Evaluasi Robustness dan Interpretabilitas Logistic Regression, SVM, dan Random Forest dalam Klasifikasi Kualitas Susu Berbasis Parameter Fisik-Kimia dan Organoleptik

Devita Aurellia Prasanti*[1], Sapto Hadi Riono[2]
[1,2]Jurusan Ilmu Komputer, Universitas PGRI Wiranegara, Pasuruan
e-mail: *[1]devitaaurelliap@gmail.com, [2]saptoenator@gmail.com

Abstrak

Penilaian kualitas susu merupakan aspek penting dalam menjaga keamanan pangan dan mutu produk berdasarkan parameter fisik-kimia dan organoleptik. Penelitian ini mengevaluasi kinerja tiga model machine learning, yaitu Logistic Regression, Support Vector Machine (SVM), dan Random Forest, dalam klasifikasi kualitas susu menggunakan tujuh parameter, meliputi pH, temperatur, warna, rasa, bau, kadar lemak, dan kekeruhan. Evaluasi dilakukan menggunakan Stratified 10-Fold Cross Validation dengan metrik accuracy, precision, recall, dan F1-score (macro-average), serta pengujian robustness terhadap noise dan missing value dan analisis interpretabilitas menggunakan permutation feature importance. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Logistic Regression menghasilkan performa terendah dengan F1-score rata-rata sebesar 0,8463, diikuti oleh SVM dengan F1-score sebesar 0,9456. Random Forest memberikan performa terbaik dengan F1-score tertinggi sebesar 0,9979 serta kestabilan paling konsisten. Pengujian robustness menunjukkan bahwa Random Forest dan SVM memiliki ketahanan yang baik terhadap gangguan data, sementara analisis interpretabilitas mengidentifikasi pH dan temperatur sebagai parameter paling berpengaruh. Berdasarkan hasil tersebut, Random Forest direkomendasikan sebagai model yang paling andal untuk sistem klasifikasi kualitas susu.

Kata kunci*—Klasifikasi Kualitas Susu, Machine Learning, Random Forest, Robustness Model*

Abstract

Milk quality assessment is an essential aspect of ensuring food safety and product quality based on physicochemical and organoleptic parameters. This study evaluates the performance of three machine learning models, namely Logistic Regression, Support Vector Machine (SVM), and Random Forest, in milk quality classification using seven parameters, including pH, temperature, color, taste, odor, fat content, and turbidity. Model evaluation was conducted using Stratified 10-Fold Cross Validation with accuracy, precision, recall, and macro-averaged F1-score, complemented by robustness testing against noise and missing values and interpretability analysis using permutation feature importance. The results show that Logistic Regression achieved the lowest performance with an average F1-score of 0.8463, followed by SVM with an F1-score of 0.9456. Random Forest achieved the best performance with the highest F1-score of 0.9979 and the most consistent stability. Robustness testing indicates that Random Forest and SVM maintain strong performance under data disturbances, while interpretability analysis identifies pH and temperature as the most influential features. These findings suggest that Random Forest is the most reliable model for milk quality classification systems.

Keywords— *Milk Quality Classification; Machine Learning; Random Forest; Model Robustness*

Submitted: 6 Januari 2026
Published: 5 Juni 2026

1. PENDAHULUAN

Kualitas susu adalah faktor fundamental dalam memastikan keamanan pangan dan kesehatan konsumen. Penilaian kualitas susu biasanya dilakukan berdasarkan parameter fisik-kimia dan organoleptik, yang mencakup faktor seperti pH, kandungan lemak, dan karakteristik rasa [1]. Namun, metode evaluasi ini masih sering dilakukan secara manual, yang dapat mengakibatkan ketidakakuratan dan kurangnya adaptabilitas terhadap variasi data [2]. Selain itu, data yang dihasilkan dari sensor dan pengamatan manusia memiliki kecenderungan untuk mengandung noise dan nilai yang hilang (missing value), yang dapat menurunkan keandalan sistem klasifikasi [3]. Oleh karena itu, pendekatan yang lebih inovatif diperlukan, seperti penerapan machine learning, untuk meningkatkan keakuratan dan keandalan dalam penilaian kualitas susu [4].

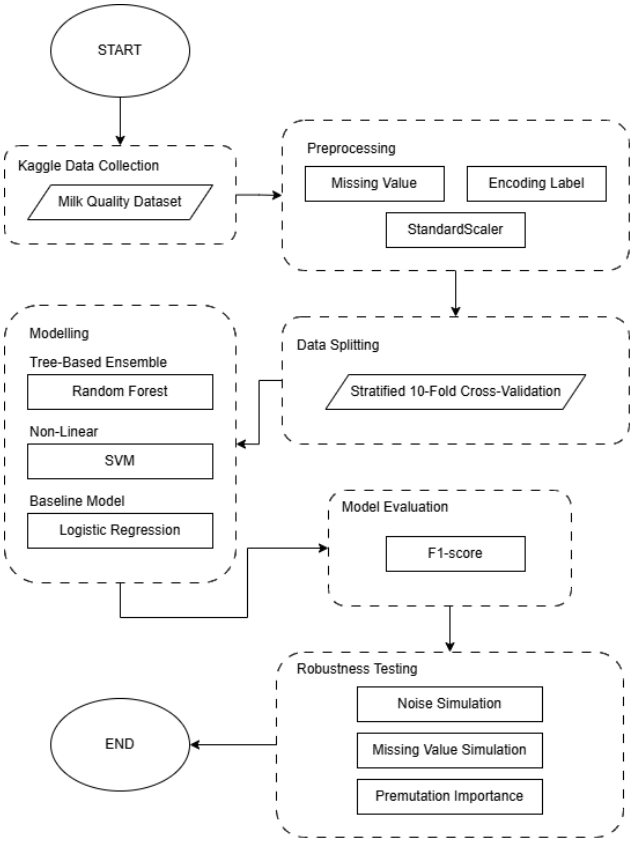
Penelitian terdahulu mengenai klasifikasi kualitas susu telah dilakukan dengan memanfaatkan berbagai algoritma machine learning dan menunjukkan hasil yang beragam. Penelitian oleh I. Putu Ryan Paramaditya dan Cokorda Pramartha menggunakan algoritma Random Forest untuk menentukan kualitas susu sapi berdasarkan parameter fisik-kimia dan memperoleh tingkat akurasi sebesar 98%, dengan nilai precision, recall, dan F1-score yang seimbang pada setiap kelas kualitas [5]. Penelitian lain oleh Puspita Sari, Lailil Muflikah, dan Randy Cahya Wihandika menerapkan metode Support Vector Machine (SVM) dengan kernel RBF pada klasifikasi kualitas susu sapi dan melaporkan rata-rata akurasi sebesar 92,82%, serta akurasi tertinggi mencapai 94,02% pada skema pembagian data tertentu [6]. Selain itu, penelitian oleh Drashti Bhavsar et al. yang membandingkan beberapa algoritma machine learning untuk prediksi kualitas susu menunjukkan bahwa Random Forest mampu memberikan performa yang lebih baik dibandingkan SVM, dengan akurasi mencapai 92%, sedangkan SVM menunjukkan kinerja yang lebih rendah pada dataset yang sama [7]. Meskipun ketiga penelitian tersebut berhasil menunjukkan efektivitas machine learning dalam klasifikasi kualitas susu, evaluasi yang dilakukan masih berfokus pada metrik performa dasar seperti akurasi, tanpa mengkaji secara mendalam aspek robustness terhadap noise dan missing value serta interpretabilitas model dalam menjelaskan kontribusi parameter fisik-kimia dan organoleptik.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tiga model machine learning, yaitu Random Forest, Support Vector Machine, dan Logistic Regression, dalam klasifikasi kualitas susu berbasis parameter fisik-kimia dan organoleptik dengan menitikberatkan pada aspek robustness dan interpretabilitas. Gap penelitian terletak pada minimnya studi komparatif yang secara simultan menguji ketahanan model terhadap noise dan missing value serta menjelaskan peraan fitur dalam pengambilan keputusan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi model yang tidak hanya memiliki kinerja tinggi, tetapi juga stabil dan mudah diinterpretasikan untuk penerapan di dunia nyata.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang disusun secara sistematis sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 flowchart penelitian. Alur penelitian dimulai dari proses pengumpulan data, dilanjutkan dengan tahap preprocessing, pembagian data menggunakan Stratified K-Fold Cross-Validation, pemodelan machine learning, evaluasi kinerja model, serta pengujian robustness dan interpretabilitas model hingga diperoleh kesimpulan akhir. Pendekatan alur penelitian berbasis flowchart bertujuan untuk memastikan setiap tahapan dilakukan secara terstruktur dan dapat direproduksi.

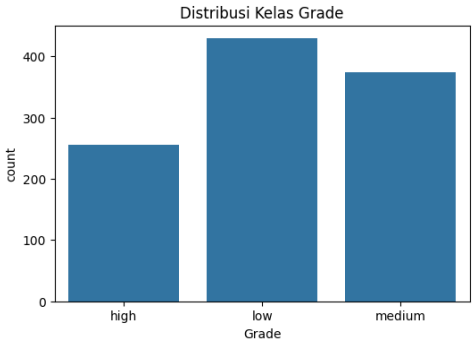
Submitted: 6 Januari 2026
Published: 5 Juni 2026



Gambar 1 Flowchart Penelitian

2.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan Milk Quality Dataset yang diperoleh dari platform Kaggle melalui tautan https://www.kaggle.com/datasets/cpluzshrijayan/milkquality. Dataset ini terdiri dari 1.059 data dengan 8 kolom, yang mencakup sejumlah parameter fisik-kimia dan organoleptik untuk merepresentasikan kualitas susu. Variabel-variabel tersebut digunakan sebagai fitur input dalam proses klasifikasi, sedangkan satu kolom lainnya berperan sebagai variabel target berupa kelas kualitas susu yang telah diberi label sebelumnya. Dataset Kaggle banyak dimanfaatkan dalam penelitian machine learning karena telah melalui proses kurasi dan memiliki struktur data yang konsisten untuk kebutuhan klasifikasi [8].



Gambar 2 Distribusi Label

Submitted: 6 Januari 2026
Published: 5 Juni 2026

Pada Gambar 2 menampilkan distribusi jumlah data pada setiap kelas kualitas susu, dataset ini berisi data kualitas susu yang diklasifikasikan ke dalam tiga kelas, yaitu high, medium, dan low, berdasarkan parameter fisik-kimia dan organoleptik susu.

2.2 Preprocessing Data

Tahap preprocessing dilakukan untuk meningkatkan kualitas data sebelum digunakan dalam proses pemodelan [9]. Proses ini meliputi penanganan missing value, encoding label kelas, serta standarisasi fitur numerik menggunakan StandardScaler. Standarisasi diperlukan untuk memastikan setiap fitur berada pada skala yang sebanding, terutama untuk model berbasis jarak seperti Support Vector Machine [6]. Tahap preprocessing ini bertujuan untuk mengurangi bias model akibat perbedaan skala data dan meningkatkan stabilitas proses pelatihan.

2.3 Pemodelan dan Split Data

Pembagian data dilakukan menggunakan Stratified 10-Fold Cross-Validation, di mana dataset dibagi ke dalam sepuluh fold dengan proporsi kelas yang seimbang pada setiap fold. Metode ini dipilih karena mampu memberikan evaluasi kinerja model yang lebih stabil dan representatif dibandingkan pembagian data tunggal [10].

Penelitian ini menggunakan tiga model machine learning, yaitu Random Forest sebagai model ensemble, Support Vector Machine sebagai model non-linear berbasis kernel, dan Logistic Regression sebagai model baseline berbasis linear. Pemilihan kombinasi model ini bertujuan untuk membandingkan performa model dengan tingkat kompleksitas yang berbeda [5]. Model Support Vector Machine diimplementasikan menggunakan kernel Radial Basis Function (RBF) untuk menangani pola data yang bersifat non-linear, dengan parameter regularisasi c = 1.0 dan gamma = scale guna mengontrol kompleksitas model. Model Random Forest dibangun dengan jumlah pohon keputusan sebanyak 200 estimator untuk meningkatkan stabilitas dan akurasi prediksi, sedangkan Logistic Regression digunakan sebagai pembanding model linear dengan jumlah iterasi maksimum sebanyak 1000 untuk memastikan proses optimasi mencapai konvergensi. Pada ketiga model, parameter class weight diatur menjadi balanced untuk mengatasi ketidakseimbangan kelas pada data.

2.4 Evaluasi Kerja Model

Evaluasi kinerja model dilakukan menggunakan metrik F1-score, yang dihitung berdasarkan hasil Stratified 10-Fold Cross-Validation. F1-score dipilih karena mampu merepresentasikan keseimbangan antara precision dan recall, sehingga lebih sesuai untuk permasalahan klasifikasi multikelas dibandingkan akurasi semata [11]. Nilai F1-score disajikan dalam bentuk nilai rata-rata (mean) dan standar deviasi untuk menilai kestabilan kinerja setiap model.

2.5 Pengujian Robustness

Pengujian robustness dilakukan untuk mengevaluasi ketahanan model terhadap gangguan data, meliputi simulasi noise dan simulasi missing value. Pendekatan ini penting karena data dunia nyata sering kali mengandung ketidaksempurnaan yang dapat memengaruhi kinerja model [12].

Tabel 1 Tingkat Noise yang Disimulasikan

Tingkat Noise	**Keterangan**
0%	Data original
3%	Penambahan noise ringan
5%	Penambahan noise sedang

Submitted: 6 Januari 2026
Published: 5 Juni 2026

Pada Tabel 1 menjelaskan tingkat noise yang ditambahkan pada fitur numerik dataset dengan tingkat 0%, 3%, dan 5% untuk mengevaluasi ketahanan model terhadap fluktuasi nilai data.

Tabel 2 Tingkat Missing Value yang Disimulasikan

Tingkat Noise	Keterangan
5%	Proporsi kecil
10%	Proporsi sedang

Pada Tabel 2 menjelaskan tingkat missing value yang dilakukan dengan menghilangkan nilai pada fitur numerik secara acak sebesar 5% dan 10% untuk mengamati pengaruhnya terhadap stabilitas performa model klasifikasi. Selain itu, interpretabilitas model dianalisis menggunakan Permutation Importance untuk mengetahui kontribusi masing-masing fitur terhadap hasil klasifikasi. Metode ini memungkinkan pemahaman yang lebih baik mengenai pengaruh parameter fisik-kimia dan organoleptik dalam menentukan kualitas susu, khususnya pada model ensemble seperti Random Forest [5].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Evaluasi Model

Evaluasi performa model dilakukan menggunakan Stratified 10-Fold Cross Validation untuk memperoleh estimasi performa yang stabil dan dapat digeneralisasi. Metrik evaluasi yang digunakan meliputi accuracy, precision, recall, dan F1-score dengan pendekatan macro-average, mengingat permasalahan klasifikasi bersifat multikelas dan setiap kelas memiliki tingkat kepentingan yang sama.

3.2 Evaluasi Random Forest

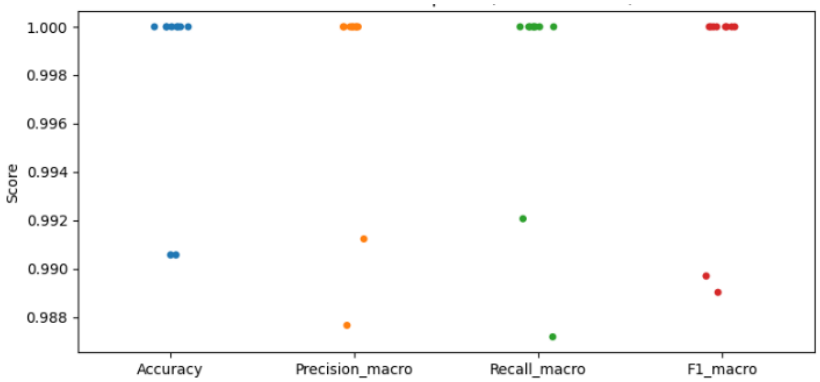
Untuk mengevaluasi kinerja model Random Forest secara komprehensif, dilakukan pengujian menggunakan metode Stratified 10-Fold Cross Validation. Evaluasi dilakukan dengan menghitung nilai rata-rata (mean) dan standar deviasi (STD) dari metrik accuracy, precision macro, recall macro, dan F1 macro guna menilai tingkat akurasi serta stabilitas model pada berbagai pembagian data. Hasil evaluasi performa model Random Forest disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Stratified 10-fold Random Forest

Evaluasi	Mean	STD
Accuracy	0.998113	0.003978
Precision Macro	0.997888	0.004531
Recall Macro	0.997924	0.004525
F1 Macro	0.997871	0.004490

Berdasarkan Tabel 3, nilai rata-rata yang sangat tinggi disertai standar deviasi yang rendah menunjukkan bahwa model memiliki performa yang sangat baik dan stabil pada berbagai pembagian data.

Submitted: 6 Januari 2026
Published: 5 Juni 2026



Gambar 3 Nilai Performa Tiap Fold Random Forest

Sebaran nilai performa Random Forest pada setiap fold ditunjukkan pada Gambar 3. Terlihat bahwa hampir seluruh nilai metrik evaluasi berada pada kisaran mendekati 1.00, dengan hanya sedikit variasi pada beberapa fold. Tidak terdapat penurunan performa yang signifikan pada fold tertentu, yang mengindikasikan bahwa model memiliki kemampuan generalisasi yang sangat baik.

Keunggulan Random Forest ini sejalan dengan karakteristik metode ensemble berbasis pohon keputusan yang mampu mengurangi varians dan meningkatkan stabilitas prediksi melalui penggabungan sejumlah pohon independen [13]. Hal ini menjadikan Random Forest sangat sesuai untuk permasalahan klasifikasi kualitas susu yang melibatkan kombinasi parameter fisik-kimia dan sensorik.

3.3 Evaluasi Logistic Regression

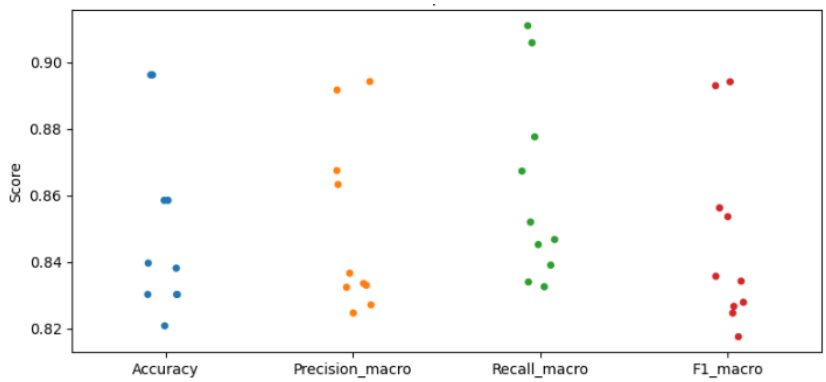
Model Logistic Regression digunakan sebagai baseline untuk merepresentasikan pendekatan linear dalam klasifikasi kualitas susu. Evaluasi performa dilakukan menggunakan metode yang sama dengan model lainnya, dan ringkasan hasilnya ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Stratified 10-fold Logistic Regression

Evaluasi	**Mean**	**STD**
Accuracy	0.849847	0.027284
Precision Macro	0.850369	0.026657
Recall Macro	0.861116	0.028665
F1 Macro	0.846337	0.027708

Berdasarkan Tabel 4, Logistic Regression memperoleh nilai accuracy rata-rata sebesar 0.849847 dengan standar deviasi 0.027284, sedangkan nilai F1 macro rata-rata sebesar 0.846337 ± 0.027708. Dibandingkan dengan Random Forest, nilai rata-rata metrik yang diperoleh lebih rendah dan memiliki variasi yang lebih besar antar fold.

Submitted: 6 Januari 2026
Published: 5 Juni 2026



Gambar 4 Nilai Performa Tiap Fold Logistic Regression

Sebaran nilai performa Logistic Regression pada setiap fold yang ditunjukkan pada Gambar 4 memperlihatkan fluktuasi yang cukup besar pada seluruh metrik evaluasi. Hal ini menunjukkan bahwa model linear lebih sensitif terhadap variasi data pelatihan dan kurang mampu menangkap hubungan non-linear antar fitur kualitas susu.

Meskipun demikian, hasil ini tetap menunjukkan bahwa Logistic Regression mampu memberikan performa dasar yang cukup baik dan dapat digunakan sebagai pembanding untuk menilai peningkatan performa yang diperoleh dari penggunaan model non-linear dan ensemble.

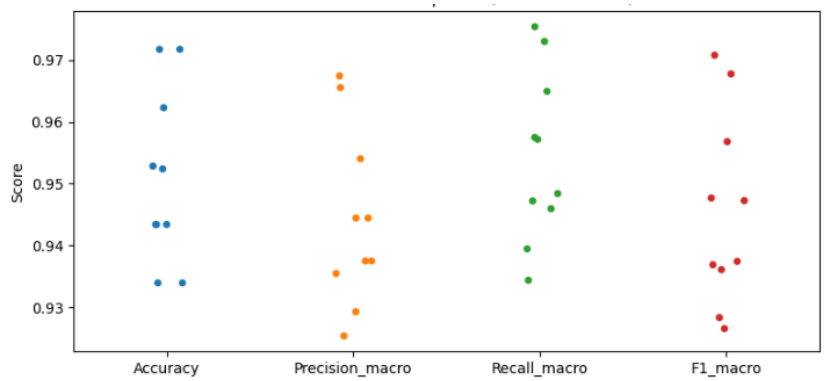
3.4 Evaluasi Support Vector Machine (SVM)

Evaluasi performa model Support Vector Machine (SVM) dengan kernel Radial Basis Function (RBF) dilakukan untuk mengukur kemampuan model dalam menangkap hubungan non-linear antar fitur. Ringkasan hasil evaluasi SVM disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Stratified 10-fold SVM

Evaluasi	**Mean**	**STD**
Accuracy	0.950898	0.013916
Precision Macro	0.944101	0.014268
Recall Macro	0.954324	0.013724
F1 Macro	0.945558	0.015444

Hasil pada Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai SVM lebih tinggi dibandingkan Logistic Regression dan lebih stabil, namun masih berada di bawah performa Random Forest.



Gambar 4 Nilai Performa Tiap Fold SVM

Visualisasi sebaran performa SVM pada setiap fold yang ditampilkan pada Gambar 5. menunjukkan bahwa variasi performa antar fold relatif kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa

Submitted: 6 Januari 2026
Published: 5 Juni 2026

SVM memiliki kestabilan yang cukup baik dan mampu memanfaatkan hubungan non-linear pada data kualitas susu. Karakteristik ini sesuai dengan teori SVM yang memaksimalkan margin pemisahan kelas sehingga lebih robust terhadap variasi data [14].

3.5 Evaluasi Robustness Terhadap Noise

Untuk mengevaluasi ketahanan model terhadap gangguan data, dilakukan pengujian robustness dengan menambahkan noise Gaussian pada fitur numerik sebesar 0%, 3%, dan 5%. Pengujian ini bertujuan untuk mensimulasikan kesalahan pengukuran sensor yang umum terjadi pada sistem akuisisi data di lingkungan nyata. Evaluasi dilakukan menggunakan metrik F1-score (macro-average), dan hasilnya dirangkum dalam Tabel 6.

Tabel 6 Hasil Robustness Terhadap Noise (F1-score ± STD)

Model	**Noise 0%**	**Noise 3%**	**Noise 5%**
Random Forest	0.9979 ± 0.0043	0.9792 ± 0.0126	0.9620 ± 0.0160
Logistic Regression	0.8463 ± 0.0263	0.8428 ± 0.0278	0.8414 ± 0.0255
SVM	0.9456 ± 0.0147	0.9456 ± 0.0147	0.9456 ± 0.0147

Berdasarkan Tabel 6, model Random Forest menunjukkan penurunan performa secara bertahap seiring peningkatan tingkat noise. Meskipun demikian, nilai F1-score tetap berada pada tingkat yang tinggi hingga noise 5%, yang menunjukkan bahwa model memiliki ketahanan yang baik terhadap gangguan data berskala kecil hingga sedang. Logistic Regression menunjukkan performa yang relatif stabil namun berada pada tingkat yang lebih rendah, sedangkan SVM menunjukkan performa yang hampir tidak berubah pada seluruh tingkat noise yang diuji. Hal ini mengindikasikan bahwa SVM mampu mempertahankan margin pemisahan kelas pada kondisi gangguan numerik terbatas.

3.6 Evaluasi Robustness Terhadap Missing Value

Selain noise, pengujian robustness juga dilakukan terhadap kondisi data tidak lengkap dengan mensimulasikan missing value sebesar 5% dan 10%. Nilai yang hilang ditangani menggunakan metode imputasi median untuk mempertahankan distribusi data. Hasil pengujian robustness terhadap missing value disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7 Hasil Robustness Terhadap Missing Value (F1-score ± STD)

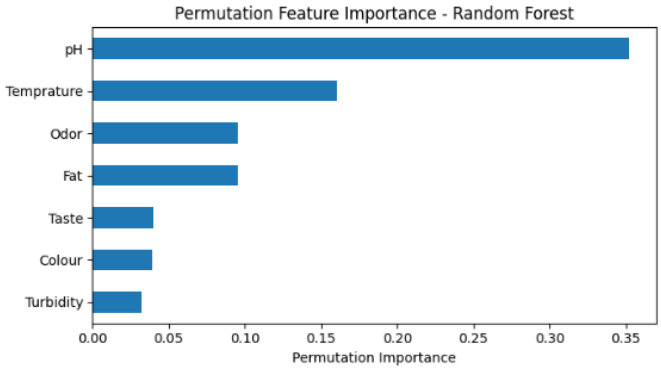
Model	**Noise 5%**	**Noise 10%**
Random Forest	0.9979 ± 0.0043	0.9979 ± 0.0043
Logistic Regression	0.8463 ± 0.0263	0.8463 ± 0.0263
SVM	0.9456 ± 0.0147	0.9456 ± 0.0147

Tabel 7 menunjukkan bahwa ketiga model tidak mengalami penurunan performa yang signifikan hingga tingkat missing value sebesar 10%. Hal ini menunjukkan bahwa metode imputasi median cukup efektif dalam mempertahankan performa model. Ketahanan Random Forest terhadap data tidak lengkap dapat dikaitkan dengan mekanisme pemodelan berbasis pohon keputusan yang toleran terhadap variasi nilai hasil imputasi, sehingga model tetap mampu menghasilkan prediksi yang konsisten.

Submitted: 6 Januari 2026
Published: 5 Juni 2026

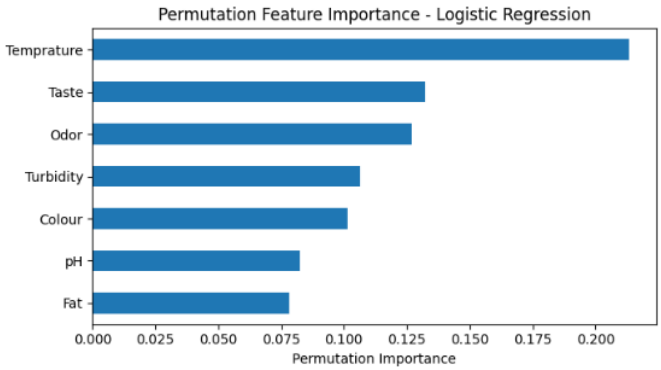
3.7 Analisa Interpretabilitas Model

Analisis interpretabilitas dilakukan menggunakan metode permutation feature importance untuk mengetahui kontribusi masing-masing fitur terhadap performa model.



Gambar 6 Feature Importance Random Forest

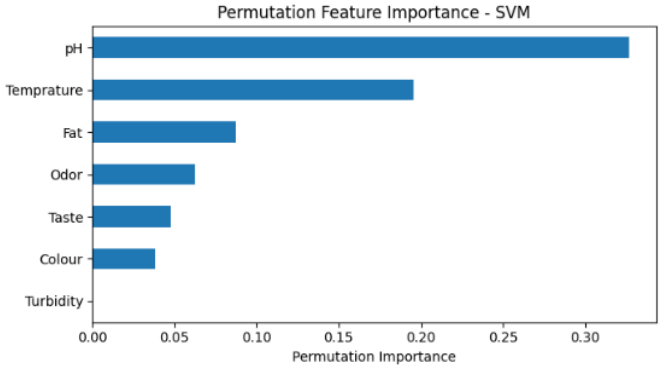
Hasil permutation feature importance pada model Random Forest yang ditunjukkan pada Gambar 6 menunjukkan bahwa fitur pH memiliki kontribusi paling dominan, diikuti oleh temperatur, odor, dan fat. Hal ini menunjukkan bahwa parameter fisik-kimia merupakan indikator utama dalam penentuan kualitas susu. Pada Random Forest, pH menjadi fitur utama karena memiliki kemampuan tinggi dalam memisahkan kelas kualitas susu melalui penurunan nilai impuritas pada node pohon keputusan. Nilai pH mencerminkan tingkat keasaman susu yang secara langsung berkaitan dengan kesegaran dan aktivitas mikroorganisme, sehingga perbedaan pH antar kelas kualitas susu dapat ditangkap secara efektif oleh model, termasuk pada hubungan yang bersifat non-linear.



Gambar 7 Feature Importance Logistic Regression

Pada model Logistic Regression pada Gambar 7, fitur temperatur, taste, dan odor memiliki kontribusi yang lebih besar dibandingkan pH. Pada Logistic Regression fitur temperatur muncul sebagai variabel paling dominan. Hal ini disebabkan oleh sifat Logistic Regression sebagai model linear yang sensitif terhadap hubungan linier antar fitur dan variabel target. Temperatur memiliki korelasi linier yang relatif kuat terhadap kualitas susu, khususnya dalam menggambarkan kondisi penyimpanan dan potensi pertumbuhan mikroorganisme. Akibatnya, perubahan temperatur memberikan kontribusi langsung dan konsisten terhadap nilai probabilitas kelas, sehingga koefisien temperatur menjadi yang paling besar dibandingkan fitur lainnya.

Submitted: 6 Januari 2026
Published: 5 Juni 2026



Gambar 8 Feature Importance SVM

Sementara itu, pada model SVM pada Gambar 8, fitur pH dan temperatur kembali menjadi parameter paling dominan. Perbedaan pola kepentingan fitur ini menunjukkan bahwa setiap model memiliki cara yang berbeda dalam memanfaatkan informasi dari fitur-fitur kualitas susu. Pada SVM dengan kernel RBF, pH berperan penting karena distribusi nilainya membentuk batas pemisah yang jelas antar kelas di ruang fitur. Perubahan kecil pada pH dapat memengaruhi posisi data terhadap hyperplane, sehingga fitur ini menjadi salah satu faktor utama dalam pembentukan margin optimal.

3.8 Analisis Perbandingan Kinerja Model

Berdasarkan hasil evaluasi performa, pengujian robustness, dan analisis stabilitas, Random Forest merupakan model dengan performa paling tinggi dan konsisten. Model ini mampu mempertahankan tingkat akurasi yang tinggi pada berbagai pembagian data serta menunjukkan ketahanan yang baik terhadap gangguan noise dan missing value. SVM menghasilkan performa yang cukup tinggi dan stabil, namun masih berada di bawah Random Forest, sedangkan Logistic Regression menunjukkan performa terendah dengan variasi kinerja yang lebih besar, yang mencerminkan keterbatasan model linear dalam memodelkan hubungan kompleks pada data kualitas susu.

Meskipun Random Forest menunjukkan kinerja yang sangat unggul, nilai akurasi yang mendekati 100% perlu dianalisis secara kritis karena berpotensi mengindikasikan overfitting atau kemungkinan kebocoran data. Kondisi ini dapat terjadi ketika model terlalu mempelajari pola spesifik pada data latih sehingga kemampuan generalisasi terhadap data baru menjadi terbatas. Oleh karena itu, temuan ini menjadi salah satu keterbatasan penelitian, dan penelitian selanjutnya disarankan untuk menerapkan teknik validasi yang lebih ketat serta mengeksplorasi model dengan kapasitas representasi yang lebih kompleks, seperti deep learning, guna meningkatkan keandalan dan generalisasi model.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa model Random Forest memberikan kinerja paling unggul dalam klasifikasi kualitas susu menggunakan parameter fisik-kimia dan organoleptik, ditinjau dari aspek akurasi, stabilitas, dan ketahanan terhadap gangguan data. Evaluasi menggunakan Stratified 10-Fold Cross Validation memperlihatkan bahwa Random Forest menghasilkan nilai performa tertinggi dengan variasi antar fold yang rendah dibandingkan Support Vector Machine dan Logistic Regression. Model ini juga mempertahankan performa yang tinggi pada pengujian robustness terhadap noise dan missing value serta mengidentifikasi parameter pH dan temperatur sebagai fitur paling berpengaruh dalam proses klasifikasi. Oleh karena itu, Random Forest direkomendasikan sebagai model yang paling andal untuk diterapkan pada sistem pendukung keputusan klasifikasi kualitas susu yang menuntut konsistensi dan keandalan tinggi.

Submitted: 6 Januari 2026
Published: 5 Juni 2026

5. SARAN

Untuk pengembangan akademik ke depan, penelitian ini dapat diperluas dengan menguji kinerja model Random Forest menggunakan variasi data yang lebih ekstrem atau membandingkannya dengan algoritma ensemble learning lain seperti XGBoost dan LightGBM untuk melihat efisiensi komputasinya. Peneliti selanjutnya juga disarankan untuk mengeksplorasi batas toleransi sifat robustness model ini terhadap tingkat missing value yang lebih tinggi. Hal tersebut akan sangat berguna dalam mengkaji peluang reduksi fitur atau parameter pengujian laboratorium yang kurang signifikan, demi menciptakan proses skrining kualitas susu yang lebih cepat dan efisien secara biaya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] F. Mateo, A. Tarazona, and E. M. Mateo, "Comparative Study of Several Machine Learning Algorithms for Classification of Unifloral Honeys," Foods, vol. 10, no. 7, p. 1543, Jul. 2021, doi: 10.3390/foods10071543.

[2] T. Emmanuel, T. Maupong, D. Mpoeleng, T. Semong, B. Mphago, and O. Tabona, "A survey on missing data in machine learning," J. Big Data, vol. 8, no. 1, p. 140, Oct. 2021, doi: 10.1186/s40537-021-00516-9.

[3] R. Wiryasaputra, C.-Y. Huang, Y.-J. Lin, and C.-T. Yang, "An IoT Real-Time Potable Water Quality Monitoring and Prediction Model Based on Cloud Computing Architecture," Sensors, vol. 24, no. 4, p. 1180, Feb. 2024, doi: 10.3390/s24041180.

[4] A. Majumdar, Y. Liu, Y. Lu, S. Wu, and L. Cheng, "kESVR: An Ensemble Model for Drug Response Prediction in Precision Medicine Using Cancer Cell Lines Gene Expression," Genes (Basel)., vol. 12, no. 6, p. 844, May 2021, doi: 10.3390/genes12060844.

[5] I. Putu, R. Paramaditya, and C. Pramartha, "Implementasi Algoritma Random Forest Dalam Menentukan Kualitas Susu Sapi," J. Nas. Teknol. Inf. dan Apl., vol. 1, no. 1, 2022, [Online]. Available: https://www.kaggle.com/datasets/yrohit199/milk-quality

[6] P. Sari, L. Muflikah, and R. C. Wihandika, "Klasifikasi Kualitas Susu Sapi Menggunakan Metode Support Vector Machine (SVM)," J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput., vol. 2, no. 3, pp. 1204–1211, 2018.

[7] J. Haviar Saviola and N. Deny Hendrawan, "Implementasi Klasifikasi Kualitas Susu Menggunakan Algoritma Decision Tree, K-Nearest Neighbors Dan Naive Bayes," JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform., vol. 9, no. 5, pp. 8953–8960, 2025, doi: 10.36040/jati.v9i5.15260.

[8] A. Ç. Elik, "Using Machine Learning Algorithms to Detect Milk Quality," Eurasian J. Food Sci. Technol., vol. 6, no. December, pp. 76–87, 2022.

[9] S. H. Riono, Rizdania, and Henny May Indahsari, "Analisis Clustering Produktivitas Padi Daerah-Daerah Di Tiga Provinsi Besar Pulau Jawa Menggunakan Algoritma K-Means Berbasis Python," SMARTICS J., vol. 10, no. 2, pp. 39–48, 2024, doi: 10.21067/smartics.v10i2.11826.

[10] H. I. Azam and A. Qoiriah, "Prediksi Kelayakan Pinjaman Berdasarkan Profil Risiko Nasabah Menggunakan Logistic Regression dan Random Forest," J. Informatics Comput. Sci., vol. 07, no. 1, 2025, [Online]. Available: https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jinacs/article/view/72649.

[11] D. Ariyana, "Perbandingan Kinerja Metode Binary Relevance, Classifier Chains, dan Label Powerset dalam Klasifikasi Multi-Label Data Pengaduan," J. Pendidik. dan Teknol. Indones., vol. 5, no. 3, pp. 615–623, 2025, doi: 10.52436/1.jpti.796.

[12] D. Bhavsar, Y. Jobanputra, N. K. Swain, and D. Swain, "Milk Quality Prediction Using Machine Learning," EAI Endorsed Trans. Internet Things, vol. 10, Nov. 2023, doi: 10.4108/eetiot.4501.

Submitted: 6 Januari 2026
Published: 5 Juni 2026

[13] M. W. Nugroho, “Analisis Performa Algoritma Random Forest dalam Mengatasi Overfitting pada Model Prediksi,” J. JTIK (Jurnal Teknol. Inf. dan Komunikasi), vol. 9, no. 4, pp. 1562–1571, 2025, doi: 10.35870/jtik.v9i4.4236.

[14] C. L. T. Boro, A. Faisol, and D. Rudhistiar, “Analisis Sentimen Terhadap Kampanye Pengurangan Plastik Pada Media Sosial Menggunakan Metode Svm,” J. Inform. Teknol. dan Sains, vol. 7, no. 1, pp. 147–157, 2025, doi: 10.51401/jinteks.v7i1.5069.

Submitted: 6 Januari 2026
Published: 5 Juni 2026