

Pengembangan Website Manajemen Perpustakaan Berbasis Data Realtime dan Klasifikasi Peminjaman

Fadly Kurniawan¹, Mario Raditya Nugroho², Rayhan Ananda Hafiz Pradipta³,
Muhammad Rahmat Maryadi⁴, Aditya Wicaksono^{5*}, Muhammad Nasir⁶

¹⁻⁶Program Studi Teknologi Rekayasa Perangkat Lunak, Sekolah Vokasi,
IPB University, Jawa Barat, Indonesia

Email: ¹dlyyfadly@apps.ipb.ac.id, ²marioraditya@apps.ipb.ac.id, ³rayhan_ananda@apps.ipb.ac.id,
⁴muhammaryadi@apps.ipb.ac.id, ^{5*}adityawicaksono@apps.ipb.ac.id, ⁶m_nasir@apps.ipb.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem manajemen perpustakaan berbasis web dengan menerapkan metode pengembangan perangkat lunak *waterfall*. Latar belakang penelitian ini adalah masih banyaknya sistem perpustakaan di Indonesia yang dikelola secara manual sehingga menghambat efisiensi dan akurasi pencatatan data. Sistem yang dikembangkan dirancang untuk mendukung pengelolaan data secara *real-time* serta menampilkan visualisasi klasifikasi perilaku peminjaman pengguna melalui *dashboard* interaktif. Proses pengembangan dilakukan melalui lima tahap, yakni analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan. Fitur utama sistem meliputi pencatatan transaksi, klasifikasi pengguna berbasis aturan menggunakan parameter frekuensi peminjaman dan total denda, serta visualisasi data menggunakan *Chart.js*. Hasil pengujian *black-box* terhadap 200 entri data menunjukkan tingkat keberhasilan fungsional sebesar 99,09% dengan rata-rata waktu respons 1,27 detik. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan data dan mendukung pengambilan keputusan pustakawan secara cepat. Penelitian ini juga merekomendasikan integrasi algoritma *machine learning* pada tahap berikutnya untuk menghasilkan klasifikasi yang lebih adaptif.

Kata kunci: klasifikasi, dashboard, perpustakaan, realtime, waterfall, website

Abstract

This study aims to develop a web-based library management system by applying the Waterfall software development method. The background of this study is that many library systems in Indonesia are still managed manually, which hinders data recording efficiency and accuracy. The developed system is designed to support real-time data management and display visualizations of user borrowing behavior classifications through an interactive dashboard. The development process was carried out in five stages, namely requirements analysis, design, implementation, testing, and maintenance. The main features of the system include transaction recording, rule-based user classification using borrowing frequency and total fines parameters, and data visualization using *Chart.js*. Black-box testing of 200 data entries showed a functional success rate of 99.09% with an average response time of 1.27 seconds. This study shows that the system can improve data management efficiency and support quick decision-making by librarians. This study also recommends the integration of machine learning algorithms in the next stage to produce more adaptive classifications.

Keywords: classification, dashboard, library, real-time, waterfall, website

This work is an open access article and licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)



1. PENDAHULUAN

Perpustakaan sebagai pusat sumber pengetahuan memegang peran krusial dalam mendukung aktivitas akademik dan literasi masyarakat. Namun, banyak institusi pendidikan di Indonesia masih mengandalkan sistem manual untuk pengelolaan transaksi peminjaman, pencatatan data, dan analisis perilaku pengguna. Praktik ini rentan terhadap kesalahan *human error*, lambatnya akses informasi, serta ketidakmampuan dalam menghasilkan wawasan strategis berbasis data [1], [2]. Transformasi digital menjadi solusi yang tak terelakkan, terutama dengan meningkatnya kebutuhan akan sistem yang mampu mengintegrasikan pengelolaan data *realtime* dan analisis pola pengguna secara otomatis.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem manajemen perpustakaan berbasis web. Misalnya studi yang dilakukan oleh Nurhayati dkk. (2023) dan Luthfi Asari dkk. (2025) menunjukkan bahwa adopsi sistem berbasis *web* dapat meningkatkan efisiensi operasional perpustakaan hingga 40% dibandingkan metode konvensional, sekaligus mengurangi waktu pencarian buku dari rata-rata 15 menit menjadi kurang dari 1 menit [3], [4]. Meskipun demikian, sebagian besar sistem tersebut masih beroperasi menggunakan pendekatan *batch processing*, di mana data diperbarui secara berkala (periodik) dan tidak secara langsung. Kondisi ini dapat menimbulkan ketidaksesuaian antara data di sistem dengan kondisi aktual di lapangan, seperti status ketersediaan buku atau pencatatan denda yang tidak segera tercatat.

Perbedaan antara *real-time* dan *batch processing* terletak pada cara data diproses dan diperbarui. *Real-time processing* memungkinkan setiap perubahan data, seperti transaksi peminjaman dan pengembalian buku, langsung tercermin pada sistem tanpa penundaan. Sebaliknya, *batch processing* menunda pembaruan hingga waktu tertentu (misalnya harian atau mingguan), sehingga informasi yang tampil dapat tertinggal dari kondisi sebenarnya. Dalam konteks aktivitas pustakawan, kemampuan *real-time* memungkinkan pengawasan langsung terhadap ketersediaan koleksi, pelacakan peminjaman, dan pengelolaan denda secara lebih responsif. Pengembangan sistem dengan dukungan pembaruan *real-time* memerlukan perancangan yang terstruktur dan terdokumentasi dengan baik agar setiap komponen dapat terintegrasi secara konsisten. Berdasarkan pertimbangan tersebut, metode *waterfall* dipilih sebagai pendekatan pengembangan sistem.

Metode *waterfall* dinilai tepat untuk pengembangan sistem perpustakaan karena kebutuhan sistem telah terdefinisi jelas sejak awal. Studi oleh Nurhayati dkk. (2023) pada SMK Negeri 1 Seputih Agung membuktikan bahwa penerapan *waterfall* menghasilkan sistem dengan tingkat keberhasilan fungsional 95% setelah melalui tahap pengujian *blackbox* [3]. Keunggulan metode ini terletak pada dokumentasi yang terstruktur, alur kerja sistematis, dan kemudahan pemeliharaan sistem pasca-implementasi [5]. Meskipun demikian, tantangan utama terletak pada keterbatasan fleksibilitas tahapan *waterfall* yang kurang mampu merespons perubahan kebutuhan mendadak. Namun, dalam konteks perpustakaan dengan lingkup stabil, metode ini tetap efektif untuk memastikan pengembangan sistem sesuai jadwal dan anggaran [2]. Integrasi data *realtime* menjadi aspek krusial dalam sistem modern. Penelitian oleh Luthfi Asari dkk. (2023) di MTs Ma'hid Kudus menunjukkan bahwa pembaruan data secara langsung mampu mengurangi kesalahan pencatatan hingga 30% dan memangkas waktu pemrosesan transaksi dari 10 menit menjadi kurang dari 1 menit [4]. Teknologi ini memungkinkan pustakawan memantau ketersediaan buku, riwayat peminjaman, dan status pengembalian secara instan, sehingga meningkatkan responsivitas layanan. Selain itu, visualisasi data interaktif melalui *dashboard* memudahkan identifikasi tren peminjaman bulanan atau preferensi buku populer, yang menjadi dasar pengambilan keputusan manajerial [6].

Peningkatan efisiensi berbasis data juga membuka peluang strategis melalui analisis perilaku pengguna, terutama dalam klasifikasi pola peminjaman yang cerdas dan adaptif. Supriatman (2021) mendemonstrasikan penggunaan TF-IDF dan K-NN untuk klasifikasi judul penelitian dosen dengan akurasi 90,7% ($k=4$), didukung proses *text mining* seperti *tokenizing* dan *stemming*, sebuah metode yang berpotensi untuk adaptasi pada koleksi perpustakaan [7]. Sementara itu, penelitian kualitatif oleh Rohmaniyah & Lizanett (2024) menyoroti implementasi sistem klasifikasi yang mapan, yaitu E-DDC untuk koleksi umum dan pedoman SKB Kemenag (2×0) khusus untuk koleksi Islam, sesuai arahan perpustakaan pusat. Dengan analisis subjek klasifikasi berdasarkan judul bahan pustaka [8]. Dengan demikian, optimalisasi pengorganisasian informasi dan kemudahan akses melalui berbagai pendekatan klasifikasi ini menjadi urgensi yang mendasari perlunya pengembangan sistem manajemen perpustakaan yang lebih adaptif dan terintegrasi. Dalam konteks tersebut, penerapan klasifikasi pengguna diperlukan untuk membantu pustakawan memahami pola perilaku peminjaman, seperti tingkat keaktifan dan kepatuhan terhadap pengembalian buku. Informasi ini dapat digunakan untuk menyesuaikan strategi layanan, misalnya dalam pemberian rekomendasi atau pengingat otomatis bagi pengguna tertentu. Dengan demikian, sistem tidak hanya mengelola data transaksi, tetapi juga memberikan dukungan analisis yang membantu pengambilan keputusan manajerial.

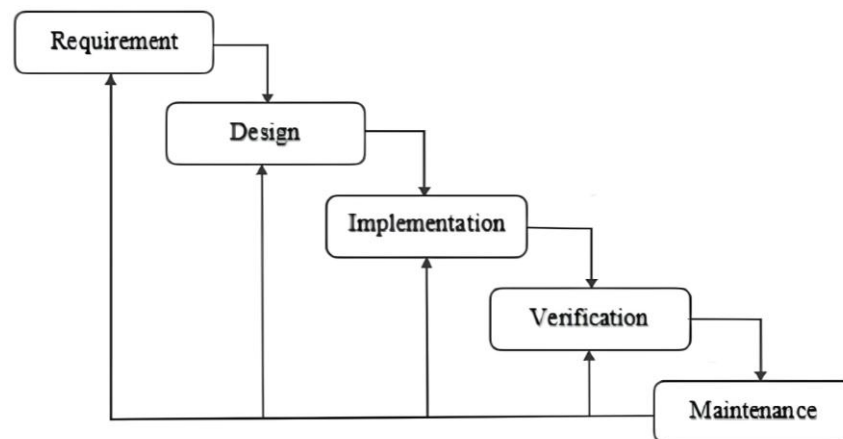
Berdasarkan urgensi tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem manajemen perpustakaan berbasis *web* dengan tiga pilar utama: (1) penerapan metode *waterfall* untuk memastikan

alur pengembangan terstruktur, (2) integrasi data *realtime* untuk meningkatkan akurasi dan kecepatan layanan, serta (3) klasifikasi pengguna berbasis parameter peminjaman guna mendukung keputusan strategis. Diharapkan sistem ini tidak hanya menjadi solusi teknis, tetapi juga kontribusi ilmiah dalam memperkaya studi sistem informasi perpustakaan di Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan model pengembangan perangkat lunak *waterfall*, yaitu pendekatan berurutan di mana setiap tahap dalam proses pengembangan dilakukan secara sistematis, mulai dari analisis kebutuhan hingga pemeliharaan sistem. Model ini juga dikenal sebagai *sequential linear model* karena alurnya bergerak satu arah, seperti air terjun, dari satu tahap ke tahap berikutnya tanpa adanya perulangan [9].

Model ini dipilih karena cocok untuk proyek dengan ruang lingkup yang jelas dan kebutuhan sistem yang relatif stabil. Selain itu, *waterfall* mendukung struktur kerja yang teratur serta memudahkan dalam pengelolaan waktu dan sumber daya proyek [10]. Alur pengembangan sistem ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Pengembangan dengan Model *Waterfall*

2.1. Analisis Kebutuhan

Tahapan awal pengembangan sistem difokuskan pada identifikasi dan pengumpulan kebutuhan melalui observasi serta wawancara dengan tiga ahli, yaitu kepala perpustakaan, koordinator literasi, dan pustakawan digital dan media. Hasil analisis kemudian digunakan untuk merumuskan kebutuhan fungsional (pencatatan, pelaporan) dan non-fungsional (respon waktu, keamanan, aksesibilitas), yang didokumentasikan sebagai acuan sistem [11].

2.2 Desain Sistem

Desain sistem adalah suatu gambar, rencana, maupun pembuatan sketsa yang mengatur unsur suatu individu menjadi satu kesatuan fungsional yang terintegrasi [12]. Tahapan ini mencakup perancangan arsitektur sistem, antarmuka pengguna, dan struktur basis data.

a. Perancangan Arsitektur Sistem

Sistem dirancang menggunakan pola desain berlapis (*layered architecture*) yang memisahkan antara lapisan presentasi (antarmuka pengguna), lapisan logika bisnis (proses peminjaman, klasifikasi), dan lapisan data (basis data *MySQL*). Arsitektur ini mendukung pemisahan tanggung jawab (*separation of concerns*) dan memudahkan pemeliharaan serta pengembangan lebih lanjut.

b. Perancangan Antarmuka Pengguna

Antarmuka pengguna dirancang dengan prinsip desain responsif untuk memastikan sistem dapat diakses dengan nyaman pada berbagai perangkat (desktop, tablet, dan ponsel pintar).

Desain antarmuka ini memfokuskan pada kemudahan navigasi dan penyajian informasi yang jelas. Visualisasi data dilakukan menggunakan *Chart.js*, yang memungkinkan data ditampilkan dalam bentuk grafik garis dan diagram pie.

c. Desain Basis Data

Struktur basis data dibuat untuk mendukung integritas dan efisiensi dalam pengelolaan data transaksi dan informasi pengguna. Tabel-tabel utama yang digunakan meliputi: *Books*, *Users*, *Status*, dan *History*, beserta relasi-relasinya. Relasi ini memungkinkan pelacakan status peminjaman dan pengelompokan data berdasarkan peran atau kategori pengguna. Struktur ini digambarkan secara menyeluruh dalam bentuk *Entity Relationship Diagram* (ERD).

2.3 Implementasi

Pada tahap implementasi, desain sistem diterjemahkan ke dalam kode program menggunakan bahasa pemrograman *PHP* dan *MySQL* sebagai basis data, sebagaimana juga diterapkan dalam sistem perpustakaan berbasis *web* pada Fakultas Saintek UINSU untuk menunjang efisiensi dan kemudahan pengelolaan data layanan [13]. Implementasi ini mencakup pengembangan fitur utama yang terdiri dari:

a. Pengembangan *Dashboard*

Dashboard adalah fitur utama sistem yang menyajikan informasi peminjaman dalam bentuk visual yang interaktif. Pengguna dapat melihat statistik peminjaman bulanan, buku yang paling sering dipinjam, dan pola peminjaman dari anggota. *Dashboard* ini memanfaatkan *Chart.js* untuk visualisasi data yang jelas dan mudah dipahami.

b. Pengembangan klasifikasi Pengguna

Sistem ini menerapkan algoritma klasifikasi berbasis aturan (*rule-based classification*) untuk mengkategorikan pengguna berdasarkan dua parameter utama, yaitu frekuensi peminjaman buku (f) dan total denda keterlambatan (d). Klasifikasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi perilaku pengguna dalam aktivitas perpustakaan, sehingga pustakawan dapat membedakan antara pengguna yang aktif, pasif, dan berisiko.

$$\text{Kategori klasifikasi} = C(x_i) = f(f_i, d_i)$$

Keterangan sebagai berikut:

- x_i = pengguna ke- i
- f_i = frekuensi peminjaman buku oleh pengguna ke- i
- d_i = total denda keterlambatan pengguna ke- i
- $C(x_i)$ = kategori klasifikasi yang dihasilkan sistem untuk pengguna ke- i

Berdasarkan persamaan tersebut, setiap pengguna diklasifikasikan ke dalam kategori tertentu sesuai dengan intensitas peminjaman dan jumlah denda yang dimilikinya.

c. Integrasi *Realtime*

Sistem dirancang untuk memperbarui data secara *realtime*, terutama pada aktivitas transaksi peminjaman dan pengembalian buku. Integrasi ini menerapkan konsep *server-side* data synchronization menggunakan kombinasi antara *AJAX* (*Asynchronous JavaScript* and *XML*) di sisi klien dan script *PHP* dinamis di sisi server. Ketika terjadi transaksi, *modul event listener* pada sisi server secara otomatis memproses pembaruan data ke basis data dan mengirimkan respons *JSON* yang langsung diambil oleh *AJAX*. Dengan mekanisme ini, perubahan status buku atau peminjaman dapat langsung ditampilkan pada *dashboard* pustakawan maupun halaman pengguna.

Untuk menjaga konsistensi data, sistem menerapkan validasi dua arah, setiap transaksi diverifikasi oleh server sebelum pembaruan ditulis ke basis data. Selain itu, sistem menggunakan *time-stamp logging* untuk memastikan bahwa data terakhir yang tampil di klien merupakan data paling mutakhir dari server. Pendekatan ini menjadikan proses integrasi data berjalan sinkron dan responsif, sekaligus mencegah ketidaksesuaian data (*data inconsistency*) antara sisi pengguna dan server.

2.4. Pengujian

Pengujian dalam penelitian ini dilakukan untuk memastikan bahwa fitur klasifikasi pengguna yang divisualisasikan dalam bentuk diagram pie berjalan sesuai dengan kebutuhan dan spesifikasi sistem. Metode yang digunakan adalah *blackbox testing* dengan pendekatan *functional testing*. Pengujian ini bertujuan untuk memeriksa apakah sistem mampu menghasilkan keluaran yang sesuai berdasarkan masukan yang diberikan, tanpa perlu melihat kode program di dalamnya [14].

Functional testing merupakan jenis pengujian *blackbox* yang memvalidasi apakah setiap fungsi sistem berjalan sesuai dengan spesifikasi tanpa mengetahui struktur kode di dalamnya [15], [16]. Fokus pengujian adalah proses klasifikasi perilaku peminjaman berdasarkan data transaksi, termasuk bagaimana sistem merespons saat data tidak tersedia. Pengujian dilakukan melalui beberapa skenario untuk memastikan semua komponen sistem berfungsi sebagaimana mestinya. Rincian skenario dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Skenario Pengujian klasifikasi

No	Skenario Uji	Masukan	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan
1	Proses klasifikasi	Data transaksi peminjaman pengguna	Input peminjaman dengan beberapa kondisi	Sistem berhasil mengklasifikasikan pengguna ke dalam kategori yang sesuai.
2	Visualisasi Diagram Pie	Hasil klasifikasi	Menampilkan diagram pie	Diagram pie menampilkan proporsi pengguna dalam setiap klasifikasi dengan benar
3	Label Diagram Pie	Hasil klasifikasi	Menampilkan label pada diagram pie	Setiap sektor diagram pie memiliki label yang sesuai dengan nama klasifikasi
4	Pembaruan Data	Data transaksi diperbarui	Input peminjaman dengan beberapa kondisi	Diagram pie diperbarui sesuai dengan data terbaru

Tingkat kesesuaian pengujian dihitung untuk menggambarkan performa sistem dalam memenuhi skenario pengujian yang dirancang. Rumusnya sebagai berikut:

$$\text{Tingkat Kesesuaian} = \left(\frac{\text{Jumlah Pengujian yang Berhasil}}{\text{Jumlah Skenario}} \right) \times 100\%$$

Perhitungan ini digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana sistem mampu menjalankan fungsi-fungsi yang telah ditentukan dalam skenario pengujian. Semakin tinggi tingkat kesesuaian, semakin baik sistem dalam memenuhi ekspektasi fungsional berdasarkan kebutuhan yang telah ditetapkan.

2.5. Pemeliharaan

Setelah tahap pengujian selesai dan sistem dinyatakan layak untuk digunakan, tahap pemeliharaan dimulai. Sistem diserahkan kepada pengguna bersama dokumentasi teknis berisi panduan penggunaan dan perawatan. Pemeliharaan dilakukan secara rutin untuk memastikan sistem tetap berfungsi dengan baik dan memperbaiki masalah yang muncul. Perbaikan atau pembaruan juga dapat dilakukan berdasarkan masukan pengguna. Tahap ini penting untuk menjaga keberlanjutan sistem dan memastikan tetap sesuai dengan kebutuhan di masa depan [17].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan sistem mencakup identifikasi aktivitas dua peran utama, yaitu admin dan siswa, yang masing-masing memiliki tanggung jawab spesifik dalam pengelolaan perpustakaan. Sistem dirancang untuk mendukung proses pencatatan, peminjaman, dan pengembalian buku secara efisien dan terintegrasi. Seluruh aktivitas dicatat secara *realtime* guna menjamin keakuratan data serta mendukung fitur klasifikasi peminjaman, yang menjadi elemen kunci sistem. Rincian aktivitas berdasarkan peran pengguna disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Aktivitas Berdasarkan Peran Pengguna

Peran	Aktivitas
Admin	- Menambahkan dan mengelola data buku - Menambahkan dan mengelola data peminjam - Melihat dan mengelola data transaksi peminjaman dan pengembalian - Melihat hasil klasifikasi peminjaman berdasarkan data transaksi - Mengelola akun pengguna (peminjam) - Melihat laporan statistik dan aktivitas perpustakaan secara <i>realtime</i>
Siswa	- Melihat daftar buku yang tersedia - Melakukan peminjaman buku secara <i>online</i> - Melakukan pengembalian buku - Melihat riwayat peminjaman - Melihat rekomendasi buku berdasarkan rekomendasi dari admin

Sebagai hasil dari analisis kebutuhan, disusun sebuah *use case diagram* yang menggambarkan interaksi antara pengguna (admin dan siswa) dan sistem secara visual, yang berperan sebagai dasar dalam perancangan sistem sekaligus alat verifikasi untuk memastikan bahwa fitur yang dikembangkan sesuai dengan kebutuhan nyata. Diagram ini memetakan skenario penggunaan sistem dan menampilkan fitur-fitur utama yang dapat diakses oleh masing-masing aktor, seperti melihat statistik peminjaman, melakukan pencarian buku, hingga mendapatkan rekomendasi berdasarkan hasil klasifikasi. Visualisasi lengkap dari *use case* tersebut ditampilkan pada Gambar 2.

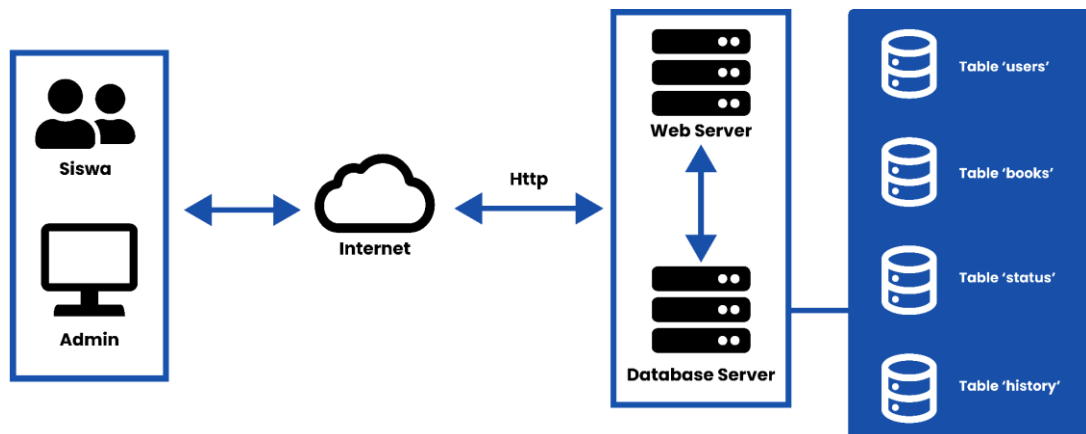


Gambar 2. Use Case Sistem Manajemen Perpustakaan

3.2. Desain Sistem

3.2.1. Perancangan Arsitektur Sistem

Sistem dirancang menggunakan pola *Layered Architecture* (arsitektur berlapis), yang membagi sistem ke dalam tiga lapisan utama secara terstruktur. Lapisan pertama adalah lapisan presentasi, yang merepresentasikan antarmuka pengguna, yaitu admin dan siswa, yang berinteraksi dengan sistem melalui *web*. Lapisan kedua adalah lapisan logika bisnis, yang berada pada *web server* dan bertugas memproses seluruh logika sistem seperti peminjaman, pengembalian buku, serta penerapan algoritma *klasifikasi* untuk analisis data transaksi. Sementara itu, lapisan ketiga adalah lapisan data, yang menggunakan basis data *MySQL* untuk menyimpan seluruh informasi penting seperti data pengguna, buku, transaksi peminjaman, serta riwayat aktivitas. Pemisahan ini bertujuan untuk mendukung prinsip *separation of concerns*, sehingga setiap lapisan memiliki tanggung jawab yang spesifik. Dengan demikian, sistem menjadi lebih mudah dikembangkan, diuji, dan dipelihara dalam jangka panjang. Arsitektur lengkap dari sistem tersebut ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Arsitektur Sistem Manajemen Perpustakaan

3.2.2. Perancangan Antarmuka Pengguna

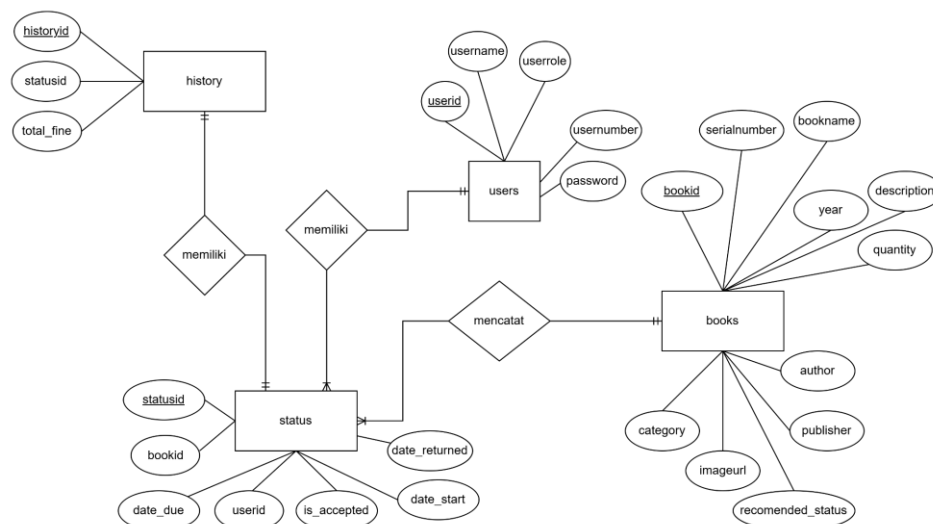
Antarmuka pengguna dirancang menggunakan pendekatan *low-fidelity prototyping* untuk memetakan tata letak dan alur interaksi sistem secara awal, memungkinkan validasi dini oleh pengembang dan pemangku kepentingan sebelum tahap implementasi teknis. *Dashboard* menampilkan informasi utama seperti jumlah buku, jumlah anggota, dan peminjaman aktif dalam format kartu, serta visualisasi data menggunakan grafik garis dan diagram pie melalui integrasi *Chart.js* guna menyajikan tren dan status peminjaman secara *realtime*. Desain antarmuka menekankan kesederhanaan navigasi, konsistensi visual, serta responsivitas agar tetap optimal di berbagai perangkat, sehingga mudah diakses oleh pengguna dari beragam latar belakang teknis.



Gambar 4. *Low Fidelity Dashboard* Sistem Perpustakaan

3.2.3. Desain Basis Data

Desain basis data dilakukan untuk memastikan integritas, efisiensi, dan skalabilitas dalam pengelolaan informasi perpustakaan. Perancangan struktur data dituangkan dalam *Entity Relationship Diagram* (ERD) yang menggambarkan entitas utama seperti *Books*, *Users*, *Status*, dan *History*, beserta relasi antar-entitas tersebut. Setiap tabel memiliki atribut yang dirancang untuk mendukung fungsi spesifik sistem, seperti pelacakan riwayat peminjaman, identifikasi pengguna, serta status ketersediaan buku. Relasi antar-tabel disusun dengan model *one-to-many* dan *many-to-one* untuk mendukung proses transaksi yang kompleks namun tetap efisien dalam pengambilan data. Desain ini juga memperhitungkan kemungkinan pengembangan fitur lanjutan seperti rekomendasi buku, notifikasi otomatis, dan integrasi dengan sistem akademik. Dengan struktur basis data yang matang, sistem dapat memproses dan menyajikan informasi secara *realtime* tanpa mengorbankan kecepatan akses maupun akurasi data.



Gambar 5. ERD Sistem Manajemen Perpustakaan

3.3. Implementasi Sistem

Sistem yang dikembangkan berhasil diimplementasikan sesuai dengan spesifikasi kebutuhan yang telah dianalisis pada tahap awal. Secara umum, sistem memiliki tiga fitur utama: pengelolaan data perpustakaan (buku, anggota, transaksi), penyajian informasi melalui *dashboard* interaktif, dan proses klasifikasi perilaku peminjaman. Implementasi dilakukan menggunakan *PHP* sebagai bahasa pemrograman *backend* dan *MySQL* untuk basis data, sementara visualisasi dilakukan dengan *Chart.js*. Gambar 6 memperlihatkan tampilan *dashboard* utama yang menyajikan statistik peminjaman dan kategori klasifikasi pengguna.



Gambar 6. Tampilan *Dashboard* Sistem Perpustakaan

Dashboard sistem menyediakan grafik peminjaman bulanan, diagram pie klasifikasi pengguna, serta statistik jumlah buku dan anggota aktif. Fitur pencarian dan filter disematkan untuk mempermudah interaksi pustakawan terhadap data.

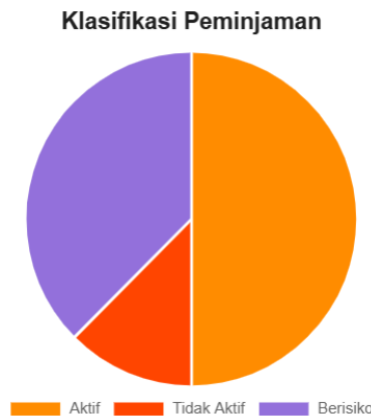
3.4. Visualisasi Klasifikasi Peminjam

Klasifikasi perilaku peminjaman dilakukan dengan pendekatan berbasis aturan (*rule-based classification*) menggunakan dua parameter utama: frekuensi peminjaman per bulan dan akumulasi denda keterlambatan. Kriteria klasifikasi ditentukan sebagai berikut:

Tabel 3. Kriteria Klasifikasi

Kategori	Peminjaman Buku/Bulan	Denda
Klasifikasi Aktif	≥ 5	< Rp10.000.
Klasifikasi Pasif	≤ 2	0
Klasifikasi Beresiko	tidak teratur	$\geq$ Rp10.000

Proses klasifikasi dijalankan secara otomatis pada sisi *backend* setiap kali transaksi baru dicatat. Hasil klasifikasi ditampilkan dalam bentuk diagram pie dan tabel rekap untuk memudahkan pemantauan distribusi perilaku peminjaman, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Pie Distribusi Klasifikasi Pengguna

Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa 5 pengguna dengan total transaksi 200 data, terdiri dari: 4 pengguna (80%) dikategorikan sebagai aktif (warna oranye), 1 pengguna (20%) dikategorikan sebagai tidak aktif (warna merah), dan 3 dari 5 pengguna (60%) juga termasuk dalam kategori berisiko (warna ungu). Validasi visual menunjukkan bahwa proporsi setiap sektor grafik mencerminkan distribusi data pengguna secara akurat. Diagram ini juga diperbarui secara *realtime* seiring dengan pencatatan transaksi baru.

3.5. Pengujian Sistem

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan menggunakan metode *blackbox testing* dengan pendekatan *functional testing*, sistem menunjukkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Pengujian difokuskan pada fitur utama, yaitu proses klasifikasi pengguna berdasarkan data transaksi peminjaman, serta elemen visualisasi hasil klasifikasi dalam bentuk diagram pie. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa setiap fungsi utama sistem dapat berjalan dengan baik dan menghasilkan keluaran sesuai dengan yang diharapkan. Hasil pengujian dirangkum dalam Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Hasil Pengujian *Functional Testing*

No	Skenario Uji	Masukan	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Status Pengujian
1	Proses Klasifikasi	Data transaksi peminjaman pengguna	Input peminjaman dengan beberapa kondisi	Sistem berhasil mengklasifikasikan pengguna ke dalam kategori yang sesuai.	Berhasil
2	Visualisasi Diagram Pie	Hasil klasifikasi	Menampilkan diagram pie	Diagram pie menampilkan proporsi pengguna dalam setiap klasifikasi dengan benar	Berhasil
3	Label Diagram Pie	Hasil klasifikasi	Menampilkan label pada diagram pie	Setiap diagram pie memiliki label yang sesuai dengan nama klasifikasi	Berhasil
4	Pembaruan Data	Data transaksi diperbarui	Input peminjaman dengan beberapa kondisi	Diagram pie diperbarui sesuai dengan data terbaru	Berhasil

Sebagai pelengkap pengujian fungsional, dilakukan pula pengukuran kuantitatif guna memperkuat evaluasi sistem. Berdasarkan pengujian terhadap 200 entri transaksi peminjaman, sistem mencatat rata-rata waktu respon sebesar 1,27 detik, dengan standar deviasi 0,21 detik, yang menunjukkan performa sistem yang responsif.

Lebih lanjut, berdasarkan keseluruhan pengujian sistem, total skenario uji yang diuji berjumlah 110 skenario. Dari jumlah tersebut, 109 skenario berhasil (*valid*) dan hanya 1 skenario yang gagal (*invalid*). Dengan demikian, sistem menunjukkan tingkat keberhasilan sebesar 99,09% dan tingkat kegagalan sebesar 0,91%.

Analisis akar penyebab terhadap satu skenario gagal mengidentifikasi adanya *edge case* pada modul manajemen inventaris buku. Kegagalan terjadi ketika transaksi peminjaman daring dibatalkan oleh pengguna atau ditolak oleh administrator, di mana sistem tidak berhasil memicu fungsi *rollback* untuk mengembalikan (menginkremen) jumlah stok buku secara *realtime*. Meski tidak berdampak pada integritas data historis, masalah ini telah diselesaikan pada fase pemeliharaan dengan memperkuat mekanisme *event listener* guna memastikan sinkronisasi inventaris tetap andal pada setiap perubahan status transaksi.

Hasil ini menunjukkan bahwa sebagian besar fungsi sistem telah bekerja sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Namun, adanya satu skenario yang gagal menjadi fokus perbaikan untuk memastikan bahwa seluruh fungsi dapat beroperasi secara optimal dan memenuhi standar kualitas yang ditetapkan. Langkah perbaikan diarahkan secara spesifik pada skenario yang gagal, guna memastikan sistem berjalan sepenuhnya sesuai dengan kebutuhan pengguna dan spesifikasi sistem.

3.6. Pemeliharaan

Pemeliharaan sistem dilakukan secara berkala untuk memastikan bahwa seluruh fitur berjalan sesuai dengan kebutuhan pengguna serta tetap relevan terhadap dinamika operasional perpustakaan. Aktivitas pemeliharaan mencakup pemantauan performa sistem, identifikasi dan perbaikan bug, serta pembaruan fitur berdasarkan umpan balik dari admin maupun siswa. Seluruh proses pemeliharaan dikoordinasikan antara tim pengembang dan pihak pengelola perpustakaan, guna menjamin bahwa sistem tetap stabil, akurat, dan responsif dalam menangani transaksi peminjaman serta proses klasifikasi pengguna. Selain itu, struktur sistem yang dirancang modular memungkinkan penambahan fitur lanjutan seperti integrasi dengan sistem akademik atau penyempurnaan algoritma analitik di masa mendatang, sehingga mendukung pengembangan dan adaptasi sistem secara berkelanjutan.

3.7. Pembahasan

Sistem manajemen perpustakaan berbasis web yang dikembangkan telah diimplementasikan sesuai dengan kebutuhan fungsional yang ditetapkan pada tahap analisis. Fitur utama mencakup pengelolaan data buku, pengguna, dan transaksi peminjaman, serta *dashboard* interaktif yang menampilkan visualisasi data secara real-time. *Dashboard* menampilkan grafik peminjaman bulanan, diagram klasifikasi pengguna, serta jumlah buku dan anggota aktif.

Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode black-box testing dengan pendekatan functional testing untuk memastikan setiap fungsi berjalan sesuai spesifikasi. Berdasarkan hasil pengujian terhadap 200 data transaksi, sistem menunjukkan tingkat keberhasilan fungsional sebesar 99,09%, dengan hanya 1 skenario gagal (0,91%). Rincian hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.

Kegagalan terjadi pada skenario pembatalan transaksi peminjaman oleh pengguna sebelum konfirmasi admin. Dalam kondisi ini, sistem belum berhasil menjalankan fungsi *rollback* untuk menambah kembali stok buku secara otomatis. Analisis menunjukkan bahwa penyebabnya terletak pada jeda sinkronisasi pada event listener yang mengatur pembaruan stok di basis data. Perbaikan dilakukan pada tahap pemeliharaan dengan menambahkan logika validasi tambahan dan trigger update agar pembaruan stok dapat berlangsung secara konsisten. Sebagai pelengkap pengujian fungsional, dilakukan pula evaluasi terhadap aspek performa real-time. Hasil pengukuran menunjukkan rata-rata waktu respons sistem sebesar 1,27 detik, dengan standar deviasi 0,21 detik pada koneksi lokal. Nilai ini menunjukkan bahwa pembaruan data pada *dashboard* terjadi hampir seketika setelah transaksi

tersimpan di server. Dengan demikian, sistem mampu memenuhi kebutuhan pemantauan data secara real-time sesuai tujuan pengembangan.

Jika dibandingkan dengan penelitian sejenis oleh Nurhayati dkk. (2023) dan Luthfi Asari dkk. (2025), sistem ini menunjukkan peningkatan dari sisi akurasi fungsi dan integrasi data *real-time*. Penelitian sebelumnya berfokus pada manajemen transaksi dan antarmuka pengguna, sedangkan penelitian ini menambahkan mekanisme klasifikasi perilaku peminjaman berbasis parameter frekuensi dan denda. Hal ini memperluas fungsi sistem dari sekadar pencatatan transaksi menjadi alat bantu analisis perilaku pengguna yang mendukung pengambilan keputusan pustakawan.

Dengan hasil pengujian yang menunjukkan tingkat keberhasilan tinggi, waktu respons cepat, dan stabilitas pembaruan data yang baik, sistem ini dinilai siap diimplementasikan pada skala operasional yang lebih luas. Meskipun demikian, pendekatan klasifikasi berbasis aturan yang digunakan masih bersifat statis. Untuk pengembangan berikutnya, sistem dapat diperluas dengan integrasi algoritma machine learning agar klasifikasi pengguna menjadi lebih adaptif terhadap pola peminjaman baru.

Melihat potensi keberlanjutan sistem, terdapat peluang besar untuk melakukan pengembangan lanjutan. Salah satu arah strategis adalah integrasi algoritma machine learning, seperti DBSCAN (*Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise*) untuk mengklasifikasikan pengguna berdasarkan pola temporal peminjaman dan minat topik buku, tanpa bergantung pada aturan tetap. Pendekatan ini memungkinkan sistem berkembang menjadi sistem pendukung keputusan cerdas (*intelligent decision support system*) yang lebih adaptif dan sensitif terhadap perubahan perilaku pengguna.

Secara keseluruhan, penerapan metode *waterfall* dalam proyek ini telah berhasil membuktikan efektivitasnya dalam menghasilkan sistem informasi perpustakaan yang stabil, fungsional, dan relevan. Kombinasi antara pendekatan pengembangan terstruktur, integrasi data secara *realtime*, serta analisis perilaku pengguna menjadikan sistem ini sebagai kontribusi nyata terhadap transformasi digital manajemen perpustakaan di Indonesia.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem manajemen perpustakaan berbasis web dengan menerapkan metode *waterfall* sebagai pendekatan pengembangan yang terstruktur. Setiap tahap pengembangan, mulai dari analisis kebutuhan hingga pengujian, berjalan sesuai prosedur dan menghasilkan sistem yang memenuhi seluruh fungsi yang dirancang. Integrasi data secara *real-time* terbukti meningkatkan efisiensi layanan serta akurasi informasi dalam pengelolaan transaksi perpustakaan. Fitur *dashboard* interaktif dan mekanisme klasifikasi pengguna berbasis parameter peminjaman juga berkontribusi terhadap kemampuan sistem dalam mendukung analisis perilaku pengguna dan pengambilan keputusan pustakawan secara lebih informatif. Hasil pengujian menunjukkan tingkat keberhasilan fungsional sebesar 99,09%, yang menegaskan reliabilitas sistem dalam memproses data aktual secara konsisten dan responsif. Capaian ini menunjukkan bahwa sistem memiliki potensi untuk diimplementasikan secara luas di berbagai institusi pendidikan.

Meskipun penelitian ini masih dilakukan dalam lingkungan simulasi tanpa keterlibatan langsung mitra industri, hasilnya telah memberikan bukti konsep (*proof of concept*) yang valid dan dapat direplikasi. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada rancangan arsitektur sistem yang stabil, integrasi data secara real-time, dan penerapan klasifikasi pengguna sebagai komponen analitis tambahan. Implikasinya, sistem ini menyediakan alat bantu keputusan berbasis data bagi pengelola perpustakaan untuk personalisasi layanan dan manajemen koleksi yang lebih efektif. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan tidak hanya menjadi solusi digital bagi pengelolaan perpustakaan, tetapi juga fondasi bagi pengembangan sistem cerdas yang lebih adaptif dan berbasis pembelajaran mesin di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Nurseptaji dan Y. Ramdhani, "Sistem Informasi Perpustakaan dengan Implementasi Model Waterfall," *Inf. J. Inform. Dan Sist. Inf.*, vol. 13, no. 1, hlm. 61–79, Mei 2021, doi: 10.37424/informasi.v13i1.68.

- [2] R. N. Samiaji, H. W. Dhany, dan Y. Yusman, "Perancangan Aplikasi Perpustakaan Di SDN 027144 Binjai Utara Berbasis Web," *J. Minfo Polgan*, vol. 14, no. 1, hlm. 435–441, Mei 2025, doi: 10.33395/jmp.v14i1.14752.
- [3] W. Nurhayati, "Implementasi Metode Waterfall Pada Sistem Informasi Perpustakaan Online Smk Negeri 1 Seputih Agung," vol. 4, no. 2, 2023.
- [4] F. Luthfi Asari, R. S. Meimaharini, dan T. Khotimah, "Implementasi Sistem Perpustakaan Berbasis Web untuk Meningkatkan Efisiensi Layanan Peminjaman dan Pengguna," *Bit-Tech*, vol. 7, no. 3, hlm. 770–778, Apr 2025, doi: 10.32877/bt.v7i3.2185.
- [5] W. Harjono dan Kristianus Jago Tute, "Perancangan Sistem Informasi Perpustakaan Berbasis Web Menggunakan Metode Waterfall," *SATESI J. Sains Teknol. Dan Sist. Inf.*, vol. 2, no. 1, hlm. 47–51, Apr 2022, doi: 10.54259/satesi.v2i1.773.
- [6] Edwin Santos De Guzman *dkk.*, "Unlocking insights from academic library data using clustering and recommender dashboard analytics for enhanced book collection management," *World J. Adv. Res. Rev.*, vol. 25, no. 3, hlm. 645–657, Mar 2025, doi: 10.30574/wjarr.2025.25.3.0779.
- [7] A. Supriatman, "Pembobotan TF-IDF pada Judul Penelitian Dosen Sebagai Dasar Klasifikasi Menggunakan Algoritma K-NN (Studi Kasus: Universitas Siliwangi)," *J. Serambi Eng.*, vol. 6, no. 1, Jan 2021, doi: 10.32672/jse.v6i1.2645.
- [8] A. S. Lizanett, "Sistem Klasifikasi Pada Koleksi Bahan Pustaka Di Perpustakaan Fakultas Ushuluddin Dan Pemikiran Islam Uin Raden Fatah Palembang," *Communnity Dev. J.*, vol. 5, no. 5, hlm. 9526–9530, 2024.
- [9] B. H. Samudra dan N. Umniati, "Penerapan Metode Waterfall Dalam Membangun Aplikasi Untuk Pengujian Jalur Dan Bangunan Prasarana Kereta Api," *J. Ilm. Teknol. Dan Rekayasa*, vol. 28, no. 1, hlm. 30–43, 2023, doi: 10.35760/tr.2023.v28i1.4561.
- [10] N. A. Nugraha, D. N. Fadilah, dan S. Sutrisno, "Implementasi Manajemen Proyek Pembuatan Sistem Informasi Peminjaman Dokumen Perusahaan Dengan Metode Waterfall," *Ind. J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 8, no. 4, hlm. 955–965, Okt 2024, doi: 10.37090/indstrk.v8i4.1346.
- [11] A. P. Restu Rahayu, "Spesifikasi Kebutuhan Perangkat Lunak Sistem Informasi Berita Dengan Standard ISO/IEC/IEEE 29148:2018," *Indones. J. Intellect. Publ.*, vol. 2, no. 1, hlm. 9–15, Nov 2021, doi: 10.51577/ijpublication.v2i1.169.
- [12] N. Azis, *Analisis Perancangan Sistem InformasI*, 1 ed. Komplek Puri Melia Asri Blok C3 No. 17 Desa Bojong Emas Kec. Solokan Jeruk Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat: Penerbit Widina Bhakti Persada Bandung, 2022.
- [13] R. H. Siregar dan A. M. Harahap, "Sistem Informasi Perpustakaan Berbasis Web pada Perpustakaan Fakultas Saintek UINSU," *J. Teknol. Sist. Inf.*, vol. 5, no. 1, hlm. 227–241, Jun 2024, doi: 10.35957/jtsi.v5i1.7606.
- [14] D. Widhyaestoeti, S. Iqram, S. N. Mutiyah, dan Y. Khairunnisa, "Black Box Testing Equivalence Partitions Untuk Pengujian Front-End Pada Sistem Akademik Sitoda," *J. Ilm. Teknol. Infomasi Terap.*, vol. 7, no. 3, hlm. 211–216, Agu 2021, doi: 10.33197/jitter.vol7.iss3.2021.626.
- [15] P. K. Ayuningtyas, D. Atmodjo Wp, dan P. Rachmadi, "Performance and Functional Testing With The Black Box Testing Method," *Int. J. Progress. Sci. Technol.*, vol. 39, no. 2, hlm. 212, Jul 2023, doi: 10.52155/ijpsat.v39.2.5471.
- [16] F. K. Kartono *dkk.*, "Pengujian Black Box Testing Pada Sistem Website Osha Snack: Pendekatan Teknik Boundary Value Analysis," *J. KRIDATAMA SAINS DAN Teknol.*, vol. 6, no. 02, hlm. 754–766, Des 2024, doi: 10.53863/kst.v6i02.1407.
- [17] D. S. Putri, A. Voutama, dan N. Heryana, "Implementasi Metode Waterfall Dalam Perancangan Sistem Informasi Layanan Rw 41 Kampung Markan Bekasi," *J. Inf. Syst. Dev. ISD*, vol. 8, no. 1, hlm. 7, Feb 2023, doi: 10.19166/isd.v8i1.572.