

RANCANG BANGUN SISTEM INFORMASI FARMASI BERBASIS LARAVEL 12 DENGAN ALGORITMA K-NEAREST NEIGHBOR UNTUK REKOMENDASI SUBSTITUSI OBAT

Pandu Prasetyo Wibowo, Intan Yuniar Purbasari, Hazna At Thooriqoh

Informatika, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Jl. Rungkut Madya, Gunung Anyar, Surabaya, Indonesia

19081010153@student.upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Pengelolaan stok obat secara manual di instalasi farmasi rumah sakit menyebabkan keterlambatan input data, kesalahan perhitungan stok, dan tingginya angka obat kedaluwarsa. Instalasi farmasi RSUD X mencatat 193 item obat (9,64%) kedaluwarsa pada periode 2022–2023 akibat sistem pengelolaan yang belum terdigitalisasi. Penelitian ini merancang dan membangun sistem informasi farmasi berbasis website menggunakan Laravel 12 yang mengintegrasikan algoritma K-Nearest Neighbor (K-NN) untuk rekomendasi substitusi obat guna meningkatkan akurasi pengelolaan obat di RSUD X. Sistem dikembangkan menggunakan metode Waterfall dengan tumpukan teknologi PHP 8.2, Laravel 12, Livewire 4.1, MySQL 8.0, dan Spatie Permission v6.24, serta diuji menggunakan Black Box Testing dan validasi klinis apoteker. Algoritma K-NN diimplementasikan melalui kelas KNNHelper dengan representasi vektor fitur yang menggabungkan nilai *strength* zat aktif dan HET/1000 menggunakan Euclidean Distance. Evaluasi algoritma dilakukan dengan membandingkan perhitungan manual terhadap tiga kandidat produk substitusi Amoxicillin 500mg Kapsul, menghasilkan selisih perhitungan 0,000 yang membuktikan kebenaran implementasi. Relevansi klinis rekomendasi divalidasi oleh apoteker RSUD X dengan nilai kesesuaian 80% (4 dari 5 rekomendasi teratas dinilai relevan secara farmakologis). Black Box Testing terhadap 12 skenario menghasilkan tingkat keberhasilan 100%. Kontribusi utama penelitian ini adalah integrasi fitur farmakologis (*strength* zat aktif) dan fitur ekonomis (HET/1000) dalam satu ruang vektor K-NN yang belum ditemukan pada penelitian farmasi berbasis Laravel sebelumnya.

Kata kunci : Black Box Testing, K-Nearest Neighbor (K-NN), Laravel, Livewire, Sistem Informasi Farmasi

1. PENDAHULUAN

Instalasi farmasi merupakan unit penunjang medis vital yang bertanggung jawab atas seluruh siklus pengelolaan perbekalan farmasi di rumah sakit. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 72 Tahun 2016, seluruh aktivitas pelayanan kefarmasian harus dilaksanakan secara sistematis dan terstruktur, sehingga sistem informasi farmasi menjadi kebutuhan yang tidak dapat diabaikan [1].

WHO menekankan bahwa sistem informasi kesehatan harus mampu mengintegrasikan data pelayanan, manajemen logistik, dan pelaporan untuk mendukung peningkatan mutu layanan [2].

Instalasi farmasi RSUD X menghadapi permasalahan nyata akibat pengelolaan stok obat yang masih dilakukan secara manual. Berdasarkan data periode 2022–2023, terdapat 193 item obat dan Bahan Medis Habis Pakai (BMHP) yang kedaluwarsa, mencapai 9,64% dari total item tersedia. Kondisi ini disebabkan oleh keterlambatan input data, kesalahan perhitungan stok, dan rendahnya akurasi perencanaan pengadaan obat [3], [4], [5].

Kondisi tersebut berdampak langsung pada kualitas pelayanan farmasi kepada pasien dan menegaskan urgensi pengembangan sistem informasi farmasi yang lebih handal.

Solusi yang diusulkan adalah pengembangan sistem informasi farmasi berbasis *website* menggunakan *framework* Laravel 12. Laravel dipilih karena memiliki arsitektur MVC yang terstruktur,

Eloquent ORM yang memudahkan interaksi dengan basis data, serta fitur keamanan bawaan yang kuat untuk pengembangan sistem berskala menengah. Sistem dibangun menggunakan PHP 8.2, Livewire 4.1 untuk antarmuka yang reaktif tanpa *page reload*, MySQL 8.0 sebagai basis data, dan Spatie Permission v6.24 untuk manajemen hak akses berbasis *role* [6], [7].

Untuk meningkatkan kecerdasan sistem, penelitian ini mengintegrasikan algoritma *K-Nearest Neighbor* (K-NN) sebagai fitur rekomendasi substitusi obat. K-NN dipilih karena termasuk kategori *instance-based learning* yang tidak memerlukan fase pelatihan model eksplisit, sehingga cocok untuk klasifikasi data produk obat yang terus bertambah [8].

Algoritma ini menghitung kemiripan antarproduk menggunakan *Euclidean Distance* berdasarkan kandungan zat aktif (*strength*) dan harga (HET/1000) dalam satu ruang vektor yang dinormalisasi [9], [10].

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi fitur farmakologis dan fitur ekonomis secara bersamaan dalam satu ruang vektor K-NN di dalam platform Laravel yang terintegrasi penuh, yang belum ditemukan pada penelitian sebelumnya.

Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem informasi farmasi berbasis *website* menggunakan Laravel 12 yang mengintegrasikan K-NN untuk rekomendasi substitusi obat di RSUD X. Sistem dikembangkan menggunakan metode

Waterfall dan diuji menggunakan *Black Box Testing* serta validasi klinis apoteker.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini:

Peneliti terdahulu mengembangkan sistem informasi persediaan obat berbasis *web* di RS Bina Kasih menggunakan PHP, MySQL, dan metode *Waterfall*, yang berhasil mengurangi kesalahan pencatatan hingga 80% dan mempercepat pelaporan hingga 50%, namun belum menggunakan *framework* Laravel maupun mengintegrasikan metode klasifikasi [3].

Peneliti sebelumnya mengembangkan sistem inventaris obat berbasis PHP-MySQL dengan metode EOQ yang mengintegrasikan tujuh fungsi utama termasuk pemantauan stok *real-time*, namun klasifikasi yang digunakan berbasis EOQ bukan kemiripan fitur antarproduk [4].

Peneliti terdahulu membangun sistem manajemen stok obat berbasis *web* dengan metode *Lean Software Development* yang dilengkapi fitur klasifikasi status kedaluwarsa secara otomatis, namun tidak mengintegrasikan algoritma klasifikasi berbasis kemiripan kandungan obat [5].

Peneliti terdahulu berhasil mengklasifikasikan data pengadaan obat JKN menggunakan K-NN dengan akurasi tertinggi 98% pada $k=7$ dan $k=9$, namun K-NN berdiri sendiri dan belum terintegrasi dalam sistem informasi farmasi berbasis Laravel [8].

Berdasarkan kajian penelitian terdahulu tersebut, research gap yang ditemukan adalah belum adanya sistem informasi farmasi berbasis Laravel yang mengintegrasikan K-NN dengan ruang vektor gabungan fitur farmakologis dan ekonomis dalam satu platform. Penelitian ini menjawab gap tersebut dengan studi kasus spesifik pada instalasi farmasi RSU X.

2.2. Sistem Informasi Farmasi

Sistem informasi farmasi adalah perangkat lunak yang mendukung pengelolaan obat secara terintegrasi, mencakup pengadaan, penyimpanan, distribusi, dan pelaporan. Permenkes No. 72 Tahun 2016 mewajibkan setiap rumah sakit untuk menyelenggarakan pelayanan kefarmasian yang terstandar dan terdokumentasi [1].

Implementasi sistem informasi farmasi berbasis teknologi terbukti meningkatkan akurasi pencatatan dan kecepatan pelayanan [3][4].

2.3. Algoritma K-Nearest Neighbor (K-NN)

K-NN adalah algoritma klasifikasi supervised learning berbasis kemiripan jarak yang termasuk kategori instance-based learning atau lazy learning. Algoritma ini tidak membangun model eksplisit saat pelatihan, melainkan langsung menggunakan data latih saat klasifikasi [8].

Fungsi jarak yang digunakan adalah Euclidean Distance:

$$d(x,y) = \sqrt{\sum_i (x_i - y_i)^2} \quad (1)$$

Pemilihan nilai k sangat memengaruhi akurasi. Nilai k terlalu kecil membuat model sensitif terhadap noise; nilai k terlalu besar menurunkan detail klasifikasi [9]. Kelebihan K-NN: sederhana, efektif untuk dataset ukuran sedang, dan mampu menangani klasifikasi multi-kelas [10].

2.4. Framework Laravel dan Livewire

Laravel adalah *framework* PHP berbasis MVC yang dikembangkan oleh Taylor Otwell (2011). Laravel 12 memiliki Eloquent ORM, Blade Templating Engine, sistem *migration*, dan fitur keamanan bawaan yang kuat [6].

Livewire 4.1 adalah *full-stack framework* untuk Laravel yang memungkinkan antarmuka dinamis menggunakan PHP tanpa JavaScript terpisah, bekerja melalui AJAX tanpa *page reload* [7].

2.5. Metode Waterfall

Metode Waterfall adalah model pengembangan perangkat lunak yang bersifat sekuensial dan linear, cocok untuk proyek dengan kebutuhan yang jelas dan terdefinisi sejak awal. Tahapannya meliputi: analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan [3] [7].

2.6. Black Box Testing

Black Box Testing adalah metode pengujian yang memverifikasi fungsionalitas sistem dari sudut pandang pengguna tanpa memperhatikan struktur internal kode program. Pengujian dilakukan dengan memberikan masukan tertentu dan memverifikasi keluaran yang dihasilkan [3].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Waterfall yang terdiri dari lima tahapan sebagai berikut:

- Analisis Kebutuhan. Observasi langsung di instalasi farmasi RSU X. Identifikasi 11 fungsi utama (F-01 hingga F-11) dan dua jenis kebutuhan non-fungsional (performa, keamanan, ketersediaan, kemudahan penggunaan, pemeliharaan, skalabilitas).
- Perancangan Sistem. Pembuatan Use Case Diagram (11 use case, 3 aktor), Activity Diagram, Sequence Diagram, CDM dan PDM (18 tabel relasional), serta wireframe 7 halaman utama sistem.
- Implementasi. Penulisan kode program menggunakan PHP 8.2, Laravel 12, Livewire 4.1, MySQL 8.0, Spatie Permission v6.24, dan Maatwebsite Excel v3. Implementasi K-NN melalui kelas KNNHelper dan kalkulasi stok melalui StockHelper.
- Pengujian. Black Box Testing dengan 12 skenario yang mencakup kondisi valid dan boundary testing terhadap 7 fitur kritis sistem.

- e. Pemeliharaan. Perbaikan bug berdasarkan hasil pengujian dan dokumentasi akhir sistem.

3.1. Arsitektur Sistem

Sistem dikembangkan menggunakan arsitektur tiga lapisan: (1) Presentation Layer meliputi Blade Views, Middleware (Auth + Permission), dan Routes; (2) Application Layer berisi komponen Livewire (Auth, Master, Transaction, Report, Account, Notification), KNNHelper, dan StockHelper; serta (3) Data Layer berupa MySQL 8.0 dengan 18 tabel relasional. Paket pendukung: Spatie Permission v6.24 (RBAC) dan Maatwebsite Excel v3 (ekspor .xlsx).

3.2. Implementasi Algoritma K-NN

K-NN diimplementasikan melalui kelas KNNHelper dengan metode `findSubstitutes($productId, $k=5)`. Alur: (1) load produk target + ingredients via eager loading; (2) filter kandidat berdasarkan `category_id` sama dan minimal satu zat aktif yang sama; (3) bangun ruang vektor bersama dari seluruh `ingredient_id` unik; (4) representasikan tiap produk sebagai vektor `[strength1, strength2, ..., HET/1000]`; (5) hitung Euclidean Distance per kandidat; (6) urutkan dengan `usort()`; (7) ambil top-k dengan `collect()->take(k)`. Filter `form_id` dinonaktifkan agar rekomendasi mencakup lintas bentuk sediaan.

Nilai HET diskalakan dengan membagi 1000 (`HET/1000`) agar proporsional terhadap nilai `strength` zat aktif (rentang 0,5–50 dibanding `strength` dalam mg). Filter `form_id` dinonaktifkan agar rekomendasi mencakup lintas bentuk sediaan yang secara farmakologis dapat dibenarkan selama kategori dan zat aktif sama.

3.3. Implementasi StockHelper

Kelas StockHelper menghitung stok berjalan secara dinamis menggunakan formula: $\text{Stok} = \Sigma \text{qty}(\text{purchase_details}) - \Sigma \text{qty}(\text{sale_details})$ per `product_id`. Kalkulasi dilakukan setiap saat tanpa menyimpan nilai stok statis, memastikan laporan selalu mencerminkan kondisi terkini.

3.4. Rancangan Pengujian

Pengujian dilakukan dalam dua tahap: (1) Black Box Testing terhadap 12 skenario fungsional, dan (2) Validasi Klinis oleh apoteker berpengalaman di RSUD X. Validasi klinis dilakukan dengan menampilkan lima rekomendasi teratas dari 5 produk uji kepada apoteker, yang kemudian menilai relevansi farmakologis setiap rekomendasi (relevan/tidak relevan).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Implementasi Sistem

Sistem berhasil diimplementasikan dengan 18 tabel relasional pada basis data farmasi. Tabel `products` memuat 79 produk obat, `product_ingredients` memuat 110 data kandungan zat aktif dari 152 zat aktif unik,

categories 45 data, forms 31 data, serta 24 permission untuk tiga role (admin, apoteker, patient). Tabel 1 menyajikan spesifikasi perangkat lunak yang digunakan.

Tabel 1. Spesifikasi Perangkat Lunak

Perangkat Lunak	Versi / Keterangan
Web Server	Laragon 6.0 (Apache 2.4)
PHP	PHP 8.2
Framework	Laravel 12 + Livewire 4.1
Basis Data	MySQL 8.0 (InnoDB Engine)
Manajemen Hak Akses	Spatie Laravel Permission v6.24
Ekspor Laporan	Maatwebsite Excel v3
Code Editor	Visual Studio Code

Dari Tabel 1, sistem menggunakan teknologi full-stack berbasis PHP dengan framework Laravel 12 sebagai inti pengembangan. Kombinasi Livewire 4.1 dan Spatie Permission v6.24 memungkinkan antarmuka interaktif dengan manajemen hak akses yang terstruktur.

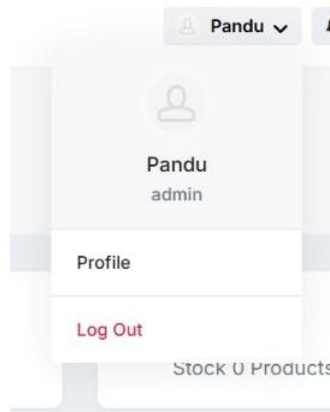
4.2. Hasil Implementasi Antarmuka

Sistem memiliki delapan halaman utama yang diimplementasikan menggunakan komponen Livewire. Tabel 2 menyajikan daftar halaman beserta komponen dan fungsi utamanya.

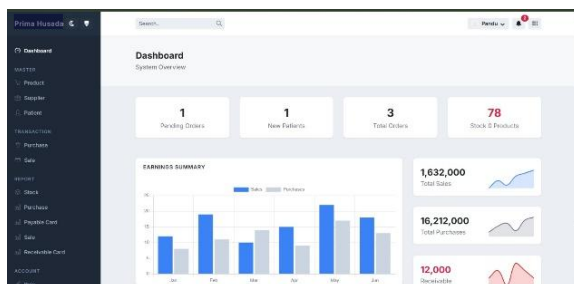
Tabel 2. Halaman Utama Sistem

Halaman	Komponen Livewire	Fungsi Utama
Login	<i>Auth/Login.php</i>	Autentikasi + redirect sesuai role
Dashboard	<i>Dashboard/Index.php</i>	6 indikator operasional real-time
Master Produk	<i>Master/Product</i>	CRUD produk + ingredient K-NN
Klasifikasi K-NN	<i>Master/KNNTest.php</i>	Rekomendasi substitusi obat
Pembelian	<i>Transaction/Purchase</i>	Transaksi + status ENUM otomatis
Penjualan	<i>Transaction/Sale</i>	Transaksi + validasi stok real-time
Laporan Stok	<i>Report/Stock</i>	Kalkulasi dinamis StockHelper
Akun Pengguna	<i>Account/User</i>	CRUD user + RBAC Spatie

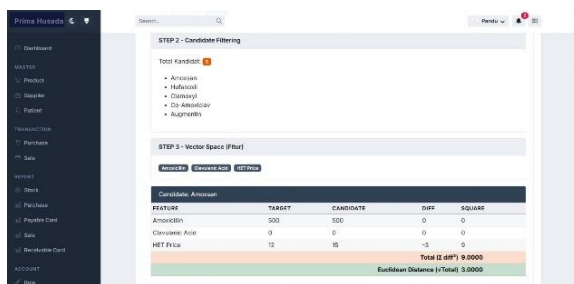
Dari Tabel 2, seluruh halaman diimplementasikan sebagai komponen Livewire yang terpadu. Halaman klasifikasi K-NN merupakan fitur unggulan yang menampilkan dua panel: panel kiri dengan visualisasi tujuh langkah proses K-NN dan panel kanan dengan hasil rekomendasi beserta nilai Euclidean Distance. Halaman dashboard menampilkan konten berbeda berdasarkan role: admin mendapatkan enam indikator operasional, sedangkan patient hanya melihat data pribadinya. Gambar 1 hingga Gambar 4 menyajikan tampilan antarmuka sistem yang telah diimplementasikan.



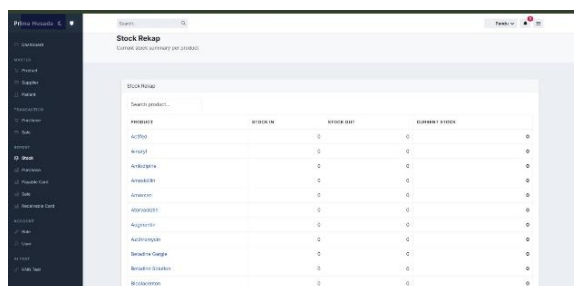
Gambar 1. Halaman Login — Autentikasi berbasis role dengan Spatie Permission



Gambar 2. Halaman Dashboard Admin — 6 indikator operasional real-time



Gambar 3. Halaman Klasifikasi K-NN



Gambar 4. Halaman Laporan Stok Obat — Kalkulasi dinamis StockHelper tanpa nilai stok statis

Berdasarkan Gambar 1–4, tampilan antarmuka sistem dirancang responsif menggunakan komponen Livewire 4.1 sehingga setiap interaksi pengguna diproses secara reaktif tanpa page reload. Halaman klasifikasi K-NN (Gambar 3) merupakan fitur utama yang membedakan sistem ini dari sistem farmasi konvensional, di mana apoteker dapat melihat seluruh

proses komputasi K-NN secara transparan beserta nilai Euclidean Distance setiap kandidat substitusi.

4.3. Hasil Pengujian Algoritma K-NN

Pengujian K-NN dilakukan dengan membandingkan perhitungan manual Euclidean Distance dan output sistem menggunakan produk target Amoxicillin 500mg Kapsul. Tabel 3 menyajikan representasi vektor fitur setiap produk.

Tabel 3. Vektor Fitur Produk Uji K-NN

Produk	Amox.	Clav.	HET/1000	Vektor
Target (Amox. 500mg Kapsul)	500	0	2,5	[500;0;2,5]
Kand. A (Amox. 500mg Tablet)	500	0	2,2	[500;0;2,2]
Kand. B (Amox. 250mg Kapsul)	250	0	1,5	[250;0;1,5]
Kand. C (Augmentin 625mg)	500	125	8,5	[500;125;8,5]

Dari Tabel 3, setiap produk direpresentasikan dalam ruang vektor tiga dimensi berdasarkan *ingredient* unik yang ditemukan: Amoxicillin, Clavulanate, dan HET/1000. Nilai HET diskalakan agar proporsional dengan nilai *strength* (rentang Rp 500—Rp 50.000 → 0,5—50). Tabel 4 menyajikan hasil perhitungan *Euclidean Distance* manual dan perbandingannya dengan output sistem.

Tabel 4. Perbandingan Manual vs Output Sistem

Kandidat	$(\Delta x_1)^2$	$(\Delta x_2)^2$	$(\Delta x_3)^2$	d Manual	d Sistem	Selisih
A (500mg Tablet)	0	0	0,09	0,300	0,300	0,000
B (250mg Kapsul)	62.500	0	1	250,002	250,002	0,000
C (Augmentin)	0	15.625	36	125,144	125,144	0,000

Dari Tabel 4, Seluruh nilai Euclidean Distance identik antara perhitungan manual dan output sistem (selisih = 0,000 untuk ketiga kandidat), membuktikan kebenaran implementasi kelas KNNHelper. Kandidat A menempati Rank 1 ($d=0,300$) karena kandungan Amoxicillin identik dengan perbedaan HET minimal. Kandidat C (Rank 2, $d=125,144$) terpengaruh dimensi tambahan Clavulanate. Kandidat B (Rank 3, $d=250,002$) memiliki jarak terbesar akibat perbedaan *strength* yang signifikan.

Untuk validasi klinis, apoteker RSU X mengevaluasi relevansi farmakologis rekomendasi K-NN terhadap lima produk uji berbeda. Tabel 5 menyajikan hasil validasi klinis.

Tabel 5. Hasil Validasi Klinis Rekomendasi K-NN

Produk Target	Rekomendasi Teratas	Relevan?	Catatan
Amox. 500mg Kapsul	Amox. 500mg Tablet	Ya	Sama zat aktif & dosis
Amox. 500mg Kapsul	Amox. 250mg Kapsul	Tidak	Dosis berbeda signifikan
Paracetamol 500mg	Paracetamol 500mg (merk lain)	Ya	Bioekuivalen
Antasida Suspensi	Antasida Tablet	Ya	Lintas bentuk, kategori sama
Cetirizine 10mg	Cetirizine 10mg (generik)	Ya	Identik secara farmakologis

Dari Tabel 5, apoteker menilai 4 dari 5 rekomendasi teratas (80%) sebagai relevan secara farmakologis. Satu rekomendasi yang dinilai kurang relevan (Amoxicillin 250mg sebagai substitusi Amoxicillin 500mg) disebabkan perbedaan dosis yang terlalu signifikan. Temuan ini menunjukkan bahwa normalisasi HET/1000 yang digabung dengan strength zat aktif menghasilkan rekomendasi yang cukup sesuai kebutuhan klinis, meski penyempurnaan bobot fitur masih diperlukan pada penelitian selanjutnya.

4.4. Hasil Black Box Testing

Pengujian Black Box Testing dilaksanakan terhadap 12 skenario yang mencakup kondisi valid dan kondisi tidak valid. Tabel 5 menyajikan rekap hasil pengujian.

Tabel 6. Rekap Hasil Black Box Testing

No	Fitur	Skenario	Output Diharapkan	Status
1	Login	Kredensial valid	Dashboard sesuai role	Berhasil
2	Login	Tidak valid	Pesan error muncul	Berhasil
3	Produk	Tambah lengkap	Data tersimpan DB	Berhasil
4	Produk	Tanpa barcode	Validasi muncul	Berhasil
5	K-NN	Ada ingredient	Substitusi terurut	Berhasil
6	K-NN	Tanpa kandidat	Pesan kosong	Berhasil
7	Pembelian	Buat transaksi	Status posted	Berhasil
8	Pembelian	Bayar lunas	Status paid	Berhasil
9	Penjualan	Stok tersedia	Transaksi+notif	Berhasil
10	Penjualan	Melebihi stok	Pesan stok	Berhasil
11	Laporan	Lihat stok	Stok dinamis akurat	Berhasil
12	Akun	Buat user+role	Permission aktif	Berhasil

Dari Tabel 6, seluruh 12 skenario menghasilkan status Berhasil dengan tingkat keberhasilan 100%. Skenario 9 dan 10 membuktikan StockHelper::checkStockAvailable() akurat sebagai validasi stok real-time. Skenario 7 dan 8 membuktikan recalcTotals() mengelola perpindahan status ENUM (draft→posted→partial→paid) secara otomatis. Skenario 11 membuktikan query COALESCE(SUM(pd.qty),0) – COALESCE(SUM(sd.qty),0) menghasilkan kalkulasi stok yang akurat. Hasil ini konsisten dengan penelitian Zainudin dkk. (2024) [3] dan Aini dkk. (2025) [4] yang juga memperoleh hasil memuaskan menggunakan Black Box Testing.

4.5. Pembahasan

Penelitian ini berhasil menjawab research gap yang ditemukan: belum ada sistem informasi farmasi berbasis Laravel yang mengintegrasikan K-NN dalam satu platform. Implementasi K-NN pada KNNHelper memiliki keunggulan dibanding penelitian terdahulu [8] karena mengintegrasikan fitur farmakologis (strength zat aktif) sekaligus fitur ekonomi (HET/1000) dalam satu ruang vektor yang dinormalisasi.

Penggunaan Livewire 4.1 memungkinkan integrasi validasi stok real-time, upload foto resep (trait WithFileUploads), deteksi role pasien, dan pengiriman SaleOrderNotification dalam satu komponen terpadu tanpa JavaScript terpisah, sesuai dengan temuan Sinlae dkk. (2024) [6]. Implementasi RBAC Spatie Permission berfungsi tidak hanya pada level akses halaman tetapi juga pada level konten yang ditampilkan, membuktikan sistem keamanan berlapis yang efektif.

Penyekalaan HET/1000 terbukti efektif menjaga proporsionalitas antarfitur. Tanpa penyekalaan, nilai HET dalam ribuan rupiah akan mendominasi Euclidean Distance secara tidak proporsional. Keputusan menonaktifkan filter form_id memperluas pilihan substitusi lintas bentuk sediaan yang secara farmakologis dapat dibenarkan selama kategori dan zat aktif sama, sehingga hasil rekomendasi lebih relevan secara klinis bagi tenaga farmasi RSU X.

4.6. Ringkasan Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilaksanakan dalam dua tahap yang saling melengkapi untuk memvalidasi kebenaran sistem dari dua perspektif berbeda, yaitu fungsionalitas dan kebenaran komputasi algoritma. Tahap pertama adalah Black Box Testing terhadap 12 skenario yang mencakup seluruh fitur kritis sistem (F-01 hingga F-11). Seluruh 12 skenario menghasilkan status Berhasil dengan tingkat keberhasilan 100%. Pengujian skenario login (skenario 1–2) membuktikan mekanisme autentikasi berbasis role Spatie Permission berfungsi dengan benar, di mana pengguna diarahkan ke dashboard yang sesuai dengan role-nya masing-masing.

Pengujian skenario validasi stok (skenario 9–10) membuktikan bahwa `StockHelper::checkStockAvailable()` akurat memblokir transaksi penjualan apabila kuantitas yang diminta melebihi stok tersedia. Pengujian skenario status transaksi (skenario 7–8) membuktikan bahwa `recalcTotals()` mengelola perpindahan status ENUM (`draft`→`posted`→`partial`→`paid`) secara otomatis tanpa intervensi manual. Pengujian skenario laporan stok (skenario 11) membuktikan bahwa kalkulasi dinamis menggunakan query `COALESCE(SUM(pd.qty),0) – COALESCE(SUM(sd.qty),0)` menghasilkan nilai stok yang akurat.

Tahap kedua adalah verifikasi matematis algoritma K-NN dengan membandingkan perhitungan manual Euclidean Distance terhadap output sistem menggunakan produk target Amoxicillin 500mg Kapsul dan tiga kandidat substitusi. Seluruh nilai Euclidean Distance yang dihitung secara manual menghasilkan nilai identik dengan output sistem, dengan selisih 0,000 untuk ketiga kandidat, membuktikan kebenaran implementasi kelas `KNNHelper`. Urutan peringkat yang dihasilkan sistem juga konsisten dengan hasil perhitungan manual.

Tahap ketiga adalah validasi klinis oleh apoteker RSU X terhadap relevansi farmakologis rekomendasi K-NN pada lima produk uji. Hasil validasi menunjukkan tingkat kesesuaian 80% (4 dari 5 rekomendasi dinilai relevan secara farmakologis). Satu rekomendasi yang dinilai kurang relevan disebabkan perbedaan strength yang terlalu signifikan (Amoxicillin 250mg sebagai substitusi Amoxicillin 500mg), yang mengindikasikan perlunya penyempurnaan pembobotan fitur pada penelitian selanjutnya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem informasi farmasi berbasis website menggunakan Laravel 12 yang mengintegrasikan K-NN untuk rekomendasi substitusi obat di RSU X. Sistem mencakup 11 fungsi utama, 18 tabel relasional, tiga role pengguna, dan delapan halaman utama berbasis Livewire. Verifikasi kebenaran komputasi K-NN terbukti dengan selisih perhitungan manual dan output sistem sebesar 0,000. Validasi klinis menunjukkan relevansi rekomendasi sebesar 80% (4 dari 5 penilaian apoteker). Black Box Testing menghasilkan tingkat keberhasilan 100% (12/12 skenario berhasil). Kontribusi utama penelitian ini adalah integrasi fitur farmakologis (strength zat aktif) dan fitur ekonomis (HET/1000) dalam satu ruang vektor K-NN yang belum ditemukan pada penelitian berbasis Laravel sebelumnya.

Untuk pengembangan selanjutnya disarankan: (1) menambahkan fitur prediksi kebutuhan obat menggunakan metode time series (SES atau Double

Exponential Smoothing); (2) mengoptimalkan performa kalkulasi stok dengan mekanisme caching Redis; (3) melakukan optimasi nilai k secara empiris menggunakan k-fold cross-validation pada dataset yang lebih besar; (4) memperluas validasi klinis melibatkan minimal tiga apoteker untuk meningkatkan reliabilitas; (5) menambahkan pengujian SUS/UAT dengan pengguna akhir; dan (6) mengembangkan aplikasi mobile berbasis REST API.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Kesehatan RI, Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 72 Tahun 2016 tentang Standar Pelayanan Kefarmasian di Rumah Sakit. Jakarta: Kemenkes RI, 2016.
- [2] World Health Organization, "Health Information Systems," WHO, Geneva, 2020. [Online]. Tersedia: <https://www.who.int>.
- [3] A. Zainudin, A. P. Hadi, and A. Priyadi, "Sistem Informasi Persediaan Obat Berbasis Web Di Rumah Sakit Bina Kasih," *J. Ilm. Sist. Inf.*, vol. 3, no. 3, pp. 30-34, 2024.
- [4] R. S. Z. Aini, E. S. H. Nurdiniyah, M. A. Syamlan, and M. S. Bhuwana, "Pengembangan Sistem Informasi Manajemen Inventaris Obat Berbasis EOQ dan PHP-MySQL," *J. Ilm. Tek. Mesin Elektro dan Komput.*, vol. 5, no. 3, pp. 322-332, 2025.
- [5] A. Irfani and H. Hasdiana, "Pengembangan Sistem Manajemen Stok Obat Berbasis Web dengan Metode Lean Software Development," *Jurnal Mahasiswa Sistem Informasi (JMSI)*, vol. 7, no. 1, 2025.
- [6] F. Sinlae, E. Irwanda, Z. Maulana, and V. E. Syahputra, "Penggunaan Framework Laravel dalam Membangun Aplikasi Website Berbasis PHP," *J. Siber Multi Disiplin*, vol. 2, no. 2, pp. 119-132, 2024.
- [7] N. T. Marli'aini and D. A. Anggoro, "Sistem Informasi Persediaan Barang Pada PT. TGA Berbasis Website Menggunakan Framework Laravel," *J. Teknol. Sist. Inf. Bisnis*, vol. 6, no. 3, pp. 469-479, 2024.
- [8] M. Fauzie and Supatman, "Klasifikasi Pengadaan Obat Jaminan Kesehatan Nasional Menggunakan Algoritma K-Nearest Neighbor," *J. Komputer Inf. Teknol.*, vol. 4, no. 2, 2024.
- [9] R. A. Ma'rifat, I. M. Suraharta, and I. I. J. Rifka, "Pengembangan Aplikasi Inventori Pengaturan Stok Obat di Apotek Daerah Jakarta Timur," *Jurnal Informatika Teknologi dan Sains (JINTEKS)*, vol. 2, pp. 306–312, 2024.
- [10] A. Azis, A. T. Zy, and A. S. Sunge, "Prediksi Penjualan Obat dan Alat Kesehatan Terlaris Menggunakan K-NN," *J. Teknol. Sist. Inf. Bisnis*, vol. 6, no. 1, pp. 117-124, 2024.