Jurnal Riset Informatika dan Teknologi Informasi (JRITI)
Jejaring Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (JPPM)
Vol. 3, No. 3, April – Juli 2026, Hal. 356 - 360
Web : https://ejurnal.jejaringppm.org/index.php/jriti

ISSN (Print) : 3024-8167
e-ISSN : 3109-8959

Implementasi Algoritma Apriori untuk Menentukan Pola Pembelian Produk di E-Commerce Al-Fatta

Yusar Zul Calvis
Universitas Serang Raya
Email : calvisyusar@gmail.com

ABSTRAKSI
E-commerce Al-Fatta merupakan sebuah marketplace yang dimiliki oleh organisasi Al-Fatta dan penjualnya adalah usaha kecil dan menengah yang didukung oleh Al-Fatta. E-commerce memudahkan pelanggan dalam bertransaksi jual beli tanpa harus bepergian, terutama untuk produk-produk yang sering dikonsumsi sehari-hari. Dalam beberapa kasus, penawaran produk tidak memenuhi kebutuhan konsumen dan konsumen meninggalkan toko tanpa membeli produk sehingga mengakibatkan hilangnya penjualan yang berdampak pada pendapatan penjualan Al-Fatta. Organisasi Al-Fatta (pelaku usaha) perlu menerapkan pengolahan data dengan menggunakan data mining. Untuk itu peneliti menggunakan pola aplikasi yang sesuai untuk kasus ini yaitu algoritma Apriori. Algoritma apriori sering digunakan untuk menemukan itemset yang sering muncul dalam suatu kumpulan data di mana pola paling mungkin muncul. Hasil algoritma ini dapat digunakan untuk pengambilan keputusan manajemen. Berdasarkan hasil penelitian, aturan yang memiliki nilai support dan confidence tertinggi yaitu 100% terdapat pada aturan "jika seseorang membeli the sari wangi, maka kemungkinan besar akan membeli gula", "Jika seseorang membeli kaos nike, maka kemungkinan besar akan membeli Sepatu adidas", "Jika seseorang membeli sabun lifebuoy, maka kemungkinan besar akan membeli shampoo shunsilk", "Jika seseorang membeli casing iphone, maka kemungkinan besar akan membeli Laptop Asus".

Kata Kunci: *Data Mining, Algoritma Apriori, E-Commerce Al-Fatta, Usaha Kecil dan Menengah (UKM)*

ABSTRACT
Al-Fatta e-commerce is a marketplace owned by the Al-Fatta organization and its sellers are small and medium businesses supported by Al-Fatta. E-commerce makes it easier for customers to buy and sell without having to travel, especially for products that are often consumed on a daily basis. In some cases, product offerings do not meet consumer needs and consumers leave the store without buying the product, resulting in a loss of sales that has an impact on Al-Fatta's sales revenue. Al-Fatta organizations (business actors) need to implement data processing using data mining. For this reason, the researcher uses an application pattern that is appropriate for this case, namely the Apriori algorithm. A priori algorithms are often used to find itemsets that frequently appear in a dataset where patterns are most likely to appear. The results of this algorithm can be used for management decision-making. Based on the results of the research, the rules that have the highest support and confidence value of 100% are found in the rules "if someone buys the fragrance juice, then they are most likely to buy sugar", "If someone buys a nike t-shirt, then they are most likely to buy adidas shoes", "If someone buys lifebuoy soap, then they are likely to buy shunsilk shampoo", "If someone buys an iphone case, then most likely will buy an Asus Laptop".
Keywords: *Data Mining, Apriori Algorithm, E-Commerce Al-Fatta, Small and Medium Enterprise (SMEs)*

Penulis Korespondensi
Yusar Zul Calvis

Tanggal Submit : 07/02/2025
Tanggal Diterima : 21/12/2025
Tanggal Terbit : 21/06/2026

This is an open access article under the CC–BY-NC-SA license



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 (CC BY-NC-SA 4.0) International License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Publisher's Note: JPPM stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

I. PENDAHULUAN

E-commerce atau bisa disebut perdagangan elektronik merupakan penyebaran, pembelian, penjualan, pemasaran barang atau jasa melalui internet atau jaringan komputer. Seluruh komponen yang ada di dalam perdagangan diterapkan ke dalam *E-commerce* seperti *customer service*, layanan produk, cara pembayaran dan cara promosi [1].

Penjualan merupakan hal yang penting bagi perusahaan ataupun organisasi, selain itu pelanggan juga merupakan asset yang berharga dalam menjalankan bisnis. Hal ini karena penjualan tersebut merupakan sumber penghasilan dan pendapatan [2]. Data mining merupakan teknik untuk menyelidiki pola dan sifat di masa mendatang serta untuk mengumpulkan informasi yang tidak terduga yang belum pernah ditemukan sebelumnya dari kumpulan data yang besar. Data mining mengeksplorasi pengetahuan dan pola dalam data melalui statistik matematika dan *machine learning* [3].

Penggunaan sistem informasi terdistribusi seperti *E-commerce* sangat berpengaruh dalam menyebabkan berkembangnya sebuah sekumpulan data menjadi data yang besar. Seiring berjalannya waktum suatu data akan terus bertambah dari data yang sekarang digabungkan dengan data di masa depan sehingga akan ada aliran data yang besar, Algoritma data mining berfungsi secara efektif dan efisien utnuk menganalisis data yang besar [4].

Algoritma apriori merupakan pendekatan fundamental yang diperkenalkan oleh Agrawal dan Srikant pada tahun milenium lalu guna mengidentifikasi set item yang sering muncul untuk penerapan aturan asosiasi yang bersifat Boolean. Algoritma apriori termasuk jenis aturan asosiasi pada data mining dan aturan yang menyatakan asosiasi antara beberapa atribut sering disebut *affinity analysis* atau *market basket analysis* yang dimana system ini nantinya akan bekerja dengan cara menganalisa dan menemukan pola-pola yang berasosiasi dengan barang yang dibeli [5].

Pencarian pola pada data penjualan *e-commerce* juga tidak gampang karena banyak data yang ada di data penjualan. Apabila dilakukan sembarangan maka akan menyebabkan hasil yang tidak memadai. Hasil yang salah akan berakibat fatal bagi *E-commerce* itu sendiri [6].

II. PENELITIAN YANG TERKAIT

Dalam beberapa penelitian seperti yang dilakukan oleh Muthia Khanza pada tahun 2021 dengan hasil penelitian dengan menemukan 7 aturan asosiasi yang memiliki support di atas 50% dan 85% confidence. Berdasarkan penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa Type handphone yang di kombinasikan untuk proses pengembangan promosi sebesar 85% [7].

Penelitian lainnya dilakukan oleh I Made Dwi Putra Asana pada tahun 2022 dengan hasil penelitian menemukan aturan asosiasi berdasarkan minimum support dan minimum confidence yang dapat memepengaruhi jumlah aturan yang dihasilkan oleh aplikasi [8]. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Irma Rosmayanti pada tahun 2023 dengan hasil penelitian meningkatkan support sebanyak 25% dan confidence 83% pada barang Kopsu Friends dan V60 [9].

Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Agnes Ekan Novianti dan Safitri Juanita pada tahun 2024 dengan hasil penelitian menemukan rekomendasi pola dengan menggunakan nilai minimum support 15% dan nilai confidence sebesar 50% sebanyak 10 jenis pola [10].

Pada tahun 2025 Nur Aria dkk, juga melakukan penelitian yang dimana hasil dari penelitian menunjukkan rekomendasi paket produk dengan parameter minimum support dan minimum confidence yang berpengaruh signifikan terhadap jumlah dan kualitas aturan asosiasi. Peningkatan nilai parameter ini mengurangi jumlah rekomendasi hingga 80% tetapi meningkatkan rata-rata support sebesar 35% dan confidence sebesar 32% sehingga menghasilkan aturan lebih relevan. Selain itu penambahan kategori dalam analisis mempengaruhi hasil, dimana kombinasi 4 item set seperti (lampu, kabel, fitting dan stop kontak) menghasilkan suatu rekomendasi dengan rata-rata support 0.056 dan confidence 0.529 [11].

Penelitian ini juga menggunakan *software Orange Data Mining* untuk menghitung algoritma apriori pada case ini.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengungkap pola pembelian pelanggan di platform e-commerce Al-Fatta melalui pendekatan kuantitatif pada data mining, khususnya dengan algoritma Apriori. Proses penelitian dilakukan secara bertahap agar setiap langkahnya mudah dipahami dan diikuti. Berikut adalah penjelasan langkah-langkah yang ditempuh:

A. Pengumpulan Data

Langkah awal penelitian ini adalah mengumpulkan data transaksi dengan cara web scrapping yang terjadi di e-commerce Al-Fatta. Data yang diperoleh mencakup berbagai informasi penting, seperti jenis produk yang dibeli, jumlah transaksi, dan kombinasi produk yang sering muncul bersama. Data mentah ini menjadi fondasi utama untuk analisis selanjutnya.

B. Pembersihan dan Persiapan Data

Sebelum dianalisis, data yang terkumpul perlu dibersihkan dan disusun ulang agar siap diproses. Pada tahap ini, dilakukan beberapa kegiatan seperti:

1. Menghapus data yang duplikat atau tidak relevan,
2. Mengkonversi data ke format yang sesuai untuk analisis,
3. Menyusun daftar item berdasarkan tiap transaksi.
4. Proses ini sangat penting untuk memastikan bahwa data yang masuk ke dalam algoritma benar-benar akurat dan representatif.

C. Penerapan Algoritma Apriori

Setelah data siap, langkah selanjutnya adalah menerapkan algoritma Apriori. Algoritma ini membantu mengidentifikasi pola-pola pembelian dengan cara:

1. Menetapkan batas minimum untuk support dan confidence, sehingga hanya kombinasi produk yang paling sering muncul yang diambil,
2. Menggunakan alat seperti Orange Data Mining untuk memproses data dan menghitung frekuensi itemset serta aturan asosiasi.
3. Hasil dari proses ini berupa pola-pola yang menggambarkan produk mana saja yang sering dibeli bersama oleh pelanggan.

D. Analisis dan Interpretasi Hasil

Tahap akhir adalah menganalisis hasil yang diperoleh dari algoritma. Di sini, data ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan interpretasi. Beberapa poin penting yang diulas meliputi:

a. Nilai support dan confidence dari masing-masing pola,
b. Identifikasi kombinasi produk yang memiliki kecenderungan tinggi untuk dibeli bersama,
c. Implikasi pola-pola tersebut terhadap strategi pemasaran dan pengelolaan stok.
d. Dengan analisis ini, diharapkan dapat ditemukan rekomendasi strategis yang tepat guna mendongkrak penjualan dan meningkatkan kepuasan pelanggan.

Melalui langkah-langkah tersebut, penelitian ini tidak hanya sekadar menemukan pola pembelian, tetapi juga memberikan wawasan praktis yang bisa digunakan oleh pengelola e-commerce Al-Fatta dalam merancang strategi bisnis yang lebih responsif terhadap perilaku konsumen.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Analisis Frequent Itemsets

Melalui analisis yang dilakukan dengan menggunakan Orange Data Mining, ditemukan sejumlah itemset dengan nilai support yang tinggi. Temuan ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Itemsets	Support	%
Fashion=1	26	26
Aksesoris=1	8	8
Kesehatan=1	5	5
Makanan & Minuman=1	25	25
Elektronik=1	9	9
Aksesoris=1	34	34
Kebutuhan Bayi=1	7	7
Elektronik=1	6	6
Alat Tulis=1	5	5
Kebutuhan Bayi=1	26	26
Elektronik=1	5	5
Kesehatan=1	5	5
Elektronik=1	29	29
Alat Tulis=1	5	5
Kesehatan=1	20	20
Alat Tulis=1	16	16

Gambar 1. Visualisasi Itemsets pada Software Orange

Gambar 1. merupakan visualisasi itemsets yang diperoleh dari hasil output menggunakan orange data mining yang dilakukan peneliti untuk menunjukkan nilai support dan persentase dari setiap kategori.

Tabel 1. Itemsets dan Support

Itemsets	Support
Fashion	26%
Makanan dan Minuman	25%
Aksesoris	34%
Kebutuhan Bayi	26%
Elektronik	29%
Kesehatan	20%
Alat Tulis	16%

Dari Tabel 1. di atas, kita dapat menarik kesimpulan bahwa kategori Aksesoris merupakan yang paling banyak diminati oleh pelanggan, dengan tingkat dukungan tertinggi mencapai 34%. Ini menunjukkan bahwa produk dalam kategori Aksesoris memiliki permintaan yang lebih tinggi dibandingkan kategori lainnya. Di sisi lain, kategori Alat Tulis menunjukkan tingkat dukungan yang relatif lebih rendah, yaitu 16%, yang mengindikasikan kurangnya popularitas kategori ini dalam transaksi yang dilakukan oleh pelanggan.

Visualisasi hasil frequent itemsets yang diperoleh dari Orange Data Mining memberikan gambaran yang lebih jelas tentang pola distribusi kategori produk. Terlihat bahwa kategori aksesoris mencatatkan jumlah transaksi terbanyak, menandakan potensi tinggi untuk dijadikan fokus utama dalam strategi pemasaran. Sebaliknya, kategori dengan tingkat dukungan yang lebih rendah, seperti alat tulis, memerlukan pendekatan promosi yang lebih agresif untuk dapat meningkatkan jumlah pembelian.

B. Hasil Aturan Asosiasi

Berikut adalah beberapa aturan asosiasi yang terbentuk dari analisis apriori.

	Antecedent	Consequent	Support	Confidence	Coverage	Strength	Lift	Leverage
1	Fashion=1	Makanan & Mi...	0.04	0.154	0.26	0.962	0.615	-0.025
2	Fashion=1	Aksesoris=1	0.08	0.308	0.26	1.308	0.905	-0.008
3	Fashion=1	Kebutuhan Bayi...	0.03	0.115	0.26	1	0.444	-0.038
4	Fashion=1	Elektronik=1	0.03	0.115	0.26	1.115	0.398	-0.045
5	Fashion=1, Elek...	Makanan & Mi...	0.01	0.333	0.03	8.333	1.333	0.003
6	Fashion=1, Mak...	Elektronik=1	0.01	0.25	0.04	7.25	0.862	-0.002
7	Fashion=1	Kesehatan=1	0.05	0.192	0.26	0.769	0.962	-0.002
8	Fashion=1, Kes...	Makanan & Mi...	0.01	0.2	0.05	5	0.8	-0.003
9	Fashion=1, Mak...	Kesehatan=1	0.01	0.25	0.04	5	1.25	0.002
10	Fashion=1, Kes...	Kebutuhan Bayi...	0.02	0.4	0.05	5.2	1.538	0.007
11	Fashion=1, Keb...	Kesehatan=1	0.02	0.667	0.03	6.667	3.333	0.014
12	Fashion=1	Alat Tulis=1	0.04	0.154	0.26	0.615	0.962	-0.002
13	Fashion=1, Alat...	Aksesoris=1	0.02	0.5	0.04	8.5	1.471	0.006
14	Fashion=1, Aks...	Alat Tulis=1	0.02	0.25	0.08	2	1.562	0.007
15	Fashion=1, Alat...	Elektronik=1	0.01	0.25	0.04	7.25	0.862	-0.002
16	Fashion=1, Elek...	Alat Tulis=1	0.01	0.333	0.03	5.333	2.083	0.005
17	Fashion=1, Alat...	Kesehatan=1	0.01	0.25	0.04	5	1.25	0.002
18	Fashion=1, Kes...	Alat Tulis=1	0.01	0.2	0.05	3.2	1.25	0.002

Gambar 2. Asosiasi pada Software Orange

Tabel 2. Asosiasi dalam Bentuk Tabel

Antecedent	Consequent	Support	Confidence	Lift
Fashion	Makanan dan Minuman	4%	15,4%	0,615
Fashion	Aksesoris	8%	30,8%	1,308
Fashion	Elektronik	3%	11,5%	0,398
Fashion	Kesehatan	5%	19,2%	0,962
Fashion, Alat Tulis	Aksesoris	2%	50%	1,4771

Dalam visualisasi aturan asosiasi di Orange Data Mining, terlihat bahwa koneksi antara Fashion dan Aksesoris memiliki kekuatan yang cukup tinggi dengan confidence 30.8%. Hal ini berarti ada kemungkinan besar bahwa pelanggan yang membeli produk Fashion juga membeli Aksesoris. Oleh karena itu, rekomendasi produk berbasis asosiasi dapat dilakukan dengan

menampilkan produk Aksesoris di halaman pembelian Fashion.

Sebaliknya, hubungan antara Fashion dan Elektronik cukup lemah dengan confidence 11.5% dan lift 0.398, yang menunjukkan bahwa pelanggan yang membeli Fashion tidak banyak yang juga membeli Elektronik. Dengan demikian, strategi pemasaran silang antara kedua kategori ini mungkin kurang efektif.

Menariknya, aturan Fashion dan Alat Tulis → Aksesoris memiliki confidence 50%, yang berarti setengah dari pelanggan yang membeli kedua kategori tersebut juga membeli Aksesoris. Hal ini menunjukkan bahwa bisnis dapat menawarkan paket bundling antara Fashion, Alat Tulis, dan Aksesoris untuk meningkatkan jumlah transaksi.

C. Perhitungan Manual

Adapun perhitungan manual untuk mengetahui nilai support dan juga confidence, sebagai berikut:

a. Menghitung value support

$$Support = \frac{Jumlah\ transaksi\ yang\ mengandung\ A\ dan\ B}{Total\ transaksi} \times 100\% \quad (1)$$

b. Menghitung value confidence

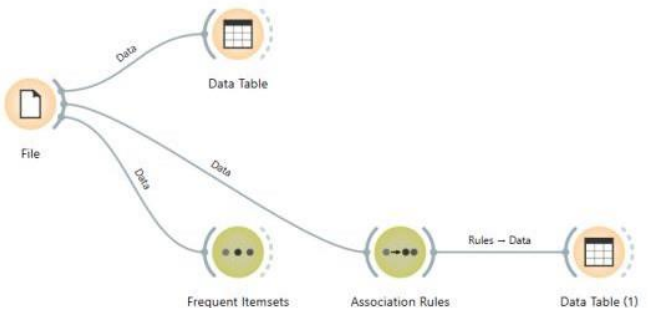
$$Confidence = \frac{Jumlah\ transaksi\ yang\ mengandung\ A\ dan\ B}{Jumlah\ transaksi\ yang\ mengandung\ A} \times 100\% \quad (2)$$

Melalui hal ini dapat diketahui bahwasannya langkah-langkah asosiasi dapat dikalkulasikan dengan perhitungan manual.

Dari hasil analisis, beberapa strategi dapat diterapkan untuk meningkatkan efektivitas penjualan dan kepuasan pelanggan:

1. Strategi Bundling Produk
   Produk Fashion dan Aksesoris dapat dijual dalam satu paket promosi karena memiliki hubungan yang cukup kuat.
2. Promosi Tertarget
   Berdasarkan aturan asosiasi, promosi berbasis rekomendasi dapat dilakukan kepada pelanggan yang membeli Fashion agar tertarik membeli Aksesoris.
3. Peningkatan Fokus pada Produk dengan Support Tinggi
   Produk dalam kategori Aksesoris dan Elektronik memiliki tingkat support yang tinggi, sehingga dapat diprioritaskan dalam stok dan pemasaran.
4. Evaluasi Kategori dengan Support Rendah
   Kategori dengan support rendah, seperti Alat Tulis, dapat ditinjau ulang strategi pemasarannya agar lebih menarik bagi pelanggan.

Dengan demikian, penerapan algoritma Apriori dalam analisis data transaksi dapat membantu dalam pengambilan keputusan berbasis data yang lebih efektif, sehingga bisnis dapat meningkatkan strategi pemasaran dan pengelolaan inventaris dengan lebih baik.



Gambar 3. Kerangka Pola pada Orange

Gambar 3. merupakan kerangka pola dalam menyusun analisis menggunakan widget yang tersedia didalam orange data mining, dimana kerangka tersebut diantara ialah file (sumber data yang nantinya dapat di olah menjadi tabel dan lainya), tabel (widget yang untuk menampilkan data berupa tabel), frequent itemset (menampilkan memproses data untuk mendapatkan itemset, nilai support dan persentase), dan association rules (untuk melihat nilai antecedent dan consequent).

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, algoritma Apriori berhasil mengidentifikasi pola pembelian pelanggan yang signifikan pada platform e-commerce Al-Fatta. Aturan asosiasi yang dihasilkan menunjukkan adanya hubungan kuat antara beberapa produk tertentu, terutama dalam kategori aksesoris yang menunjukkan permintaan konsumen yang sangat tinggi dengan nilai persentase mencapai 34%.

Temuan ini dapat dimanfaatkan untuk menyusun strategi pemasaran yang lebih efektif. Implementasi data mining ini pun memberikan wawasan berharga dalam pengelolaan stok dan rekomendasi produk kepada pelanggan. Dari analisis yang dilakukan, terungkap bahwa kombinasi produk tertentu memiliki tingkat confidence yang tinggi. Kombinasi tertinggi ditemukan pada dua kategori, yaitu hubungan antara kategori fashion dan aksesoris, yang menunjukkan tingkat confidence sebesar 30,8%. Ini menunjukkan bahwa pelanggan cenderung membeli produk-produk dalam kategori tersebut secara bersamaan.

Selain itu, penggunaan minimum support dan confidence yang tepat membantu mengeliminasi aturan yang kurang relevan, sehingga hanya pola-pola signifikan yang diambil dalam pengambilan keputusan bisnis. Melalui temuan ini, e-commerce Al-Fatta dapat menerapkan rekomendasi berbasis data untuk meningkatkan penjualan, mengoptimalkan strategi bundling produk, dan memperkuat loyalitas pelanggan.

Penelitian ini juga menunjukkan bahwa algoritma Apriori dapat menjadi alat yang efektif untuk mendukung keputusan bisnis yang berbasis data. Ke depannya, penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan menggabungkan algoritma Apriori dengan teknik machine learning lainnya, seperti clustering dan klasifikasi, untuk menggali lebih dalam mengenai perilaku pelanggan. Selain itu, analisis dengan jumlah

data yang lebih besar dapat meningkatkan akurasi pola yang ditemukan dan memberikan rekomendasi yang lebih optimal bagi bisnis.

DAFTAR PUSTAKA

[1] R. Hermiati *et al.*, "Pembuatan E-Commerce pada Raja Komputer Menggunakan Bahasa Pemrograman PHP dan Database MySQL," *Jurnal Media Infotama*, p. 54, 2021.

[2] I. P. Y. Indrawan, K. K. Widiartha, P. G. S. C. Nugraha, G. S. Mahendra, and I. D. K. L. Digita, "Rancang Bangun Sistem Informasi Penjualan dan …," p. 95, 2022.

[3] S. Setyaningtyas *et al.*, "Tinjauan Pustaka Sistematis pada Data Mining: Studi Kasus Algoritma K-Means Clustering," *Jurnal Teknoif Teknik Informatika Institut Teknologi Padang*, p. 52, 2022.

[4] L. Izzah *et al.*, "Penerapan Algoritma K-Means untuk Clustering Data Obat-Obatan," *Jurnal Ilmiah Komputer*, p. 70, 2021.

[5] P. M. S. Tarigan *et al.*, "Implementasi Data Mining Menggunakan Algoritma Apriori dalam Menentukan Persediaan Barang (Studi Kasus: Toko Sinar Harahap)," *Jurnal Janitra Informatika dan Sistem Informasi*, p. 11, 2022.

[6] B. R. Normah and R. Maulana, "Analisa Sentimen Perkembangan Vtuber dengan Metode Support Vector Machine Berbasis SMOTE," *Jurnal Teknik Komputer AMIK BSI*, p. 175, 2022.

[7] M. Khanza *et al.*, "Implementasi Algoritma Apriori dalam Penentukan Pemesanan," *JSAI: Journal Scientific and Applied Informatics*, p. 234, 2021.

[8] I. M. D. P. Asana *et al.*, "Aplikasi Data Mining Asosiasi Barang Menggunakan Algoritma Apriori-TID," *Informatics Jurnal*, p. 44, 2022.

[9] I. Rosmayati *et al.*, "Implementasi Data Mining pada Penjualan Kopi Menggunakan Algoritma Apriori," *Jurnal Algoritma*, p. 107, 2023.

[10] A. E. Noviyanti *et al.*, "Rekomendasi Paket Pakaian Berdasarkan Pola Penjualan Menggunakan Algoritma Apriori," *Jurnal Sisfotenika*, p. 138, 2024.

[11] N. A. Hibnastiar *et al.*, "Penerapan Algoritma Apriori dalam Menentukan Rekomendasi Paket Produk," *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, p. 330, 2024.