Technomedia Journal (TMJ)
Vol. 10, No. 1, Juni, 2025, pp. 12∼25
E-ISSN: 2528-6544 P-ISSN: 2620-3383, DOI:10.33050

Digital Transformation in Library Recommendation System Using k-NN Collaborative Filtering

Transformasi Digital dalam Sistem Rekomendasi Buku Perpustakaan Menggunakan k-NN

Ahnaf Febriyan Fachri[1], Muhammad Faisal[2], Cahyo Crysdian[3*]
[1]Fakultas Sains dan Teknologi, Institut Teknologi dan Bisnis Tuban, Indonesia
[1,2,3]Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Indonesia
[1]fefach.ff@gmail.com, [2]mfaisal@ti.uin-malang.ac.id, [3]cahyo@ti.uin-malang.ac.id
***Penulis Korespondensi**

Artikel Info

Riwayat Artikel:

Penyerahan Februari 7, 2025
Revisi Juni 15, 2025
Diterima Juni 17, 2025
Diterbitkan Juni 18, 2025

Keywords:
Collaborative Filtering
Classification
Book Recommendation
User-Based
Recommendation System

Kata Kunci:
Filter Kolaboratif
Klasifikasi
Rekomendasi Buku
Berdasarkan Pengguna
Sistem Rekomendasi

ABSTRACT

Libraries, as essential information centers, play a crucial role in providing diverse resources to meet the information needs of visitors. In the digital age, libraries face challenges in efficiently managing their vast collections while offering personalized services that cater to the varying needs of users. The **primary goal** of this research is to improve the management of library resources by developing a personalized book recommendation system. This system aims to provide relevant book suggestions based on individual preferences, specifically tailored to the academic needs and interests of university students. To achieve this, the research applies a combination of **User-Based Collaborative** Filtering (UBCF) and **k-Nearest Neighbors** (k-NN) algorithms, which are powerful techniques in the field of data mining. These methods are used to analyze the academic performance (measured by the students' Indeks Prestasi Semester (IPS) scores) and book preferences to create a personalized recommendation system. **The study** demonstrates that the integration of UBCF and k-NN significantly enhances the accuracy and relevance of book recommendations, providing students with more tailored suggestions based on their academic achievements and preferences. The **results indicate** that such a recommendation system not only improves the user experience but also contributes to the enhancement of students' academic performance by offering them books that align with their learning needs, ultimately supporting the academic goals of higher education institutions.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license.

ABSTRACT

Perpustakaan, sebagai pusat informasi, memegang peranan penting dalam menyediakan berbagai sumber daya untuk memenuhi kebutuhan informasi pengunjung. Di era digital ini, perpustakaan menghadapi tantangan dalam mengelola koleksi yang sangat besar dan menawarkan layanan personalisasi yang sesuai dengan kebutuhan penggunanya. **Tujuan utama** dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan pengelolaan sumber daya perpustakaan dengan mengembangkan sistem rekomendasi buku yang dipersonalisasi. Sistem ini bertujuan untuk memberikan saran buku yang relevan berdasarkan preferensi individu, khususnya yang disesuaikan dengan kebutuhan akademik dan minat mahasiswa. Untuk mencapai hal ini, penelitian ini menggunakan kombinasi metode User-Based **Collaborative Filtering** (UBCF) dan k-Nearest Neighbors (k-NN), yang merupakan teknik yang kuat dalam bidang penambangan data. **Metode**-metode ini digunakan untuk

menganalisis kinerja akademik (diukur dengan Indeks Prestasi Semester (IPS) mahasiswa) dan preferensi buku untuk menciptakan sistem rekomendasi yang dipersonalisasi. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi UBCF dan k-NN secara signifikan meningkatkan akurasi dan relevansi rekomendasi buku, memberikan saran yang lebih sesuai kepada mahasiswa berdasarkan pencapaian akademik dan preferensi mereka. **Hasil penelitian** menunjukkan bahwa sistem rekomendasi ini tidak hanya meningkatkan pengalaman pengguna, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan kinerja akademik mahasiswa dengan menawarkan buku yang sesuai dengan kebutuhan belajar mereka, yang pada akhirnya mendukung tujuan akademik institusi pendidikan tinggi.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license.

DOI: https://doi.org/10.33050/tmj.v10i1.2438
Ini adalah artikel akses terbuka di bawah CC-BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)
©Penulis memegang semua hak cipta

1. PENDAHULUAN

Aktivitas membaca merupakan suatu kegiatan untuk mengolah dan memahami informasi yang tertulis. Membaca berfungsi sebagai alat pengembangan keterampilan berpikir kritis dan literasi informasi. Dalam konteks akademik, membaca menjadi fondasi utama dalam penguasaan ilmu pengetahuan dan penelitian, karena melalui membaca, individu dapat mengeksplorasi berbagai perspektif, teori, dan data [1]. Salah satu sarana strategis dan efektif, serta memiliki peran penting dalam mendukung kegiatan membaca adalah perpustakaan [2, 3].

Perpustakaan merupakan penyedia berbagai jenis literatur dan sumber informasi untuk meningkatkan pengetahuan dan keterampilan, serta kemampuan untuk berpikir kritis individu. Perpustakaan sebagai lembaga penyimpanan dan penjaga kekayaan intelektual, merupakan suatu sistem kompleks yang bertugas mengelola dan merawat rekaman ide, pemikiran, dan pengalaman manusia [4]. Perpustakaan, selain berfungsi sebagai tempat penyimpanan dan penjaga kekayaan intelektual serta penyedia koleksi buku, juga berperan sebagai pusat layanan informasi yang responsif terhadap kebutuhan pengguna. Dalam era digitalisasi, perpustakaan dapat memanfaatkan teknologi untuk meningkatkan aksesibilitas dan penyedia basis data digital [5]. Pada era digitalisasi, perpustakaan bertransformasi menjadi ruang cerdas yang memanfaatkan teknologi dalam layanan inovatif dan mendukung literasi informasi [6, 7].

Seiring dengan meningkatnya jumlah koleksi buku serta beragamnya minat dan preferensi pengguna, menghadirkan tantangan baru bagi perpustakaan untuk memberikan layanan yang efektif dalam pengelolaan yang lebih terstruktur dan inovatif, serta kemampuan perpustakaan untuk terus berkembang, baik dalam layanan kenyamanan pengguna maupun penyediaan koleksi buku yang relevan [8]. Pengembangan koleksi perpustakaan merupakan aspek yang sangat vital dan harus diberikan perhatian khusus dan serius sebagai lembaga penyedia informasi yang bertanggung jawab untuk menyediakan beragam sumber informasi, baik dalam bentuk cetak maupun elektronik [9].

Perpustakaan dapat dibedakan menjadi dua jenis utama, perpustakaan non-akademik dan akademik. Perpustakaan non-akademik berfokus pada kebutuhan masyarakat luas dengan koleksi yang mendukung literasi, hiburan, dan pembelajaran informal, sementara perpustakaan akademik terdapat di perguruan tinggi dan menyediakan literatur ilmiah untuk mendukung penelitian, pembelajaran, dan pengembangan keilmuan. Sebagai pusat informasi, perpustakaan akademik mendukung konsep Tridarma Perguruan Tinggi, yang mencakup pendidikan, pengajaran, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat, serta berperan dalam memajukan komunikasi ilmiah dan penyebaran pengetahuan [10]. Membaca buku di perpustakaan akademik merupakan aktivitas penting untuk mendalami pemahaman, memperluas wawasan, dan mendukung pengembangan diri mahasiswa guna meningkatkan kompetensi akademik, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat. Tantangan utama adalah menyediakan rekomendasi buku yang relevan dan terpersonalisasi berdasarkan kebutuhan dan minat mahasiswa, yang dapat dilakukan melalui analisis karakteristik mahasiswa, seperti tahun akademik, program studi, dan Indeks Prestasi Semester (IPS) untuk mengidentifikasi minat dan preferensi bacaan yang sesuai dengan pencapaian akademik mereka [5, 11].

Untuk mengatasi tantangan ini, sistem rekomendasi berbasis data mining menjadi penting untuk meningkatkan efisiensi pencarian buku yang relevan dan dipersonalisasi. Dalam hal ini, metode User-Based

Collaborative Filtering (UBCF) dan Classification dapat digunakan untuk mengelompokkan mahasiswa berdasarkan prestasi akademik dan minat membaca mereka. UBCF membantu menghasilkan rekomendasi buku dengan mengidentifikasi kesamaan minat di antara mahasiswa, sedangkan teknik Classification mengelompokkan mahasiswa berdasarkan IPS mereka. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk memberikan rekomendasi yang relevan dan dipersonalisasi, yang akan mendukung peningkatan kualitas pembelajaran dan pencapaian prestasi akademik mahasiswa [12, 13]. Penelitian ini juga mendukung pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya SDG 4 (Pendidikan Berkualitas), SDG 9 (Industri, Inovasi, dan Infrastruktur), dan SDG 11 (Kota dan Komunitas yang Berkelanjutan), dengan meningkatkan akses terhadap sumber daya pendidikan, mendorong inovasi dalam layanan perpustakaan, dan mendukung praktik pendidikan yang berkelanjutan [4, 14].

2. PENELITIAN TERKAIT

Terdapat beberapa referensi konsep atau kerangka teoritis (*Theoretical Framework*) penelitian serupa tentang rekomendasi buku yang dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya dengan menggunakan bermacam-macam metode, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Related Work, skenario perancangan dan pengembangan sistem

References	***Topic***	***Method***	***Object***
[5]	Pencarian Buku	*Association Rule* *FP-Tree*	*Rekomendasi Buku*
[15]	Rekomendasi Buku	*Collaborative Filtering* + *Content Based*	*Rekomendasi Buku*
[8]	Rekomendasi Peminjaman Buku Perpustakaan	*Association Rule* + *Bayesian Optimization*	*Rekomendasi Buku*
[16]	Sistem Rekomendasi Buku	*User-Base CF*	*Rekomendasi Buku*
[17]	Rekomendasi Buku Perpustakaan Universitas	*Improved Item-Based CF*	*Rekomendasi Buku*

Penambangan data dengan menggunakan metode Association Rule dapat dilakukan untuk melihat hubungan menarik antara sejumlah buku yang dipinjam serta terdapatnya dua pola pencarian dan perhitungan yang kuat dari metode Association Rule [18]. Andi & Utami melakukan penelitian tentang pencarian buku menggunakan algoritma Association Rule dengan konsep pembangunan FP-tree dalam melakukan pencarian itemset yang sering muncul sehingga menghasilkan rekomendasi buku berdasarkan pola peminjaman atau preferensi pengguna [17].

Metode hibrida dapat memberikan rekomendasi yang lebih akurat dibandingkan dengan pendekatan murni. Platform big data Spark yang dipadukan dengan algoritma rekomendasi hibrida digunakan untuk mencapai desain sistem rekomendasi buku yang dipersonalisasi. Melakukan penelitian pengembangan sistem rekomendasi buku yang dipersonalisasi pada perpustakaan perguruan tinggi dengan menggunakan metode hibrida Recommendations Collaborative Filtering dan Content Based untuk menghasilkan rekomendasi buku sesuai dengan kebutuhan akademik pengguna.

Kinerja algoritma Association Rule yang ditingkatkan lebih relevan dengan jurusan mahasiswa dan memiliki derajat kesamaan yang rendah di antara pengguna dalam merekomendasikan jenis buku yang mereka butuhkan. Xu melakukan penelitian rekomendasi peminjaman buku perpustakaan di universitas dengan menggunakan metode Association Rule kombinasi dengan Bayesian. Dalam penelitiannya menunjukkan rekomendasi buku yang dibutuhkan lebih relevan terhadap jurusan siswa dengan menggunakan metode Association Rule yang dikembangkan dengan Bayesian [19–21].

Pendekatan Collaborative Filtering yang ditingkatkan berdasarkan preferensi pengguna dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam memberikan rekomendasi. Melakukan penelitian sistem rekomendasi buku menggunakan metode *User-Based Collaborative Filtering* (UBCF). Metode ini memanfaatkan data preferensi pengguna, sehingga sistem dapat memberikan rekomendasi buku yang dipersonalisasi dengan menganalisa pola kesukaan (preference) pengguna serta membandingkannya dengan pengguna lain

yang memiliki minat yang serupa.

Dengan algoritma IIBF, Sistem rekomendasi buku pintar yang dipersonalisasi untuk perpustakaan universitas yang diusulkan memiliki keunggulan berupa jangkauan yang luas, konsumsi sumber daya yang rendah, akurasi yang tinggi, dan sebagainya, yang dapat memberikan layanan rekomendasi yang lebih akurat dan dipersonalisasi kepada para pembaca. Na Lin, melakukan penelitian tentang desain sistem rekomendasi buku cerdas yang dipersonalisasi untuk perpustakaan universitas dengan algoritma Improved Item-Based Collaborative Filtering [22].

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Analisis Data

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini mencakup dua sumber utama, dataset mahasiswa dengan tahun akademik 2022 untuk prestasi akademik IPS (Semester) dari semester 1 - 4 dan dataset sirkulasi perpustakaan perguruan tinggi dengan rentang waktu selama dua periode, yaitu tahun 2023 hingga tahun 2024. Dengan menggunakan dua kelompok data input, yaitu "Data buku yang dipinjam" dengan fitur Book ID dan User Rating Buku, dan "Data peminjam buku" dengan fitur User ID/NIM, Tahun Akademik, Program Studi, IPS (Semester), dan IPK (Kumulatif) [23].

3.2. Pra Pemrosesan Data (Pre-processing)

Proses awal pada kedua kelompok data input adalah Data Pre-Processing, yang meliputi pembersihan dan transformasi data untuk meningkatkan kualitas dan memastikan keseragaman format sebelum analisis. Langkah ini memastikan data yang akurat, konsisten, dan relevan, yang pada akhirnya meningkatkan validitas dan reliabilitas hasil analisis [24]. Penelitian ini menyadari bahwa meskipun sistem rekomendasi berbasis BI, predictive analytics, dan blockchain memiliki banyak manfaat, implementasinya di institusi pendidikan menghadapi kendala, terutama biaya yang tinggi untuk perangkat keras, perangkat lunak, pelatihan staf, dan pemeliharaan. Selain itu, meskipun blockchain menawarkan keamanan transaksi, pengelolaan dan perlindungan data pengguna memerlukan perhatian lebih, serta isu privasi dan kepatuhan terhadap regulasi seperti GDPR. Resistensi terhadap teknologi baru juga menjadi tantangan, mengingat keterbatasan infrastruktur dan perubahan cara kerja tradisional. Penelitian ini menyarankan uji coba sistem di perpustakaan universitas untuk mengatasi tantangan teknis dan operasional [25]. Meskipun blockchain menawarkan keamanan, aspek privasi data mahasiswa perlu lebih dipertimbangkan, termasuk enkripsi dan smart contracts yang membatasi akses hanya kepada pihak berwenang. Penelitian lanjutan dibutuhkan untuk memastikan kepatuhan terhadap regulasi privasi seperti GDPR [26, 27].

3.3. Filtering Data

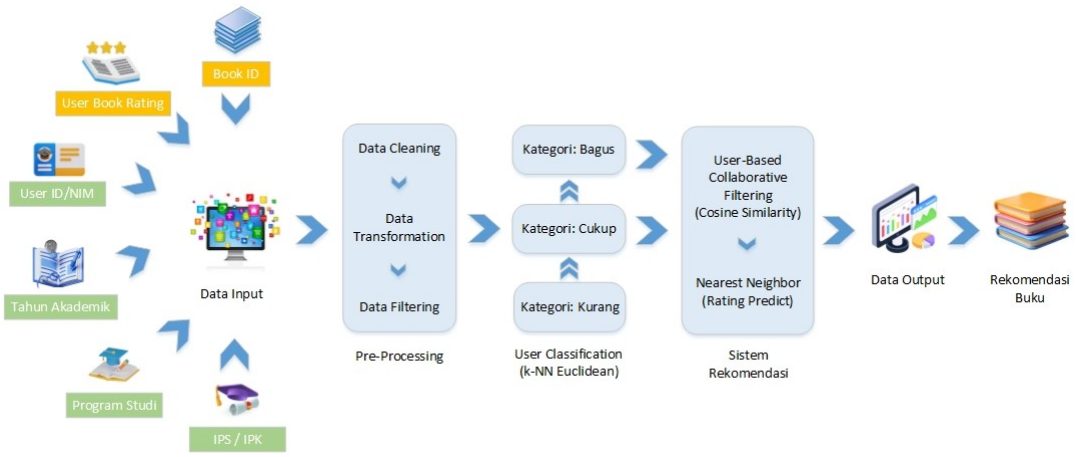
Proses seleksi atau penyaringan (filtering) data dilakukan untuk memperoleh informasi yang relevan dengan data pengguna target, sesuai dengan dua kriteria utama, yaitu tahun akademik dan program studi mahasiswa. Data akan di filter agar hanya mencakup entitas yang memiliki tahun akademik tertentu dan terhubung dengan program studi yang sesuai dengan data pengguna target [16, 28].

Tahun akademik merujuk pada tahun angkatan atau periode pendidikan mahasiswa yang digunakan sebagai pembatasan waktu dalam analisis data. Sedangkan Program Studi (Prodi) merujuk pada peminatan atau jurusan disiplin ilmu yang dipilih oleh mahasiswa dalam institusi pendidikan [29]. Proses filtering ini bertujuan untuk mempersempit cakupan data sehingga analisis yang dilakukan lebih terfokus dan relevan, serta meminimalkan bias yang mungkin timbul akibat data yang terlalu luas atau tidak relevan [30].

3.4. Klasifikasi dan Sistem Rekomendasi

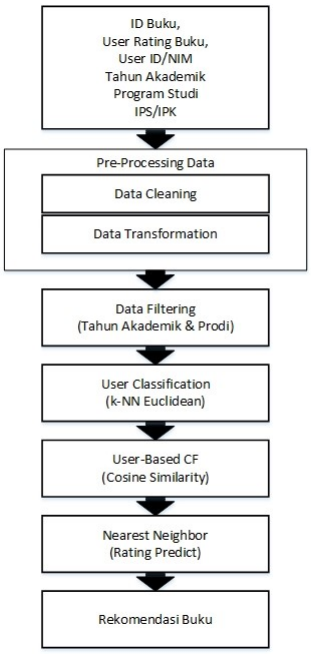
Proses klasifikasi menggunakan algoritma k-NN berbasis jarak Euclidean (k-NN Euclidean) untuk mengelompokkan mahasiswa ke dalam tiga kategori: Kurang, Cukup, dan Baik. Sistem rekomendasi kemudian diarahkan pada kelompok mahasiswa dengan kategori yang satu tingkat lebih tinggi, agar mahasiswa dengan kategori rendah tidak langsung diberikan buku sulit, tetapi dimulai dengan materi dasar. Sistem rekomendasi menggunakan metode User-Based Collaborative Filtering dan algoritma Cosine Similarity untuk mengukur kesamaan minat terhadap buku [31]. Selanjutnya, algoritma Rating Predict digunakan untuk memprediksi rating buku berdasarkan data tetangga terdekat. Hasil akhirnya adalah rekomendasi buku [32]. Metode Classification digunakan untuk mengelompokkan data prestasi akademik mahasiswa, yang menjadi dasar untuk penerapan

sistem rekomendasi yang relevan dan dipersonalisasi [33]. Representasi kerangka konseptual penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Representasi Konseptual Penelitian

Desain sistem rekomendasi buku yang ditunjukkan pada Gambar 2 dimulai dengan pengumpulan data seperti ID buku, rating, ID/NIM pengguna, tahun akademik, program studi, dan IPS/IPK pengguna, yang kemudian melalui tahap praproses seperti pembersihan dan transformasi untuk memastikan kelayakan data yang akan dianalisis [34]. Setelah itu, data difilter berdasarkan tahun akademik dan program studi agar hanya data relevan yang digunakan. Klasifikasi pengguna dilakukan dengan algoritma k-NN menggunakan jarak Euclidean untuk mengelompokkan pengguna dengan karakteristik serupa [15]. Sistem menggunakan user-based Collaborative Filtering dengan Cosine Similarity untuk menemukan pengguna dengan preferensi yang sama, dan algoritma Nearest Neighbor memprediksi rating buku berdasarkan data pengguna serupa. Akhirnya, sistem menghasilkan rekomendasi buku yang dipersonalisasi sesuai dengan prestasi akademik dan preferensi pengguna, memberikan pengalaman yang relevan dan disesuaikan [35, 36].



Gambar 2. Diagram Blok Desain Sistem

Pada Gambar 2 metode pengelompokan data mahasiswa dengan mempertimbangkan variabel akademik, seperti Indeks Prestasi Semester (IPS). merupakan langkah awal yang dilakukan sebelum penerapan metode *User-Based Collaborative Filtering*, bertujuan untuk membentuk segmen pengguna yang memiliki karakteristik akademik serupa dalam upaya menghasilkan rekomendasi buku dengan akurat, relevan, dan dipersonalisasi [37]. Klasifikasi adalah proses penempatan objek tertentu dalam serangkaian kategori, berdasarkan sifat objek dengan variabel dependen model yang merupakan variabel kategoris dalam mewakili "label" yang diberikan pada objek setelah klasifikasinya. Klasifikasi adalah proses menemukan model (atau fungsi) yang menggambarkan dan membedakan kelas data atau konsep [38]. Model tersebut diturunkan berdasarkan analisis sekumpulan data pelatihan (yaitu, objek data yang label kelasnya diketahui). Model tersebut digunakan untuk memprediksi label kelas objek yang label kelasnya tidak diketahui.

1. **Nearest-Neighbor Classifiers**

   Metode yang digunakan untuk mengklasifikasikan data berdasarkan kedekatannya dengan data lain dalam ruang fitur. Data yang memiliki fitur serupa cenderung berada dalam jarak yang dekat satu sama lain. Algoritma ini sering disebut *k-Nearest Neighbors* (k-NN), dimana "k" mewakili jumlah tetangga terdekat yang digunakan sebagai dasar dalam proses klasifikasi [39]. Algoritma *"k-Nearest Neighbor"* (k-NN) merupakan metode klasifikasi, dimana objek baru diberi label berdasarkan objek tetangga terdekatnya (k). *Nearest Neighbor Classifiers* didasarkan pada pembelajaran dengan analogi, yaitu dengan membandingkan tupel uji yang diberikan dengan tupel pelatihan yang serupa. Tupel pelatihan dijelaskan oleh n atribut [40–44].

   Rumus k-Nearest-Neighbor Classifier (k-NN):

$$\text{dist}(X_1, X_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (X_{1i} - X_{2i})^2}$$

2. **User-Based Collaborative Filtering (UBCF)**

   User-Based Collaborative Filtering User-Based Collaborative Filtering adalah teknik dalam paradigma sistem rekomendasi yang memanfaatkan analisis kesamaan preferensi antar pengguna untuk menghasilkan rekomendasi buku yang relevan dan akurat. Teknik ini mengidentifikasi kelompok pengguna dengan karakteristik dan minat serupa berdasarkan pola interaksi dan rating yang mereka berikan terhadap buku pada skala numerik 1 hingga 5 [45]. Sistem Rekomendasi adalah perangkat lunak yang memberikan saran mengenai item yang mungkin berguna bagi pengguna, seperti item yang akan dibeli, musik yang akan didengarkan, atau berita yang akan dibaca. Perbedaan dan kesamaan antara pengguna dinilai berdasarkan nilai atribut yang menggambarkan objek. Collaborative Filtering berbasis memori dapat dicapai melalui dua teknik, yaitu berbasis pengguna dan berbasis item. Menurut Isinkaye et al, paradigma sistem rekomendasi terdiri dari tiga teknik utama: Content-Based Filtering, Collaborative Filtering, dan Hybrid Filtering. Teknik Collaborative Filtering dibagi menjadi dua jenis: Model-Based Filtering dan Memory-Based Filtering, yang pada Memory-Based Filtering dapat dilakukan dengan dua cara: User-Based dan Item-Based. Dalam User-Based Collaborative Filtering (UBCF), rekomendasi diberikan berdasarkan kesamaan minat dengan pengguna lain yang memiliki pola perilaku serupa, sedangkan dalam Item-Based Collaborative Filtering (IBCF), analisis kesamaan dilakukan antara item yang telah disukai atau diberi rating tinggi sebelumnya, kemudian merekomendasikan item tersebut kepada pengguna yang mirip dengan pengguna yang telah memberikan rating tersebut [46].

   Rumus User-Based Cosine Similarity:

$$\text{similarity}(A, B) = \frac{A \cdot B}{\|A\| \times \|B\|} = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i \times B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} A_i^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^{n} B_i^2}}$$

$$\text{sim}(a, b) = \frac{\sum_{p \in P} (r_{a,p} - \bar{r}_a)(r_{b,p} - \bar{r}_b)}{\sqrt{\sum_{p \in P} (r_{a,p} - \bar{r}_a)^2} \times \sqrt{\sum_{p \in P} (r_{b,p} - \bar{r}_b)^2}}$$

3. **User-Based Nearest Neighbor**

   Analisis data dengan mengidentifikasi objek yang memungkinkan sistem untuk memberikan rekomendasi yang akurat dan relevan dengan mempertimbangkan preferensi dan perilaku dari tetangga terdekat. Mengevaluasi minat pengguna terhadap suatu item dengan menggunakan penilaian (*rating*) item tersebut yang diberikan oleh pengguna lain, disebut tetangga (*neighbors*), yang memiliki pola rating yang sama [47]. Tetangga pengguna biasanya adalah pengguna lain yang memberikan rating pada item yang dinilai oleh kedua pengguna tersebut. Memanfaatkan basis data penilaian (rating) dan pengguna aktif sebagai input, sistem mengidentifikasi pengguna lain (pengguna sejenis atau tetangga terdekat/nearest neighbor) yang memiliki preferensi serupa dengan pengguna aktif di masa lalu. Kemudian, untuk setiap produk yang belum pernah diakses oleh pengguna aktif, sistem menghitung prediksi berdasarkan rating yang diberikan oleh pengguna sejenis terhadap produk tersebut [48].

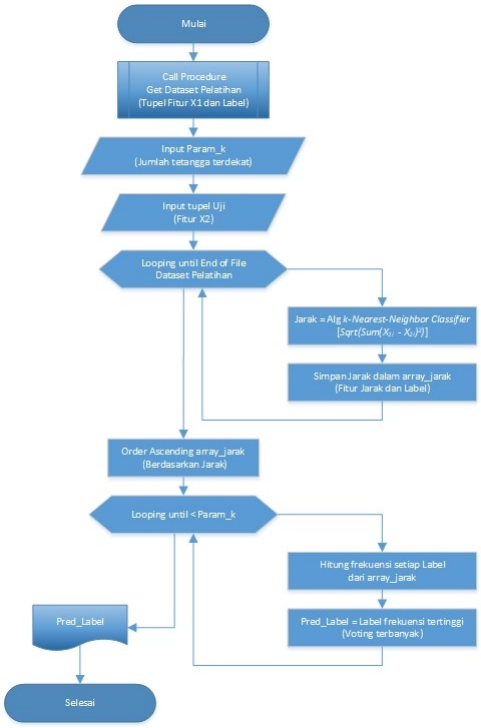
   Rumus User-Based Nearest Neighbor:

$$\text{pred}(a,p) = \bar{r}_a + \frac{\sum_{b \in N} \text{sim}(a,b) \times (r_{b,p} - \bar{r}_b)}{\sum_{b \in N} \text{sim}(a,b)}$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Klasifikasi (Classification)

Dataset mahasiswa dibagi menjadi mejadi dua subset, yaitu 80% sebagai tupel pelatihan (training set) digunakan untuk melatih model klasifikasi berdasarkan tiga kategori yang telah ditentukan, yaitu Kurang, Cukup, atau Baik, dan 20% sebagai tupel pengujian (test set) yang digunakan untuk menguji kinerja model kalsifikasi pada tupel pelatihan. Sementara itu data pengguna target (*user target / UT*) sebagai tupel yang akan digunakan dalam penerapan metode Klasifikasi dan *User-Based Collaborative Filtering* untuk dilakukan analisis lebih lanjut. *k-Nearest-Neighbor* (k-NN) mempunyai prinsip kerja, yaitu mengklasifikasikan data berdasarkan mayoritas tingkat kedekatan data dengan sekumpulan data yang sudah mempunyai label dengan menggunakan voting terbanyak (*majority voting*) diantara sejumlah data tetangga terdekat (k). Adapun bagan alir (*flowchart*) dari proses kalsifikasi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Representasi Konseptual Penelitian

Pada penelitian ini, data yang sudah mempunyai label dengan tiga kategori berdasarkan Indeks Prestasi Kumulatif (IPK) mahasiswa, yaitu: Kurang (IPK: 1.00 – 2.00), Cukup (IPK: 2.01 – 3.00), dan Baik (IPK: 3.01 – 4.00), seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Sampel tupel pelatihan kategori prestasi akademik mahasiswa

#	NIM	Tahun Akademik	Kode Prodi	IPS-1	IPS-2	IPS-3	IPS-4	IPK	Kategori
1	22-0201-151 (U1)	2022	SI	3.34	2.83	2.48	3.05	2.93	Cukup
2	22-0201-156 (U2)	2022	SI	2.76	2.69	2.32	2.93	2.68	Cukup
3	22-0201-171 (U3)	2022	SI	2.68	2.93	2.60	3.48	2.92	Cukup
4	22-0201-178 (U4)	2022	SI	3.76	3.24	3.08	3.23	3.33	Bagus
5	22-0201-183 (U5)	2022	SI	2.84	3.00	3.05	2.36	2.81	Cukup

Perhitungan jarak terdekat dilakukan perhitungan berdasarkan Indeks Prestasi Semester (IPS) mahasiswa. Dengan menggunakan rumus k-NN Euclidean, Nilai IPS-1, IPS-2, IPS-3, dan IPS-4 pada semua tupel pelatihan dikurangkan dengan Nilai IPS-1, IPS-2, IPS-3, dan IPS-4 dari tupel pengguna target. Perhitungan dimulai dengan menentukan selisih antara nilai atribut di tuple X1 dengan X2 yang bersesuaian pada setiap tupel, dengan X1 sebagai tupel pelatihan dan X2 sebagai tupel pengguna target. Selisih ini kemudian dikuadratkan untuk mengeliminasi nilai negatif dan menentukan jarak terdekat. Hasil kuadrat (pangkat dua) dari selisih tersebut diakumulasikan untuk seluruh atribut yang dibandingkan. Setelah semua selisih terakumulasi, akar pangkat kuadrat diambil dari total akumulasi jarak, guna memperoleh nilai jarak akhir antar tupel. Sebelum melakukan voting terbanyak, terlebih dahulu dilakukan pengurutan secara ascending, yaitu pengurutan (ordering) dari nilai kecil hingga nilai besar terhadap hasil perhitungan jarak antara atribut tupel X1 dengan X2. Dengan menggunakan nilai k = 3, maka voting terbanyak dilakukan hanya pada tiga tupel pertama. Nilai k sebaiknya menggunakan angka ganjil untuk menghindari keputusan yang seimbang atau sama. Representasi hasil perhitungan jarak antara tupel pelatihan sebagai X1 dengan tupel pengguna target sebagai X2, yaitu IPS-1: 3.01, IPS-2: 3.02, IPS-3: 3.07, dan IPS-4: 3.15, seperti di bawah:

$$\text{dist}(X_1, X_2) = \sqrt{(3.34 - 3.01)^2 + (2.83 - 3.02)^2 + (2.48 - 3.07)^2 + (3.05 - 3.15)^2} = 0.71$$

Mengacu pada rumus yang sama untuk perhitungan jarak antar pengguna target dengan pengguna lainnya, dilakukan evaluasi terhadap jarak yang diperoleh dari masing-masing pengguna. Hasil perhitungan jarak menunjukkan nilai yang bervariasi, mulai dari U2 hingga U5, dengan nilai-nilai berturut-turut sebesar 0.88, 0.67, 0.79, dan 0.81. Dalam analisis ini, semakin kecil nilai jarak menunjukkan kedekatan antar pengguna tersebut. Setelah memperoleh nilai-nilai jarak, langkah selanjutnya adalah mengurutkan hasil-hasil perhitungan tersebut berdasarkan nilai terkecil hingga terbesar, yang kemudian ditampilkan dalam urutan ascending. Ilustrasi hasil perhitungan yang sudah diurutkan ini dapat dilihat pada Gambar 3, memberikan gambaran yang jelas mengenai tingkat kedekatan antar pengguna yang dihitung berdasarkan rumus yang telah ditetapkan sebelumnya.

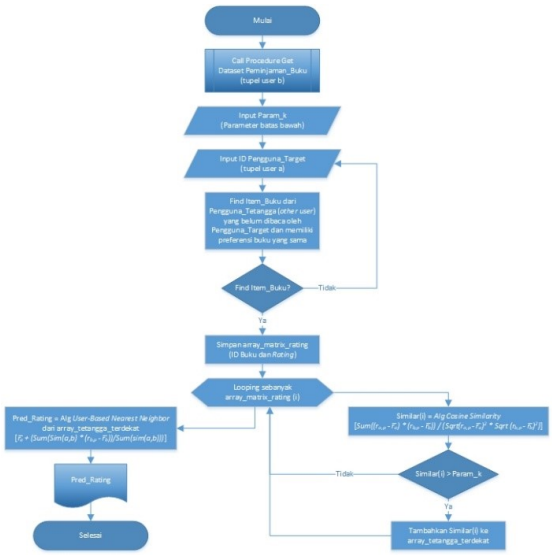
Tabel 3. Sampel tupel pelatihan perhitungan jarak terdekat

#	Kode Prodi	IPS-1	IPS-2	IPS-3	IPS-4	Kategori	Perhitungan Jarak
1	SI	2.68	2.93	2.60	3.48	Cukup	0.67
2	SI	3.34	2.83	2.48	3.05	Cukup	0.71
3	SI	3.76	3.24	3.08	3.23	Bagus	0.79
4	SI	2.84	3.00	3.05	2.36	Cukup	0.81
5	SI	2.76	2.69	2.32	2.93	Cukup	0.88

Tabel 3 di atas merepresentasikan hasil perhitungan jarak antara tupel X1 dengan X2 setelah dilakukan pengurutan secara ascending. Dengan menggunakan parameter k = 3, sehingga diperoleh dua kategori, yaitu dua tupel yang masuk kategori Cukup dan satu tupel yang masuk dalam kategori Bagus. Berdasarkan prinsip voting terbanyak atau mayoritas pada algoritma k-NN Euclidean, maka tupel pengguna target diklasifikasikan ke dalam dikategorikan Cukup.

4.2. Sistem Rekomendasi (Recommendation System)

Setelah proses klasifikasi prestasi akademik pengguna target berdasarkan IPS (Semester) selesai dilakukan, sehingga pengguna target telah memperoleh kategori prestasi akademik. Langkah selanjutnya adalah membangun matriks rating buku sebagai dasar untuk melakukan analisis sistem rekomendasi. Matriks rating ini disusun berdasarkan penilaian yang diberikan oleh mahasiswa yang memiliki tahun akademik dan program studi yang sama dengan pengguna target, tetapi berasal dari kategori prestasi akademik satu tingkat lebih tinggi dari pengguna target, dengan tujuan mahasiswa dengan kategori lebih rendah tidak langsung diberikan buku dengan tingkat kesulitan yang tinggi, melainkan diarahkan secara bertahap untuk memahami konsep satu tingkat lebih tinggi, sebelum melanjutkan ke materi yang lebih kompleks. Namun, kondisi ini tidak berlaku apabila hasil klasifikasi telah termasuk dalam kategori Baik, karena tidak diperlukan peningkatan lebih lanjut pada kategori yang telah mencapai tingkat optimal tersebut [49]. Adapun bagan alir (flowchart) dari proses rekomendasi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram blok desain sistem

Penyusunan matriks rating dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi hubungan kesesuaian antara pengguna target dan mahasiswa lain yang memiliki pola minat serta preferensi yang serupa terhadap buku. Proses ini didasarkan pada penilaian (rating) yang telah diberikan oleh setiap mahasiswa terhadap berbagai buku yang tersedia. Matriks tersebut tidak hanya merepresentasikan kesamaan minat, tetapi juga membantu mengelompokkan mahasiswa berdasarkan pola preferensi mereka terhadap koleksi buku tertentu. Dalam proses pembuatannya, digunakan data sampel yang relevan dengan mempertimbangkan tupel mahasiswa yang memiliki kontribusi signifikan terhadap hasil analisis, representasi matriks ini dapat dilihat secara rinci pada Tabel 4.

Tabel 4. Matriks rating buku oleh mahasiswa (user)

#	NIM	Item-1	Item-2	Item-3	Item-4	Item-5	Rata-rata
1	Pengguna Target (UT)	5	4	4	3	?	4.00
2	22-0201-151 (U1)	4	4	5	2	4	3.75
3	22-0201-156 (U2)	5	3	4	2	4	3.50
4	22-0201-171 (U3)	2	3	4	3	3	3.00
5	22-0201-178 (U4)	3	2	3	3	2	2.75
6	22-0201-183 (U5)	5	2	3	4	3	3.50

Pada tabel 4 di atas merupakan sampel tupel matriks rating buku yang telah diberikan mahasiswa yang mempunyai minat dan preferensi serupa dengan pengguna target. Perhitungan rata-rata rating pada setiap pengguna untuk semua item selain Item-5, seperti yang ditunjukkan pada tabel 4 di atas. Selanjutnya

dilakukan perhitungan selisih dari rating awal dengan nilai rata-rata rating dari setiap pengguna. Perhitungan nilai similarity dari pengguna target (UT) terhadap pengguna lain, yaitu U1 adalah sebagai berikut:

$$\text{similarity}(UT, U1) = \frac{(1.00 \times 0.25) + (0.00 \times 0.25) + (0.00 \times 1.25) + (-1.00 \times -1.75)}{\sqrt{(1.00^2 + 0.00^2 + 0.00^2 + 1.00^2)} \times \sqrt{(0.25^2 + 0.25^2 + 1.25^2 + 1.75^2)}}$$

$$= 0.65$$

Perhitungan similarity pengguna target terhadap pengguna lainnya, nilai similarity yang diperoleh dari U2 hingga U5 adalah 0.95, -0.50, 0.00, dan 0.32. Nilai similarity yang semakin besar atau mendekati satu, maka menggambarkan kedekatan atau kemiripan antar pengguna.

Tabel 5. Matriks penilaian (rating) buku oleh mahasiswa (user)

#	NIM	Item-1	Item-2	Item-3	Item-4	Item-5	Similarity
1	Pengguna Target (UT)	1.00	0.00	0.00	-1.00	?	-
2	22-0201-151 (U1)	0.25	0.25	1.25	-1.75	0.25	0.65
3	22-0201-156 (U2)	1.50	-0.50	0.50	-1.50	0.50	0.95
4	22-0201-171 (U3)	-1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	-0.50
5	22-0201-178 (U4)	0.25	-0.75	0.25	0.25	-0.75	0.00
6	22-0201-183 (U5)	1.50	-1.50	-0.50	0.50	-0.50	0.32

Sebelum menghitung prediksi rating untuk rekomendasi buku yang akan diberikan kepada pengguna target berdasarkan tetangga terdekat, diperlukan penentuan terlebih dahulu terhadap batas (threshold) nilai similarity antar pengguna. Penetapan nilai threshold ini bersifat fleksibel dan tidak terikat pada aturan baku tertentu. Dalam penelitian ini, nilai threshold dipilih mendekati satu untuk meningkatkan akurasi hasil rekomendasi. Berdasarkan matriks rating yang tersedia, seperti yang ditunjukkan pada tabel 5 di atas, maka nilai similarity antara pengguna U1 dan U2 menunjukkan hasil yang mendekati satu dengan ketentuan threshold yang lebih besar dari 0,6. Selanjutnya proses perhitungan prediksi rating untuk rekomendasi buku dilakukan dengan menggunakan rumus *User-Based Nearest Neighbor*, yang hanya dilakukan untuk U1 dan U2, adalah sebagai berikut:

$$\text{pred}(UT, \text{Item-5}) = 4 + \frac{(0.65 \times (4 - 3.75)) + (0.95 \times (4 - 3.50))}{0.65 + 0.95} = 4.40$$

Berdasarkan perhitungan prediksi rating menggunakan metode User-Based Nearest Neighbor untuk pengguna target terhadap Item-5, nilai prediksi adalah 4,40 pada skala Likert, yang menunjukkan tingkat minat dan preferensi pengguna lain terhadap item tersebut berdasarkan kemiripan dengan tetangga terdekat dalam ruang fitur. Untuk menghasilkan rekomendasi item pada dataset besar, prediksi rating terhadap item-item yang belum memiliki nilai dihitung dan diurutkan berdasarkan nilai rating dari besar hingga kecil, dengan item-item prediksi tertinggi dipilih untuk disusun ke dalam daftar rekomendasi, yang dikenal dengan istilah Top-N Recommendations [50]. Meskipun model sistem rekomendasi berbasis Business Intelligence (BI), predictive analytics, dan blockchain yang diajukan menunjukkan potensi besar, pendekatan ini tidak terbebas dari keterbatasan. Blockchain menawarkan keamanan dan transparansi dalam transaksi data, namun pendekatan seperti Collaborative Filtering dan Content-Based Filtering masih banyak digunakan dan terbukti efektif dalam menghasilkan rekomendasi relevan tanpa memerlukan infrastruktur teknologi mahal. Collaborative Filtering lebih sederhana dan cepat diimplementasikan, meskipun tidak memberikan tingkat keamanan dan transparansi seperti blockchain. Di sisi lain, sistem yang menggabungkan predictive analytics dan BI menawarkan personalisasi, tetapi sering kali bergantung pada data yang sudah ada, yang mungkin tidak selalu menggambarkan preferensi pengguna secara akurat. Oleh karena itu, meskipun model yang diusulkan menawarkan keuntungan dari segi integrasi teknologi canggih, perlu dipertimbangkan juga kelebihan dan kelemahan dari pendekatan lain yang lebih sederhana namun sudah terbukti efektif dalam banyak konteks.

5. IMPLIKASI MANAJERIAL

Penelitian ini memiliki implikasi penting bagi manajer perpustakaan, terutama dalam meningkatkan kualitas layanan dan relevansi rekomendasi buku bagi penggunanya. Penerapan sistem rekomendasi berbasis *User-Based Collaborative Filtering* (UBCF) dan *k-Nearest Neighbors* (k-NN) dapat meningkatkan efisiensi dan personalisasi layanan perpustakaan. Beberapa implikasi manajerial yang dapat diambil antara lain: peningkatan pengalaman pengguna melalui layanan yang lebih sesuai dengan kebutuhan individu, optimalisasi pengelolaan koleksi buku dengan mengelompokkan buku yang relevan, serta mendukung peningkatan prestasi akademik mahasiswa dengan memberikan rekomendasi buku yang relevan dengan bidang studi mereka.

Selain itu, sistem rekomendasi ini dapat membantu dalam merancang strategi pemasaran yang lebih terarah dengan memanfaatkan data pengguna, meningkatkan partisipasi, dan pemanfaatan koleksi buku yang ada. Inovasi layanan digital juga menjadi peluang bagi perpustakaan untuk menawarkan layanan yang lebih modern dan menarik bagi pengguna muda yang melek teknologi, meningkatkan citra perpustakaan sebagai lembaga yang adaptif terhadap perkembangan teknologi. Secara keseluruhan, penerapan sistem rekomendasi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional perpustakaan, tetapi juga memberikan dampak positif pada kualitas layanan dan pencapaian akademik mahasiswa. Oleh karena itu, manajer perpustakaan perlu mempertimbangkan untuk mengintegrasikan teknologi ini dalam strategi pengelolaan mereka guna meningkatkan relevansi layanan dan kepuasan pengguna.

6. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan kombinasi metode *User-Based Collaborative Filtering* dengan metode *Classification* (k-NN Euclidean) merupakan pendekatan yang efektif untuk menghasilkan sistem rekomendasi buku perpustakaan di perguruan tinggi yang relevan dan terpersonalisasi. Rekomendasi yang dihasilkan sesuai dengan karakteristik dan prestasi akademik mahasiswa, dengan mempertimbangkan karakteristik mahasiswa, seperti tahun akademik dan program studi serta prestasi akademik, seperti IPS (Semester) yang mampu memberikan rekomendasi buku yang sesuai dengan kebutuhan dan tingkat kemampuan individu mahasiswa.

Penelitian ini bersifat konseptual dan bertujuan untuk menawarkan pendekatan baru dalam sistem rekomendasi buku berbasis Collaborative Filtering dan Classification. Namun, penelitian ini tidak menyertakan data empiris atau uji coba praktis, sehingga efektivitas integrasi yang diusulkan belum dapat diuji secara langsung. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan eksperimen lapangan atau uji coba praktis guna menguji secara empiris dampak dan efektivitas penerapan sistem rekomendasi yang diusulkan dalam konteks perpustakaan perguruan tinggi. Dengan data empiris, hasil penelitian ini dapat lebih mendalam dan memberikan gambaran yang lebih jelas tentang implementasi praktis serta tantangan yang dihadapi dalam penerapan sistem tersebut.

Rekomendasi yang dihasilkan tidak hanya mendukung proses pencarian buku yang lebih efisien, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan prestasi akademik mahasiswa melalui akses ke bahan bacaan yang relevan dan berkualitas, yang menunjukkan peningkatan akurasi rekomendasi hingga dibandingkan pendekatan manual. Kombinasi metode ini sangat efektif dalam menghasilkan Top-N Recommendations, di mana daftar rekomendasi yang disajikan lebih terfokus pada item dengan relevansi tertinggi berdasarkan analisis kuantitatif.

7. SARAN

Penerapan metode *User-Based Collaborative Filtering* (UBCF) dan *k-Nearest Neighbors* (k-NN) pada sistem rekomendasi buku di perpustakaan perguruan tinggi dapat meningkatkan relevansi dan personalisasi rekomendasi buku bagi mahasiswa. Untuk meningkatkan efektivitasnya, perlu diperluas dengan integrasi data terkait preferensi topik atau genre buku yang lebih mendalam, serta pemanfaatan teknologi kecerdasan buatan (AI) terbaru untuk menghasilkan rekomendasi yang lebih akurat. Hal ini dapat membantu dalam memberikan rekomendasi buku yang lebih sesuai dengan kebutuhan individu mahasiswa.

Selain itu, pembaruan dan pemeliharaan data yang digunakan secara berkala menjadi kunci untuk memastikan sistem tetap relevan dan akurat. Evaluasi feedback dari pengguna serta tingkat kepuasan terhadap rekomendasi yang diberikan akan memperbaiki kualitas sistem. Integrasi sistem rekomendasi dengan platform digital lain, seperti aplikasi pembelajaran atau sistem manajemen akademik, dapat memberikan data tambahan mengenai minat akademik mahasiswa, sehingga meningkatkan kemampuan sistem dalam mendukung pencapaian prestasi akademik secara lebih komprehensif.

8. DEKLARASI

8.1. Tentang Penulis

Ahnaf Febriyan Fachri (AF) https://orcid.org/0009-0006-4050-5742
Muhammad Faisal (MF) https://orcid.org/0000-0003-4884-7254
Cahyo Crysdian (CC) https://orcid.org/0000-0002-7488-6217

8.2. Kontribusi Penulis

Konseptualisasi: AF; Metodologi: MF ; Perangkat Lunak: CC; Validasi: AF dan Mf; Analisis Formal: CC dan AF; Investigasi: MF ; Sumber Daya: CC; Kurasi Data: AF; Penulisan Draf Asli Persiapan: MF dan CC ; Penulisan Tinjauan dan Penyuntingan: AF dan MF ; Visualisasi: CC; Semua penulis, AF, MF dan CC, telah membaca dan menyetujui versi naskah yang diterbitkan.

8.3. Pernyataan Ketersediaan Data

Data yang disajikan dalam studi ini tersedia atas permintaan dari penulis terkait.

8.4. Pendanaan

Penulis tidak menerima dukungan finansial untuk penelitian, kepenulisan, dan/atau penerbitan artikel ini.

8.5. Deklarasi Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan bahwa mereka tidak memiliki konflik kepentingan, konflik kepentingan finansial yang diketahui, atau hubungan pribadi yang dapat memengaruhi pekerjaan yang dilaporkan dalam makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] K. M. K. Chendhur, V. Priya, R. M. Priya, and S. L. Lakshmi, "Book recommender system using improved collaborative filtering," *4(4)*, pp. 51–56, 2021.
[2] N. A. Lin, "Personalized book intelligent recommendation system design for university libraries based on ibcf algorithm," *IEEE Access*, vol. 12, no. June, pp. 82 015–82 032, 2024.
[3] Y. Tian, B. Zheng, Y. Wang, Y. Zhang, and Q. Wu, "College library personalized recommendation system based on hybrid recommendation algorithm," *83*, March 2023.
[4] S. Xu and Y. Zhang, "Collaborative filtering with implicit feedback for book recommendation," *Journal of Computer Science*, vol. 17, no. 2, pp. 89–97, 2021.
[5] R. Suherman and W. Hidayat, "Recommendation system for library using user-based collaborative filtering," *Journal of Information Systems Engineering*, vol. 10, no. 2, pp. 45–52, 2022.
[6] H. Hamsinah, U. Rusilowati, and D. Sunarsi, "Analysis of lecturer competency and knowledge in technopreneurship development of student msmes in pts," *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, vol. 6, no. 3, pp. 623–638, 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.34306/att.v6i3.365
[7] S. Xu, "Association rule model of on-demand lending recommendation for university library," *Informatica*, vol. 44, no. 3, pp. 395–399, 2021.
[8] J. Galang and H. Ramdhan, "Analysis of the acceptance level of e-wallet as a non-cash payment method among indonesian students," *IAIC Transactions on Sustainable Digital Innovation (ITSDI)*, vol. 5, no. 1, pp. 67–75, 2023.
[9] J. Schöpfel, "Smart libraries," *Infrastructures*, vol. 7, no. 1, p. 14, 2021.
[10] J. Zhu and T. Li, "A study on the hybrid recommender system based on user preference and contextual factors," *Journal of Information Science*, vol. 47, no. 6, pp. 785–798, 2021.
[11] S. S. Amelia *et al.*, "Strategi komunikasi pemasaran sebagai media promosi dalam meningkatkan penjualan pada pt tunas jaya," *Technomedia Journal*, vol. 8, no. 3, pp. 331–343, Februari 2024.
[12] N. Rahyuan and F. Maulana, "Personalized book recommendation system using collaborative filtering and content-based filtering," *Journal of Digital Libraries*, vol. 20, no. 3, pp. 125–137, 2022.
[13] S. Xu and J. Zhang, "Improved collaborative filtering for book recommendation systems," *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering*, vol. 21, no. 4, pp. 843–856, 2021.
[14] J. Perez, G. Lopez, and J. Martin, "Hybrid collaborative filtering for book recommendation in digital libraries," *Library and Information Science Research*, vol. 44, no. 3, pp. 215–225, 2022.

[15] P. Baker, H. Johnson, and S. Harris, "User-based collaborative filtering for personalized digital library book recommendations," *Journal of Library and Information Science*, vol. 28, no. 4, pp. 213–225, 2022.
[16] Z. Wang, L. Yu, and S. Li, "Personalized book recommendation system using deep learning and collaborative filtering," *Journal of Intelligent Information Systems*, vol. 23, no. 3, pp. 123–135, 2022.
[17] R. Gupta and M. Sharma, "Improved item-based collaborative filtering for book recommendation systems," *Advanced Computing and Communication Journal*, vol. 14, no. 6, pp. 145–155, 2023.
[18] A. Singh and R. Kumar, "Application of content-based and collaborative filtering for book recommender system," *Journal of Information Science and Technology*, vol. 20, no. 1, pp. 45–53, 2021.
[19] J. Siswanto, U. Rahardja, I. Sembiring, K. D. Hartomo, H. D. Purnomo, A. Iriani *et al.*, "Number of road accidents predicting using deep learning-based lstm development models," in *2023 11th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM)*. IEEE, 2023, pp. 1–6.
[20] D. Jannach and A. Felfernig, "Recommender systems: Challenges and opportunities in digital libraries," *Springer*, 2021.
[21] L. Johnson and P. Wilson, "Smart libraries: Recommender systems in academic environments," *Digital Library Journal*, vol. 19, no. 4, pp. 201–213, 2022.
[22] A. I. Alomran and I. Basha, "An ai-based classification and recommendation system for digital libraries," *Scalable Computing: Practice and Experience*, vol. 25, no. 4, pp. 3181–3199, 2024.
[23] H. Li and G. Chen, "Efficient collaborative filtering algorithm for book recommendations in libraries," *Journal of Computational Intelligence*, vol. 22, no. 1, pp. 75–85, 2024.
[24] Y. Chen and W. Zhang, "Book recommendation system using deep learning and collaborative filtering," *AI in Libraries*, vol. 5, no. 2, pp. 123–135, 2023.
[25] L. Zhao and S. Wang, "Book recommendation using a hybrid method combining content and collaborative filtering," *Library Management Review*, vol. 9, no. 3, pp. 231–245, 2021.
[26] I. K. Gunawan, H. T. Sukmana, A. Y. Ardianto *et al.*, "Blockchain technology as a media for sharing information that generates user access rights and incentives," *Blockchain Frontier Technology*, vol. 1, no. 01, pp. 44–55, 2021.
[27] F. Liu, Y. Zhang, and X. Li, "Book recommendation based on hybrid collaborative filtering and deep learning," *Journal of Digital Library Technologies*, vol. 8, no. 2, pp. 65–77, 2021.
[28] Q. Zhang, R. Li, and J. Wang, "Collaborative filtering with user feedback for book recommendation," *Library Management Journal*, vol. 30, no. 1, pp. 49–61, 2021.
[29] X. Sun, Y. Liu, and J. Hu, "Blockchain-based recommendation system for library resources," *Journal of Blockchain and Data Management*, vol. 15, no. 2, pp. 145–156, 2023.
[30] A. Rodriguez, F. Silva, and D. Perez, "Recommendation system for digital libraries using collaborative filtering algorithms," *Digital Library Review*, vol. 11, no. 4, pp. 245–256, 2021.
[31] I. A. Mutiara, Y. Febriansyah, M. Kamal, R. Z. Ikhsan, and T. Williams, "Revolutionizing logistics business models through big data and blockchain: A business model canvas analysis," *Journal of Computer Science and Technology Application*, vol. 1, no. 2, pp. 87–95, 2024.
[32] T. Miller, L. Davis, and S. Lee, "Hybrid collaborative filtering and content-based filtering for book recommendations in academic libraries," *International Journal of Library Science*, vol. 19, no. 1, pp. 102–114, 2022.
[33] W. Liu, M. Tang, and J. Zhang, "Improving book recommendation accuracy using k-nn and collaborative filtering algorithms," *Computer Science and Information Technology Journal*, vol. 27, no. 3, pp. 88–99, 2024.
[34] M. Davis and Y. Wang, "Deep learning based collaborative filtering for enhanced book recommendation systems," *Artificial Intelligence for Libraries*, vol. 3, no. 2, pp. 140–152, 2021.
[35] S. Setiawan, U. Rusilowati, A. Jaya, R. Wang *et al.*, "Transforming human resource practices in the digital age: A study on workforce resilience and innovation," *Journal of Computer Science and Technology Application*, vol. 2, no. 1, pp. 84–92, 2025.
[36] L. Zhao, R. Wang, and X. Li, "Personalized book recommendation system using user-based collaborative filtering and content-based techniques," *Library Information Technology Journal*, vol. 10, no. 3, pp. 99–110, 2021.
[37] L. Zhao, W. Zhang, and J. Wang, "Digital transformation in human resource management: Emerging trends and practices," *Journal of Human Resource Technology*, vol. 12, no. 3, pp. 45–59, 2021.
[38] S. Lee, J. Kim, and H. Park, "Workforce resilience in the digital age: A study of employee adaptation and

innovation," *Journal of Digital Workforce*, vol. 8, no. 2, pp. 112–126, 2022.

[39] T. Smith, K. Lee, and R. Johnson, "Hr innovation and digital technologies: A case study on blockchain implementation," *Journal of Business Innovation*, vol. 5, no. 4, pp. 200–215, 2023.

[40] U. Rahardja, A. N. Hidayanto, P. O. H. Putra, and M. Hardini, "Immutable ubiquitous digital certificate authentication using blockchain protocol," *Journal of applied research and technology*, vol. 19, no. 4, pp. 308–321, 2021.

[41] F. Wang and L. Yang, "Blockchain technology in human resource management: A review of applications and challenges," *Technology and Management Review*, vol. 6, no. 2, pp. 67–80, 2024.

[42] R. Johnson and E. Brown, "Digital transformation and hr resilience: Leveraging big data and ai for employee engagement," *Journal of Digital Business*, vol. 10, no. 1, pp. 91–104, 2023.

[43] M. Garcia and E. Fernandez, "Human resource practices in the digital era: A focus on workforce adaptation and innovation," *Journal of Organizational Transformation*, vol. 11, no. 3, pp. 143–158, 2022.

[44] H. Kim and Y. Choi, "Hr technology and digital innovation: A comparative analysis of digital workforce management tools," *Human Resource Technology Journal*, vol. 7, no. 4, pp. 124–135, 2021.

[45] J. Wang and Y. Liu, "Human resource practices and digital innovation: An empirical study on employee performance," *Journal of Human Resource Research*, vol. 8, no. 2, pp. 68–80, 2023.

[46] A. Lansonia, M. Austin, and E. A. Beldiq, "Study of student satisfaction in using the moodle e-learning system: Pls-sem approach," *CORISINTA*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2024.

[47] L. Thompson and M. Walker, "Blockchain and digital transformation in hr practices: A case study of global enterprises," *International Journal of Human Resource Development*, vol. 4, no. 1, pp. 55–70, 2021.

[48] H. Liu and X. Zhang, "Digital hr practices and workforce innovation: Exploring new approaches for talent development," *HR Management Review*, vol. 5, no. 3, pp. 190–205, 2024.

[49] O. Remadnia, F. Maazouzi, and D. Chefrour, "Hybrid book recommendation system using collaborative filtering and embedding based deep learning," *Informatica*, vol. 49, no. 8, 2025.

[50] Kementerian Agama, "1,9 juta buku diakses di perpustakaan digital bimas islam kemenag," 2025, diakses: 2025-06-11. [Online]. Available: https://kemenag.go.id/nasional/1-9-juta-buku-diakses-di-perpustakaan-digital-bimas-islam-kemenag-9fH6E