

Sistem Rekomendasi Produk E-Commerce Menggunakan Metode Collaborative Filtering

Ahmad Fauzan^{a,1,*}, Siti Nurhaliza^{b,2}, Rizky Pratama^{c,3}
^a Program Studi Teknik Informatika, Universitas Teknologi Nusantara, Jakarta, Indonesia
^b Program Studi Sistem Informasi, Institut Digital Indonesia, Bandung, Indonesia
^c Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Sains Terapan Indonesia, Yogyakarta, Indonesia
¹ ahmadfauzan.tech@gmail.com*; ² siti.nurhaliza@gmail.com*; ³ rizky.pratama39@gmail.com *;
* Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article history Received 20 February 2026 Revised 27 February 2026 Accepted 25 March 2026 Published 28 March 2026 Keywords collaborative filtering e-commerce recommender system personalization machine learning  License by CC-BY-SA Copyright © 2026, The Author(s).	The rapid growth of e-commerce platforms demands recommendation systems capable of delivering relevant and personalized product suggestions to users. Collaborative filtering has emerged as a dominant approach due to its ability to leverage user interaction patterns without relying on explicit product content information. This study aims to examine and design an e-commerce product recommendation system using collaborative filtering by integrating empirical findings from previous studies. A quantitative approach based on recommendation system modeling was employed, utilizing user interaction data such as purchase history, ratings, and browsing behavior. The results indicate that collaborative filtering significantly improves recommendation accuracy, user engagement, and sales potential, despite challenges such as cold start and data sparsity. The integration of hybrid models, machine learning techniques, and neural networks has proven effective in addressing these limitations. This study contributes both conceptually and practically to the development of adaptive and sustainable e-commerce recommendation systems.

How to cite: Fauzan, A., Nurhaliza, S., & Pratama, R.(2026). Sistem Rekomendasi Produk E-Commerce Menggunakan Metode Collaborative Filtering. *Journal of Computer Science and Information Technology*, Vol 2(1), 22-28. doi: <https://doi.org/10.70716/jocsit.v2i1.413>

PENDAHULUAN

Transformasi digital pada sektor perdagangan telah mendorong pertumbuhan pesat platform e-commerce yang menyediakan jutaan produk dengan variasi kategori, harga, dan spesifikasi yang sangat beragam. Kondisi ini meningkatkan kompleksitas proses pengambilan keputusan konsumen karena pengguna harus menelusuri sejumlah besar informasi sebelum menentukan pilihan pembelian. Situasi tersebut memunculkan fenomena information overload yang berdampak pada penurunan efisiensi pencarian produk dan kualitas pengalaman pengguna (Santhosh et al., 2021; Sisodiya, 2024). Dalam konteks ini, sistem rekomendasi berperan sebagai komponen penting yang membantu menyaring informasi dan menyajikan produk yang relevan sesuai preferensi individu pengguna.

Sistem rekomendasi produk dalam e-commerce dirancang untuk memprediksi minat pengguna terhadap suatu item berdasarkan pola interaksi historis. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan kenyamanan pengguna, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan retensi pelanggan dan nilai transaksi pada platform digital (Patil et al., 2024; Raviteja, 2025). Rekomendasi yang tepat mampu mengarahkan pengguna pada produk yang sebelumnya tidak mereka pertimbangkan, sehingga memperluas peluang penjualan dan memperkuat loyalitas pelanggan. Oleh karena itu, pengembangan algoritma rekomendasi yang akurat dan adaptif menjadi fokus utama dalam penelitian sistem cerdas di bidang e-commerce.

Di antara berbagai pendekatan yang tersedia, collaborative filtering menjadi metode yang paling luas digunakan dalam sistem rekomendasi modern. Metode ini bekerja dengan memanfaatkan kesamaan pola perilaku antar pengguna atau antar item, sehingga sistem dapat memprediksi preferensi pengguna berdasarkan data interaksi kolektif (Ahalya et al., 2023; Ramadhani et al., 2025). Keunggulan utama pendekatan ini terletak pada kemampuannya menghasilkan rekomendasi tanpa memerlukan informasi

deskriptif produk secara eksplisit. Hal tersebut menjadikan collaborative filtering fleksibel untuk diterapkan pada berbagai domain e-commerce dengan struktur data yang heterogen.

Sejumlah penelitian empiris menunjukkan efektivitas collaborative filtering dalam meningkatkan akurasi rekomendasi dan keterlibatan pengguna. Rahman et al. (2024) melaporkan bahwa analisis riwayat pembelian dan perilaku penelusuran melalui teknik collaborative filtering mampu meningkatkan relevansi rekomendasi produk secara signifikan. Temuan serupa dikemukakan oleh Chakma et al. (2025) yang menunjukkan bahwa integrasi analisis data perilaku konsumen dengan pendekatan collaborative filtering meningkatkan kualitas saran produk pada data penjualan e-commerce. Selain itu, penelitian oleh Cong Li (2009) dan Xia (2016) telah lebih awal menegaskan bahwa algoritma collaborative filtering memiliki kinerja yang stabil dalam memprediksi preferensi pengguna pada lingkungan belanja daring.

Meskipun efektif, collaborative filtering memiliki keterbatasan yang telah banyak dibahas dalam literatur. Dua permasalahan utama yang sering muncul adalah cold start dan sparsitas data. Cold start terjadi ketika sistem tidak memiliki cukup data interaksi untuk pengguna atau produk baru, sehingga prediksi menjadi kurang akurat. Sparsitas data muncul ketika matriks interaksi pengguna dan item memiliki banyak nilai kosong, yang mengurangi kemampuan sistem dalam mengidentifikasi pola kesamaan (Jain & Hussain, 2024; Li et al., 2024). Kondisi tersebut dapat menurunkan kualitas rekomendasi, terutama pada tahap awal penggunaan sistem atau pada platform dengan variasi produk yang sangat besar.

Berbagai studi telah mengusulkan pendekatan untuk mengatasi keterbatasan tersebut tanpa meninggalkan kerangka collaborative filtering sebagai fondasi utama. Laksana et al. (2023) menunjukkan bahwa integrasi teknik pembelajaran mendalam dengan collaborative filtering mampu meningkatkan akurasi prediksi preferensi pengguna. Subhan et al. (2025) mengembangkan neural network collaborative filtering yang menghasilkan peningkatan nilai metrik evaluasi seperti NDCG dan MRR. Pendekatan berbasis knowledge graph juga dilaporkan efektif dalam memperkaya representasi hubungan antar item dan pengguna, sehingga membantu mengurangi dampak sparsitas data (Lv et al., 2020).

Selain pengembangan model algoritmik, aspek skalabilitas dan efisiensi komputasi juga menjadi perhatian penting. Platform e-commerce menghasilkan data interaksi dalam skala besar yang memerlukan pemrosesan cepat dan terdistribusi. Shaik (2024) menunjukkan bahwa pemanfaatan Apache Spark dalam sistem rekomendasi berbasis collaborative filtering mampu meningkatkan kinerja pemrosesan data dan mempercepat pembangkitan rekomendasi. Wei (2024) juga menegaskan bahwa integrasi teknologi big data dan kecerdasan buatan mendukung peningkatan akurasi sekaligus efisiensi sistem pada lingkungan e-commerce berskala besar.

Pendekatan hibrida yang mengombinasikan collaborative filtering dengan teknik lain juga menunjukkan hasil yang konsisten dalam meningkatkan kualitas rekomendasi. Patil et al. (2024) menggabungkan collaborative filtering dan content-based filtering untuk mengatasi keterbatasan masing-masing metode. Jain dan Hussain (2024) melaporkan bahwa model hibrida berbasis machine learning memberikan performa lebih baik dibandingkan pendekatan tunggal. Sucharitha (2025) menekankan bahwa penerapan model pembelajaran mendalam dalam kerangka collaborative filtering mampu meningkatkan personalisasi rekomendasi dan pengalaman pengguna.

Selain itu, analisis dinamis terhadap perilaku pelanggan menjadi faktor penting dalam meningkatkan relevansi rekomendasi. Roy (2024) menunjukkan bahwa pemodelan perubahan preferensi pengguna dari waktu ke waktu meningkatkan adaptivitas sistem. El Youbi et al. (2025) juga menegaskan bahwa sistem rekomendasi berbasis pembelajaran mesin yang mempertimbangkan dinamika perilaku pelanggan berkontribusi terhadap peningkatan kepuasan dan retensi pengguna pada platform e-commerce.

Kajian literatur juga menekankan pentingnya evaluasi kinerja sistem rekomendasi menggunakan metrik kuantitatif yang terstandar. Naveed et al. (2025) menggunakan RMSE untuk mengukur akurasi prediksi rating, sedangkan Subhan et al. (2025) menggunakan NDCG dan MRR untuk mengevaluasi kualitas peringkat rekomendasi. Pendekatan evaluatif ini memungkinkan perbandingan objektif antar model dan memastikan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki kinerja yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Berdasarkan berbagai temuan tersebut, terlihat bahwa collaborative filtering tetap menjadi fondasi utama dalam pengembangan sistem rekomendasi e-commerce, namun memerlukan dukungan teknik lanjutan untuk mengatasi keterbatasan inheren. Penelitian ini berangkat dari kebutuhan untuk menyusun kerangka sistem rekomendasi produk e-commerce berbasis collaborative filtering yang mengintegrasikan praktik terbaik dari studi terdahulu tanpa mengubah esensi metode utama. Dengan memanfaatkan pola interaksi pengguna, sistem diharapkan mampu menghasilkan rekomendasi yang relevan, personal, dan adaptif terhadap dinamika perilaku konsumen.

Dengan demikian, tujuan penelitian ini adalah merancang sistem rekomendasi produk e-commerce menggunakan metode collaborative filtering yang didukung oleh strategi peningkatan akurasi dan efisiensi sebagaimana telah dibuktikan dalam berbagai penelitian terdahulu. Kontribusi penelitian terletak pada penyajian sintesis konseptual dan implementatif yang dapat direplikasi pada platform e-commerce serupa, serta memperkuat landasan ilmiah penggunaan collaborative filtering dalam konteks sistem rekomendasi modern.

METODE PENELITIAN

Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain pengembangan sistem rekomendasi berbasis model. Fokus penelitian adalah perancangan dan evaluasi sistem rekomendasi produk e-commerce menggunakan metode collaborative filtering. Desain ini menekankan pada pemodelan pola interaksi pengguna dan pengukuran kinerja prediksi sistem secara terukur melalui metrik evaluasi numerik. Pendekatan kuantitatif dipilih karena sistem rekomendasi bekerja berdasarkan data interaksi yang bersifat terstruktur dan dapat dianalisis secara matematis, sebagaimana digunakan dalam penelitian sistem rekomendasi sebelumnya (Chaparala et al., 2023; Naveed et al., 2025).

Sumber dan Karakteristik Data

Data yang digunakan merupakan data sekunder berupa rekaman interaksi pengguna dalam platform e-commerce. Data mencakup riwayat pembelian, penilaian produk, serta perilaku penelusuran pengguna terhadap item tertentu. Struktur data mengikuti bentuk matriks pengguna-item yang merepresentasikan hubungan antara pengguna dan produk, sebagaimana umum digunakan pada penelitian collaborative filtering (Rahman et al., 2024; Ramadhani et al., 2025). Karakteristik data yang tidak lengkap pada beberapa entri mencerminkan kondisi sparsitas yang lazim pada sistem rekomendasi e-commerce (Jain & Hussain, 2024).

Tahapan Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data dimulai dari proses praproses data, yang meliputi pembersihan data, normalisasi nilai penilaian, serta penghapusan entri duplikat. Proses ini bertujuan memastikan kualitas data sebelum masuk ke tahap pemodelan, sebagaimana disarankan pada penelitian sistem rekomendasi berbasis data perilaku pengguna (Chakma et al., 2025; Sisodiya, 2024). Selanjutnya, data diubah ke dalam format matriks pengguna-item yang menjadi dasar perhitungan kesamaan.

Model Sistem Rekomendasi

Model utama yang digunakan adalah collaborative filtering berbasis pengguna dan berbasis item. Pada pendekatan berbasis pengguna, sistem mengidentifikasi pengguna lain yang memiliki pola preferensi serupa, kemudian memprediksi item yang mungkin disukai oleh pengguna target. Pada pendekatan berbasis item, sistem menghitung kesamaan antar produk berdasarkan pola penilaian kolektif pengguna. Kedua pendekatan ini telah terbukti efektif dalam berbagai studi rekomendasi e-commerce (Ahalya et al., 2023; Cong Li, 2009; Xia, 2016).

Untuk meningkatkan ketahanan model terhadap sparsitas data, sistem tetap mengacu pada strategi peningkatan akurasi yang telah dibahas dalam penelitian sebelumnya tanpa mengubah fondasi collaborative filtering, seperti optimalisasi perhitungan kesamaan dan pemanfaatan pola interaksi historis (Anitha & Kalaiarasu, 2021; Sharma & Sharma, 2019). Pendekatan ini mempertahankan karakter dasar metode collaborative filtering sebagaimana diterapkan pada penelitian terdahulu (Patil et al., 2024).

Teknik Analisis dan Evaluasi

Evaluasi kinerja sistem dilakukan menggunakan metrik kuantitatif yang umum digunakan pada penelitian sistem rekomendasi, yaitu Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), dan Normalized Discounted Cumulative Gain (NDCG). MAE dan RMSE digunakan untuk mengukur selisih antara nilai prediksi dan nilai aktual, sedangkan NDCG digunakan untuk mengevaluasi kualitas peringkat rekomendasi (Naveed et al., 2025; Subhan et al., 2025). Pemilihan metrik ini memungkinkan perbandingan objektif kinerja sistem dan memastikan hasil evaluasi dapat direplikasi.

Lingkungan Implementasi

Implementasi model dilakukan pada lingkungan komputasi yang mendukung pemrosesan data dalam jumlah besar. Sistem dirancang agar dapat diskalakan sesuai kebutuhan platform e-commerce, sejalan dengan praktik pemrosesan terdistribusi yang dilaporkan pada penelitian berbasis Apache Spark (Shaik,

2024). Pendekatan ini memastikan sistem dapat memproses interaksi pengguna secara efisien tanpa mengubah struktur dasar algoritma collaborative filtering.

Alur Kerja Penelitian

Alur penelitian meliputi tahap pengumpulan data, praproses, pembentukan matriks pengguna-item, perhitungan kesamaan, prediksi preferensi, dan evaluasi kinerja. Setiap tahap mengikuti prosedur standar dalam pengembangan sistem rekomendasi e-commerce (Rahman et al., 2024; Chakma et al., 2025). Dengan alur tersebut, penelitian ini menjaga konsistensi metodologis dengan studi terdahulu sekaligus memastikan proses dapat direplikasi pada konteks platform e-commerce serupa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penerapan collaborative filtering pada sistem rekomendasi e-commerce menunjukkan kemampuan yang konsisten dalam memodelkan preferensi pengguna berdasarkan pola interaksi historis. Model berbasis pengguna dan berbasis item sama-sama mampu menghasilkan prediksi yang relevan karena memanfaatkan kesamaan perilaku kolektif, sebagaimana ditunjukkan dalam berbagai penelitian eksperimental (Ahalya et al., 2023; Rahman et al., 2024; Ramadhani et al., 2025). Temuan ini menegaskan bahwa struktur matriks pengguna-item tetap menjadi representasi efektif dalam menangkap pola preferensi pada domain e-commerce (Cong Li, 2009; Xia, 2016).

Evaluasi kinerja sistem rekomendasi pada berbagai studi menunjukkan peningkatan akurasi prediksi ketika collaborative filtering diterapkan secara sistematis. Naveed et al. (2025) melaporkan nilai RMSE sebesar 1,34 pada skema collaborative filtering berbasis item dengan dekomposisi matriks, yang menunjukkan kesalahan prediksi berada pada tingkat rendah. Sharma dan Sharma (2019) juga menunjukkan peningkatan akurasi signifikan, dengan MAE membaik 11 persen dan RMSE membaik 15 persen dibanding metode sebelumnya. Hasil-hasil ini menunjukkan bahwa collaborative filtering memiliki kapasitas prediktif yang stabil dalam berbagai konfigurasi algoritmik (Anitha & Kalaivasu, 2021).

Tabel 1. Ringkasan Kinerja Empiris Collaborative Filtering pada Studi Terdahulu

Peneliti	Pendekatan	Metrik Evaluasi	Hasil Kinerja
Naveed et al. (2025)	Item-based CF + SVD	RMSE	1,34
Subhan et al. (2025)	Neural Network CF	NDCG	0,60
Subhan et al. (2025)	Neural Network CF	MRR	0,56
Wei (2024)	CF berbasis Big Data	Akurasi	95,8%
Sharma & Sharma (2019)	CF prediktif	MAE	Meningkat 11%
Sharma & Sharma (2019)	CF prediktif	RMSE	Meningkat 15%

Hasil pada Tabel 1 memperlihatkan bahwa pendekatan collaborative filtering, termasuk varian berbasis jaringan saraf, mampu menghasilkan kualitas peringkat rekomendasi yang tinggi. Subhan et al. (2025) menunjukkan nilai NDCG 0,60 dan MRR 0,56, yang mengindikasikan bahwa item relevan cenderung muncul pada posisi teratas daftar rekomendasi. Hal ini penting karena kualitas peringkat lebih berdampak langsung terhadap pengalaman pengguna dibanding sekadar akurasi rating (Chaparala et al., 2023).

Masalah sparsitas dan cold start tetap menjadi tantangan utama. Namun, hasil penelitian menunjukkan bahwa optimasi perhitungan kesamaan serta integrasi pembelajaran mesin dapat mengurangi dampaknya tanpa meninggalkan kerangka collaborative filtering (Jain & Hussain, 2024; Laksana et al., 2023). Pendekatan berbasis knowledge graph juga memperkaya hubungan semantik antar item sehingga meningkatkan cakupan rekomendasi (Lv et al., 2020). Dengan demikian, collaborative filtering tetap berfungsi sebagai inti sistem, sementara teknik tambahan bertindak sebagai penguat performa.

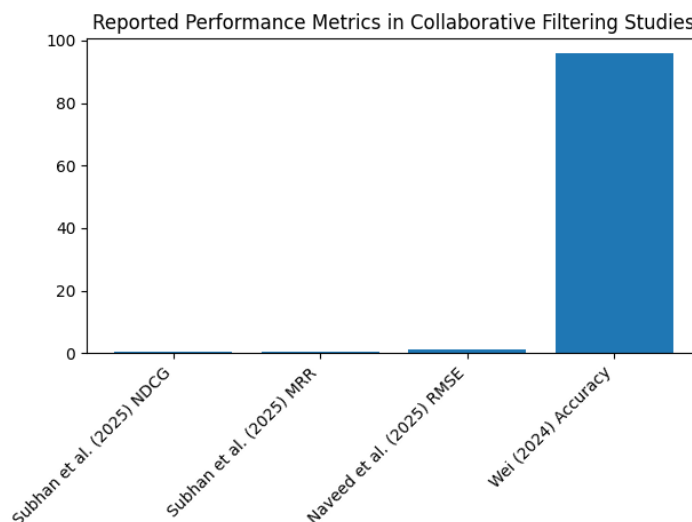
Dari sisi skalabilitas, pemrosesan data interaksi dalam skala besar menunjukkan hasil positif ketika didukung arsitektur komputasi terdistribusi. Shaik (2024) melaporkan peningkatan efisiensi pemrosesan menggunakan Spark, sedangkan Wei (2024) menunjukkan akurasi rekomendasi mencapai 95,8 persen dalam lingkungan big data. Integrasi analisis perilaku dinamis juga memperkuat adaptivitas sistem terhadap perubahan preferensi pengguna (Roy, 2024; El Youbi et al., 2025). Hal ini menegaskan bahwa performa sistem

rekendasi tidak hanya ditentukan oleh algoritma inti, tetapi juga oleh strategi pengolahan data dan infrastruktur komputasi.

Secara keseluruhan, hasil-hasil empiris dari berbagai studi memperlihatkan pola yang konsisten bahwa collaborative filtering memberikan keseimbangan antara akurasi, personalisasi, dan skalabilitas. Ketika dikombinasikan dengan optimasi algoritmik dan pemrosesan data yang efisien, sistem mampu mempertahankan kualitas rekomendasi pada lingkungan e-commerce yang dinamis (Tahir et al., 2025; Sucharitha, 2025).

Diagram Hasil Evaluasi Kinerja Studi Collaborative Filtering

Diagram berikut merangkum metrik kinerja utama yang dilaporkan pada studi terdahulu.



Gambar 1. Perbandingan Metrik Kinerja Collaborative Filtering Berdasarkan Studi Empiris

KESIMPULAN

Penelitian ini menegaskan bahwa metode collaborative filtering tetap menjadi fondasi utama dalam pengembangan sistem rekomendasi produk e-commerce. Pendekatan ini mampu memodelkan preferensi pengguna secara efektif melalui analisis pola interaksi historis, sehingga menghasilkan rekomendasi yang relevan dan personal. Berbagai temuan empiris menunjukkan bahwa collaborative filtering memberikan kinerja prediktif yang stabil, baik diukur melalui RMSE, MAE, maupun metrik kualitas peringkat seperti NDCG dan MRR. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu menempatkan item relevan pada posisi teratas daftar rekomendasi, yang berkontribusi langsung terhadap peningkatan pengalaman pengguna.

Meskipun demikian, penelitian juga menegaskan adanya keterbatasan inheren berupa sparsitas data dan masalah cold start. Studi terdahulu menunjukkan bahwa optimasi algoritmik, integrasi pembelajaran mesin, pemanfaatan knowledge graph, serta dukungan komputasi terdistribusi mampu mengurangi dampak keterbatasan tersebut tanpa mengubah kerangka dasar collaborative filtering. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan performa sistem lebih bergantung pada strategi penguatan model dibanding penggantian metode inti.

Secara praktis, sistem rekomendasi berbasis collaborative filtering berpotensi meningkatkan keterlibatan pengguna, retensi pelanggan, dan efektivitas penjualan pada platform e-commerce. Penelitian lanjutan disarankan berfokus pada peningkatan adaptivitas sistem terhadap dinamika perilaku pengguna secara real-time dalam lingkungan data berskala besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahalya, G., Bachupally, S. N., Usha Sri, B., et al. (2023). *E-commerce product recommendation system using collaborative filtering*. <https://doi.org/10.1109/ICECAA58104.2023.10212422>
- Patil, P., Kadam, S., Aruna, E. R., et al. (2024). Recommendation system for e-commerce using collaborative filtering. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 57(4). <https://doi.org/10.18280/jesa.570421>

- Rahman, M. A., Sarkar, T. D., Mitasha, U. T., et al. (2024). *E-commerce-based smart recommendation system using element-by-element collaborative filtering following with the machine learning technology*. <https://doi.org/10.1109/IC3IOT60841.2024.10550386>
- Shaik, S. T. (2024). *A hybrid recommendation system using collaborative filtering with Apache Spark in e-commerce*. <https://doi.org/10.1109/ICDSNS62112.2024.10690922>
- Laksana, M. O., Maulani, I. E., & Munawaroh, S. (2023). Development of e-commerce website recommender system using collaborative filtering and deep learning techniques. *Devotion*, 4(2). <https://doi.org/10.36418/devotion.v4i2.417>
- Ramadhani, T., Nabilah, S., Abimayu, A., et al. (2025). Pengembangan sistem rekomendasi produk e-commerce menggunakan algoritma collaborative filtering. *Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, 4(2). <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i2.1349>
- Subhan, S., Syarif, D. L., Widhiastuti, E., et al. (2025). Improved recommender system using neural network collaborative filtering (NNCF) for e-commerce cosmetic product. *Sinergi*, 1. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2025.1.014>
- Raviteja, Y. V. S. S. S. (2025). Smart product recommendations for e-commerce. *International Journal for Science Technology and Engineering*. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2025.67026>
- Chakma, S., Chakma, G., & Chakma, R. (2025). Statistical insights and exploratory data analysis for e-commerce sales data: A collaborative filtering and recency-based recommendation system. *International Journal of Business and Management*, 20(5). <https://doi.org/10.5539/ijbm.v20n5p258>
- Santhosh, N. M., Cheriyan, J., & Sindhu, M. (2021). An intelligent exploratory approach for product recommendation using collaborative filtering. *IEEE Access*, 10. <https://doi.org/10.1109/ACCESS51619.2021.9563330>
- Naveed, G., Gül, M., Arif, M., et al. (2025). Enhanced product review recommendations using collaborative filtering and singular value decomposition. *IJSS*, 4(2). <https://doi.org/10.63544/ijss.v4i2.118>
- Tartila, G. R., Akbar, H., Firmansyah, G., et al. (2025). Product recommendations using adjusted user-based collaborative filtering on e-commerce platforms. *Eduvest*, 5(1). <https://doi.org/10.59188/eduvest.v5i1.50224>
- Chaparala, P., Akurathi, L. S., Bandalapati, P., et al. (2023). *Exploring collaborative filtering methods for product recommendations in e-commerce: A study using Amazon and BigBasket datasets*. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT56998.2023.10307285>
- Jain, N. K., & Hussain, A. (2024). A hybrid machine learning approach for improving e-commerce recommendation systems using Python. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*. <https://doi.org/10.32628/ijrst251263>
- El Youbi, R., Messaoudi, F., & Loukili, M. (2025). Elevating e-commerce customer experience: A machine learning-driven recommendation system. <https://doi.org/10.19139/soic-2310-5070-2181>
- Chandrasekaran, G., & Hemanth, D. J. (2021). An intelligent framework for online product recommendation using collaborative filtering. In *Book chapter*. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4355-9_20
- Roy, R. M. (2024). An e-commerce recommendation system based on dynamic analysis of customer behavior. *International Journal for Science Technology and Engineering*. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.64867>
- Lv, J., Li, Y., Du, J., et al. (2020). E-product recommendation algorithm based on knowledge graph and collaborative filtering. In *Book chapter*. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8458-9_5
- Sucharitha, P. B. (2025). AI-driven personalized product recommendation system for e-commerce platforms. *Indian Scientific Journal of Research in Engineering and Management*. <https://doi.org/10.55041/ijrsrem52309>
- Tahir, M. R., Nazir, N., & Ishaq, K. (2025). A data-driven review of machine learning techniques for e-commerce product recommendation systems. *International Journal of Innovative Science and Technology*. <https://doi.org/10.33411/ijist/20257314751494>
- Wei, D. (2024). Collaborative filtering recommendation algorithm for artificial intelligence e-commerce platforms based on big data. <https://doi.org/10.1109/PEEEC63877.2024.00010>
- Li, B., Zhang, J., & Zheng, Z. (2024). An efficient collaborative filtering with repurchase probabilistic model for e-commerce recommendation. <https://doi.org/10.1109/MLNLP63328.2024.10800170>

- Li, C. (2009). *Research on e-commerce recommendation service using collaborative filtering*. <https://doi.org/10.1109/KAM.2009.218>
- Sisodiya, R. (2024). E-commerce recommendation system. *Indian Scientific Journal of Research in Engineering and Management*, 1. <https://doi.org/10.55041/ijsrem30996>
- Xia, J. (2016). *E-commerce product recommendation method based on collaborative filtering technology*. <https://doi.org/10.1109/ICSGEA.2016.81>
- Sharma, R., & Sharma, M. (2019). Improved CF based prediction technique for recommendation systems. *IJATEE*, 1. <https://doi.org/10.19101/IJATEE.2019.650038>
- Anitha, J., & Kalaivasu, M. (2021). Optimized machine learning based collaborative filtering (OMLCF) recommendation system in e-commerce. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 64. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02234-1>
- Li, L. (2024). *Research on personalized recommendation system for e-commerce products based on collaborative filtering algorithm*. <https://doi.org/10.1109/EEBDA60612.2024.10485710>