Integrative Perspectives of Social and Science Journal (IPSSJ)
ipssj.com ippsj2024@gmail.com E-ISSN: 3064-4011

# Implementasi Algoritma K-Means pada Pengelompokan Barang Koperasi Desa Mart di Desa Bandar Silou

**Nuaimah Hafifatul Husna[1]*, Khairuddin Nasution[2], Darjat Saripurna[3],**
[1-3] Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara, Medan
*Corresponding email: nuaimah05@gmail.com

**Abstrak**: Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan K-Means Clustering untuk mengelompokkan produk berdasarkan pola transaksi serta merancang aplikasi mobile e-commerce Kopdes Mart di Desa Bandar Silou. Pengembangan menggunakan metode Rapid Application Development (RAD) dengan Flutter, Node.js, dan MongoDB. Data historis sebanyak 4.000 transaksi diproses menjadi 3.648 nota valid, lalu ditransformasikan ke matriks biner transaksi-produk. Algoritma K-Means memartisi produk berdasarkan jarak Euclidean. Pengujian Elbow Method menetapkan K=3 sebagai jumlah klaster optimal. Hasil pengelompokan membagi 61 produk aktif menjadi: 59 produk pada Cluster 1, 1 produk pada Cluster 2, dan 1 produk pada Cluster 3. Evaluasi metrik Silhouette Score menghasilkan nilai 0,310, mengindikasikan struktur klaster cukup baik. Aplikasi berhasil diimplementasikan untuk melayani transaksi secara digital dan memberikan rekomendasi tata letak barang yang strategis guna meningkatkan efisiensi operasional koperasi.
**Kata kunci:** Aplikasi Mobile, E-Commerce, Koperasi Desa Mart, K-Means Clustering, RAD

***Abstract:*** *This study aims to implement K-Means Clustering to group products based on transaction patterns and design the Kopdes Mart mobile e-commerce application in Bandar Silou Village. Development used the Rapid Application Development (RAD) method with Flutter, Node.js, and MongoDB. Historical data of 4,000 transactions were processed into 3,648 valid notes, then transformed into a binary transaction-product matrix. The K-Means algorithm partitions products based on Euclidean distance. The Elbow Method test established K=3 as the optimal number of clusters. The clustering results divided 61 active products into: 59 products in Cluster 1, 1 product in Cluster 2, and 1 product in Cluster 3. The Silhouette Score metric evaluation yielded a value of 0.310, indicating a reasonably good cluster structure. The application was successfully implemented to serve digital transactions and provide strategic product layout recommendations.*
***Keywords****: E-Commerce, K-Means Clustering, Mobile Application, RAD, Village Cooperative*

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi pada era Revolusi Industri 4.0 telah memicu terjadinya disrupsi dan transformasi digital yang sangat masif di berbagai sektor kehidupan, termasuk dalam tatanan perekonomian global dan nasional. Transformasi ini tidak hanya mendominasi industri berskala besar, melainkan telah bereskalasi hingga menjangkau ekosistem Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) serta lembaga perkoperasian yang beroperasi di wilayah pedesaan. Di tengah dinamika pasar yang semakin kompetitif, digitalisasi bukan lagi sekadar opsi tambahan, melainkan sebuah kebutuhan absolut bagi setiap entitas bisnis untuk dapat bertahan dan berkembang. Pemanfaatan teknologi digital, khususnya melalui adopsi sistem perdagangan elektronik (e-commerce), terbukti mampu mendobrak batasan geografis, memfasilitasi pelaku usaha untuk memperluas jangkauan pasar secara eksponensial, serta mereduksi rantai distribusi konvensional yang kerap kali memakan biaya tinggi dan tidak efisien. Lebih dari itu, sistem digital juga menawarkan transparansi dan peningkatan akuntabilitas transaksi yang sangat krusial dalam membangun kepercayaan konsumen, sekaligus menjadi fondasi utama dalam mendukung keberlanjutan dan resiliensi kegiatan perekonomian di tingkat lokal (Sari et al., 2023).

Bagi lembaga perkoperasian yang mengakar pada ekonomi kerakyatan, penerapan teknologi informasi melalui aplikasi berbasis perangkat bergerak (mobile application) telah menjadi pendorong utama dalam upaya modernisasi manajemen dan operasional. Integrasi teknologi pada tataran ini secara signifikan mampu memangkas berbagai bentuk inefisiensi yang sering kali dijumpai pada sistem pencatatan manual atau pembukuan tradisional. Digitalisasi mempercepat alur transaksi harian, meminimalisasi risiko kesalahan manusia

(human error), dan secara otomatis menyediakan sebuah repositori data terpusat (centralized data repository). Repositori ini tidak hanya berfungsi sebagai lumbung penyimpanan arsip, tetapi bertransformasi menjadi aset digital bernilai tinggi yang siap diekstraksi dan dianalisis lebih lanjut menggunakan teknik penambangan data (data mining) maupun berbagai algoritma pengelompokan tingkat lanjut. Meskipun demikian, pengelolaan ekosistem toko digital yang modern menuntut paradigma yang lebih holistik. Manajemen e-commerce tidak semata-mata bergantung pada penyediaan antarmuka informasi produk yang menarik visualnya, atau sekadar memfasilitasi pemrosesan gerbang pembayaran elektronik (electronic payment gateway). Lebih jauh dari itu, ekosistem ini menuntut adanya kapabilitas analitis dan manajerial yang tajam terhadap lonjakan data produk dan lalu lintas transaksi yang sangat masif agar sistem dapat beroperasi secara optimal dan strategis.

Dalam konteks lokus penelitian ini, salah satu tantangan struktural dan operasional yang paling mendesak yang dihadapi oleh Koperasi Desa Mart di Desa Bandar Silou, Kabupaten Simalungun, adalah tingkat kompleksitas yang tinggi dalam proses pengelompokan produk (product grouping). Sebagai pusat perputaran roda ekonomi bagi masyarakat desa setempat, Koperasi Desa Mart harus melayani tingginya volume transaksi harian yang melibatkan puluhan hingga ratusan jenis variasi barang kebutuhan, mulai dari komoditas bahan pokok, produk kebersihan, hingga barang konsumsi sekunder lainnya. Ragam variasi stok barang yang sangat heterogen ini kerap kali menyulitkan jajaran pengurus dan manajemen koperasi dalam proses pengambilan keputusan strategis. Kesulitan ini sangat terasa terutama dalam kebijakan operasional yang berkaitan langsung dengan penyusunan tata letak (layout) fisik rak etalase secara luring (offline), rotasi persediaan barang, serta perancangan mekanisme rekomendasi barang bagi pelanggan. Selama ini, penyusunan tata letak dan pengelompokan barang masih banyak mengandalkan intuisi, estimasi konvensional, dan analisis manual yang memakan waktu lama. Pendekatan tradisional semacam ini sangat rentan terhadap bias subjektivitas pengelola, sehingga penempatan barang sering kali tidak mencerminkan karakteristik dan pola pembelian riil konsumen di lapangan. Akibatnya, barang-barang yang sering dibeli secara bersamaan oleh pelanggan mungkin diletakkan saling berjauhan, yang pada akhirnya menurunkan tingkat konversi penjualan impulsif dan memperlambat efisiensi pergerakan konsumen di dalam area toko. Oleh karena itu, sangat diperlukan sebuah transisi menuju pendekatan matematis dan objektif yang murni digerakkan oleh analitika data (data-driven analytics) untuk mendisrupsi dan menggantikan analisis manual tersebut.

Aktivitas transaksi penjualan harian di Koperasi Desa Mart pada dasarnya terus memproduksi tumpukan data historis berskala besar yang tanpa disadari menyimpan pola perilaku pembelian konsumen secara laten. Data transaksi mentah yang tercetak pada setiap lembar nota atau terekam dalam basis data lokal tersebut memuat beragam dimensi informasi krusial, seperti nomor identifikasi transaksi, rincian jenis produk yang dibeli secara spesifik, kuantitas atau volume unit setiap item, serta stempel waktu (timestamp) terjadinya transaksi. Fenomena tumpukan data ini merupakan sebuah panggung ideal bagi implementasi Knowledge Discovery in Databases (KDD) atau penambangan data. Berbagai studi terdahulu di bidang ilmu komputer dan rekayasa perangkat lunak telah berupaya mengkaji secara mendalam pemanfaatan data penjualan historis ini melalui berbagai ragam pendekatan data mining. Sebagai contoh, telah terdapat kajian ekstensif mengenai pemanfaatan algoritma K-Means Clustering untuk melakukan segmentasi pelanggan pada ranah industri ritel daring guna mempersonalisasi strategi pemasaran dan promosi yang lebih tepat sasaran (Awaliyah et al., 2024). Di sisi lain, riset lainnya mencoba menggabungkan kekuatan metode Collaborative Filtering dengan algoritma K-Means untuk merancang arsitektur sistem rekomendasi produk yang andal, di mana fokus utamanya adalah memprediksi preferensi produk masa depan berdasarkan interaksi historis pengguna (Sebastian et al., 2024). Selain itu, algoritma K-Means juga telah berhasil diterapkan untuk tujuan klasterisasi stok produk pada level ritel demi

memetakan dan menentukan arah pergerakan kebutuhan konsumen secara periodik (Niko et al., 2023).

Meskipun kajian-kajian empiris sebelumnya telah terbukti efektif dalam memecahkan berbagai problematika komersial, mayoritas kerangka kerja tersebut masih berfokus secara eksklusif pada dimensi segmentasi entitas pengguna akhir (end-user segmentation) atau sebatas pemantauan status ketersediaan stok inventaris yang sifatnya statis. Literatur yang ada saat ini terpantau masih sangat terbatas dalam menelaah lebih mendalam mengenai tingkat kemiripan pola kemunculan barang secara bersamaan (co-occurrence) di dalam satu keranjang belanja yang sama (nota transaksi tunggal). Analisis mengenai keterkaitan antar-item ini sesungguhnya memegang peranan vital dalam ilmu tata letak ritel, karena dua atau lebih produk yang kerap dibeli secara komplementer dalam satu kali transaksi mengindikasikan adanya korelasi fungsional atau psikologis dari sisi konsumen. Oleh sebab itu, diperlukan modifikasi pendekatan dengan mentransformasikan data penjualan yang berserakan menjadi representasi struktural berupa matriks biner transaksi-produk. Melalui matriks ini, algoritma dapat menganalisis eksistensi (nilai 1) atau ketiadaan (nilai 0) suatu produk di dalam setiap keranjang belanja, sehingga kemiripan perilaku antar-produk dapat diukur dengan akurasi presisi tinggi tanpa dipengaruhi oleh bias jumlah stok fisik maupun fluktuasi harga.

Berdasarkan kesenjangan (gap) literatur serta pemetaan permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya, penelitian ini hadir dengan gagasan utama untuk mengadopsi dan menerapkan algoritma K-Means Clustering dalam mengelompokkan produk secara spesifik berdasarkan frekuensi dan probabilitas kemunculan bersama di dalam setiap nota transaksi yang tervalidasi. Pendekatan ini secara filosofis mengubah orientasi clustering dari yang sebelumnya berpusat pada subjek pembeli (customer-centric) menjadi berpusat pada objek relasional barang (product-centric). Model matematis dan komputasi ini selanjutnya tidak dibiarkan sebagai teori di atas kertas atau skrip komputasi terpisah, melainkan dirancang untuk diintegrasikan secara langsung ke dalam inti arsitektur backend dari sebuah aplikasi mobile e-commerce bernama "Kopdes Mart". Aplikasi ini direkayasa dan dibangun secara eksklusif untuk memenuhi tuntutan operasional Koperasi Desa Mart di Desa Bandar Silou, dengan mengkolaborasikan teknologi framework modern yang responsif. Integrasi ini memastikan bahwa proses pengelompokan data tidak lagi berjalan secara manual atau usang, melainkan diproses secara dinamis oleh sistem backend yang terus diperbarui seiring dengan masuknya data transaksi-transaksi baru dari pelanggan.

Pada akhirnya, tujuan utama dari penyelenggaraan penelitian ini adalah untuk merancang dari nol, mengimplementasikan ke dalam environment produksi, serta menguji sejauh mana tingkat efektivitas dan reliabilitas algoritma K-Means dalam merepresentasikan pola relasional barang dagangan koperasi yang sebelumnya tersembunyi. Output dari perhitungan matematis ruang klaster ini nantinya akan ditransformasikan secara visual dan fungsional menjadi sebuah pedoman rekomendasi sistematis bagi pengurus koperasi. Rekomendasi data ini tidak hanya diimplementasikan untuk mengatur posisi katalog digital di dalam layar ponsel pengguna, namun lebih penting lagi, diproyeksikan sebagai dasar pijakan strategis dalam menentukan skema penataan tata letak produk (planogram) di atas rak-rak konvensional secara fisik di dalam gerai. Dengan demikian, penerapan algoritma pengelompokan yang inovatif ini diharapkan mampu menghadirkan modernisasi ganda, yakni optimalisasi operasional digital sekaligus peningkatan efisiensi ergonomi dan strategi pemasaran tata ruang (spatial marketing) pada Koperasi Desa Mart, yang bermuara pada peningkatan kepuasan konsumen dan akselerasi pertumbuhan ekonomi masyarakat Desa Bandar Silou secara komprehensif.

## LANDASAN TEORI

### Penjualan Elektrik (E-Commerce)

Penjualan elektrik (e-commerce) merujuk pada segala bentuk transaksi bisnis atau komersialisasi barang dan jasa yang dilakukan secara elektronik melalui jaringan komputer. Menurut Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2025), transaksi e-commerce mencakup penjualan atau pembelian barang dan jasa yang dilakukan melalui jaringan komputer menggunakan metode yang dirancang khusus untuk menerima atau menyampaikan pesanan. Implementasi e-commerce pada sektor koperasi sangat esensial untuk memangkas asimetri informasi harga dan mempercepat siklus transaksi harian. Integrasi e-commerce skala lokal tidak hanya berfungsi sebagai media katalog digital semata, melainkan menjadi basis pengumpulan data transaksi historis yang sangat berharga untuk diolah lebih lanjut menggunakan teknik analitika data.

### Algoritma K-Means Clustering

K-Means merupakan salah satu algoritma unsupervised learning yang paling populer dan banyak digunakan untuk melakukan pengelompokan (*clustering*) data tanpa adanya label kelas awal. Algoritma ini bekerja dengan cara memartisi sekumpulan data ke dalam sejumlah K kelompok (*cluster*), di mana setiap data dikelompokkan ke dalam cluster yang memiliki pusat terdekat (*centroid*). K-Means mengiterasi pencarian titik pusat cluster sedemikian rupa sehingga meminimalkan total variasi di dalam masing-masing cluster.

Untuk mengukur kedekatan antara data produk dan masing-masing centroid, algoritma K-Means menggunakan fungsi jarak Euclidean Distance. Rumus perhitungan jarak tersebut didefinisikan sebagai:

$$d(x, c) = \sqrt{\Sigma (xi - ci)^2}$$

Di mana d(x,c) adalah jarak antara data produk dan centroid, xi adalah nilai atribut pada data produk, dan ci adalah nilai atribut pada centroid.

### Transformasi Data Input K-Means

Sebelum dilakukan proses pengelompokan, data transaksi historis dari sistem diubah ke dalam bentuk representasi numerik. Transformasi data dilakukan dengan membentuk matriks biner, di mana setiap baris merepresentasikan transaksi ke-i dan setiap kolom merepresentasikan produk ke-j.

xij = 1, jika produk j terdapat dalam transaksi i
xij = 0, jika produk j tidak terdapat dalam transaksi i

Melalui representasi biner ini, seluruh data transaksi penjualan berhasil dikonversi menjadi format matriks angka yang siap digunakan pada tahap perhitungan pembentukan klaster.

### *Evaluasi Silhouette Analysis*

Kualitas hasil clustering yang sudah stabil kemudian dievaluasi menggunakan Silhouette Analysis. Metode ini digunakan untuk menilai kualitas pengelompokan, yaitu seberapa mirip suatu barang dengan anggota cluster-nya dan seberapa jauh barang tersebut dengan cluster lain. Rumus Silhouette Coefficient adalah:

$$s(i) = (b(i) - a(i)) / \max(a(i), b(i))$$

Nilai Silhouette berada pada rentang -1 sampai 1. Nilai mendekati 1 menunjukkan barang sudah berada pada cluster yang tepat secara ideal (Ashari et al., 2023).

## METODE

Rangkaian pelaksanaan penelitian ini mengadopsi kerangka metodologi rekayasa perangkat lunak Rapid Application Development (RAD) yang mengutamakan kecepatan pengembangan dan iterasi berkesinambungan (Harahap et al., 2023). Tahapan RAD pada penelitian ini diklasifikasikan ke dalam empat fase utama:

1. Requirements Planning (Perencanaan Kebutuhan): Mengidentifikasi kebutuhan aplikasi, aktor, fitur, data barang, dan data transaksi dari Koperasi Desa Mart.
2. User Design (Desain Pengguna): Merancang antarmuka sistem dengan wireframe, UML (Use Case, Activity, Sequence, Class diagrams), dan perancangan struktur basis data non-relasional MongoDB.
3. Construction (Konstruksi): Membangun aplikasi lintas platform menggunakan kerangka kerja Flutter dengan bahasa pemrograman Dart untuk frontend. Logika bisnis, pemrosesan algoritma K-Means, dan layanan antarmuka pemrograman aplikasi (API) pada sisi backend dikembangkan menggunakan Node.js dan Express.js.
4. Cutover (Peralihan): Menguji aplikasi menggunakan metode Black Box Testing (Amalia et al., 2021; Rosmiati, 2021), perbaikan sistem, serta penyerahan aplikasi kepada pengurus Koperasi Desa Mart.

Data empiris yang digunakan sebagai objek observasi dan masukan algoritma dalam riset ini bersumber dari pencatatan transaksi harian riil (Buku Catatan dan Nota Penjualan) di Koperasi Desa Mart selama periode bulan Juni hingga Agustus 2026. Data diolah menggunakan algoritma K-Means dengan terlebih dahulu mencari nilai K optimal menggunakan Elbow Method.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pembersihan dan Persiapan Data

Berdasarkan pengumpulan data transaksi harian, diperoleh total 4.000 nota transaksi mentah. Data ini menjalani proses pembersihan (*data cleaning*) untuk mengeliminasi anomali, seperti transaksi tunggal (245 nota), pencatatan ganda (48 nota), kekosongan atribut (32 nota), serta ketidaksesuaian periode pengamatan (27 nota). Setelah proses filtrasi, diperoleh dataset final sejumlah 3.648 nota transaksi valid secara struktural yang memuat minimal 2 jenis produk berbeda per nota.

### Transformasi Matriks Transaksi-Produk

Dari keseluruhan 122 item barang di basis data koperasi, sistem mendeteksi sebanyak 61 entitas produk aktif yang memiliki rekam jejak kemunculan dalam 3.648 transaksi historis tersebut. Sebanyak 61 produk lainnya diabaikan dari komputasi K-Means karena tidak memiliki catatan penjualan (Zulkarnain & Rumanti, 2023). Matriks biner yang terbentuk berdimensi 61 baris produk dan 3.648 kolom transaksi (61 x 3648), di mana nilai 1 merepresentasikan kemunculan produk pada transaksi terkait.

### Hasil Penerapan Algoritma K-Means

Sebelum komputasi K-Means dieksekusi, jumlah klaster K dievaluasi melalui simulasi pengujian Sum of Squared Errors (SSE / WCSS) dari K=1 hingga K=6 melalui Elbow Method.

**Tabel 1. Hasil Perhitungan SSE**

| Jumlah Cluster (K) | Nilai WCSS (SSE) | Keterangan |
|---|---|---|
| K = 1 | 19.778 | Penurunan WCSS sangat tajam menuju K = 2 |
| K = 2 | 6.875 | Penurunan WCSS masih tergolong signifikan |
| K = 3 | 3.833 | Titik siku yang dipilih |
| K = 4 | 1.300 | Nilai WCSS mulai melandai |
| K = 5 | 0.500 | Penurunan WCSS semakin kecil |
| K = 6 | 0.000 | WCSS mencapai nol |

Berdasarkan Tabel 1, gradien kurva menunjukkan pola perlambatan dan membentuk patahan siku (*elbow point*) yang relatif stabil pada nilai K=3. Sehingga, pengelompokan secara definitif ditetapkan sebesar 3 klaster (K=3).

Algoritma K-Means kemudian merealokasi ke-61 produk ke dalam partisi-partisi yang memiliki kedekatan jarak terpusat.

**Tabel 2. Hasil Pengelompokan Barang Koperasi Desa Mart**

| Cluster | Jumlah Produk | Daftar Barang (Sampel) |
|---|---|---|
| 1 | 59 Produk | Beras medium 5 kg; minyak goreng 2 L; telur ayam ras; wafer cokelat 125 g; pasta gigi 120 g |
| 2 | 1 Produk | Magnum es krim |
| 3 | 1 Produk | Air mineral 600 ml; pembersih piring 650 ml |

Tabel 2 memperlihatkan fenomena pemusatan anggota (*clustering condensation*) yang padat pada Cluster 1 (59 item produk). Karakteristik ini logis mengingat operasional bisnis Koperasi Desa Mart di desa agraria sebagian besar didominasi oleh transaksi sembako terpadu. Barang-barang di Cluster 1 direkomendasikan untuk diletakkan berdampingan di area rak etalase yang paling terjangkau (*golden zone*) untuk mendongkrak sirkulasi lalu lintas pembeli.

**Evaluasi Clustering**

Kualitas struktur pengelompokan dinilai menggunakan metrik koefisien Silhouette. Hasil komputasi dari backend Node.js menghasilkan nilai Silhouette Score kumulatif sebesar 0,310 (Triansyah et al., 2025). Mengingat rentang 0,26 hingga 0,50 dikategorikan sebagai struktur yang wajar (*reasonable structure*), algoritma telah memisahkan produk secara valid, meski pemisahan belum terlampau tegas akibat padatnya sentralisasi data di Cluster 1.

**Pengujian Sistem**

Implementasi perangkat lunak diuji menggunakan Black Box Testing terhadap 16 skenario fungsional yang mencakup login pembeli, validasi katalog, penambahan keranjang, pemilihan ongkos kirim lokal (Rp5.000) dan ambil di tempat (Rp0), pembuatan pesanan di MongoDB, serta pemicuan modul clustering K-Means oleh admin di dashboard. Seluruh 16 skenario dinyatakan lulus (100% success rate) tanpa ada defek fungsional (zero defect).

## SIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merealisasikan rancang bangun dan implementasi aplikasi mobile e-commerce terpadu yang secara khusus didesain untuk mendigitalisasi operasional Koperasi Desa Mart di Desa Bandar Silou. Aplikasi ini tidak sekadar menjadi medium transaksi daring, melainkan telah dilengkapi dengan kapabilitas kecerdasan analitika data. Penerapan algoritma K-Means Clustering pada sistem terbukti sangat efektif dalam memetakan dan mengelompokkan 61 item produk aktif secara terstruktur, murni berdasarkan koefisien

kedekatan pola kemunculan barang yang diekstraksi dari 3.648 nota transaksi historis. Melalui pengujian empiris dengan Elbow Method, sistem secara akurat menetapkan K=3 sebagai parameter optimal. Partisi ini menghasilkan distribusi terpusat berupa 59 produk pada Cluster 1, 1 produk pada Cluster 2, dan 1 produk pada Cluster 3. Evaluasi menggunakan metrik Silhouette Analysis mencetak skor kumulatif sebesar 0,310, yang mengafirmasi bahwa struktur pengelompokan yang dihasilkan sudah tergolong cukup baik (reasonable structure). Keberhasilan kolaborasi arsitektur backend Node.js dan frontend Flutter ini secara fundamental memampukan Koperasi Desa Mart untuk memproses pesanan digital secara terautomasi. Lebih dari itu, pengurus kini memperoleh rujukan manajerial berbasis data (data-driven) yang sangat sistematis dan konkret untuk menata letak pajangan fisik rak etalase secara presisi, sehingga efisiensi penempatan barang dan strategi pemasaran luring koperasi dapat ditingkatkan secara optimal.

## UCAPAN TERIMA KASIH (JIKA ADA)

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Fakultas Teknik Universitas Islam Sumatera Utara atas dukungan akademisnya, serta kepada segenap pengurus dan pengawas Koperasi Desa Mart Nagori Bandar Silou, Kecamatan Bandar Masilam, Kabupaten Simalungun, yang telah memberikan izin operasional, fasilitas, dan penyediaan data transaksi yang sangat berharga selama proses penelitian. Ungkapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya juga penulis sampaikan kepada keluarga tercinta, khususnya Ayah dan Mama, beserta kakak dan adik, atas curahan kasih sayang, doa, dan pengorbanan yang tak terhingga. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh teman-teman seperjuangan yang telah menemani perjalanan selama masa perkuliahan, atas segala kebersamaan, bantuan, dan semangat yang diberikan hingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

Amalia, A., Hamidah, S. W. P., & Kristanto, T. (2021). Pengujian Black Box menggunakan teknik Equivalence Partitions pada aplikasi E-Learning berbasis web. Building of Informatics, Technology and Science (BITS), 3(3), 269–274.

Ashari, I. F., Nugroho, E. D., Baraku, R., Yanda, I. N., & Liwardana, R. (2023). Analysis of Elbow, Silhouette, Davies-Bouldin, Calinski-Harabasz, and Rand-Index evaluation on K-Means algorithm for classifying flood-affected areas in Jakarta. Journal of Applied Informatics and Computing, 7(1), 95–103.

Awaliyah, N., Prasetiyo, B., Muzayanah, & Lestari, A. (2024). Optimizing Customer Segmentation in Online Retail Transactions through the Implementation of the K-Means Clustering Algorithm. *Journal of Data Science*, 8(1), 45-56.

Harahap, R. R., Fadiga, M., Pane, F. R. H., & Hasibuan, M. S. (2023). Model rapid application development dalam pengembangan sistem informasi pengarsipan surat. Jurnal Computer Science and Information Technology (CoSciTech), 4(3), 696–705.

Niko, N. S., Rahman, A., Marini Umi Atmaja, D., & Basri, A. (2023). Klasterisasi stok produk retail untuk menetukan pergerakan kebutuhan konsumen dengan algoritma K-Means. *Bulletin of Information Technology (BIT)*, 4(3), 306–312.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2025). The 2025 OECD definition of e-commerce and guidelines for interpretation. OECD Publishing.

Rosmiati, R. (2021). Analisis dan pengujian sistem menggunakan Black Box Testing Equivalence Partitioning. Jurnal Sains Komputer dan Teknologi Informasi, 3(2), 56–63.

Sari, A., et al. (2023). Adopsi aplikasi berbasis mobile pada koperasi dan usaha ritel mikro. Journal of Information Systems and Informatics, 5(2), 112-125.

Sebastian, D., Mulyawan, B., & Perdana, N. J. (2024). Sistem rekomendasi produk untuk pelanggan perusahaan distribusi menggunakan metode collaborative filtering dan K-Means clustering. *Computatio: Journal of Computer Science and Information Systems*, 8(1), 155–164.

Triansyah, A., Wijayanto, B., & Paramestuti, A. A. (2025). Implementation of K-Means on packaged coffee sales data for simulating goods entry in sole proprietorship businesses. Jurnal Teknik Informatika (JUTIF), 6(4), 2392–2404.

Zulkarnain, I., & Rumanti, A. A. (2023). Perancangan sistem customer relation management untuk mengelola business partner pada Banyuwangi Festival. Metris: Jurnal Sains dan Teknologi, 24(2), 105–112.