



SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN KINERJA DOSEN MENGGUNAKAN SISTEM KECERDASAN BUATAN BERBASIS ALGORITMA K-MEANS CLUSTERING

¹⁾Muhamad Fuat Asnawi, ²⁾Nur Fitriyanto, ³⁾M. Agoeng Pamoengkas

^{1,2,3)}S2 PPJ Informatika, Universitas Amikom Yogyakarta

¹⁾Universitas Sains Al-Qur'an

¹⁾fuatasnawi@unsiq.ac.id, ²⁾nur.fitriyanto@students.amikom.ac.id,

³⁾agoeng@students.amikom.ac.id

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel :

Diterima : 15 Juli 2024

Disetujui : 31 Juli 2024

Kata Kunci :

Kecerdasan Buatan, K-Means Clustering, Clustering, Kualitas, Kinerja Dosen

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas kinerja dosen dalam bidang pengajaran di Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Sains Al-Qur'an menggunakan sistem kecerdasan buatan berbasis algoritma K-Means Clustering. Evaluasi kinerja dosen merupakan langkah penting dalam memastikan efektivitas dan efisiensi proses pengajaran yang mencakup indikator pedagogik, profesional, kepribadian, dan sosial. Pendekatan konvensional sering kali kompleks dan tidak efektif dalam mengidentifikasi pola kinerja dosen secara mendalam. Algoritma K-Means Clustering memungkinkan pengelompokan data evaluasi menjadi klaster-klaster berdasarkan kesamaan fitur, sehingga dapat mengungkap pola yang sulit terlihat secara manual. Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari kuesioner evaluasi dosen oleh mahasiswa selama semester genap tahun ajaran 2022/2023. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses clustering menghasilkan pemisahan yang baik dengan Skor Siluet sebesar 0.593 dan Indeks Davies-Bouldin sebesar 0.606. Ini menandakan bahwa data dalam klaster lebih mirip satu sama lain dibandingkan dengan data di klaster lain, menunjukkan clustering yang efektif. Wawasan yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan nilai yang berharga bagi pengelolaan dan pengembangan kualitas pengajaran serta mempromosikan penggunaan teknologi kecerdasan buatan dalam evaluasi pendidikan tinggi. Temuan penelitian ini juga diharapkan dapat diadaptasi oleh institusi pendidikan lainnya untuk meningkatkan standar keunggulan akademik dan menghasilkan lulusan yang berkualitas

ARTICLE INFO

Article History :

Received : July 15, 2024

Accepted : July 31, 2024

Keywords:

Artificial Intelligence, K-Means Clustering, Clustering, Quality, Lecturer Performance

ABSTRACT

This study aims to analyze the teaching performance quality of lecturers in the Faculty of Engineering and Computer Science at Universitas Sains Al-Qur'an using an artificial intelligence system based on the K-Means Clustering algorithm. Evaluating lecturer performance is a crucial step in ensuring the effectiveness and efficiency of the teaching process which includes pedagogical, professional, personality, and social indicators. Conventional approaches are often complex and ineffective in identifying in-depth performance patterns. The K-Means Clustering algorithm enables the grouping of evaluation data into clusters based on feature similarities, thus revealing patterns that are difficult to discern manually. The data used in

this study comes from lecturer evaluation questionnaires completed by students during the even semester of the 2022/2023 academic year. The results showed that the clustering process yielded good separation with a Silhouette Score of 0.593 and a Davies-Bouldin Index of 0.606. These findings indicate that the data within the clusters are more similar to each other than to data in different clusters, suggesting effective clustering. The insights gained from this study are expected to be valuable for the management and development of teaching quality and to promote the use of artificial intelligence technology in higher education evaluations. The findings of this study are also expected to be adaptable by other educational institutions to improve academic excellence standards and produce high-quality graduates.

1. PENDAHULUAN

Pendidikan tinggi merupakan landasan penting dalam pembangunan sumber daya manusia yang berkualitas. Dalam konteks ini, kualitas pengajaran yang diberikan oleh dosen menjadi aspek krusial yang mempengaruhi hasil pembelajaran mahasiswa serta reputasi institusi pendidikan. Khususnya, pada Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer di Universitas Sains Al-Qur'an, di mana kebutuhan akan tenaga pengajar yang berkualitas tinggi dalam bidang teknik dan komputer sangat penting.

Evaluasi kualitas kinerja dosen menjadi langkah penting dalam memastikan bahwa proses pengajaran berlangsung efektif dan efisien. Namun, dalam praktiknya, proses evaluasi tersebut sering kali kompleks dan memerlukan analisis mendalam atas berbagai indikator kualitas, seperti kompetensi pedagogik, kompetensi profesional, kompetensi kepribadian dan kompetensi.

Dalam upaya meningkatkan efektivitas evaluasi kualitas kinerja dosen, pendekatan yang menggunakan teknologi kecerdasan buatan telah menjadi fokus perhatian dalam beberapa tahun terakhir. Salah satu algoritma yang populer dan terbukti efektif dalam analisis data adalah algoritma K-Means Clustering. Algoritma ini dapat digunakan untuk mengelompokkan data menjadi klaster-klaster berdasarkan kesamaan fitur atau karakteristik, sehingga memungkinkan identifikasi pola atau tren yang sulit terlihat secara manual (Sinaga & Yang, 2020).

Dalam konteks penelitian ini, penggunaan sistem kecerdasan buatan berbasis algoritma K-Means Clustering diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam analisis kualitas kinerja dosen di Fakultas Teknik dan Ilmu

Komputer Universitas Sains Al-Qur'an. Dengan memanfaatkan data yang tersedia, seperti kompetensi pedagogik, kompetensi profesional, kompetensi kepribadian dan kompetensi sosial memberikan wawasan yang berharga bagi upaya perbaikan dan pengembangan profesionalisme dosen (Safitri et al., 2022).

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menjadi langkah penting dalam meningkatkan pengelolaan dan pengembangan kualitas pengajaran di tingkat perguruan tinggi, tetapi juga mencerminkan komitmen Universitas Sains Al-Qur'an dalam memanfaatkan teknologi terkini untuk mencapai standar keunggulan akademik dan menghasilkan lulusan yang berkualitas.

2. METODE

2.1. Algoritma K-means Clustering

K-means adalah algoritma klasterisasi yang populer untuk mengelompokkan data ke dalam k klaster berdasarkan kemiripan (Yang & Hussain, 2023). Berikut ini adalah rumus yang digunakan dalam algoritma K-means:

1. Perhitungan Centroid:

$$C_i = \frac{1}{|S_i|} \sum_{x \in S_i} x$$

Dimana

C_i = centroid dari cluster i

S_i = adalah himpunan titik data yang termasuk dalam cluster i

x = adalah titik data

2. Perhitungan Jarak (jarak Euclidean):

$$d(x, C_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_j - C_{ij})^2}$$

Dimana

$d(x, C_i)$ = adalah jarak Euclidean antara titik data x dan centroid C_i

x_j = adalah koordinat j -th dari titik data x

C_{ij} = adalah koordinat j -th dari titik data C_i

n = adalah jumlah dimensi data

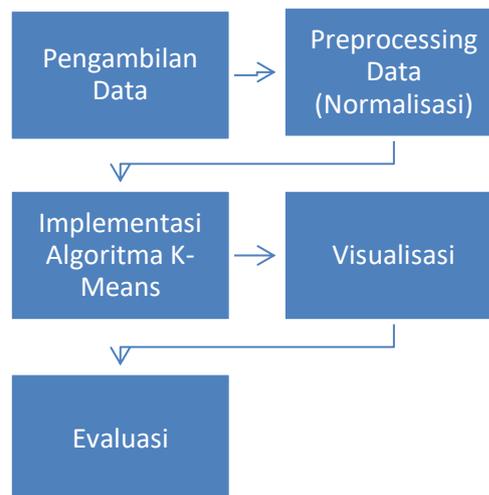
Berikut ini langkah utama algoritma k-means dalam bentuk Pseudocode:

1. Inisialisasi:
 - Pilih jumlah cluster k .
 - Pilih k centroid awal.
2. Ulangi langkah-langkah berikut sampai konvergensi:
 - Assignment Step: Untuk setiap titik data, hitung jarak ke masing-masing centroid dan tetapkan titik data ke cluster terdekat.
 - Update Step: Hitung ulang centroid untuk setiap cluster dengan menghitung rata-rata dari semua titik data dalam cluster tersebut.
3. Sampai konvergensi (centroid tidak berubah atau mencapai jumlah iterasi maksimum):
 - Jika centroid baru sama dengan centroid lama, berhenti.
 - Jika tidak, ulangi dari langkah 2a.

2.2. Sumber Data

Sumber data dari penelitian ini adalah dari hasil kuesioner evaluasi dosen oleh mahasiswa (Sistem EDOMA) pada semester genap tahun ajaran 2022/2023 dengan responden 744 mahasiswa dan 57 dosen yang dinilai.

2.3. Alur Penelitian



Gambar 1. Alur Penelitian

Peneliti mulai dengan pengambilan data yang menyeluruh, diikuti oleh normalisasi data untuk memastikan kualitas data yang baik. Setelah data siap, algoritma k-means diterapkan untuk mengelompokkan dosen berdasarkan hasil evaluasi dosen (Chi, 2021). Hasil clustering kemudian divisualisasikan untuk pemahaman yang lebih baik dan dievaluasi untuk memastikan keakuratan dan kegunaan hasil analisis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Dataset

Proses penelitian dimulai dengan pengambilan data evaluasi dosen dari kuesioner yang diisi oleh mahasiswa, yang mencakup berbagai indikator kinerja seperti kompetensi pedagogik, profesional, kepribadian, dan sosial. Data dikumpulkan dari Sistem EDOMA selama semester genap tahun ajaran 2022/2023 dengan responden sebanyak 744 mahasiswa yang menilai 57 dosen.

```

RangeIndex: 57 entries, 0 to 56
Data columns (total 33 columns):
#   Column                Non-Null Count  Dtype
---  ---                ---
0   No                     57 non-null     int64
1   Kode SDM               57 non-null     int64
2   Nama Dosen            57 non-null     object
3   Pedagogik 1           57 non-null     float64
4   Pedagogik 2           57 non-null     float64
5   Pedagogik 3           57 non-null     float64
6   Pedagogik 4           57 non-null     float64
7   Pedagogik 5           57 non-null     float64
8   Pedagogik 6           57 non-null     float64
9   Pedagogik 7           57 non-null     float64
10  Pedagogik 8           57 non-null     float64
11  Pedagogik 9           57 non-null     float64
12  Profesional 10        57 non-null     float64
13  Profesional 11        57 non-null     float64
14  Profesional 12        57 non-null     float64
15  Profesional 13        57 non-null     float64
16  Profesional 14        57 non-null     float64
17  Profesional 15        57 non-null     float64
18  Profesional 16        57 non-null     float64
19  Profesional 17        57 non-null     float64
20  Profesional 18        57 non-null     float64
21  Kepribadian 19       57 non-null     float64
22  Kepribadian 20       57 non-null     float64
23  Kepribadian 21       57 non-null     float64
24  Kepribadian 22       57 non-null     float64
25  Kepribadian 23       57 non-null     float64
26  Kepribadian 24       57 non-null     float64
27  Sosial 25             57 non-null     float64
28  Sosial 26             57 non-null     float64
29  Sosial 27             57 non-null     float64
30  Sosial 28             57 non-null     float64
31  Sosial 29             57 non-null     float64
32  Sosial 30             57 non-null     float64
dtypes: float64(30), int64(2), object(1)
memory usage: 14.8+ KB
    
```

Gambar 2. Data Frame

Pada Gambar 2 DataFrame yang ditampilkan berisi data evaluasi kinerja dosen dengan total 33 kolom dan 57 baris, di mana setiap kolom tidak memiliki nilai kosong (non-null). Kolom-kolom tersebut mencakup berbagai indikator penilaian, termasuk "No" (nomor urut atau ID unik), "Kode SDM" (kode identifikasi dosen), "Nama Dosen", serta sejumlah kolom yang menilai aspek

	Pedagogik 1	Pedagogik 2	Pedagogik 3	Pedagogik 4	Pedagogik 5	Pedagogik 6	Pedagogik 7	Pedagogik 8	Pedagogik 9	Profesional 10	...	Kepribadian 21	Kepribadian 22	Kepribadian 23	Kepribadian 24	Sosial 25	Sosial 26	Sosial 27	Sosial 28	Sosial 29	Sosial 30
0	0.875	0.875	0.825	0.825	0.825	0.800	0.850	0.850	0.825	0.825	...	0.850	0.850	0.825	0.825	0.825	0.800	0.825	0.825	0.825	0.825
1	0.825	0.825	0.850	0.825	0.825	0.825	0.825	0.825	0.825	0.825	...	0.850	0.825	0.825	0.825	0.825	0.825	0.850	0.825	0.825	0.825
2	0.825	0.825	0.800	0.825	0.850	0.825	0.825	0.825	0.825	0.825	...	0.825	0.825	0.825	0.825	0.825	0.825	0.800	0.800	0.800	0.825
3	0.825	0.825	0.825	0.825	0.825	0.825	0.825	0.825	0.825	0.825	...	0.825	0.825	0.825	0.825	0.825	0.825	0.825	0.800	0.825	0.825
4	0.825	0.825	0.825	0.825	0.800	0.825	0.800	0.825	0.825	0.825	...	0.825	0.825	0.825	0.825	0.825	0.800	0.825	0.825	0.825	0.825

Gambar 3. Hasil Preprocessing

pedagogik (Pedagogik 1-9), profesional (Profesional 10-18), kepribadian (Kepribadian 19-24), dan sosial (Sosial 25-30) dosen. Tipe data yang digunakan terdiri dari int64 untuk kolom numerik seperti "No" dan "Kode SDM", object untuk kolom "Nama Dosen", dan float64 untuk kolom-kolom penilaian lainnya. Informasi ini menunjukkan bahwa data sudah siap untuk analisis lebih lanjut tanpa adanya nilai yang hilang, memungkinkan evaluasi yang komprehensif terhadap kinerja dosen berdasarkan berbagai indikator yang relevan (Li, 2021).

3.2. Preprocessing Data

Preprocessing data untuk memastikan kualitas data yang baik, termasuk pembersihan data, penanganan missing values, dan normalisasi data untuk memastikan semua fitur berada dalam skala yang sama.

Pada Gambar 3 merupakan hasil dari penggabungan semua kolom indikator yang telah dinormalisasi, menyediakan basis data yang siap digunakan untuk analisis clustering dan evaluasi lebih lanjut. Normalisasi memastikan bahwa setiap indikator memiliki kontribusi yang seimbang dalam analisis, membantu menghasilkan hasil yang lebih akurat dan dapat diandalkan (Fard et al., 2020).

3.3. Implementasi Algoritma K-Means

Penentuan jumlah cluster menggunakan Silhouette Score

```

# Menentukan jumlah cluster terbaik menggunakan Silhouette Score
sil = []
kmax = 10

for k in range(2, kmax + 1):
    kmeans = KMeans(n_clusters=k, random_state=42, n_init=10).fit(normalized_data)
    labels = kmeans.labels_
    sil.append(silhouette_score(normalized_data, labels, metric='euclidean'))

best_k = sil.index(max(sil)) + 2
print(best_k)
    
```

Gambar 4. Silhouette Score

Code ada gambar 4 bertujuan untuk menentukan jumlah klaster terbaik menggunakan skor

Silhouette (Naghizadeh & Metaxas, 2020). Pertama, kode menginisialisasi sebuah daftar kosong sil untuk menyimpan nilai skor Silhouette dan menetapkan batas atas jumlah klaster kmax sebesar 10. Dalam loop for, algoritma K-Means dijalankan untuk setiap nilai k mulai dari 2 hingga kmax, dengan pengaturan random_state=42 untuk konsistensi hasil dan n_init=10 untuk memulai ulang centroids sebanyak 10 kali untuk menemukan hasil terbaik. Setelah algoritma K-Means dijalankan untuk setiap k, label klaster disimpan dalam variabel labels, dan skor Silhouette dihitung menggunakan data yang telah dinormalisasi dan label klaster tersebut, lalu disimpan dalam daftar

sil. Akhirnya, jumlah kluster terbaik `best_k` ditentukan sebagai indeks dari nilai maksimum skor Silhouette yang ditemukan dalam daftar sil, ditambah 2 (karena loop dimulai dari 2), dan hasilnya dicetak. Hasil ini menunjukkan bahwa jumlah kluster terbaik yang memaksimalkan skor Silhouette adalah 2 (Mohamed Nafuri et al., 2022).

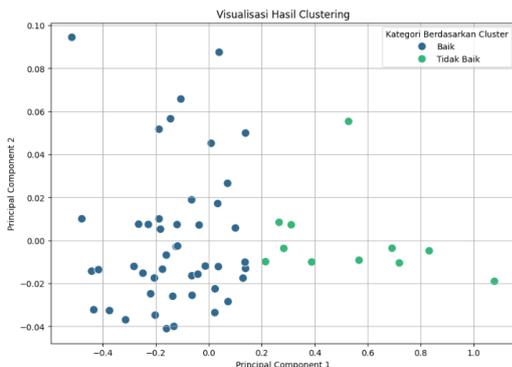
K-Means Clustering

```
# Menentukan kategori berdasarkan cluster
def categorize_based_on_cluster(cluster):
    if cluster == 0:
        return 'Baik' if len(df[df['Cluster'] == 0]) > len(df[df['Cluster'] == 1]) else 'Tidak Baik'
    elif cluster == 1:
        return 'Tidak Baik' if len(df[df['Cluster'] == 0]) > len(df[df['Cluster'] == 1]) else 'Baik'
df['Kategori Berdasarkan Cluster'] = df['Cluster'].apply(categorize_based_on_cluster)
```

Gambar 5. K-Means Clustering

Kode pada gambar 5 bertujuan untuk menentukan kategori berdasarkan kluster yang dihasilkan dari proses clustering. Fungsi `categorize_based_on_cluster` didefinisikan untuk mengkategorikan kluster menjadi 'Baik' atau 'Tidak Baik' berdasarkan jumlah anggota dalam setiap kluster. Jika kluster adalah 0, maka kategori ditentukan sebagai 'Baik' jika jumlah anggota kluster 0 lebih banyak daripada kluster 1, dan sebaliknya sebagai 'Tidak Baik'. Sebaliknya, jika kluster adalah 1, kategori ditentukan sebagai 'Tidak Baik' jika jumlah anggota kluster 0 lebih banyak, dan 'Baik' jika kluster 1 yang lebih banyak. Kemudian, fungsi ini diterapkan pada kolom 'Cluster' dalam DataFrame `df` menggunakan metode `apply`, dan hasilnya disimpan dalam kolom baru yang bernama 'Kategori Berdasarkan Cluster'. Ini memberikan label yang jelas untuk setiap kluster berdasarkan distribusi anggota dalam masing-masing kluster, membantu dalam interpretasi hasil clustering.

3.4. Visualisasi



Gambar 6. Visualisasi Hasil Clustering

Pada gambar 6 menunjukkan visualisasi hasil clustering menggunakan Principal Component Analysis (PCA), yang mereduksi dimensi data

menjadi dua komponen utama untuk memudahkan interpretasi visual (Islam et al., 2021). Titik-titik pada plot mewakili data evaluasi kinerja dosen, yang dikelompokkan ke dalam dua kluster. Kluster pertama diberi label 'Baik' (ditandai dengan warna biru), dan kluster kedua diberi label 'Tidak Baik' (ditandai dengan warna hijau). Visualisasi ini membantu dalam melihat distribusi dan pemisahan antara kluster 'Baik' dan 'Tidak Baik'. Dari plot ini, terlihat bahwa sebagian besar dosen berada dalam kluster 'Baik', sedangkan beberapa dosen teridentifikasi dalam kluster 'Tidak Baik'. Visualisasi ini memberikan gambaran yang jelas mengenai pengelompokan kinerja dosen berdasarkan data evaluasi, yang dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut dan pengambilan keputusan dalam upaya meningkatkan kualitas pengajaran.

3.5. Evaluasi model

Tabel 1. Hasil Evaluasi

Silhouette Score	0.5930632294564788
Davies-Bouldin Index	0.6068712260728775

Pada tabel 1 hasil evaluasi menunjukkan bahwa kluster yang dihasilkan memiliki kualitas yang cukup baik dengan skor Siluet sebesar 0.593 dan Indeks Davies-Bouldin sebesar 0.606. Ini menunjukkan bahwa data dalam kluster lebih dekat dengan anggota klusternya sendiri daripada dengan anggota kluster lain, dan kluster memiliki pemisahan yang baik dan kepadatan dalam kluster yang cukup baik. Hasil ini memberikan indikasi bahwa algoritma clustering yang digunakan telah berhasil mengelompokkan data dengan efektif (Christian, 2020).

3.6. Penggunaan model untuk data baru

```
# Prediksi cluster untuk data baru
new_data['Cluster'] = kmeans.predict(normalized_new_data)
new_data['Kategori Berdasarkan Cluster'] = new_data['Cluster'].apply(categorize_based_on_cluster)
```

Gambar 7. Prediksi cluster untuk data baru

Pada gambar 7 Kode tersebut bertujuan untuk memprediksi kluster dari data baru yang telah dinormalisasi. Pertama, nilai kluster untuk data baru disimpan dalam kolom 'Cluster' dengan menggunakan metode `predict` dari model K-Means yang telah dilatih. Kemudian, kategori berdasarkan kluster ditentukan dengan menerapkan fungsi `categorize_based_on_cluster` pada kolom 'Cluster' dari data baru, dan hasilnya

disimpan dalam kolom baru 'Kategori Berdasarkan Cluster'. Fungsi `categorize_based_on_cluster` mengklasifikasikan klaster ke dalam kategori seperti 'Baik' atau 'Tidak Baik' berdasarkan logika yang telah didefinisikan sebelumnya. Dengan demikian, kode ini memungkinkan untuk mengklasifikasikan data baru ke dalam klaster yang sesuai dan memberikan label kategori yang relevan, memudahkan interpretasi hasil clustering pada data baru.

3.6. Penulisan Daftar Pustaka

Daftar Pustaka merupakan daftar karya tulis yang dibaca penulis dalam mempersiapkan artikelnya dan kemudian digunakan sebagai acuan. Dalam artikel ilmiah, Daftar Pustaka harus ada sebagai pelengkap acuan dan petunjuk sumber acuan. Penulisan Daftar Pustaka mengikuti aturan dalam Buku Pedoman ini.

3.7. Ucapan Terima Kasih

Jika perlu berterima kasih kepada pihak tertentu, misalnya sponsor penelitian, nyatakan dengan jelas dan singkat, hindari pernyataan terima kasih yang berbunga-bunga.

4. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menganalisis kualitas kinerja dosen di Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Sains Al-Qur'an menggunakan sistem kecerdasan buatan berbasis algoritma K-Means Clustering. Hasil clustering menunjukkan pemisahan klaster yang baik dengan Skor Siluet sebesar 0.593 dan Indeks Davies-Bouldin sebesar 0.606. Ini menandakan bahwa data dalam klaster lebih dekat dengan anggota klasternya sendiri daripada dengan anggota klaster lain, serta memiliki pemisahan yang cukup baik dan kepadatan yang memadai dalam masing-masing klaster. Pengelompokan ini memberikan wawasan berharga mengenai pola kinerja dosen, memungkinkan pengelola institusi untuk mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan dan pengembangan lebih lanjut.

4.2. Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk mengeksplorasi algoritma clustering lain atau metode hibrida guna meningkatkan hasil

clustering, serta melakukan eksperimen dengan berbagai nilai k dalam algoritma K-Means untuk menemukan jumlah klaster yang optimal. Selain itu, integrasikan lebih banyak indikator non-akademik seperti kepribadian dan sosial untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang kinerja dosen. Institusi pendidikan lain juga dapat mengadopsi pendekatan ini untuk meningkatkan evaluasi kinerja dosen mereka. Implementasikan sistem evaluasi berbasis kecerdasan buatan yang bekerja secara real-time untuk mendapatkan umpan balik langsung, dan gunakan hasil clustering untuk mengembangkan program pelatihan dan pengembangan yang lebih terfokus bagi dosen.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Chi, D. (2021). Research on the Application of K-Means Clustering Algorithm in Student Achievement. *2021 IEEE International Conference on Consumer Electronics and Computer Engineering, ICCECE 2021*, 435–438.
<https://doi.org/10.1109/ICCECE51280.2021.9342164>
- Christian, Y. (2020). Application of K-Means Algorithm for Clustering the Quality of Lecturer Learning at Batam International University. *International Journal of Information System & Technology Akreditasi*, 3(2), 191–199.
- Fard, M. M., Thonet, T., & Gaussier, E. (2020). Pattern Recognition Letters Deep k-Means: Jointly clustering with k-Means and learning representations. *Elsevier*.
<https://www.elsevier.com/open-access/userlicense/1.0/>
- Islam, M. K., Ali, M. S., Miah, M. S., Rahman, M. M., Alam, M. S., & Hossain, M. A. (2021). Brain tumor detection in MR image using superpixels, principal component analysis and template based K-means clustering algorithm. *Machine Learning with Applications*, 5, 100044.
<https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2021.100044>
- Li, Y. (2021). English Teaching Ability Evaluation Based on Fuzzy K-means Clustering Algorithm. *Journal of Physics:*

Conference Series, 1982(1).
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1982/1/012111>

Mohamed Nafuri, A. F., Sani, N. S., Zainudin, N. F. A., Rahman, A. H. A., & Aliff, M. (2022). Clustering Analysis for Classifying Student Academic Performance in Higher Education. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(19).

<https://doi.org/10.3390/app12199467>

Naghizadeh, A., & Metaxas, D. N. (2020). Condensed silhouette: An optimized filtering process for cluster selection in K-means. *Procedia Computer Science*, 176, 205–214.

<https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.08.022>

Safitri, S. N., Haryono Setiadi, & Suryani, E. (2022). Educational Data Mining Using Cluster Analysis Methods and Decision Trees based on Log Mining. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 6(3), 448–456.

<https://doi.org/10.29207/resti.v6i3.3935>

Sinaga, K. P., & Yang, M. S. (2020). Unsupervised K-means clustering algorithm. *IEEE Access*, 8, 80716–80727.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988796>

Yang, M. S., & Hussain, I. (2023). Unsupervised Multi-View K-Means Clustering Algorithm. *IEEE Access*, 11, 13574–13593.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3243133>