

Implementasi Gaussian Mixture Model Pada Aplikasi Android Untuk Analisis Keuangan Pribadi

Gaussian Mixture Model Implementation in an Android Application for Personal Financial Analysis

Rishaq Dean Sheva^{*1}, Khaerul Ma'mur²

^{1,2}Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pamulang

^{*1}deansheva04@gmail.com, ²dosen00844@unpam.ac.id

Received: July 13, 2026 | Revised: September 16, 2026 | Accepted: October 26, 2026 | Published: October 29, 2026



COSIE is licensed a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License

Abstrak

Pencatatan transaksi yang tidak konsisten menyulitkan pengguna memahami pola pengeluaran pribadi. Penelitian ini mengimplementasikan Gaussian Mixture Model (GMM) pada aplikasi Android untuk mengelompokkan nominal pengeluaran dan menyajikan ringkasan pola keuangan. Aplikasi dikembangkan dengan model prototyping menggunakan Flutter/Dart dan Firebase. Data uji GMM merupakan 100 transaksi pengeluaran simulasi pada Agustus–Oktober 2026, bukan data partisipan. Nominal pengeluaran ditransformasikan dengan logaritma natural, kemudian dimodelkan secara univariat menggunakan tiga komponen GMM yang diestimasi dengan Expectation-Maximization. Proses mencapai kriteria konvergensi pada iterasi ke-1.012. Pusat komponen pada skala nominal sekitar Rp71.721, Rp419.082, dan Rp2.467.997, dengan distribusi anggota 79, 18, dan 3 transaksi. Pengujian fungsional mencatat 27 pengujian lulus. Pengujian white-box pada alur penilaian kapasitas keuangan menghasilkan cyclomatic complexity sebesar 6 dan enam jalur independen lulus. GMM melengkapi aturan anggaran 50/30/20 yang digunakan aplikasi untuk menilai proporsi arus kas. Temuan terbatas pada data simulasi; kualitas cluster belum diuji terhadap ground truth eksternal atau metrik validasi cluster, sehingga hasil dibaca secara deskriptif.

Kata kunci: aplikasi Android; Gaussian Mixture Model; clustering; keuangan pribadi; pola pengeluaran

Abstract

Inconsistent transaction records make it difficult for users to understand personal spending patterns. This study implements a Gaussian Mixture Model (GMM) in an Android application to group expense amounts and summarize financial patterns. The application was developed using a prototyping approach with Flutter/Dart and Firebase. The GMM test data comprised 100 simulated expense transactions from August to October 2026, not participant data. Expense amounts were transformed using the natural logarithm and modeled as a univariate three-component GMM estimated by Expectation-Maximization. The model met its convergence criterion at iteration 1,012. Approximate component centers on the nominal scale were IDR 71,721, IDR 419,082, and IDR 2,467,997, with 79, 18, and 3 transactions, respectively. Functional testing recorded 27 passed tests. White-box testing of the financial-capacity assessment flow yielded a cyclomatic complexity of 6, and all six independent paths passed. GMM complements the application's separate 50/30/20 budgeting rule. Findings are limited to simulated data; cluster quality was not evaluated against external ground truth or internal validation metrics. Results therefore describe implementation behavior and do not establish population-level performance or the validity of the three clusters.

Keywords: Android application; Gaussian Mixture Model; clustering; personal finance; expenditure patterns



COSIE is licensed a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan keuangan pribadi membutuhkan pencatatan pemasukan dan pengeluaran yang konsisten. Aplikasi mobile menyediakan sarana untuk merekam transaksi, menyusun anggaran, dan meninjau ringkasan keuangan, tetapi manfaat analisis tetap bergantung pada kelengkapan data yang dimasukkan pengguna [1]–[3], [6], [11]–[15], [20].

Survei nasional juga menempatkan literasi dan inklusi keuangan sebagai konteks penting dalam pengelolaan keuangan masyarakat Indonesia [15]. Pencatatan transaksi saja belum otomatis menjelaskan pola nominal pengeluaran. Aplikasi personal finance terdahulu berfokus pada pencatatan, anggaran, laporan, atau pengingat, sedangkan penelitian yang menggabungkan analisis kelompok pengeluaran dengan indikator kapasitas arus kas pada aplikasi mobile masih terbatas [1]–[3], [6], [11]–[14]. Literatur clustering menunjukkan bahwa pilihan model dan struktur komponen memengaruhi bentuk kelompok yang dihasilkan [4], [5], [10], [19].

Gaussian Mixture Model (GMM) dipilih karena menghasilkan probabilitas keanggotaan transaksi pada setiap komponen, sehingga keluaran tidak terbatas pada label tunggal. Karakteristik ini mendukung penyajian transaksi yang berada di sekitar batas kelompok. Pemilihan tersebut adalah alasan kesesuaian keluaran dengan kebutuhan aplikasi, bukan klaim bahwa GMM selalu lebih unggul daripada K-Means atau metode lain [4], [5], [10], [16], [19]. Kontribusi penelitian terletak pada integrasi GMM univariat berbasis logaritma nominal pengeluaran dengan aturan anggaran 50/30/20 pada aplikasi Android. GMM merangkum pola nominal relatif, sedangkan modul aturan menggunakan pemasukan efektif dan rasio pengeluaran untuk menampilkan ringkasan kapasitas keuangan. Keduanya memiliki tujuan analitis yang berbeda; penelitian ini tidak mengusulkan algoritma GMM atau aturan anggaran baru.

Data clustering yang digunakan merupakan simulasi dan tidak memiliki label rujukan eksternal. Karena itu, hasil tidak ditafsirkan sebagai akurasi klasifikasi atau bukti bahwa kelompok telah tervalidasi. Evaluasi cluster melalui indeks internal dan kriteria pemilihan jumlah komponen juga tidak dilakukan; keterbatasan indeks validasi perlu diperhatikan saat menafsirkan hasil clustering [9], [19]. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan analisis pengeluaran dengan GMM pada aplikasi Android dan mendeskripsikan hasil model serta pengujian sistem. Pertanyaan yang dijawab adalah bagaimana GMM univariat diintegrasikan ke aplikasi, dan bagaimana hasil implementasi dilaporkan secara proporsional terhadap bukti yang tersedia.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Desain dan lingkungan implementasi

Penelitian ini menggunakan pendekatan implementatif dengan model pengembangan prototyping. Tahapan pengembangan mencakup identifikasi kebutuhan, perancangan, pembangunan prototype, evaluasi dan perbaikan, serta pengujian. Pemilihan pendekatan berulang sesuai dengan praktik pengembangan aplikasi mobile yang menempatkan evaluasi antarmuka dan kebutuhan pengguna sebagai bagian dari proses desain [8], [13], [14]. Aplikasi Android dikembangkan menggunakan Flutter/Dart dan Firebase Cloud Firestore untuk penyimpanan data. Fungsinya mencakup pencatatan transaksi, pengelolaan data, analisis pengeluaran, ringkasan kapasitas keuangan, pengingat lokal, ekspor laporan, serta pencadangan dan pemulihan. Pengingat berjalan berdasarkan jadwal lokal dan tidak memantau pencatatan transaksi secara real-time. Alur analisis berjalan setelah pengguna memilih periode data. Evaluasi numerik GMM menggunakan 100 transaksi pengeluaran simulasi pada Agustus–Oktober 2026, bukan transaksi pengguna nyata atau sampel partisipan. Dataset mencakup transaksi harian, berkala, dan tidak rutin, termasuk beberapa pengeluaran bernilai besar yang dipertahankan sebagai transaksi valid. Tiga catatan pemasukan digunakan hanya oleh modul kapasitas keuangan. Karakteristik demografis partisipan tidak berlaku untuk data clustering ini. Setiap transaksi aplikasi dapat memiliki tanggal, jenis, kategori, dan nominal. Namun, fitur yang dimasukkan ke model clustering hanya nominal pengeluaran positif. Pemasukan dikelola terpisah untuk menghitung rasio pengeluaran terhadap pemasukan efektif; GMM tidak mengelompokkan pemasukan maupun kategori kebutuhan dan keinginan.

2.2. Dataset dan unit analisis

Nominal pengeluaran positif x ditransformasikan menjadi $z = \ln(x)$ untuk mereduksi rentang nilai sebelum estimasi. Data dimodelkan secara univariat menggunakan tiga komponen. Komponen akhir diurutkan berdasarkan pusat nominal agar dapat diberi label operasional rendah, menengah, dan besar. Label tersebut diberikan setelah estimasi dan bukan kelas yang diketahui dari ground truth. Jumlah komponen K ditetapkan tiga sebelum proses evaluasi. Penelitian tidak membandingkan kandidat K menggunakan Bayesian Information Criterion (BIC) atau Akaike Information Criterion (AIC), dan tidak menghitung silhouette coefficient maupun Davies–Bouldin index. Dengan demikian, $K=3$ merupakan konfigurasi implementasi yang dilaporkan, bukan hasil seleksi atau validasi statistik.

2.3. Prapemrosesan

GMM merepresentasikan distribusi nominal yang telah ditransformasikan sebagai campuran tiga distribusi Gaussian. Parameter yang diestimasi meliputi bobot komponen π_k , rata-rata μ_k , dan varians σ_k^2 . Estimasi dilakukan menggunakan Expectation-Maximization (EM): tahap expectation menghitung tanggung jawab transaksi terhadap komponen, lalu tahap maximization memperbarui parameter

berdasarkan tanggung jawab tersebut [4], [5], [10], [16], [19]. Untuk setiap transaksi, label tampilan diambil dari komponen dengan probabilitas keanggotaan tertinggi. Informasi probabilitas tetap dipakai untuk menunjukkan bahwa batas kelompok tidak selalu bersifat mutlak. Pusat komponen dikembalikan ke skala nominal rupiah hanya untuk interpretasi, sedangkan estimasi dilakukan pada skala logaritmik.

Pengujian fungsional menggunakan skenario black-box dan Equivalence Partitioning untuk pencatatan, pengelolaan transaksi, analisis GMM, kapasitas keuangan, ekspor, pencadangan, pemulihan, dan validasi masukan. Pengujian aplikasi mobile perlu dibatasi pada perangkat, skenario, dan lingkungan yang benar-benar diuji; hasil penelitian ini tidak mencakup seluruh variasi perangkat Android [7], [17], [18]. Pengujian white-box memeriksa percabangan getter capacityProfile pada kelas GmmAnalysis, bukan seluruh aplikasi atau seluruh implementasi EM. Kompleksitas siklomatis dihitung menggunakan $V(G)=E-N+2$, dengan E sebagai jumlah sisi dan N sebagai jumlah simpul pada graph alur kendali [17]. Enam jalur independen menguji keluaran noIncome, constrained, highCapacity, stable, dan tight, termasuk satu jalur kondisi pemasukan tinggi dengan rasio 0,70.

2.4. Model GMM dan estimasi

Evaluasi melaporkan dua kelompok bukti: hasil uji fungsional/eksekusi dan nilai kompleksitas siklomatis pada capacityProfile. Untuk clustering, penelitian melaporkan parameter, pusat komponen, jumlah anggota, dan jejak konvergensi. Tidak ada ground truth untuk menghitung akurasi eksternal, dan indeks validasi internal tidak dihitung; ukuran-ukuran tersebut tidak boleh disimpulkan dari hasil pengujian perangkat lunak [9], [19].

2.5. Pengaturan eksperimen dan pengujian

Hasil numerik GMM meliputi jumlah anggota dan pusat komponen setelah dikembalikan ke nominal rupiah. Nilai tersebut digunakan sebagai ringkasan deskriptif data simulasi.

2.6. Metrik evaluasi

Kompleksitas siklomatis dihitung dengan $V(G)=E-N+2$. Pengujian white-box dibatasi pada getter capacityProfile; enam jalur independen diuji. Tidak ada ground truth eksternal untuk menghitung akurasi. Berikan rincian yang memadai agar dapat direproduksi.

- Ringkasan dataset dan evaluasi

Dataset simulasi dan keluaran evaluasi diringkas pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan data pengujian dan ruang lingkup evaluasi

Aspek	Spesifikasi	Aspek	Spesifikasi
Data uji	100 transaksi simulasi	Periode	Agustus–Oktober 2026
Unit	Transaksi pengeluaran	Fitur GMM	Nominal positif
Transformasi	$\ln(\text{amount})$	Model	GMM univariat
Komponen	$K = 3$, ditetapkan	Pemasukan	3 catatan; modul kapasitas
Ground truth	Tidak tersedia	Validasi cluster	Tidak dihitung

- Formulasi model GMM

Untuk data z_i , fungsi kepadatan campuran dituliskan sebagai berikut:

$$p(z_i) = \sum_{k=1}^3 \pi_k N(z_i | \mu_k, \sigma_k^2) \quad (1)$$

3. HASIL

Pada 100 transaksi simulasi, proses EM memenuhi kriteria konvergensi pada iterasi ke-1.012. Setelah pusat komponen dikembalikan ke skala rupiah dan diurutkan, pusatnya sekitar Rp71.721, Rp419.082, dan Rp2.467.997. Tabel 2 merangkum distribusi transaksi pada ketiga komponen.

Tabel 2. Hasil pengelompokan GMM pada transaksi simulasi

Kelompok	Pusat nominal	Transaksi	Proporsi
----------	---------------	-----------	----------

Rendah	Sekitar Rp71.721	79	79%
Menengah	Sekitar Rp419.082	18	18%
Besar	Sekitar Rp2.467.997	3	3%

Komponen rendah memuat sebagian besar transaksi, sedangkan komponen besar memuat tiga transaksi. Ketidakseimbangan ini menggambarkan komposisi data simulasi dan tidak membuktikan distribusi yang sama pada populasi pengguna nyata. Pusat komponen merupakan ringkasan nominal pada dataset ini, bukan ambang finansial universal. Pada antarmuka, aplikasi menyajikan label kelompok, pusat komponen, bobot, dan probabilitas keanggotaan transaksi. Modul kapasitas keuangan menyajikan keluaran terpisah yang dihitung dari pemasukan efektif dan rasio pengeluaran. Label GMM tidak digunakan sebagai penilaian kesehatan finansial pengguna. Catatan eksekusi menunjukkan 27 pengujian lulus. Enam jalur white-box pada capacityProfile lulus, dengan graph 12 simpul dan 16 sisi sehingga $V(G)=16-12+2=6$. Pengujian tersebut mendukung kesesuaian implementasi pada skenario yang diuji, tetapi tidak menyatakan aplikasi bebas dari seluruh kesalahan atau telah kompatibel dengan semua perangkat. Pengujian tidak mencakup penerimaan pengguna, keamanan, konsumsi memori, kinerja pada volume besar, atau kompatibilitas menyeluruh. Pemeriksaan GMM pada dataset simulasi memverifikasi hasil keluaran dan jejak iterasi yang tercatat; hal ini bukan validasi eksternal kualitas cluster.

4. PEMBAHASAN

Hasil memperlihatkan bahwa GMM dapat menghasilkan tiga komponen nominal untuk ditinjau pada data simulasi. Probabilitas keanggotaan merupakan keluaran yang berguna ketika transaksi berada dekat batas kelompok, tetapi hasil numerik tetap bergantung pada data, inisialisasi, dan asumsi distribusi model [4], [5], [10], [16], [19]. GMM dipilih berdasarkan kebutuhan penyajian keanggotaan probabilistik. Penelitian ini tidak menjalankan perbandingan head-to-head dengan K-Means, DBSCAN, atau metode lain pada dataset dan prosedur prapemrosesan yang sama. Karena itu, temuan tidak mendukung klaim keunggulan atau akurasi GMM dibandingkan metode lain. Literatur terkait model campuran juga membahas pemilihan struktur dan keterbatasan asumsi distribusi [4], [5], [10]. Integrasi analisis nominal dengan ringkasan aturan anggaran memberi dua jenis informasi: pola relatif transaksi dan proporsi arus kas terhadap pemasukan. Pemisahan ini mencegah label cluster dibaca sebagai rekomendasi finansial. Aplikasi pengelolaan keuangan sebelumnya juga menggabungkan pencatatan, anggaran, laporan, atau notifikasi dengan cara yang beragam [1]–[3], [6], [11]–[14].

Hasil uji fungsi dan white-box menjawab aspek berbeda. Dua puluh tujuh pengujian lulus menunjukkan skenario fungsional yang dijalankan memberikan hasil sesuai harapan, sementara kompleksitas 6 menggambarkan jumlah jalur independen pada satu getter. Keduanya tidak menggantikan uji keamanan, kegunaan, performa, atau pengujian lintas perangkat. Evaluasi mobile memerlukan cakupan yang selaras dengan ekosistem perangkat yang beragam [7], [17], [18].

Keterbatasan utama adalah dataset simulasi, satu fitur clustering, dan K yang ditentukan sebelumnya. Tidak tersedia label eksternal, sedangkan BIC/AIC, silhouette, dan Davies–Bouldin tidak dihitung. Oleh sebab itu, kualitas cluster belum dapat disimpulkan secara kuantitatif. Penelitian lanjutan sebaiknya membandingkan beberapa nilai K, melaporkan kriteria informasi dan indeks validitas yang sesuai, serta menilai stabilitas hasil. Indeks validasi sendiri memiliki asumsi dan keterbatasan yang perlu dipertimbangkan [4], [9], [19].

Generalisasi hasil dibatasi oleh penggunaan data simulasi Agustus–Oktober 2026 dan GMM univariat. Kelompok yang terbentuk hanya menjelaskan struktur nominal pada data tersebut; kategori, waktu, frekuensi, maupun pemasukan tidak menjadi fitur clustering. Pengujian dengan transaksi nyata memerlukan persetujuan, anonimisasi, dan tata kelola data yang memadai.

Pengembangan berikutnya dapat menilai antarmuka dan kegunaan aplikasi dengan partisipan, menguji data pada periode yang lebih panjang, dan membandingkan GMM dengan metode lain memakai protokol serta metrik yang sama. Penilaian aplikasi finansial dapat mencakup kualitas informasi dan fungsi aplikasi selain sekadar keberhasilan pencatatan [12]. Uji performa dan keamanan juga diperlukan sebelum penggunaan yang lebih luas.

5. KESIMPULAN

GMM univariat berbasis $\ln(\text{nominal})$ telah diintegrasikan ke aplikasi Android bersama modul aturan arus kas 50/30/20. Pada 100 transaksi simulasi Agustus–Oktober 2026, konfigurasi $K=3$ mencapai konvergensi pada iterasi ke-1.012 dan menghasilkan pusat sekitar Rp71.721, Rp419.082, dan Rp2.467.997 dengan jumlah anggota 79, 18, dan 3. Sebanyak 27 pengujian tercatat lulus; jalur capacityProfile memiliki

kompleksitas siklomatis 6 dan enam jalur independen lulus. Kontribusi penelitian adalah demonstrasi integrasi analisis GMM probabilistik dan aturan kapasitas keuangan pada aplikasi mobile. Kualitas cluster dan keunggulan metode belum tervalidasi; evaluasi lanjutan perlu menguji beberapa nilai K, menghitung metrik validasi, membandingkan metode, dan menggunakan data nyata secara etis.

KONTRIBUSI PENULIS

Kontribusi penulis disamakan untuk penelaahan anonim dan akan dipulihkan setelah proses penelaahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disamakan untuk penelaahan anonim dan akan dipulihkan setelah proses penelaahan.

PENDANAAN

Informasi pendanaan disamakan untuk penelaahan anonim dan akan dipulihkan setelah proses penelaahan.

PERNYATAAN KETERSEDIAAN DATA

Data 100 transaksi merupakan simulasi. Dataset dan kode sumber tidak tersedia untuk publik sebagai berkas terpisah; metode dan hasil yang dilaporkan dijelaskan dalam artikel ini.

KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan.

REFERENCES

- [1] D. R. Hastedi, "Rancang Bangun Aplikasi Keuangan untuk Mengatur Jumlah Pengeluaran Pribadi Berbasis Android," *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, vol. 9, no. 1, pp. 25–34, 2024, doi: 10.30591/jpit.v9i1.5980.
- [2] I. S. T. Artanto, T. A. P. Sidhi, and P. Ardanari, "Pembangunan Sistem Pengelolaan dan Analisis Keuangan Pribadi Berbasis Mobile," *Jurnal Informatika Atma Jogja*, vol. 6, no. 1, pp. 41–50, 2025, doi: 10.24002/jiaj.v6i1.11598.
- [3] T. Stefanov, M. Stefanova, S. Varbanova, and S. Temelkov, "Personal Finance Management Application," *TEM Journal*, vol. 13, no. 3, pp. 2066–2075, 2024, doi: 10.18421/TEM133-34.
- [4] D. Rodríguez-Vitores and C. Matrán, "Improving model choice in classification: an approach based on clustering of covariance matrices," *Statistics and Computing*, vol. 34, Art. no. 100, 2024, doi: 10.1007/s11222-024-10410-y.
- [5] F. Wang, L. Li, and P. Fränti, "Nested Gaussian mixture model: clustering data from generalized mixture distributions," *International Journal of Data Science and Analytics*, vol. 21, Art. no. 38, 2026, doi: 10.1007/s41060-025-00912-x.
- [6] R. Imawan, W. P. Putra, R. Alqahtani, E. D. Milakis, and M. Dumchykov, "Enhancing Financial Literacy in Young Adults: An Android-Based Personal Finance Management Tool," *Journal of Hypermedia & Technology-Enhanced Learning*, vol. 3, no. 1, pp. 64–89, 2025, doi: 10.58536/j-hytel.166.
- [7] P. H. Kuroishi, A. C. R. Paiva, J. C. Maldonado, and A. M. R. Vincenzi, "Testing infrastructures to support mobile application testing: A systematic mapping study," *Information and Software Technology*, vol. 177, Art. no. 107573, 2025, doi: 10.1016/j.infsof.2024.107573.
- [8] A. E. Ilhan, "Design approaches to improve user experience: An example of a mobile app prototyping process," *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 203, Art. no. 103569, 2025, doi: 10.1016/j.ijhcs.2025.103569.
- [9] A. M. Ikotun, F. Habyarimana, and A. E. Ezugwu, "Cluster validity indices for automatic clustering: A comprehensive review," *Heliyon*, vol. 11, no. 2, Art. no. e41953, 2025, doi: 10.1016/j.heliyon.2025.e41953.
- [10] D. Yao, F. Xie, and Y. Xu, "Bayesian sparse Gaussian mixture model for clustering in high dimensions," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 26, pp. 1–50, 2025.
- [11] R. A. Reza, Y. Khairunisa, and N. Rahmansyah, "Development of an Android Based Personal Financial Management Application for Financial Monitoring and Student Expense Notifications," *SMATIKA Jurnal: STIKI Informatika Jurnal*, vol. 16, no. 2, 2026, doi: 10.32664/smatika.v16i02.2294.

- [12] Ł. Nikiel, A. Patskevich, and M. Miłosz, "Evaluation of mobile applications for personal finance management using the MARS scale," *Journal of Computer Sciences Institute*, vol. 40, pp. 226–231, 2026, doi: 10.35784/jcsi.9721.
- [13] M. A. S. J. Pratama and A. T. Hidayat, "Designing a student financial management mobile application using personal extreme programming method," *Jurnal Simantec*, vol. 13, no. 2, 2025.
- [14] R. R. Pratama, L. H. Saputra, and T. E. Subakti, "Pengembangan Aplikasi Mobile Manajemen Keuangan Pribadi Menggunakan Metode Design Thinking," *LOGIC: Jurnal Ilmu Komputer dan Pendidikan*, vol. 3, no. 6, pp. 507–513, 2026.
- [15] Otoritas Jasa Keuangan, Lembaga Penjamin Simpanan, and Badan Pusat Statistik, "Siaran Pers Bersama: Hasil Survei Nasional Literasi dan Inklusi Keuangan Tahun 2026," 2026. [Online]. Available: <https://ojk.go.id/id/berita-dan-kegiatan/siaran-pers/Pages/Hasil-SNLIK-Tahun-2026.aspx>
- [16] G. McLachlan and D. Peel, *Finite Mixture Models*. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2005, doi: 10.1002/0471721182.
- [17] T. J. McCabe, "A complexity measure," *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. SE-2, no. 4, pp. 308–320, 1976, doi: 10.1109/TSE.1976.233837.
- [18] M. A. Amalia, S. W. Putri Hamidah, and T. Kristanto, "Pengujian Black Box Menggunakan Teknik Equivalence Partitions Pada Aplikasi E-Learning Berbasis Web," *Building of Informatics, Technology and Science*, vol. 3, no. 3, pp. 269–274, 2021, doi: 10.47065/bits.v3i3.1062.
- [19] C. Fraley and A. E. Raftery, "Model-based clustering, discriminant analysis, and density estimation," *Journal of the American Statistical Association*, vol. 97, no. 458, pp. 611–631, 2002, doi: 10.1198/016214502760047131.
- [20] M. A. Handayani, C. Amalia, and T. D. R. Sari, "Pengaruh Pengetahuan Keuangan, Sikap Keuangan dan Kepribadian Terhadap Perilaku Manajemen Keuangan," *EKOMBIS REVIEW*, vol. 10, no. 2, pp. 647–660, 2022, doi: 10.37676/ekombis.v10i2.2262.