Penerapan Algoritma K-Means dan Metode Elbow dalam Pengelompokan Tingkat Kepuasan Mahasiswa terhadap Layanan Akademik

Prasetyo Agustian*[1], Nunung Hidayatun [2]
Fakultas Teknik Informatika, Universitas Bina Sarana Informatika[1,2]
*e-mail: agustianprasetyo293@gmail.com

ABSTRAK
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengelompokkan tingkat kepuasan mahasiswa terhadap layanan akademik menggunakan metode data mining. Algoritma K-Means Clustering diterapkan untuk membentuk klaster berdasarkan tingkat kemiripan data, sedangkan Elbow Method digunakan untuk menentukan jumlah klaster optimal berdasarkan nilai hasil observasi. Data penelitian diperoleh dari web dan observasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan algoritma K-Means mampu mengelompokkan data kepuasan mahasiswa ke dalam beberapa klaster yang merepresentasikan tingkat kepuasan layanan akademik. Temuan ini dapat dimanfaatkan sebagai dasar evaluasi dan pengambilan keputusan dalam upaya peningkatan kualitas layanan akademik.
Kata kunci : ***K-Means; Metode Elbow; Kepuasan Layanan.***

ABSTRACT
This study aims to analyze and classify student satisfaction levels towards academic services using data mining methods. The K-Means Clustering algorithm is applied to form clusters based on the level of data similarity, while the Elbow Method is used to determine the optimal number of clusters based on the observation results. Research data was obtained from the web and observations. The results show that the application of the K-Means algorithm is able to group student satisfaction data into several clusters that represent the level of satisfaction with academic services. These findings can be used as a basis for evaluation and decision making in efforts to improve the quality of academic services.
Keywords* : *K-Means; Elbow Method; Service Satisfaction

PENDAHULUAN

Peningkatan kualitas layanan akademik pada institusi pendidikan tinggi menjadi salah satu faktor kunci dalam menjamin kepuasan mahasiswa. Kepuasan mahasiswa terhadap layanan akademik mencakup aspek seperti kemudahan akses administratif, responsifvtas staf, ketersediaan fasilitas, dan kualitas interaksi akademik (Maulidin, 2024). Dengan meningkatnya ekspektasi mahasiswa di era digital dan persaingan antar-institusi, maka pengukuran serta pengelompokan tingkat kepuasan mahasiswa menjadi penting agar institusi dapat mengidentifikasi kelompok-kelompok mahasiswa dengan kebutuhan dan pengalaman yang berbeda.

Selanjutnya, evaluasi kepuasan mahasiswa sering kali dilakukan melalui survei atau kuesioner yang menghasilkan data kuantitatif dalam jumlah besar. Data tersebut umumnya mencakup berbagai dimensi layanan, seperti tangibles, reliability, responsiveness, assurance, dan empathy. Kondisi ini menyulitkan analisis manual dalam menemukan pola atau segmentasi mahasiswa berdasarkan tingkat kepuasan mereka (Kurniawan & Farhatuaini, 2024). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan analisis data yang mampu mengolah data secara sistematis dan objektif.

Salah satu pendekatan yang banyak digunakan dalam analisis data kepuasan adalah teknik data mining, khususnya metode clustering. Clustering bertujuan untuk mengelompokkan data ke dalam beberapa kelompok berdasarkan tingkat kemiripan karakteristik, sehingga data dalam satu kelompok memiliki kesamaan

yang tinggi, sedangkan antar kelompok memiliki perbedaan yang jelas. Pendekatan ini sangat relevan untuk mengidentifikasi segmentasi kepuasan mahasiswa terhadap layanan akademik.

Algoritma K-Means Clustering merupakan salah satu metode clustering yang paling banyak digunakan karena kesederhanaan dan efisiensinya. Algoritma ini bekerja dengan membagi data ke dalam sejumlah k cluster dengan cara meminimalkan jarak antara setiap data dan pusat cluster (centroid) yang bersesuaian (Gunawan et al., 2021). Dalam konteks layanan akademik, K-Means dapat digunakan untuk mengelompokkan mahasiswa ke dalam kategori seperti sangat puas, cukup puas, dan kurang puas berdasarkan pola jawaban.

Namun demikian, salah satu kelemahan utama dari algoritma K-Means adalah penentuan jumlah cluster (k) yang optimal, yang harus ditentukan di awal proses clustering. Pemilihan nilai k yang tidak tepat dapat menghasilkan pengelompokan yang kurang akurat dan sulit diinterpretasikan. Oleh karena itu, diperlukan metode pendukung yang mampu membantu menentukan jumlah cluster yang paling sesuai dengan karakteristik data.

Salah satu metode yang umum digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah Metode Elbow. Metode Elbow bekerja dengan menganalisis nilai inertia atau jumlah kuadrat jarak dalam cluster terhadap berbagai kemungkinan jumlah cluster. Jumlah cluster optimal ditentukan pada titik di mana penurunan nilai inertia mulai melambat atau membentuk sudut menyerupai siku (elbow). Penggunaan metode Elbow memungkinkan proses clustering K-Means menjadi lebih optimal dan objektif dalam menentukan jumlah cluster yang representatif terhadap data.

Beberapa penelitian terdahulu telah menerapkan K-Means dalam analisis kepuasan mahasiswa terhadap layanan akademik. Penelitian oleh Maulidin et al. (2024) menunjukkan bahwa metode clustering mampu mengidentifikasi kelompok mahasiswa dengan tingkat kepuasan yang berbeda serta mengungkap aspek layanan yang masih perlu ditingkatkan. Selain itu, penelitian lain yang membandingkan K- Means dengan metode lain seperti *Gaussian Mixture Model* (GMM) juga menunjukkan bahwa K-Means menghasilkan pengelompokan yang cukup baik apabila jumlah cluster ditentukan secara tepat (Maulidya et al., 2024).

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa optimalisasi proses clustering sangat penting untuk menghasilkan pengelompokan kepuasan mahasiswa yang akurat dan bermakna. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan algoritma K-Means dengan menggunakan Metode Elbow dalam mengukur dan mengelompokkan tingkat kepuasan mahasiswa terhadap layanan akademik. Diharapkan hasil penelitian ini tidak hanya menghasilkan pemetaan cluster kepuasan mahasiswa, tetapi juga memberikan rekomendasi kebijakan yang berbasis data untuk meningkatkan kualitas layanan akademik.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain penelitian kuantitatif deskriptif dengan pendekatan data mining. Desain penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan dan menganalisis tingkat kepuasan mahasiswa terhadap layanan akademik berdasarkan data observasi yang dikumpulkan. Pendekatan kuantitatif dipilih karena data yang digunakan berupa data numerik yang dapat diolah secara sistematis untuk menghasilkan informasi yang objektif. Dalam penelitian ini, data kepuasan mahasiswa dianalisis menggunakan teknik clustering, yaitu metode pengelompokan data berdasarkan tingkat kemiripan karakteristik tertentu. Teknik clustering digunakan untuk mengidentifikasi pola kepuasan mahasiswa terhadap layanan akademik tanpa adanya label kelas sebelumnya. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan mampu menggambarkan segmentasi tingkat kepuasan mahasiswa secara lebih jelas.

Algoritma K-Means Clustering digunakan sebagai metode utama dalam proses pengelompokan data. Algoritma ini bekerja dengan membagi data ke dalam sejumlah cluster berdasarkan kedekatan jarak antara data dan pusat cluster (centroid). Pemilihan K-Means didasarkan pada kemudahan implementasi, efisiensi komputasi, serta kemampuannya dalam menangani data numerik hasil kuesioner kepuasan mahasiswa. Untuk menentukan jumlah cluster yang optimal, penelitian ini menerapkan Metode Elbow sebagai metode pendukung. Metode Elbow digunakan untuk menganalisis nilai within-cluster sum of squares (WCSS) terhadap variasi jumlah cluster. Jumlah cluster optimal ditentukan pada titik di mana penurunan nilai WCSS mulai melambat dan membentuk pola menyerupai siku (elbow).

Secara keseluruhan, desain penelitian ini disusun melalui tahapan yang sistematis, mulai dari identifikasi masalah, pengumpulan data, pemrosesan data, hingga analisis hasil clustering. Desain ini diharapkan mampu menghasilkan informasi yang akurat mengenai tingkat kepuasan mahasiswa terhadap layanan akademik serta memberikan dasar yang kuat bagi pengambilan keputusan dalam peningkatan kualitas layanan akademik.

Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah merupakan tahap awal yang penting dalam penelitian untuk menentukan fokus dan ruang lingkup kajian yang akan dilakukan. Pada tahap ini, peneliti mengkaji kondisi nyata yang terjadi di lingkungan institusi pendidikan terkait layanan akademik serta permasalahan yang dihadapi oleh mahasiswa sebagai pengguna layanan tersebut. Identifikasi masalah dilakukan untuk memastikan bahwa penelitian yang dilakukan relevan dengan kebutuhan institusi dan memiliki kontribusi yang jelas.

Berdasarkan hasil observasi awal dan studi literatur, diketahui bahwa tingkat kepuasan mahasiswa terhadap layanan akademik masih bervariasi Perbedaan persepsi mahasiswa terhadap kualitas layanan dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kecepatan pelayanan administrasi, kejelasan informasi akademik,

responsivitas staf, serta dukungan dosen dalam proses pembelajaran. Namun, perbedaan tingkat kepuasan tersebut sering kali belum dianalisis secara mendalam dan terstruktur oleh pihak institusi.

Permasalahan lain yang diidentifikasi adalah banyaknya data hasil observasi kepuasan mahasiswa yang belum dimanfaatkan secara optimal. Data observasi umumnya hanya digunakan untuk evaluasi umum tanpa adanya pengelompokan yang jelas terhadap karakteristik mahasiswa berdasarkan tingkat kepuasan mereka. Akibatnya, institusi mengalami kesulitan dalam menentukan strategi peningkatan layanan akademik yang tepat sasaran sesuai dengan kebutuhan masing-masing kelompok mahasiswa.

Selain itu, analisis kepuasan mahasiswa secara konvensional cenderung bersifat subjektif dan kurang mampu mengungkap pola tersembunyi dalam data. Hal ini menyebabkan hasil evaluasi kurang memberikan gambaran yang komprehensif mengenai segmentasi kepuasan mahasiswa. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan analisis data yang mampu mengolah data kepuasan secara sistematis dan objektif.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengidentifikasi kebutuhan akan penerapan metode data mining, khususnya clustering, untuk mengelompokkan mahasiswa berdasarkan tingkat kepuasan terhadap layanan akademik.Dengan menggunakan algoritma K- Means dan metode Elbow, diharapkan penelitian ini mampu menghasilkan pengelompokan yang jelas dan informatif, sehingga dapat menjadi dasar bagi institusi dalam meningkatkan kualitas layanan akademik secara lebih efektif dan berbasis data.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan tahapan penting dalam metode penelitian karena data yang diperoleh akan menjadi dasar utama dalam proses analisis dan penarikan kesimpulan. Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data primer yang diperoleh langsung dari responden, yaitu mahasiswa aktif di institusi pendidikan yang menjadi objek penelitian. Data dikumpulkan untuk menggambarkan tingkat kepuasan mahasiswa terhadap layanan akademik yang diberikan oleh institusi.

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah observasi. Setiap dimensi dijabarkan ke dalam beberapa pernyataan yang merepresentasikan aspek layanan akademik, sehingga mampu menggambarkan persepsi mahasiswa secara menyeluruh.

Penyebaran kuesioner dilakukan secara daring untuk meningkatkan efisiensi dan kemudahan akses bagi responden. Metode ini memungkinkan pengumpulan data dalam jumlah yang lebih besar dalam waktu yang relatif singkat. Selain itu, penyebaran kuesioner secara online juga meminimalkan kesalahan penginputan data dan mempermudah proses rekapitulasi data.

Data hasil pengisian kuesioner kemudian direkap dan disimpan dalam format digital untuk selanjutnya diproses pada tahap pemrosesan data. Sebelum digunakan dalam analisis clustering, data akan diperiksa kelengkapannya dan dipastikan tidak terdapat data yang kosong atau tidak valid, sehingga kualitas data yang digunakan dalam penelitian tetap terjaga.

Data yang terkumpul kemudian disusun dalam bentuk tabel untuk memudahkan proses analisis. Struktur data penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.1 yang menampilkan nilai masing-masing dimensi layanan, hasil pengelompokan cluster, serta kategori tingkat kepuasan mahasiswa.

Tahap Pemrosesan Data

Tahap pemrosesan data merupakan rangkaian proses yang dilakukan setelah data kuesioner berhasil dikumpulkan. Tujuan dari tahap ini adalah untuk menyiapkan data agar dapat dianalisis secara sistematis dan menghasilkan informasi yang akurat. Dalam penelitian ini, pemrosesan data dilakukan melalui beberapa langkah utama, yaitu pembersihan data, transformasi data, normalisasi data, dan analisis clustering menggunakan algoritma K-Means yang dioptimalkan dengan Metode Elbow.

Tahap pertama adalah pembersihan data (data cleaning). Pada tahap ini, data hasil kuesioner diperiksa untuk memastikan tidak terdapat data yang kosong, duplikasi, atau nilai yang tidak sesuai dengan rentang skala yang telah ditentukan. Data yang tidak lengkap atau tidak valid akan dikeluarkan dari proses analisis agar tidak memengaruhi hasil clustering. Langkah ini penting untuk menjaga kualitas dan konsistensi data yang digunakan.

Tahap kedua adalah transformasi data, yaitu proses mengubah data mentah hasil kuesioner menjadi format yang siap diolah. Data kemudian disusun dalam bentuk tabel dengan atribut yang merepresentasikan dimensi layanan akademik, yaitu tangibles, reliability, responsiveness, assurance, dan empathy.

Tahap ketiga adalah penentuan jumlah cluster menggunakan Metode Elbow. Metode ini digunakan untuk menentukan jumlah cluster (k) yang optimal sebelum proses K-Means dilakukan. Penentuan jumlah cluster dilakukan dengan menghitung nilai within-cluster sum of squares (WCSS) untuk beberapa variasi nilai k, kemudian memvisualisasikannya dalam bentuk grafik. Titik di mana penurunan nilai WCSS mulai melambat dianggap sebagai jumlah cluster yang paling optimal.

Tahap terakhir adalah penerapan algoritma K-Means Clustering. Setelah jumlah cluster optimal diperoleh, algoritma K-Means diterapkan pada data yang telah dinormalisasi untuk mengelompokkan mahasiswa berdasarkan tingkat kepuasan terhadap layanan akademik. Hasil clustering kemudian dianalisis untuk mengetahui karakteristik masing-masing cluster, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan rekomendasi peningkatan kualitas layanan akademik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Obyek Penelitian

Obyek penelitian dalam skripsi ini adalah tingkat kepuasan mahasiswa terhadap layanan akademik. Penelitian ini berfokus pada penerapan algoritma K- Means dengan metode Elbow untuk mengelompokan data yang di ambil dari website. Data yang di ambil di gunakan sebagai dasar untuk pengambilan keputusan dan peningkatan kualitas layanan.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder, yaitu data yang diperoleh dari sumber yang telah tersedia sebelumnya. Data penelitian diambil melalui repositori data terbuka Zenodo, yang dapat diakses secara daring pada laman https://zenodo.org/records/17160302. Data yang diperoleh dari repositori tersebut selanjutnya diseleksi dan disesuaikan dengan kebutuhan penelitian, khususnya yang berkaitan dengan variabel kepuasan mahasiswa terhadap layanan akademik. Setelah melalui tahap seleksi, data kemudian diolah dan dianalisis menggunakan algoritma K-Means Clustering, dengan bantuan Metode Elbow untuk menentukan jumlah cluster yang optimal. Penggunaan data sekunder dari repositori terbuka dinilai relevan karena data tersebut telah terdokumentasi dengan baik, dapat diakses secara transparan, serta mendukung prinsip keterbukaan data dalam penelitian ilmiah.

Hasil Pengelompokan

Setelah proses clustering dengan k = 3, diperoleh hasil pengelompokan sebagai berikut:

Tabel 3.1 Hasil Pengelompokan

Cluster	Tangibles	Reliability	Responsiveness	Assurance	Empathy	Jumlah	Kategori
0	3.68	3.56	3.44	3.52	3.40	18	Cukup Puas
1	1.94	1.94	2.00	2.06	2.12	15	Kurang Puas
2	4.52	4.48	4.36	4.44	4.40	17	Sangat Puas

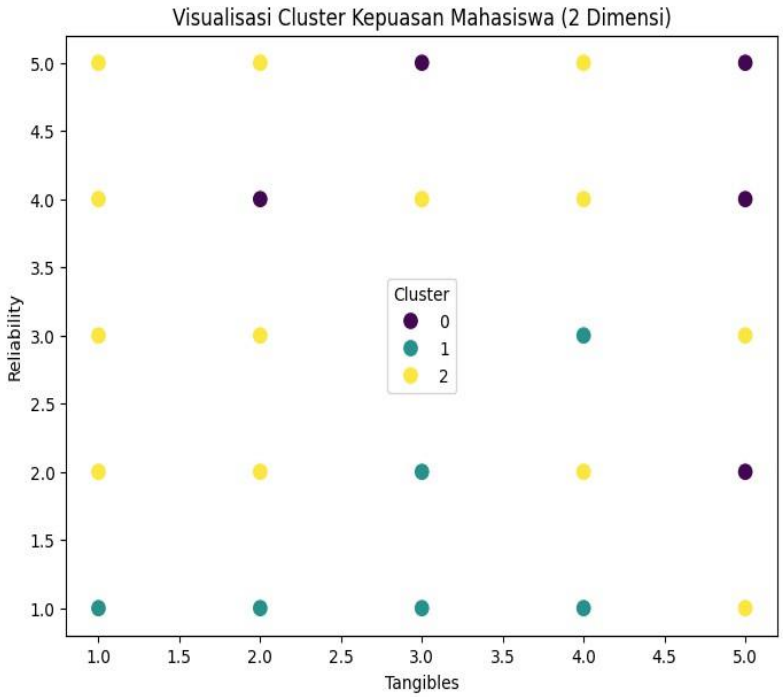
Berdasarkan tabel di atas, dapat dilihat bahwa:

a. Cluster 2 (Sangat Puas) memiliki nilai rata-rata di atas 4 untuk semua aspek.Ini menunjukkan bahwa mahasiswa pada kelompok ini merasa layanan akademik sudah sangat baik, baik dari sisi keandalan, fasilitas, maupun empati dari tenaga pendidik.
b. Cluster 0 (Cukup Puas) menunjukkan rata-rata sekitar 3,4–3,6. Mahasiswa pada kelompok ini menilai layanan sudah cukup memuaskan namun masih dapat ditingkatkan, terutama pada aspek Responsiveness dan Empathy.
c. Cluster 1 (Kurang Puas) memiliki rata-rata sekitar 2,0–2,1, yang menandakan mahasiswa merasa pelayanan belum memenuhi harapan, mungkin karena keterlambatan pelayanan administratif atau kurangnya komunikasi efektif dari pihak akademik.

Dari hasil tersebut diketahui bahwa kelompok mahasiswa terbesar berada pada cluster “Cukup Puas” (18 mahasiswa), diikuti oleh “Sangat Puas” (17 mahasiswa) dan “Kurang Puas” (15 mahasiswa). Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas mahasiswa memiliki tingkat kepuasan yang cukup baik terhadap layanan akademik, namun masih terdapat segmen yang perlu diperhatikan secara khusus mayoritas mahasiswa memiliki tingkat kepuasan yang cukup baik terhadap layanan akademik, namun masih terdapat segmen yang perlu diperhatikan secara khusus.

Visualisasi Hasil Clustering

Hasil clustering divisualisasikan dalam bentuk diagram sebar (scatter plot) dua dimensi dengan sumbu Tangibles dan Reliability. Warna pada grafik menunjukkan perbedaan cluster. Dari hasil visualisasi terlihat bahwa data mahasiswa terbagi ke dalam tiga kelompok yang cukup jelas, di mana kelompok “Sangat Puas” terletak pada area nilai tinggi, sedangkan “Kurang Puas” berada di area nilai rendah.



Gambar 3.1 Visualisasi Hasil Clustering

Visualisasi ini membantu pihak institusi dalam memahami distribusi tingkat kepuasan mahasiswa secara keseluruhan. Dengan adanya pengelompokan tersebut, pihak pengelola akademik dapat lebih mudah mengenali karakteristik masing-masing kelompok mahasiswa serta merancang strategi peningkatan mutu layanan yang lebih terarah.

Analisis dan Pembahasan Hasil

Berdasarkan hasil penerapan metode K-Means, diperoleh bahwa tingkat kepuasan mahasiswa terhadap layanan akademik cenderung berada pada kategori cukup puas. Namun, kehadiran kelompok kurang puas menunjukkan bahwa masih terdapat aspek layanan yang perlu dievaluasi.

Hal ini mengondikasikan bahwa mahasiswa mengharapkan adanya peningkatan kecepatan respon dari pihak akademik serta perhatian yang lebih personal terhadap kebutuhan mahasiswa.Sementara itu, kelompok sangat puas menjadi indikator keberhasilan lembaga dalam mempertahankan kualitas pelayanan, terutama pada aspek Tangibles (fasilitas) dan Reliability (keandalan layanan). Temuan ini sejalan dengan penelitian Maulidin et al. (2024) yang menyatakan bahwa layanan yang cepat, tanggap, dan didukung oleh fasilitas yang memadai memiliki pengaruh signifikan terhadap kepuasan mahasiswa.

Secara keseluruhan, hasil pengelompokan ini memberikan informasi penting bagi pengambil kebijakan di institusi pendidikan untuk melakukan evaluasi dan perbaikan layanan akademik secara terarah. Pihak akademik dapat menetapkan prioritas peningkatan pada kelompok mahasiswa yang termasuk dalam kategori “Kurang Puas” dengan memperbaiki sistem komunikasi, mempercepat pelayanan administratif, dan meningkatkan empati dalam interaksi akademik.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan mengenai analisis kepuasan mahasiswa terhadap layanan akademik menggunakan metode K-Means Clustering, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut. Pertama, penelitian ini berhasil mengolah data kepuasan mahasiswa yang diperoleh melalui kuesioner. Data tersebut mampu merepresentasikan persepsi mahasiswa terhadap kualitas layanan akademik.

Kedua, penerapan metode K-Means Clustering terbukti efektif dalam mengelompokkan mahasiswa ke dalam beberapa cluster berdasarkan tingkat kemiripan penilaian kepuasan. Penentuan jumlah cluster optimal dilakukan menggunakan Metode Elbow, sehingga proses clustering dapat menghasilkan pengelompokan yang lebih representatif dan mudah diinterpretasikan. Hasil clustering menunjukkan adanya perbedaan tingkat kepuasan mahasiswa yang dapat dikategorikan ke dalam kelompok kurang puas, cukup puas, dan sangat puas.

Ketiga, hasil analisis clustering memberikan gambaran yang jelas mengenai pola kepuasan mahasiswa terhadap layanan akademik. Informasi ini dapat digunakan oleh pihak institusi sebagai dasar evaluasi dan perbaikan layanan, terutama pada dimensi layanan yang masih memperoleh penilaian rendah dari kelompok mahasiswa tertentu. Dengan demikian, pendekatan data mining mampu mendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam peningkatan mutu layanan akademik.

Keempat, penelitian ini membuktikan bahwa pemanfaatan teknik clustering dalam bidang pendidikan, khususnya untuk analisis kepuasan mahasiswa, dapat menjadi alternatif metode analisis yang efektif

dibandingkan dengan analisis konvensional. Pengelompokan data memberikan sudut pandang yang lebih mendalam terhadap karakteristik dan kebutuhan mahasiswa.

SARAN

Institusi pendidikan disarankan memanfaatkan hasil **pengelompokan kepuasan mahasiswa** sebagai bahan evaluasi untuk meningkatkan kualitas layanan akademik, terutama pada dimensi **tangibles,** reliability, responsiveness, assurance, dan empathy. Penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan **jumlah** responden yang lebih besar agar hasil clustering lebih akurat dan representatif. Selain itu, hasil penelitian dapat dikembangkan menjadi sistem informasi atau dashboard visualisasi agar institusi dapat memantau dan mengevaluasi tingkat kepuasan mahasiswa secara berkala dan berbasis data.

DAFTAR PUSTAKA

Gunawan, R., Sari, L., & Pradana, M. (2021). *Penerapan algoritma K-Means dalam analisis data pendidikan*. Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi, 9(2), 87– 95.

Hidayat, M. A., & Sari, N. (2022). *Analisis pengaruh kualitas layanan akademik terhadap kepuasan mahasiswa*. Jurnal Pendidikan dan Teknologi, 6(1), 45–53.

Kurniawan, H. P., & Farhatuaini, L. (2024). *Identifikasi pola kepuasan mahasiswa terhadap proses pembelajaran menggunakan algoritma K-Means clustering*. Informatika.

Lestari, F., & Fadillah, R. (2022). *Evaluasi validitas hasil clustering menggunakan metode silhouette coefficient dan Davies-Bouldin Index.* Jurnal Informatika dan Sains, 10(1), 56–63.

Maulidin, A., Mubaraq, A. R., Al Akbar, M. F., & Azis, M. F. (2024). *Implementasi K-Means untuk clustering kepuasan mahasiswa terhadap layanan akademik.* Jurnal Genta Mulia, 15(2).

Maulidya, A., Khairul, S., Sitorus, Z., Siahaan, A. P. U., & Iqbal, M. (2024). *Analysis of increasing student service satisfaction using K-Means clustering algorithm and Gaussian mixture models (GMM).* International Journal of Computer Sciences and Mathematics Engineering, 3(1), 29–35. https://doi.org/10.61306/ijecom.v3i1.62

Nassir, L., Ustun, A., & Dogan, M. (2025). *Cluster analysis of student satisfaction in a criteria-based assessment course with a project-based learning approach.* EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 21(3), Article em2594. https://doi.org/10.29333/ejmste/16032

Nugraha, T., & Lestari, A. (2021). *Cluster segmentation analysis for education quality improvement.* Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi, 8(3), 100–110.

Prasetyo, R., & Nugroho, A. (2023). *Pengaruh kualitas layanan akademik terhadap loyalitas mahasiswa.* Jurnal Ilmu Pendidikan dan Manajemen, 11(1), 54–63.

Putri, R., & Santoso, D. (2022). *Penerapan metode clustering untuk analisis data kepuasan mahasiswa.* Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer, 10(4), 213–220.

Rahmawati, D., Yusuf, M., & Hanifah, A. (2022). *Hubungan kualitas layanan dengan kepuasan mahasiswa di perguruan tinggi swasta.* Jurnal Psikologi dan Pendidikan, 9(2), 77–86. Wulandari, R., Fitriani, D., & Prakoso, T. (2023). *Penerapan model SERVQUAL untuk mengukur kepuasan mahasiswa terhadap layanan akademik.* Jurnal Pendidikan dan Manajemen, 7(2), 34–42