | 3178     | 2168     | 232      | 1917     | 30          |
| 2             | 22141    | 8331     | 3178     | 2084     | 232      | 2556     | 30          |
| 3             | 22032001 | 8527     | 3565     | 2501     | 2664     | 2236     | 31          |
| 4             | 21814    | 8331     | 341      | 2334     | 2578     | 213      | 30          |
| 5             | 21923    | 8331     | 341      | 2418     | 2664     | 2236     | 31          |
| 6             | 21923    | 8331     | 3333     | 2251     | 2578     | 213      | 31          |

Variabel input yang digunakan:

Tabel 2. Variabel Input

| Variabel    | Keterangan                          |
|-------------|-------------------------------------|
| <i>r-w</i>  | Nilai <i>spektrum Near Infrared</i> |
| <i>temp</i> | Suhu sampel                         |

Variabel target yang di prediksi:

Tabel 3. Variabel Target

| Variabel      | Keterangan              |
|---------------|-------------------------|
| Protein kasar | Kandungan protein pakan |
| Lemak kasar   | Kandungan lemak pakan   |
| Serat kasar   | Kandungan serat pakan   |
| Abu           | Kandungan mineral       |
| Bahan kering  | Kandungan bahan kering  |

Tahap ini juga dilakukan pemeriksaan data kosong (*missing value*) dan distribusi data sebelum proses pemodelan.

### C. Data Preparation

Tahap Data Preparation dilakukan untuk meningkatkan kualitas data sebelum digunakan dalam pelatihan model *machine learning*. Proses persiapan data meliputi:

1. Pembersih data  
Menghapus atau memperbaiki data kosong (*missing value*) menggunakan metode imputasi.
2. Standarisasi data  
Melakukan normalisasi fitur agar setiap variabel memiliki skala yang seimbang.
3. Pembagian dataset  
Dataset dibagi menjadi:
  - a. 80% data *training*
  - b. 20% data *testing*
4. *Pipeline preprocessing*  
Proses *preprocessing* dan pemodelan diintegrasikan menggunakan *Pipeline* untuk menjaga konsistensi transformasi data dan menghindari data *leakage*.

#### D. Modelling

Tahap *Modelling* dilakukan dengan membangun model prediksi menggunakan algoritma *Random Forest Regression*. Algoritma dipilih karena memiliki kemampuan menangani hubungan *nonlinear*, stabil terhadap variasi data, serta mampu mengurangi risiko *overfitting*.

Model digunakan untuk memprediksi kandungan nutrisi pakan berdasarkan data *spektrum NIR*. Hasil prediksi meliputi protein kasar, lemak kasar, serat kasar, abu, dan bahan kering.

Selanjutnya hasil prediksi dihitung menjadi skor kualitas pakan menggunakan pembobotan nutrisi:

$$Score = (0.4 \times Protein) + (0.2 \times Lemak) + (0.2 \times BK) - (0.1 \times Serat) - (0.1 \times Abu) \dots \dots \dots (1)$$

Skor yang diperoleh digunakan untuk menentukan kategori kualitas pakan.

#### E. Evaluation

Tahap *evaluation* dilakukan untuk mengukur performa model *machine learning* yang telah dibangun. Evaluasi dilakukan menggunakan:

1. *Mean Absolute Error (MAE)*

$$MAE = \frac{1}{n} \sum |y_i - \hat{y}_i| \dots \dots \dots (2)$$

Semakin kecil nilai *MAE* maka performa model semakin baik.

2. *Koefisien Determinasi (R<sup>2</sup>)*

Digunakan untuk mengukur kemampuan model menjelaskan variasi data.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \dots \dots \dots (3)$$

Nilai *R<sup>2</sup>* mendekati 1 menunjukkan akurasi prediksi yang tinggi.

Selain evaluasi model, hasil prediksi juga diklasifikasikan menjadi kategori kualitas pakan:

Tabel 3. Kategori Kualitas Pakan

| Variabel | Keterangan  |
|----------|-------------|
| A        | Sangat Baik |
| B        | Baik        |
| C        | Kurang      |
| D        | Buruk       |

Klasifikasi ini digunakan sebagai indikator mutu pakan berdasarkan kandungan nutrisi yang di prediksi oleh model.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Pengembangan Model *Machine Learning*

Model *Random Forest Regression* yang dikembangkan pada penelitian ini menghasilkan nilai evaluasi berupa *Mean Absolute Error (MAE)* sebesar 1,229 dan *koefisien determinasi (R<sup>2</sup>)* sebesar 0,861. Hasil evaluasi model ditunjukkan pada Tabel 4.

Evaluasi model dilakukan menggunakan *Mean Absolute Error (MAE)* dan *koefisien determinasi (R<sup>2</sup>)*. Hasil evaluasi model ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Evaluasi Model

| Parameter Evaluasi | Nilai |
|--------------------|-------|
| MAE                | 1,229 |
| R <sup>2</sup>     | 0,861 |

Nilai *MAE* sebesar 1,229 menunjukkan bahwa rata-rata selisih antara hasil prediksi model dan nilai aktual sebesar 1,229 satuan. Semakin kecil nilai *MAE* menunjukkan bahwa kesalahan prediksi yang dihasilkan model semakin rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa model mampu menghasilkan prediksi yang cukup dekat dengan nilai sebenarnya.

Sementara itu, nilai *R<sup>2</sup>* sebesar 0,861 menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan sekitar 86,1% variasi data yang terdapat pada dataset. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa hubungan antara data spektrum Near Infrared (NIR) dengan kandungan nutrisi pakan dapat dipelajari dengan baik oleh model *Random Forest Regression*. Dengan demikian, sebagian besar pola yang terdapat pada data berhasil direpresentasikan oleh model, sedangkan sekitar 13,9% variasi lainnya masih dipengaruhi oleh faktor yang belum dapat dijelaskan oleh model.

#### B. Distribusi Hasil *Grade*

Penentuan *grade* dilakukan berdasarkan skor kualitas hasil pengolahan nutrisi dengan penetapan:

1. Jurnal ( $PK < 13\%$  = tidak memenuhi mutu)
2. Data empiris ( $PK$  berkisar 9,73%–27,24%)
3. Praktik evaluasi mutu pakan

Tabel 3. 1 Nilai Grade Kualitas

| Grade | Rentang   | Kategori    | Makna Nutrisi           |
|-------|-----------|-------------|-------------------------|
| A     | $\geq 85$ | Sangat Baik | Jauh diatas standar SNI |
| B     | 70 - <85  | Baik        | Memenuhi standar SNI    |
| C     | 55 - <70  | Kurang      | Di bawah standar SNI    |
| D     | < 55      | Buruk       | Jauh dibawah standar    |

Penentuan *grade* kualitas pakan pada penelitian ini diturunkan dari tingkat pemenuhan standar nutrisi yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia SNI 3148-2:2017 dan literatur nutrisi ternak. Skor kualitas hasil prediksi model *Random Forest* dinyatakan dalam bentuk indeks kualitas pada rentang 0–100 yang merepresentasikan tingkat pemenuhan nutrisi terhadap standar ideal.

### C. Hasil Klasifikasi Kualitas Pakan

Setelah proses prediksi kandungan nutrisi dilakukan, hasil keluaran model dinormalisasi dan dihitung menggunakan metode pembobotan untuk menghasilkan skor kualitas pakan. Perhitungan skor menggunakan persamaan pada rumus (1) dengan mempertimbangkan kontribusi masing-masing parameter nutrisi terhadap mutu pakan. Protein, lemak, dan bahan kering diberikan bobot positif karena berperan dalam meningkatkan kualitas nutrisi pakan, sedangkan serat kasar dan abu diberikan bobot negatif karena kandungan yang terlalu tinggi dapat menurunkan kualitas pakan dan tingkat pencernaan.

Tabel 5. Sampel Prediksi

| Parameter | Nilai |
|-----------|-------|
| Protein   | 15    |
| Lemak     | 6     |
| BK        | 85    |
| Serat     | 25    |
| Abu       | 8     |

Dengan menggunakan perhitungan:

$$\begin{aligned}
 \text{Score} &= (0,4 \times 15) + (0,2 \times 6) + (0,2 \times 85) - (0,1 \times 25) - (0,1 \times 8) \\
 &= 6 + 1,2 + 17 - 2,5 - 0,8 \\
 &= 20,9
 \end{aligned}$$

Hasil nilai skor 20,9, sampel dikategorikan ke dalam *Grade D* (Buruk).

Berdasarkan skor yang diperoleh, setiap sampel diklasifikasikan ke dalam kategori kualitas pakan yang terdiri atas *Grade A* (Sangat Baik), *Grade B* (Baik), *Grade C* (Kurang), dan *Grade D* (Buruk). Hasil klasifikasi ditunjukkan pada Gambar 2.

```

...   Score : 14.48443073733591
      Grade : D
      Rekomendasi : Buruk, perlu perbaikan kualitas
      =====
      Score : 33.56083414571171
      Grade : D
      Rekomendasi : Buruk, perlu perbaikan kualitas
      =====
      Score : 3.5985070804823858
      Grade : D
      Rekomendasi : Buruk, perlu perbaikan kualitas
      =====
      Score : 14.48443073733591
      Grade : D
      Rekomendasi : Buruk, perlu perbaikan kualitas
      =====
      Score : 24.021199890288752
      Grade : D
  
```

Gambar 2. Hasil Klasifikasi Kualitas Pakan Menggunakan Sistem *Grade*

Berdasarkan Gambar 2, model berhasil mengelompokkan data pakan ke dalam kategori kualitas sesuai dengan nilai skor yang diperoleh. Perbedaan kategori menunjukkan adanya variasi kandungan nutrisi antar sampel pakan yang diprediksi oleh model. Hasil klasifikasi ini memudahkan interpretasi kualitas pakan karena pengguna tidak hanya memperoleh nilai nutrisi

hasil prediksi, tetapi juga kategori mutu pakan yang dapat digunakan sebagai dasar evaluasi kualitas.

#### IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan model klasifikasi kualitas pakan sapi menggunakan data *spektrum Near Infrared (NIR)* berbasis *machine learning* dengan algoritma *Random Forest Regression* dan pendekatan *CRISP-DM*. Model yang dikembangkan mampu memprediksi kandungan nutrisi pakan dengan performa yang baik, ditunjukkan oleh nilai *Mean Absolute Error (MAE)* sebesar 1,229 dan *koefisien determinasi (R<sup>2</sup>)* sebesar 0,861. Hasil prediksi nutrisi selanjutnya diolah menjadi skor kualitas dan diklasifikasikan ke dalam kategori *grade* sebagai indikator mutu pakan. Penerapan sistem *grade* memungkinkan hasil prediksi lebih mudah diinterpretasikan sehingga dapat membantu proses evaluasi kualitas pakan secara lebih cepat dan efisien dibandingkan metode konvensional. Dengan demikian, model yang dihasilkan berpotensi mendukung pengambilan keputusan dalam manajemen nutrisi ternak serta menjadi dasar pengembangan sistem evaluasi kualitas pakan berbasis teknologi pada penelitian selanjutnya.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada dosen pembimbing atas dedikasi, arahan, serta pendampingan yang diberikan selama proses penelitian hingga penyusunan artikel ini. Bimbingan yang diberikan telah memberikan kontribusi yang berarti dalam penyelesaian penelitian dan penulisan karya ilmiah ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Junaidi dan D. W. A. Winarno, "Pengembangan teknologi fermentasi pakan berbasis hijauan untuk peningkatan kualitas nutrisi pada ternak kambing (Rojokoyo Farm)," *Jurnal SainTek*, vol. 1, no. 1, hlm. 76–82, 2024.
- [2] J. Irma Kholifatul, "Efek Suplementasi Berbagai Akselerator pada Silase Ampas Tahu terhadap Uji Organoleptik, Kandungan Protein Kasar, Lemak Kasar, dan Serat Kasar," 2026.
- [3] D. L. Dede, E. Adityarini, dan M. A. Madiansah, "Analisis implementasi kecerdasan buatan (artificial intelligence) dalam optimalisasi proses bisnis," *Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi (SINTEK)*, vol. 5, no. 1, hlm. 90–99, 2025.
- [4] F. Annisa dkk., "Sistem Controlling Pembuatan Pakan Ternak Silase Menggunakan ESP32 Berbasis IoT," *Generation Journal*, vol. 9, no. 1, hlm. 58–70, 2025.
- [5] I. N. Farida, J. Sahertian, F. Annisa, dan A. M. Salsabila, "Sosialisasi Nutrisi Pakan Ternak Berkualitas pada Kelompok Ternak "Tri Mulyo" Desa Tengkur Kecamatan Rejotangan Kabupaten Tulungagung," *Jurnal Pengabdian Masyarakat Nusantara*, vol. 5, no. 1, hlm. 26–34, 2025.
- [6] P. R. ARMELIA, "Rancang Bangun Spektrometer Visible-Infrared (VIS-IR) Menggunakan Modul Sensor AS7265X berbasis Mikrokontroler," 2025.
- [7] H. Ahmad, "Sistem Monitoring Kadar Gula Darah Non-Invasif berbasis Internet of Things (IoT) ESP8266 untuk Prediksi Penyakit Diabetes Menggunakan Machine Learning," 2025.

- [8] H. G. R. Santos, F. Supriadi, dan D. Setiadi, “Prediksi Jumlah Pengunjung Perpustakaan Menggunakan Algoritma Random Forest,” *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 10, no. 2, hlm. 3537–3542, 2026.
- [9] Z. Z. H. Al Abrori dan E. R. Subhiyakto, “Analisis Komparatif Akurasi Prediksi Kanker Payudara Menggunakan Algoritma Random Forest dan Logistic Regression,” *Jurnal Algoritma*, vol. 22, no. 1, hlm. 300–311, 2025.
- [10] A. Nababan, R. L. Gaol, dan F. Rahmadhani, “Pemodelan Biaya Sewa pada Data Pendidikan Internasional Menggunakan Pendekatan Machine Learning dan CRISP-DM,” *Bulletin of Information Technology (BIT)*, vol. 7, no. 1, hlm. 22–30, 2026.
- [11] A. Nababan, R. L. Gaol, dan F. Rahmadhani, “Pemodelan Biaya Sewa pada Data Pendidikan Internasional Menggunakan Pendekatan Machine Learning dan CRISP-DM,” *Bulletin of Information Technology (BIT)*, vol. 7, no. 1, hlm. 22–30, 2026.