

Pengembangan Sistem Smart Monitoring Obat Kedaluwarsa Menggunakan Algoritma Random Forest untuk Klasifikasi Tingkat Risiko Obat Kedaluwarsa

Development of a Smart Monitoring System for Expired Drugs Using the Random Forest Algorithm for Classifying the Risk Level of Expired Drugs

Firman Aziz^{1,*}; Irmawati²; Ayu Lestari Azis³;

¹ Universitas Pancasakti, Makassar 90121, Indonesia

^{2,3} IRMEX Digital Akademika, Makassar 90155, Indonesia

¹ firmazaniz@unpacti.ac.id; ² irmawati@irmexdigikal.com; ³ ayulestariazis@irmexdigika.com

* Corresponding author

Abstrak

Pengelolaan obat kedaluwarsa merupakan salah satu aspek penting dalam manajemen persediaan farmasi karena berpengaruh terhadap mutu pelayanan kesehatan dan efisiensi operasional. Penelitian sebelumnya lebih banyak menggunakan pendekatan peramalan seperti Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) untuk memprediksi jumlah obat yang akan kedaluwarsa, namun belum mampu memberikan informasi tingkat risiko pada setiap item obat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengembangkan Sistem Smart Monitoring Obat Kedaluwarsa dengan mengintegrasikan algoritma Random Forest untuk melakukan klasifikasi tingkat risiko obat kedaluwarsa sebagai sistem pendukung keputusan. Penelitian menggunakan dataset sintetis sebanyak 500 data yang disusun berdasarkan karakteristik umum pengelolaan persediaan farmasi sebagai proof of concept karena keterbatasan akses terhadap data operasional yang bersifat sensitif. Tahapan penelitian meliputi penyusunan dataset, preprocessing data, transformasi atribut kategorikal menggunakan One-Hot Encoding, pelatihan model Random Forest, evaluasi model, dan integrasi model ke dalam aplikasi Smart Monitoring. Model dievaluasi menggunakan metrik Accuracy, Precision, Recall, dan F1-Score. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model Random Forest memperoleh nilai Accuracy sebesar 87,00%, Precision sebesar 87,97%, Recall sebesar 87,00%, dan F1-Score sebesar 86,80%. Analisis Feature Importance menunjukkan bahwa atribut sisa hari kedaluwarsa, stok, dan harga merupakan faktor yang paling berpengaruh dalam proses klasifikasi. Integrasi algoritma Random Forest terbukti mampu meningkatkan fungsi sistem dari sekadar media monitoring menjadi sistem pendukung keputusan yang dapat membantu tenaga kefarmasian menentukan prioritas distribusi dan pengelolaan persediaan obat. Namun demikian, hasil penelitian ini masih berada pada tahap proof of concept dan memerlukan validasi lebih lanjut menggunakan data operasional dari apotek maupun rumah sakit.

Kata Kunci: Smart Monitoring; obat kedaluwarsa; Random Forest; klasifikasi risiko; machine learning

Abstract

Expired drug management is an important aspect of pharmaceutical inventory management because it affects healthcare service quality and operational efficiency. Previous studies mainly used forecasting approaches such as the Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) method to predict the number of drugs approaching expiration, but these approaches could not provide risk information at the individual drug-item level. Therefore, this study aims to develop a Smart Monitoring System for Expired Drugs by integrating the Random Forest algorithm to classify expiration risk levels as a decision support system. The study employed a synthetic dataset consisting of 500 records developed based on common pharmaceutical inventory characteristics as a proof of concept due to limited access to sensitive operational data. The research process included dataset generation, data preprocessing, categorical transformation using One-Hot Encoding, Random Forest model training, model evaluation, and integration of the trained model into the Smart Monitoring application. The model was evaluated using Accuracy, Precision, Recall, and F1-Score metrics. Experimental results showed that the Random Forest model achieved an Accuracy of 87.00%, Precision of 87.97%, Recall of 87.00%, and F1-Score of 86.80%. Feature Importance analysis indicated that remaining shelf life, stock quantity, and price were the most influential factors in risk classification. The integration of Random Forest successfully transformed the system from a monitoring tool into a decision support system that assists pharmacy personnel in prioritizing drug distribution and inventory management. However, the findings remain at the proof-of-concept stage and require further validation using real operational data from pharmacies and hospitals.

Keywords: Smart Monitoring; expired drugs; Random Forest; risk classification; machine learning

Pendahuluan

Pengelolaan persediaan obat merupakan salah satu aspek penting dalam pelayanan kefarmasian karena berpengaruh terhadap ketersediaan obat, efisiensi operasional, dan mutu pelayanan kesehatan. Salah satu permasalahan yang sering dihadapi oleh apotek maupun instalasi farmasi rumah sakit adalah keberadaan obat yang mendekati atau telah melewati masa kedaluwarsa. Kondisi tersebut tidak hanya menimbulkan kerugian ekonomi akibat pemusnahan obat, tetapi juga berpotensi mengganggu pelayanan apabila proses monitoring tidak dilakukan secara efektif [1], [2].

Perkembangan teknologi informasi telah mendorong penerapan sistem digital untuk mendukung pengelolaan persediaan obat. Sistem monitoring berbasis komputer mampu membantu pencatatan data stok, masa berlaku obat, serta penyajian informasi secara lebih cepat dibandingkan metode manual. Namun, sebagian besar sistem yang digunakan masih bersifat administratif dan belum memanfaatkan teknik *Machine Learning* untuk membantu proses pengambilan keputusan dalam menentukan prioritas penanganan obat yang berisiko kedaluwarsa [3], [4].

Beberapa penelitian telah mengembangkan metode prediksi untuk mendukung pengelolaan persediaan obat. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah metode *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) yang mampu memprediksi jumlah obat yang akan kedaluwarsa berdasarkan pola historis data. Pendekatan ini efektif untuk peramalan (*forecasting*) deret waktu, namun belum mampu mengidentifikasi tingkat risiko pada setiap item obat sehingga informasi yang dihasilkan masih terbatas untuk mendukung pengambilan keputusan operasional [5], [6].

Seiring berkembangnya penelitian di bidang *Artificial Intelligence*, algoritma *Machine Learning* mulai banyak diterapkan pada sektor kesehatan karena mampu melakukan proses klasifikasi berdasarkan pola yang dipelajari dari data. Salah satu algoritma yang banyak digunakan adalah **Random Forest**, yaitu metode berbasis *ensemble learning* yang membangun sejumlah *decision tree* dan menentukan hasil klasifikasi menggunakan mekanisme *majority voting*. Random Forest dikenal memiliki kemampuan klasifikasi yang baik, tahan terhadap *overfitting*, mampu menangani data numerik maupun kategorikal, serta memberikan informasi mengenai tingkat kepentingan setiap atribut (*feature importance*) [7], [8].

Pada bidang kesehatan, Random Forest telah digunakan dalam berbagai penelitian untuk klasifikasi penyakit, prediksi risiko klinis, serta analisis data medis dengan tingkat akurasi yang tinggi [8], [9]. Keunggulan tersebut menunjukkan bahwa Random Forest juga berpotensi diterapkan pada sistem monitoring obat kedaluwarsa untuk mengelompokkan obat berdasarkan tingkat risiko sehingga dapat membantu tenaga kefarmasian dalam menentukan prioritas distribusi, penggunaan, maupun pengelolaan persediaan.

Perkembangan penelitian internasional menunjukkan bahwa penerapan *machine learning* pada pengelolaan persediaan farmasi tidak lagi terbatas pada proses peramalan kebutuhan obat, tetapi juga telah diarahkan pada identifikasi risiko, optimalisasi inventori, serta pengambilan keputusan secara cerdas (*intelligent decision support*). Berbagai algoritma pembelajaran mesin dimanfaatkan untuk menganalisis karakteristik persediaan, memprediksi potensi *stock-out*, mengurangi pemborosan akibat obat kedaluwarsa, serta meningkatkan efisiensi distribusi obat pada fasilitas pelayanan kesehatan. Pendekatan tersebut menunjukkan bahwa integrasi *machine learning* mampu meningkatkan akurasi analisis dibandingkan metode konvensional karena mempertimbangkan hubungan kompleks antarvariabel yang sulit dimodelkan menggunakan pendekatan statistik tradisional.

Selain itu, perkembangan *Clinical Decision Support System* (CDSS) di bidang kefarmasian juga menunjukkan bahwa kecerdasan buatan berperan penting dalam membantu tenaga farmasi melakukan pengambilan keputusan secara lebih cepat, konsisten, dan berbasis data. Sistem pendukung keputusan modern tidak hanya menyajikan informasi mengenai kondisi persediaan obat, tetapi juga mampu memberikan rekomendasi prioritas penanganan berdasarkan tingkat risiko yang dihasilkan oleh model *machine learning*. Pendekatan tersebut memberikan manfaat yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi pengelolaan inventori, meminimalkan kerugian akibat obat kedaluwarsa, serta mendukung keberlangsungan pelayanan kefarmasian yang lebih efektif.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian yang telah dipublikasikan masih berfokus pada optimalisasi persediaan obat, prediksi permintaan, atau identifikasi risiko menggunakan data operasional tanpa mengintegrasikan mekanisme klasifikasi risiko ke dalam sistem *Smart Monitoring* yang dapat digunakan secara langsung oleh pengguna. Selain itu, penelitian yang secara khusus mengombinasikan sistem monitoring obat kedaluwarsa dengan algoritma Random Forest untuk menghasilkan klasifikasi tingkat risiko sebagai dasar pengambilan keputusan pada level setiap item obat masih relatif terbatas. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa masih terdapat peluang penelitian untuk

mengembangkan sistem yang tidak hanya mampu melakukan pemantauan masa berlaku obat, tetapi juga memberikan informasi risiko secara otomatis sebagai pendukung keputusan dalam pengelolaan persediaan farmasi.

Berdasarkan kajian terhadap penelitian sebelumnya, masih terdapat kesenjangan penelitian (*research gap*). Sebagian besar penelitian hanya berfokus pada prediksi jumlah obat kedaluwarsa menggunakan metode statistik atau pengembangan sistem informasi tanpa integrasi *Machine Learning*. Penelitian tersebut belum menyediakan mekanisme klasifikasi tingkat risiko yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan pada tingkat item obat. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sistem yang tidak hanya mampu melakukan monitoring masa berlaku obat, tetapi juga mampu memberikan klasifikasi risiko secara otomatis menggunakan algoritma *Machine Learning*.

Penelitian ini mengusulkan Pengembangan Sistem Smart Monitoring Obat Kedaluwarsa Menggunakan Algoritma Random Forest untuk Klasifikasi Tingkat Risiko Obat Kedaluwarsa. Sistem dikembangkan dengan mengintegrasikan model Random Forest ke dalam aplikasi *Smart Monitoring* sehingga setiap data obat dapat diklasifikasikan ke dalam kategori Risiko Tinggi, Risiko Sedang, atau Risiko Rendah. Penelitian ini menggunakan dataset sintetis sebanyak 500 record yang disusun berdasarkan karakteristik umum pengelolaan persediaan obat sebagai *proof of concept*. Model dievaluasi menggunakan metrik Accuracy, Precision, Recall, dan F1-Score, sedangkan analisis *Feature Importance* digunakan untuk mengidentifikasi atribut yang paling berpengaruh terhadap hasil klasifikasi.

Kontribusi utama penelitian ini meliputi tiga aspek. Pertama, mengembangkan sistem *Smart Monitoring* yang mengintegrasikan algoritma Random Forest untuk klasifikasi tingkat risiko obat kedaluwarsa. Kedua, menyajikan pendekatan klasifikasi sebagai pelengkap metode *forecasting* yang digunakan pada penelitian sebelumnya sehingga sistem mampu memberikan informasi yang lebih spesifik pada tingkat item obat. Ketiga, mengevaluasi performa model menggunakan dataset sintetis sebagai *proof of concept* sehingga dapat menjadi dasar bagi pengembangan lebih lanjut menggunakan data operasional dari apotek atau rumah sakit.

Metode

A. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan eksperimen untuk mengembangkan Sistem *Smart Monitoring* Obat Kedaluwarsa yang terintegrasi dengan algoritma *Machine Learning*. Tahapan penelitian meliputi identifikasi kebutuhan sistem, penyusunan dataset sintetis, *data preprocessing*, pembangunan model Random Forest, evaluasi model, serta integrasi model ke dalam sistem Smart Monitoring.

Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1, yang terdiri atas identifikasi permasalahan, studi literatur, penyusunan dataset sintetis, *preprocessing* data, pelatihan model, evaluasi model, integrasi sistem, dan pengujian sistem.

B. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian terdiri atas beberapa proses sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan penelitian

C. Dataset Penelitian

Penelitian ini menggunakan dataset sintetis (*synthetic dataset*) sebagai *proof of concept* untuk mengevaluasi integrasi algoritma Random Forest pada Sistem Smart Monitoring Obat Kedaluwarsa. Penggunaan dataset sintetis dipilih karena penelitian berfokus pada pengembangan metode dan sistem, sementara data operasional apotek memiliki keterbatasan akses dan mengandung informasi yang bersifat sensitif. Pendekatan ini banyak digunakan untuk validasi awal aplikasi kesehatan dan pengembangan model *Machine Learning* selama karakteristik data disusun secara realistis dan dijelaskan secara transparan.

Dataset terdiri atas 500 record yang merepresentasikan kondisi umum pengelolaan persediaan obat di apotek. Setiap record menggambarkan satu item obat dengan karakteristik yang disusun berdasarkan praktik pengelolaan persediaan farmasi.

Tahap *preprocessing* dilakukan dengan membersihkan data yang tidak lengkap, menyeragamkan format tanggal, serta menghitung sisa masa berlaku obat berdasarkan selisih antara tanggal kedaluwarsa dengan tanggal pengamatan.

Selanjutnya dibentuk atribut baru berupa Sisa Hari Kedaluwarsa (Remaining Shelf Life) menggunakan Persamaan (1).

$$\text{RemainingShelfLife} = \text{TanggalExpired} - \text{TanggalSekarang} \quad (1)$$

Berdasarkan nilai tersebut, setiap data obat diberikan label tingkat risiko sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Tingkat Risiko

<i>Sisa Hari Kedaluwarsa</i>	<i>Tingkat Risiko</i>
≤ 90 hari	Tinggi
91–180 hari	Sedang
>180 hari	Rendah

Label tersebut digunakan sebagai kelas target pada proses klasifikasi menggunakan algoritma Random Forest.

D. Algoritma Random Forest

Random Forest merupakan algoritma ensemble learning yang membangun sejumlah pohon keputusan (decision tree) menggunakan teknik bootstrap sampling. Setiap pohon dibangun menggunakan subset data dan subset atribut yang dipilih secara acak. Hasil klasifikasi akhir diperoleh melalui mekanisme majority voting, yaitu kelas yang paling banyak dipilih oleh seluruh pohon keputusan menjadi hasil prediksi.

Pada penelitian ini Random Forest digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat risiko obat kedaluwarsa menjadi tiga kategori, yaitu Risiko Tinggi, Risiko Sedang, dan Risiko Rendah.

E. Implementasi Sistem

Sistem dikembangkan menggunakan arsitektur client-server. Aplikasi Android berfungsi sebagai antarmuka pengguna untuk melakukan pengelolaan data obat, sedangkan backend dibangun menggunakan Laravel yang menyediakan layanan REST API. Model Random Forest diimplementasikan menggunakan Python dan diintegrasikan dengan backend sehingga proses klasifikasi dapat dilakukan secara otomatis ketika data obat diperbarui.

Alur implementasi sistem sebagai berikut.

1. Pengguna memasukkan data obat.
2. Data disimpan pada database MySQL.
3. Backend mengirimkan data ke modul Machine Learning.
4. Model Random Forest melakukan klasifikasi tingkat risiko.
5. Hasil klasifikasi disimpan ke database.
6. Aplikasi Android menampilkan kategori risiko serta rekomendasi prioritas penanganan obat.

F. Evaluasi Model

Kinerja model Random Forest dievaluasi menggunakan Confusion Matrix yang menghasilkan nilai Accuracy, Precision, Recall, dan F1-Score.

Accuracy dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (2)$$

Precision dihitung menggunakan Persamaan (3).

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (3)$$

Recall dihitung menggunakan Persamaan (4).

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

Sedangkan F1-Score dihitung menggunakan Persamaan (5).

$$F1 = \frac{2 \times \text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (3)$$

Selain evaluasi model Machine Learning, sistem juga diuji menggunakan **Black Box Testing** untuk memastikan seluruh fungsi aplikasi berjalan sesuai kebutuhan pengguna, meliputi proses autentikasi, pengelolaan data obat, proses klasifikasi tingkat risiko, serta penyajian hasil klasifikasi pada aplikasi Android.

Hasil dan Diskusi

A. Hasil Pengembangan Sistem

Penelitian ini menghasilkan pengembangan Sistem *Smart Monitoring* Obat Kedaluwarsa dengan mengintegrasikan algoritma Random Forest sebagai metode klasifikasi tingkat risiko obat kedaluwarsa. Sistem dikembangkan menggunakan arsitektur *client-server* yang terdiri atas aplikasi Android sebagai antarmuka pengguna, Laravel sebagai *backend*, MySQL sebagai basis data, dan modul *Machine Learning* berbasis Python.

Pengembangan ini merupakan penyempurnaan dari sistem sebelumnya yang menggunakan metode *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA). Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang berfokus pada prediksi jumlah obat yang akan kedaluwarsa, penelitian ini mengklasifikasikan setiap obat ke dalam kategori Risiko Tinggi, Risiko Sedang, dan Risiko Rendah berdasarkan karakteristik data obat.

Dataset yang digunakan merupakan dataset sintesis sebanyak 500 record yang disusun berdasarkan karakteristik umum pengelolaan persediaan obat di apotek. Setiap data terdiri atas atribut nama obat, kategori, bentuk obat, supplier, stok, harga, sisa hari kedaluwarsa, lokasi rak, dan label tingkat risiko. Penggunaan dataset sintesis bertujuan sebagai *proof of concept* untuk mengevaluasi implementasi algoritma Random Forest pada sistem yang dikembangkan.

Sebelum proses pelatihan model, dilakukan tahap *data preprocessing* meliputi pemeriksaan kelengkapan data, transformasi atribut kategorikal menggunakan *One-Hot Encoding*, serta pembagian dataset menjadi data latih sebesar 80% dan data uji sebesar 20%.

B. Hasil Klasifikasi Menggunakan Random Forest

Model klasifikasi dibangun menggunakan algoritma Random Forest dengan jumlah 100 pohon keputusan ($n_estimators = 100$) dan maksimum kedalaman pohon ($max_depth = 10$). Model dilatih menggunakan 400 data latih dan diuji menggunakan 100 data uji.

Evaluasi model dilakukan menggunakan metrik Accuracy, Precision, Recall, dan F1-Score. Hasil evaluasi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Tingkat Risiko

<i>Metrik</i>	<i>Nilai</i>
Accuracy	87,00%
Precision	87,97%
Recall	87,00%
F1-Score	86,80%

Berdasarkan hasil pengujian, model Random Forest memperoleh nilai akurasi sebesar 87,00%, yang menunjukkan bahwa sebagian besar data uji berhasil diklasifikasikan sesuai dengan kelas sebenarnya. Nilai Precision sebesar 87,97% menunjukkan bahwa prediksi yang dihasilkan model memiliki tingkat ketepatan yang tinggi. Selain itu, nilai Recall sebesar 87,00% menunjukkan kemampuan model dalam mengenali data pada setiap kelas, sedangkan nilai F1-Score sebesar 86,80% menunjukkan keseimbangan yang baik antara Precision dan Recall.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa algoritma Random Forest mampu melakukan klasifikasi tingkat risiko obat kedaluwarsa dengan performa yang baik pada dataset sintesis yang digunakan dalam penelitian ini.

C. Analisis Feature Importance

Untuk mengetahui kontribusi masing-masing atribut terhadap proses klasifikasi, dilakukan analisis *Feature Importance* pada model Random Forest. Pada tahap ini atribut *risk_score* tidak digunakan sebagai fitur masukan untuk menghindari *data leakage*, sehingga model melakukan proses pembelajaran berdasarkan karakteristik data obat yang sebenarnya.

Hasil analisis menunjukkan bahwa atribut *sisa_hari* merupakan faktor yang paling berpengaruh dalam menentukan tingkat risiko obat kedaluwarsa. Hal ini menunjukkan bahwa semakin sedikit *sisa masa berlaku* suatu obat, semakin besar kemungkinan obat tersebut diklasifikasikan ke dalam kategori risiko tinggi.

Atribut *stok* menjadi faktor paling berpengaruh kedua. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah *stok* yang masih tersisa turut memengaruhi tingkat risiko, karena semakin besar *stok* yang dimiliki ketika masa kedaluwarsa semakin dekat, maka potensi terjadinya obat kedaluwarsa juga meningkat.

Selain kedua atribut tersebut, atribut *harga* juga memberikan kontribusi terhadap proses klasifikasi. Meskipun pengaruhnya tidak sebesar *sisa hari kedaluwarsa* dan *stok*, atribut *harga* dapat menjadi indikator nilai ekonomi persediaan obat sehingga turut memengaruhi prioritas pengelolaan.

Atribut lainnya seperti *bentuk obat*, *supplier*, *lokasi rak*, dan *nama obat* memiliki nilai *feature importance* yang relatif lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa atribut tersebut hanya berperan sebagai faktor pendukung dalam proses klasifikasi dibandingkan atribut yang berkaitan langsung dengan kondisi persediaan obat.

D. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi algoritma Random Forest mampu meningkatkan kemampuan sistem *Smart Monitoring* obat kedaluwarsa dibandingkan penelitian sebelumnya yang menggunakan metode ARIMA. Pada penelitian terdahulu, sistem hanya menghasilkan prediksi jumlah obat yang akan kedaluwarsa berdasarkan pola historis data. Pendekatan tersebut lebih sesuai digunakan untuk permasalahan *forecasting* dan belum mampu memberikan informasi tingkat risiko pada setiap item obat.

Sebaliknya, penelitian ini mengubah pendekatan menjadi klasifikasi tingkat risiko obat pada level individual. Dengan pendekatan tersebut, sistem mampu mengelompokkan setiap obat ke dalam kategori risiko tertentu sehingga petugas farmasi dapat menentukan prioritas penanganan berdasarkan kondisi masing-masing obat.

Nilai Accuracy sebesar 87,00% menunjukkan bahwa algoritma Random Forest memiliki kemampuan yang baik dalam mengidentifikasi tingkat risiko obat kedaluwarsa pada dataset yang digunakan. Selain itu, nilai Precision dan Recall yang relatif seimbang menunjukkan bahwa model tidak hanya mampu memberikan prediksi yang tepat, tetapi juga mampu mengenali sebagian besar data pada setiap kategori risiko.

Analisis *Feature Importance* menunjukkan bahwa atribut *sisa_hari* dan *stok* merupakan dua faktor utama yang memengaruhi hasil klasifikasi. Temuan ini sejalan dengan praktik manajemen persediaan farmasi, di mana keputusan penanganan obat tidak hanya dipengaruhi oleh kedekatan masa kedaluwarsa, tetapi juga oleh jumlah *stok* yang masih tersedia. Oleh karena itu, penggunaan kombinasi kedua atribut tersebut menghasilkan sistem yang lebih representatif dibandingkan pendekatan yang hanya mempertimbangkan satu variabel.

Dari sisi implementasi, integrasi model Random Forest ke dalam aplikasi Android memungkinkan sistem memberikan informasi tingkat risiko secara otomatis ketika data obat diperbarui. Dengan demikian, pengguna tidak hanya memperoleh informasi mengenai masa berlaku obat, tetapi juga memperoleh rekomendasi prioritas penanganan berdasarkan hasil klasifikasi. Pengembangan ini menjadikan sistem tidak lagi sekadar berfungsi sebagai media monitoring, tetapi berkembang menjadi Sistem Pendukung Keputusan (*Decision Support System*) yang dapat membantu tenaga kefarmasian dalam mengoptimalkan pengelolaan persediaan obat.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena menggunakan dataset sintesis yang disusun sebagai *proof of concept*. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan dataset operasional dari apotek atau rumah sakit dengan jumlah data yang lebih besar serta membandingkan performa Random Forest dengan algoritma lain, seperti XGBoost, LightGBM, atau CatBoost, sehingga diperoleh model klasifikasi yang lebih representatif terhadap kondisi nyata.

E. Analisis Confusion Matrix

Evaluasi model juga dilakukan menggunakan Confusion Matrix untuk mengetahui kemampuan model dalam mengklasifikasikan setiap kategori risiko obat kedaluwarsa. Confusion Matrix memberikan informasi mengenai jumlah data yang berhasil diklasifikasikan dengan benar maupun data yang mengalami kesalahan klasifikasi.

Berdasarkan hasil Confusion Matrix, sebagian besar data berhasil diklasifikasikan pada kelas yang sesuai. Model menunjukkan performa yang sangat baik dalam mengidentifikasi Risiko Rendah dan Risiko Sedang, sedangkan beberapa data pada kategori Risiko Tinggi masih terklasifikasi sebagai Risiko Sedang.

Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik beberapa data pada kategori Risiko Tinggi memiliki kemiripan dengan kategori Risiko Sedang, khususnya pada atribut *stok* dan *sisa hari kedaluwarsa*. Meskipun demikian, secara keseluruhan model tetap mampu mempertahankan nilai Accuracy sebesar 87,00%, sehingga dapat dikatakan memiliki performa yang baik dalam proses klasifikasi.

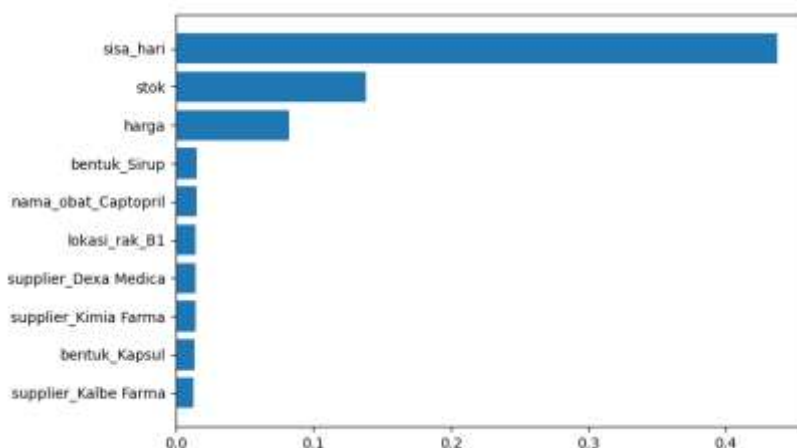


Gambar 1. Confusion Matrix Model Random Forest

Selain itu, nilai Precision sebesar 87,97% menunjukkan bahwa sebagian besar prediksi yang diberikan model sesuai dengan kondisi sebenarnya. Nilai Recall sebesar 87,00% juga menunjukkan bahwa model mampu mengenali sebagian besar data pada masing-masing kelas. Dengan demikian, Confusion Matrix memperlihatkan bahwa kesalahan klasifikasi masih berada pada tingkat yang dapat diterima untuk implementasi sebagai sistem pendukung keputusan.

F. Analisis Feature Importance

Selain mengevaluasi performa model, penelitian ini juga menganalisis kontribusi setiap atribut menggunakan metode Feature Importance yang disediakan oleh algoritma Random Forest.



Gambar 2. Feature Importance Random Forest

Hasil analisis menunjukkan bahwa atribut *sis_a_hari* merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap proses klasifikasi tingkat risiko obat kedaluwarsa. Hal ini menunjukkan bahwa semakin dekat suatu obat dengan tanggal kedaluwarsa, maka probabilitas obat tersebut masuk ke kategori Risiko Tinggi akan semakin besar.

Atribut *stok* menempati urutan kedua sebagai faktor yang memengaruhi hasil klasifikasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa jumlah stok yang masih tersimpan menjadi indikator penting dalam menentukan prioritas penanganan. Obat dengan stok tinggi dan *sis_a_hari* yang pendek memiliki potensi kerugian yang lebih besar dibandingkan obat dengan stok rendah.

Selanjutnya atribut *harga* memberikan kontribusi tambahan terhadap proses klasifikasi. Walaupun nilainya lebih kecil dibandingkan dua atribut utama, *harga* tetap memberikan informasi mengenai nilai ekonomi obat sehingga dapat membantu model dalam membedakan prioritas pengelolaan persediaan.

Sebaliknya, atribut seperti *supplier*, *bentuk obat*, *lokasi rak*, dan *nama obat* memiliki nilai *feature importance* yang relatif rendah. Hal ini menunjukkan bahwa atribut tersebut lebih berfungsi sebagai informasi pendukung dibandingkan faktor utama dalam menentukan tingkat risiko obat kedaluwarsa.

Temuan ini menunjukkan bahwa keputusan klasifikasi tidak hanya dipengaruhi oleh satu atribut, tetapi merupakan hasil kombinasi beberapa karakteristik data obat. Oleh karena itu, penggunaan algoritma Random Forest mampu memberikan interpretasi mengenai faktor-faktor yang memengaruhi proses pengambilan keputusan.

G. Perbandingan Penelitian Sebelumnya dan Penelitian yang Diusulkan

Untuk menunjukkan kontribusi penelitian, dilakukan perbandingan antara penelitian sebelumnya yang menggunakan metode ARIMA dengan penelitian yang dikembangkan menggunakan Random Forest.

Tabel 3. Perbandingan Penelitian Sebelumnya dan Penelitian yang Diusulkan

<i>Aspek</i>	<i>Penelitian Sebelumnya</i>	<i>Penelitian Ini</i>
Tujuan	Prediksi jumlah obat kedaluwarsa	Klasifikasi tingkat risiko obat kedaluwarsa
Algoritma	ARIMA	Random Forest
Pendekatan	Forecasting (time series)	Machine Learning Classification
Dataset	Data historis obat	Dataset sintetis (500 record)
Output	Prediksi jumlah obat	Risiko Tinggi, Sedang, Rendah
Evaluasi	MAPE/RMSE	Accuracy, Precision, Recall, F1-Score
Integrasi ML	Belum	Terintegrasi dalam Smart Monitoring
Pendukung Keputusan	Terbatas	Ya, melalui klasifikasi risiko

Berdasarkan perbandingan tersebut, terlihat bahwa penelitian ini memberikan pengembangan pada aspek metode maupun fungsi sistem. Metode ARIMA pada penelitian sebelumnya lebih sesuai untuk memprediksi jumlah obat yang akan kedaluwarsa berdasarkan data historis. Sebaliknya, algoritma Random Forest pada penelitian ini digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat risiko setiap item obat sehingga informasi yang dihasilkan lebih spesifik dan dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan.

Integrasi Random Forest juga memungkinkan sistem memberikan rekomendasi prioritas penanganan berdasarkan kategori risiko yang dihasilkan. Dengan demikian, sistem tidak hanya berfungsi sebagai media monitoring, tetapi juga berkembang menjadi Sistem Pendukung Keputusan (Decision Support System) yang dapat membantu tenaga kefarmasian dalam menentukan prioritas distribusi, penggunaan, maupun pengelolaan persediaan obat secara lebih efektif.

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan Sistem Smart Monitoring Obat Kedaluwarsa dengan mengintegrasikan algoritma Random Forest untuk melakukan klasifikasi tingkat risiko obat kedaluwarsa. Pengembangan dilakukan sebagai penyempurnaan dari sistem sebelumnya yang menggunakan metode *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) untuk prediksi jumlah obat kedaluwarsa. Berbeda dengan pendekatan sebelumnya, sistem yang dikembangkan mampu mengelompokkan setiap item obat ke dalam kategori Risiko Tinggi, Risiko Sedang, dan Risiko Rendah, sehingga memberikan informasi yang lebih spesifik dalam mendukung pengelolaan persediaan obat. Hasil pengujian menggunakan dataset sintetis sebanyak 500 record menunjukkan bahwa algoritma Random Forest memiliki performa yang baik dalam melakukan klasifikasi tingkat risiko obat. Model memperoleh nilai Accuracy sebesar 87,00%, Precision sebesar 87,97%, Recall sebesar 87,00%, dan F1-Score sebesar 86,80%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa model mampu memberikan hasil klasifikasi yang konsisten dan memiliki keseimbangan yang baik antara ketepatan prediksi dan kemampuan mengenali setiap kategori risiko. Analisis *Feature Importance* menunjukkan bahwa atribut *sisa_hari* merupakan faktor yang paling berpengaruh dalam proses klasifikasi, diikuti oleh atribut *stok* dan *harga*. Temuan ini menunjukkan bahwa tingkat risiko obat kedaluwarsa tidak hanya dipengaruhi oleh kedekatan tanggal kedaluwarsa, tetapi juga dipengaruhi oleh jumlah stok yang tersedia dan nilai ekonominya. Dengan demikian, integrasi beberapa atribut tersebut mampu meningkatkan kemampuan sistem dalam memberikan informasi yang lebih representatif untuk mendukung pengambilan keputusan. Implementasi algoritma Random Forest pada sistem Smart Monitoring memberikan nilai tambah dibandingkan sistem sebelumnya karena tidak hanya menampilkan informasi masa berlaku obat, tetapi juga menghasilkan klasifikasi tingkat risiko secara otomatis yang dapat digunakan sebagai dasar penentuan prioritas distribusi, penggunaan, maupun pengelolaan persediaan obat. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai media monitoring, tetapi juga sebagai Sistem Pendukung Keputusan (Decision Support System) yang dapat membantu tenaga kefarmasian dalam mengurangi potensi kerugian akibat obat kedaluwarsa. Penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena menggunakan dataset sintetis sebagai *proof of concept* untuk mengevaluasi implementasi algoritma. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan dataset

operasional dari apotek atau rumah sakit agar performa model dapat dievaluasi pada kondisi nyata. Selain itu, penelitian mendatang dapat membandingkan algoritma Random Forest dengan metode *Machine Learning* lainnya, seperti XGBoost, LightGBM, atau CatBoost, serta mengeksplorasi teknik optimasi hiperparameter untuk meningkatkan akurasi klasifikasi dan memperluas kemampuan sistem dalam mendukung pengelolaan persediaan obat.

Deklarasi Kepentingan

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan (*competing interests*) baik yang bersifat finansial maupun nonfinansial yang dapat memengaruhi pelaksanaan penelitian, analisis data, maupun penyusunan artikel ini.

Ketersediaan Data

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini merupakan dataset sintesis (*synthetic dataset*) yang disusun sebagai *proof of concept* untuk mengevaluasi implementasi algoritma Random Forest pada Sistem Smart Monitoring Obat Kedaluwarsa. Dataset disusun berdasarkan karakteristik umum pengelolaan persediaan obat dan tidak mengandung data pribadi maupun data operasional dari institusi kesehatan.

Dataset sintesis beserta kode program yang digunakan untuk proses pelatihan dan evaluasi model dapat disediakan oleh penulis kepada editor atau penelaah (*reviewer*) apabila diperlukan untuk keperluan verifikasi hasil penelitian.

Penggunaan Ai Dan Deklarasi Penggunaan Ai Generatif

Penulis menggunakan teknologi Artificial Intelligence (AI) generatif sebagai alat bantu dalam penyusunan naskah, khususnya untuk membantu perbaikan tata bahasa, penyusunan struktur penulisan, penyempurnaan kalimat akademik, serta memberikan masukan dalam pengembangan kode program dan dokumentasi penelitian. Seluruh hasil yang dihasilkan oleh AI telah ditinjau, diverifikasi, dan disunting kembali oleh penulis.

AI generatif tidak digunakan untuk menghasilkan, memanipulasi, atau memalsukan data penelitian, hasil eksperimen, analisis statistik, maupun kesimpulan ilmiah. Dataset sintesis, proses pelatihan model Random Forest, hasil evaluasi model, serta interpretasi hasil penelitian merupakan tanggung jawab penuh penulis. Penulis bertanggung jawab sepenuhnya atas isi akhir naskah yang diajukan untuk publikasi.

Daftar Pustaka

- [1] B. Sapkota, B. Pandey, A. Karki, and A. Malla, "Assessing the Indicators of Good Pharmacy Practice in Community Pharmacies: A Cross-Sectional Study," *Inq. J. Heal. Care Organ. Provision, Financ.*, vol. 61, Jan. 2024, doi: 10.1177/00469580241273254.
- [2] N. G. Adani and D. Oktianti, "Analisis Kesesuaian Pelayanan Farmasi Klinik di Apotek Sumber Waras Kota Salatiga terhadap Permenkes RI No 73 Tahun 2016: Analysis Of The Conformity Of Clinical Pharmacy Services At Sumber Waras Pharmacy, Salatiga City Towards The Regulation Of The Minis...", *J. Holistics Heal. Sci.*, vol. 7, no. 1, pp. 131–136, Mar. 2025, doi: 10.35473/JHHS.V7I1.566.
- [3] H. Budianto, L. N. Angraeni, N. H. Nabila, and M. Fikri, "Development and Quality Evaluation of a Web-Based Drug Inventory System for Pharmacy Management," *Nusant. J. Artif. Intell. Inf. Syst.*, vol. 2, no. 1, pp. 27–38, Jun. 2026, doi: 10.47776/NUAI.V2I1.1933.
- [4] X. Fang and H. C. Chen, "Using vendor management inventory system for goods inventory management in IoT manufacturing," *Enterp. Inf. Syst.*, vol. 16, no. 7, Jul. 2022, doi: 10.1080/17517575.2021.1885743.
- [5] G. E. P. . Box, G. M. . Jenkins, G. C. . Reinsel, and G. M. . Ljung, "Time series analysis : forecasting and control," 2016, Accessed: Jul. 11, 2026. [Online]. Available: https://books.google.com/books/about/Time_Series_Analysis.html?id=rNt5CgAAQBAJ.
- [6] B. Mambela, W. Rimalia, ; Rahmat, F. Syam, ; Muhammad, and N. Arafah, "Development of a Smart Drug Expiration Monitoring System Using Android Platform," *Integr. J. Pharm. Innov.*, vol. 1, no. 1, pp. 21–35, Jun. 2025, Accessed: Jul. 11, 2026. [Online]. Available: <https://journal.irmexdigika.com/index.php/ijpi/article/view/37>.
- [7] "Elements of Statistical Learning - Swarnalata Verma - Google Books." https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=25IIEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP10&dq=The+Elements+of+Statistical+Learning&ots=jJPYm-pWK6&sig=27dgIq-5Upka6aINKC84QPSgL-I&redir_esc=y#v=onepage&q=The+Elements+of+Statistical+Learning&f=false (accessed Jul. 11, 2026).
- [8] H. A. Salman, A. Kalakech, and A. Steiti, "Random Forest Algorithm Overview," *Babylonian J. Mach. Learn.*, vol. 2024, pp. 69–79, Jun. 2024, doi: 10.58496/BJML/2024/007.

- [9] Y. Itaya, J. Tamura, K. Hayashi, and K. Yamamoto, "Asymptotic Properties of Matthews Correlation Coefficient," *Stat. Med.*, vol. 44, no. 1–2, p. e10303, Jan. 2025, doi: 10.1002/SIM.10303;JOURNAL:JOURNAL:10970258;WGROU:STRING:PUBLICATION.