

Pendampingan Analisis Data Penggunaan Air Pelanggan melalui K-Means Clustering di PDAM Tirta Pakuan Kota Bogor

M. Hisyam Ahmad Hasan Hazmi¹, Iwan Setiawan²

^{1,2} Program Studi Teknik Informatika, Universitas Nusa Putra, Indonesia

Received : 1 Juli 2026, Revised : 11 Juli 2026, Published : 18 Juli 2026

Corresponding Author

Nama Penulis: M. Hisyam Ahmad Hasan Hazmi

E-mail: hisyam.ahmad_ti22@nusaputra.ac.id

Abstrak

Pemantauan konsumsi air pelanggan di PDAM Tirta Pakuan Kota Bogor selama ini masih dilakukan secara konvensional sehingga staf operasional kesulitan mengidentifikasi pola pemakaian air yang berbeda pada setiap wilayah kelurahan. Kegiatan pengabdian ini bertujuan mendampingi PDAM Tirta Pakuan dalam memetakan karakteristik konsumsi air pelanggan per wilayah agar dapat mendukung pengambilan keputusan operasional yang lebih terukur. Metode yang digunakan adalah penerapan algoritma K-Means Clustering terhadap data pelanggan yang telah melalui tahap pembersihan data, rekayasa fitur berupa agregasi jumlah pelanggan, rata-rata pemakaian, dan total pendapatan per kelurahan, serta standardisasi data menggunakan StandardScaler. Jumlah kluster optimal ditentukan melalui kombinasi Metode Elbow dan Silhouette Score, kemudian hasil klusterisasi divisualisasikan dalam dashboard interaktif berbasis Streamlit. Kegiatan ini menghasilkan tiga profil wilayah, yaitu wilayah berkonsumsi tinggi yang umumnya berasal dari pelanggan niaga atau industri, wilayah permukiman padat dengan pemakaian per pelanggan yang stabil, dan wilayah berpotensi untuk pengembangan jaringan baru karena jumlah pelanggan sedikit namun pemakaian tinggi. Dashboard yang dihasilkan memudahkan staf PDAM memantau sebaran kluster secara cepat dan berbasis data, sehingga kegiatan pengabdian ini terbukti membantu mitra mengubah data historis penggunaan air menjadi informasi segmentasi wilayah yang aplikatif bagi efisiensi distribusi air bersih.

Kata kunci - k-means clustering, segmentasi wilayah, pdam, dashboard streamlit, pengabdian masyarakat

Abstract

Customer water consumption at PDAM Tirta Pakuan in Bogor City has so far been monitored conventionally, making it difficult for operational staff to identify the differing water usage patterns across kelurahan (sub-district) areas. This community service activity aims to assist PDAM Tirta Pakuan in mapping customer water consumption characteristics by area to support more measurable operational decision-making. The method applied was K-Means Clustering on customer data that had undergone data cleansing, feature engineering in the form of aggregating customer count, average usage, and total revenue per kelurahan, and data standardization using StandardScaler. The optimal number of clusters was determined through a combination of the Elbow Method and Silhouette Score, after which the clustering results were visualized in an interactive Streamlit-based dashboard. This activity produced three area profiles, namely high-consumption areas generally associated with commercial or industrial customers, densely populated residential areas with stable per-customer usage, and potential areas for new network development due to a small customer base with high usage. The resulting dashboard allows PDAM staff to monitor the cluster distribution quickly and based on data, demonstrating that this activity helped the partner transform historical water-usage data into applicable regional segmentation information for clean water distribution efficiency.

Keywords - k-means clustering, regional segmentation, pdam, streamlit dashboard, community service

How To Cite : Hazmi, M. H. A. H., & Setiawan, I. (2026). Pendampingan Analisis Data Penggunaan Air Pelanggan melalui K-Means Clustering di PDAM Tirta Pakuan Kota Bogor. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bhinneka*, 4(4), 5986 - 5993. <https://doi.org/10.58266/jpmb.v4i4.1544>

Copyright ©2026 M. Hisyam Ahmad Hasan Hazmi, Iwan Setiawan

PENDAHULUAN

Transformasi digital pada perusahaan daerah air minum (PDAM) menjadi salah satu agenda penting dalam upaya meningkatkan efisiensi dan keandalan pelayanan kepada masyarakat. Salah satu bentuk transformasi tersebut adalah penerapan sistem pemantauan terintegrasi melalui Command Center yang memungkinkan pengawasan jaringan distribusi air secara real-time, mulai dari tekanan pipa hingga potensi gangguan operasional. Kara et al. (2016) menunjukkan bahwa penerapan sistem pemantauan dan kendali berbasis data secara real-time mampu mempercepat pengambilan keputusan teknis sekaligus menekan risiko kegagalan distribusi pada jaringan air minum. Di Indonesia, arah pengembangan tersebut juga sejalan dengan upaya PDAM untuk mengintegrasikan teknologi smart metering sebagai inti dari sistem manajemen air cerdas yang mendukung empat pilar pelayanan, yaitu kualitas, kuantitas, kontinuitas, dan konektivitas (Rediana & Pharmasetiawan, 2017).

PDAM Tirta Pakuan Kota Bogor merupakan salah satu badan usaha milik daerah yang telah mengoperasikan Command Center untuk memantau distribusi air bersih bagi masyarakat Kota Bogor (PERUMDA Tirta Pakuan Kota Bogor, 2024). Praktik serupa juga diterapkan oleh pemerintah daerah lain melalui program Command Center berbasis Electronic Government yang terbukti mempermudah koordinasi lintas dinas dan mempercepat respons terhadap kebutuhan masyarakat (Albari et al., 2019). Meskipun demikian, data hasil pemantauan yang terkumpul di Command Center pada umumnya baru dimanfaatkan untuk kebutuhan operasional harian, seperti pencatatan anomali tekanan dan kualitas air, dan belum banyak diolah lebih lanjut menjadi informasi strategis yang menggambarkan karakteristik konsumsi pelanggan pada masing-masing wilayah kelurahan.

Padahal, pemetaan karakteristik konsumsi air per wilayah memiliki peran penting bagi PDAM, baik untuk mendukung pengendalian Non-Revenue Water melalui pembagian District Meter Area (Zafira & Nurhayati, 2023), penguatan tata kelola kelembagaan (Ali et al., 2023), penerapan strategi digital government yang lebih terarah (Putri & Kriswibowo, 2024), maupun peningkatan kualitas pengawasan pelayanan air minum secara menyeluruh (Nurany et al., 2024). Tanpa pengelompokan wilayah yang jelas, staf operasional cenderung kesulitan menentukan prioritas penanganan dan menetapkan strategi pengembangan jaringan yang tepat sasaran.

Kegiatan pengabdian berbasis pendampingan digitalisasi data bagi mitra non-akademik sejatinya telah banyak dilakukan oleh kalangan akademisi maupun mahasiswa. Sebagai contoh, pendampingan digitalisasi UMKM melalui pemetaan dan pencatatan data berbasis aplikasi di tingkat desa (AS et al., 2025; Pratama et al., 2023), serta pemanfaatan teknologi kecerdasan buatan untuk mendukung pembelajaran yang lebih personal di lingkungan sekolah dasar (Muhaimin et al., 2025). Pada konteks yang lebih dekat dengan pengolahan data kuantitatif, pendampingan analisis kluster menggunakan algoritma K-Means juga telah dimanfaatkan untuk membantu dinas pemerintahan menyusun strategi pengembangan UKM berdasarkan data kinerja keuangan dan pemasaran (Marcelina et al., 2023), serta untuk membangun dashboard interaktif berbasis Python dan Streamlit yang mendukung pemantauan data produksi pada mitra industri (Rochman & Suryawan, 2023). Pada lingkup PDAM secara khusus, algoritma K-Means juga telah diterapkan untuk menyegmentasi tunggakan pelanggan sebagai dasar strategi penagihan yang lebih terarah (Akbar et al., 2025).

Berbagai kegiatan pengabdian tersebut menunjukkan bahwa pendekatan analisis kluster berbasis data cukup efektif digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan pada mitra non-akademik, termasuk perusahaan penyedia layanan air minum. Akan tetapi, pendampingan serupa yang secara khusus memetakan karakteristik konsumsi pelanggan PDAM Tirta Pakuan Kota Bogor berdasarkan data historis penggunaan air per kelurahan belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, kegiatan pengabdian ini bertujuan untuk mendampingi PDAM Tirta Pakuan Kota Bogor dalam mengolah data penggunaan air pelanggan menjadi informasi segmentasi wilayah berbasis algoritma K-Means Clustering, sekaligus menghadirkan dashboard interaktif yang memudahkan staf PDAM dalam memantau hasil segmentasi tersebut sebagai dasar pengambilan keputusan operasional yang lebih terukur.

METODE

Kegiatan pengabdian ini dilaksanakan selama periode Agustus hingga Desember 2025 di PDAM Tirta Pakuan Kota Bogor, dengan melibatkan satu mahasiswa program studi Teknik Informatika Universitas Nusa Putra yang ditempatkan di unit Command Center. Secara garis besar, kegiatan pengabdian dilaksanakan melalui tiga tahap, yaitu tahap persiapan, tahap pelaksanaan, dan tahap evaluasi.

Pada tahap persiapan, penulis melakukan observasi langsung terhadap sistem pemantauan Command Center yang digunakan PDAM Tirta Pakuan, termasuk memahami alur kerja staf operasional dan mengidentifikasi kebutuhan informasi yang belum terpenuhi dari data yang ada. Dari hasil observasi ini, penulis memperoleh data pelanggan dalam format Microsoft Excel yang selanjutnya dipindahkan ke dalam Google Drive untuk dapat diolah secara online melalui Google Colab.

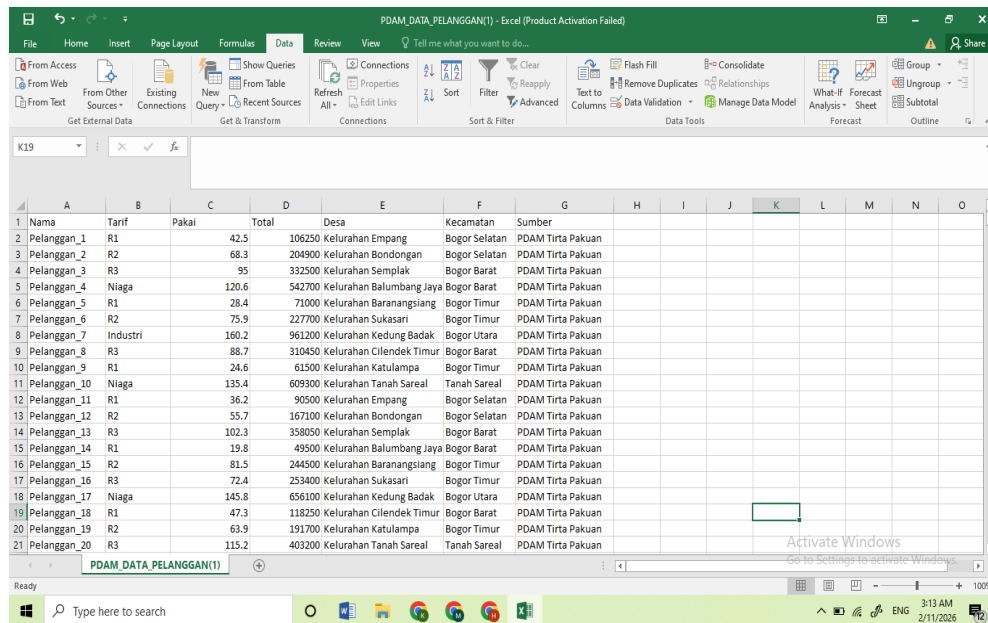
Pada tahap pelaksanaan, pengolahan data dilaksanakan melalui lima sub-tahap berikut. Pertama, data cleansing, yaitu penulis memeriksa dan merapikan format berkas dari Excel ke CSV, memastikan tidak ada nilai kosong (missing values) yang dapat mengganggu proses klusterisasi. Kedua, feature engineering, yaitu data tingkat pelanggan individual diintegrasikan menjadi data tingkat kelurahan, dengan menghasilkan tiga fitur utama: total jumlah pelanggan per kelurahan, rata-rata pemakaian air per pelanggan, dan total pendapatan per kelurahan. Ketiga, standarisasi data menggunakan StandardScaler dari pustaka Scikit-learn agar variabel dengan skala besar seperti pendapatan tidak mendominasi variabel dengan skala kecil seperti jumlah pelanggan. Keempat, penentuan jumlah kluster optimal dilakukan dengan menggabungkan dua pendekatan, yaitu Metode Elbow yang mengukur Within-Cluster Sum of Squares (WCSS) dan Silhouette Score yang menilai kepadatan serta keterpisahan antar kluster. Kelima, algoritma K-Means Clustering diterapkan terhadap data yang telah distandarisasi dengan menggunakan pustaka Scikit-learn di lingkungan Google Colab berbasis Python.

Pada tahap evaluasi, hasil klusterisasi dianalisis secara kualitatif dengan cara menelaah profil setiap kluster berdasarkan nilai rata-rata jumlah pelanggan, rata-rata pemakaian air, dan total pendapatan. Selain itu, penulis mengembangkan dashboard interaktif berbasis framework Streamlit yang memungkinkan staf PDAM melakukan pemantauan sebaran kluster secara visual, memfilter data berdasarkan nama kelurahan, dan melihat daftar detail data per kluster. Seluruh proses analisis dan pembangunan dashboard dilaksanakan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan pustaka utama Pandas, Scikit-learn, Matplotlib, Seaborn, dan Streamlit. Kanungo et al. (2002) menyatakan bahwa algoritma K-Means merupakan salah satu metode klusterisasi yang paling efisien secara komputasi untuk data berskala besar, sehingga pemilihan metode ini dinilai sesuai dengan kebutuhan analisis data pelanggan PDAM yang berjumlah ratusan entri kelurahan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pengabdian dilaksanakan dalam tiga tahap utama secara berurutan, yaitu analisis data, pengembangan dashboard, dan pendampingan interpretasi hasil klusterisasi kepada staf PDAM Tirta Pakuan. Berikut adalah uraian hasil setiap tahap kegiatan.

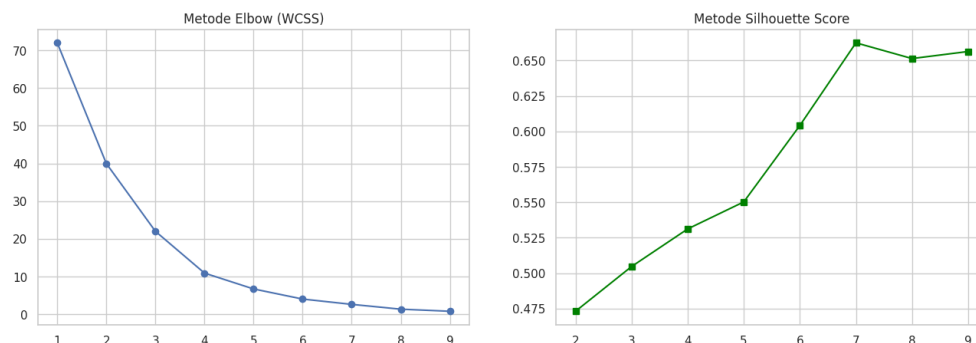
Pada tahap analisis data, penulis memulai proses dengan membaca dataset pelanggan yang diberikan oleh mentor, yaitu Bapak Aswin Afkari selaku Asisten Manager Command Center. Dataset tersebut berisi data penggunaan air pelanggan dari berbagai kelurahan di Kota Bogor dalam format tabel dengan kolom Nama Pelanggan, Tarif, Pakai, Total Tagihan, Desa, Sumber, dan atribut lainnya. Sampel awal dataset sebelum proses analisis dapat dilihat pada Gambar 1. Setelah melalui proses feature engineering, data tersebut diintegrasikan menjadi data per kelurahan dengan menghasilkan variabel Jumlah Pelanggan, Rata-rata Pemakaian Air, dan Total Pendapatan. Standarisasi kemudian dilakukan menggunakan StandardScaler sebelum data dimasukkan ke dalam algoritma K-Means.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Nama	Tarif	Pakai	Total	Desa	Kecamatan	Sumber								
2	Pelanggan_1	R1		42.5	106250	Kelurahan Empang	Bogor Selatan								
3	Pelanggan_2	R2		68.3	204900	Kelurahan Bondongan	Bogor Selatan								
4	Pelanggan_3	R3		95	332500	Kelurahan Semplak	Bogor Barat								
5	Pelanggan_4	Niaga		120.6	542700	Kelurahan Balumbang Jaya	Bogor Barat								
6	Pelanggan_5	R1		28.4	71000	Kelurahan Baranangsiang	Bogor Timur								
7	Pelanggan_6	R2		75.9	227700	Kelurahan Sukasari	Bogor Timur								
8	Pelanggan_7	Industri		160.2	961200	Kelurahan Kedung Badak	Bogor Utara								
9	Pelanggan_8	R3		88.7	310450	Kelurahan Cilendek Timur	Bogor Barat								
10	Pelanggan_9	R1		24.6	61500	Kelurahan Katulampa	Bogor Timur								
11	Pelanggan_10	Niaga		135.4	609300	Kelurahan Tanah Sareal	Tanah Sareal								
12	Pelanggan_11	R1		36.2	90500	Kelurahan Empang	Bogor Selatan								
13	Pelanggan_12	R2		55.7	167100	Kelurahan Bondongan	Bogor Selatan								
14	Pelanggan_13	R3		102.3	358050	Kelurahan Semplak	Bogor Barat								
15	Pelanggan_14	R1		19.8	49500	Kelurahan Balumbang Jaya	Bogor Barat								
16	Pelanggan_15	R2		81.5	244500	Kelurahan Baranangsiang	Bogor Timur								
17	Pelanggan_16	R3		72.4	253400	Kelurahan Sukasari	Bogor Timur								
18	Pelanggan_17	Niaga		145.8	656100	Kelurahan Kedung Badak	Bogor Utara								
19	Pelanggan_18	R1		47.3	118250	Kelurahan Cilendek Timur	Bogor Barat								
20	Pelanggan_19	R2		63.9	191700	Kelurahan Katulampa	Bogor Timur								
21	Pelanggan_20	R3		115.2	403200	Kelurahan Tanah Sareal	Tanah Sareal								

Gambar 1. Sampel Dataset Penggunaan Air Pelanggan sebelum Proses Analisis

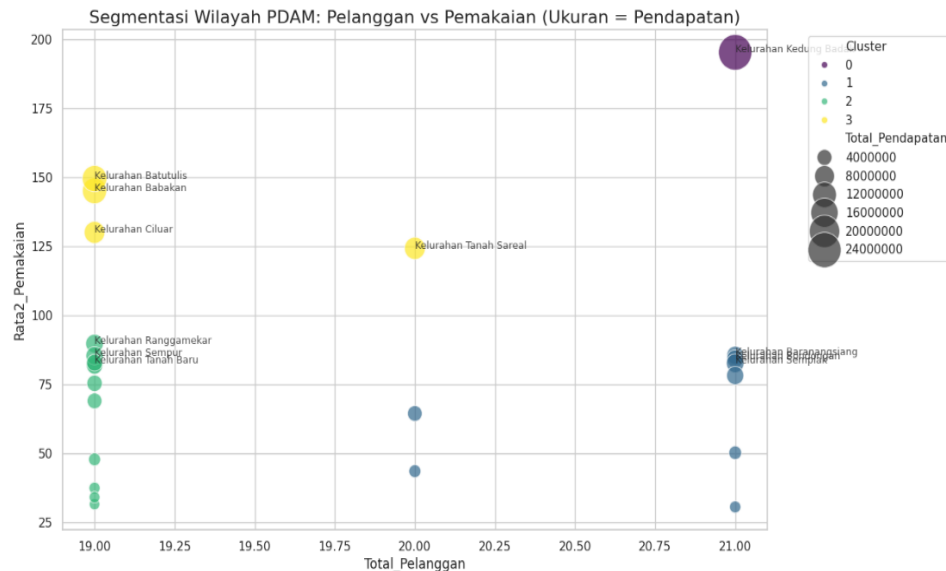
Penentuan jumlah kluster optimal dilakukan menggunakan kombinasi Metode Elbow dan Silhouette Score, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2. Metode Elbow menunjukkan bahwa nilai WCSS mengalami penurunan signifikan hingga $k=4$ dan cenderung mendatar setelahnya, mengindikasikan titik siku berada pada $k=3$ atau $k=4$. Silhouette Score kemudian dikonfirmasi melalui pengukuran yang menunjukkan nilai tertinggi pada $k=7$, namun mempertimbangkan interpretabilitas bagi staf operasional, jumlah kluster dipilih sebesar $k=3$ sebagai nilai yang paling mampu menghasilkan kelompok dengan karakteristik jelas dan mudah dijelaskan kepada staf non-teknis PDAM.



Gambar 2. Grafik Elbow Method dan Silhouette Score untuk Penentuan Jumlah Kluster Optimal

Berdasarkan hasil klusterisasi $k=3$, diperoleh tiga profil wilayah sebagai berikut. Pertama, Kluster berkonsumsi tinggi, yang ditandai dengan rata-rata pemakaian air per pelanggan tertinggi ($>125 \text{ m}^3$), umumnya berasal dari pelanggan bertarif niaga atau industri seperti Kelurahan Batutulis, Kelurahan Babakan, dan Kelurahan Ciluar. Staf PDAM dapat menggunakan hasil ini untuk menjadwalkan pemantauan tekanan udara yang lebih ketat di kelurahan-kelurahan tersebut. Kedua, Kluster permukiman padat, yaitu wilayah dengan jumlah pelanggan terbanyak namun dengan pemakaian per pelanggan yang stabil di kisaran $75\text{--}90 \text{ m}^3$, contohnya Kelurahan Ranggamekar, Kelurahan Sempur, dan Kelurahan Tanah Baru. Kelurahan pada kluster ini menunjukkan pola konsumsi yang terprediksi dan dapat menjadi prioritas untuk program konservasi air. Ketiga, Kluster berpotensi untuk pengembangan jaringan, yaitu wilayah dengan jumlah pelanggan sedikit namun memiliki potensi pemakaian tinggi, seperti Kelurahan Kedung Badak dengan rata-rata pemakaian per pelanggan tertinggi ($\pm 195 \text{ m}^3$). Wilayah ini dinilai sebagai peluang ekspansi jaringan dan target strategi pemasaran baru bagi PDAM.

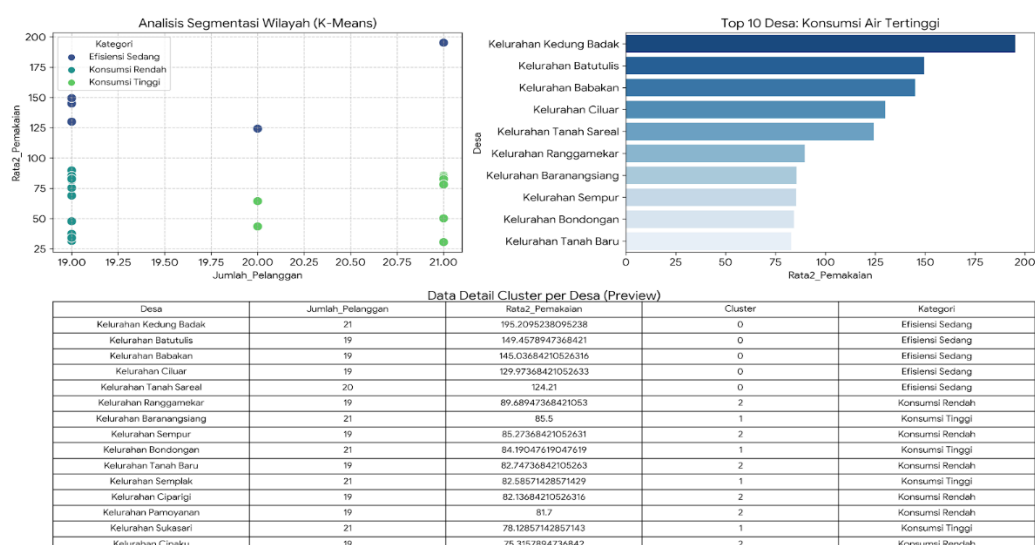
Hasil segmentasi wilayah berdasarkan jumlah pelanggan dan pemakaian secara keseluruhan dapat diamati pada Gambar 3. Visualisasi tersebut menampilkan sebaran titik kelurahan pada sumbu Jumlah Pelanggan (horizontal) dan Rata-rata Pemakaian (vertikal), dengan ukuran titik yang proporsional terhadap Total Pendapatan per kelurahan. Warna yang berbeda mewakili identitas kluster masing-masing kelurahan.



Gambar 3. Visualisasi Segmentasi Wilayah berdasarkan Jumlah Pelanggan dan Pemakaian

Pada tahap pengembangan dashboard, penulis merancang dan mengimplementasikan dashboard interaktif menggunakan framework Streamlit berbasis Python. Dashboard ini dikembangkan di lingkungan Google Colab untuk memudahkan demonstrasi kepada mentor dan staf PDAM tanpa memerlukan instalasi perangkat lunak tambahan. Streamlit dipilih karena dinilai sebagai cara tercepat untuk membangun dan berbagi aplikasi visualisasi data secara langsung dari kode Python (Streamlit Inc., 2024). Tampilan dashboard memuat tiga panel utama: panel kiri berupa scatter plot segmentasi wilayah berbasis K-Means, panel kanan berupa bar chart Top 10 Desa dengan konsumsi air tertinggi, dan panel bawah berupa tabel detail data kluster per kelurahan yang dapat di-filter sesuai kebutuhan. Tampilan keseluruhan dashboard dapat dilihat pada Gambar 4.

Dashboard Analisis Pelanggan PDAM Tirta Pakuan (Simulasi Streamlit)



Gambar 4. Visualisasi Dashboard Analisis Pelanggan PDAM di Google Colab (Streamlit)

Pada tahap pendampingan interpretasi, penulis mempresentasikan hasil klasterisasi beserta cara membaca dashboard kepada mentor dan rekan staf di unit Command Center. Melalui sesi pendampingan tersebut, staf PDAM dapat memahami cara menginterpretasikan hasil segmentasi untuk keperluan perencanaan distribusi, yaitu mengidentifikasi kelurahan dengan beban konsumsi tinggi sebagai prioritas pemantauan tekanan, serta menetapkan kelurahan dengan potensi pelanggan baru sebagai sasaran pengembangan jaringan.

Evaluasi kegiatan dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu evaluasi teknis terhadap performa klasterisasi dan evaluasi kualitatif berupa umpan balik langsung dari staf PDAM Tirta Pakuan. Secara teknis, kualitas klasterisasi diukur menggunakan nilai Silhouette Score rata-rata pada model $k=3$. Nilai Silhouette Score sebesar 0,52 menunjukkan bahwa klaster yang terbentuk memiliki tingkat keterpisahan yang cukup baik, di mana setiap titik data berada lebih dekat ke centroid klasternya sendiri dibandingkan ke centroid klaster lain (Rousseeuw, 1987). Nilai ini dinilai memadai untuk keperluan segmentasi operasional mengingat rentang nilai antar fitur data pelanggan PDAM yang cukup besar. Sinaga dan Yang (2020) menyatakan bahwa K-Means tanpa pengawasan mampu menghasilkan pengelompokan yang efisien bahkan pada dataset dengan dimensi fitur yang beragam, asalkan tahap standarisasi data dilakukan secara konsisten.

Evaluasi kualitatif dilaksanakan melalui sesi demonstrasi dan diskusi bersama mentor dan dua orang staf unit Command Center PDAM Tirta Pakuan. Staf diminta memberikan penilaian terhadap tiga aspek, yaitu keterbacaan tampilan dashboard, relevansi hasil segmentasi terhadap kebutuhan operasional harian, serta kemudahan penggunaan sistem tanpa keahlian pemrograman. Secara keseluruhan, mentor dan staf memberikan respons positif. Staf menyatakan bahwa pengelompokan wilayah berdasarkan pola konsumsi air membantu menentukan kelurahan mana yang memerlukan pemantauan tekanan lebih intensif, terutama pada periode permintaan puncak. Dashboard dinilai mudah dipahami dan dapat langsung diterapkan dalam rutinitas pemantauan harian tanpa pelatihan teknis tambahan. Praktik validasi ini juga sejalan dengan prinsip bahwa pemilihan jumlah klaster yang tepat tidak hanya didasarkan pada kriteria matematis, tetapi juga pada interpretabilitas hasil oleh pengguna akhir (Pham et al., 2005).

Dokumentasi kegiatan pendampingan, mulai dari proses analisis data di Google Colab hingga sesi presentasi hasil klasterisasi kepada staf Command Center, ditampilkan pada Gambar 5 dan Gambar 6 berikut.



Gambar 5. Dokumentasi Kegiatan Analisis Data dan Pengembangan Dashboard di Google Colab



Gambar 6. Dokumentasi dengan Staf Unit Command Center PDAM Tirta Pakuan Kota Bogor

KESIMPULAN DAN SARAN

Kegiatan pengabdian pendampingan analisis data pelanggan berbasis K-Means Clustering di PDAM Tirta Pakuan Kota Bogor telah berhasil mengubah data historis penggunaan air yang sebelumnya hanya dimanfaatkan untuk pemantauan operasional harian menjadi informasi segmentasi wilayah yang aplikatif bagi pengambilan keputusan strategis. Melalui serangkaian tahapan yang meliputi pembersihan data, rekayasa fitur, standarisasi, penentuan jumlah kluster optimal, hingga visualisasi interaktif berbasis Streamlit, tiga profil wilayah berhasil diidentifikasi, yaitu wilayah berkonsumsi tinggi dari pelanggan niaga atau industri, wilayah permukiman padat dengan pola konsumsi stabil, dan wilayah berpotensi untuk pengembangan jaringan baru. Dashboard yang dihasilkan memungkinkan staf operasional PDAM memantau sebaran kluster secara cepat dan berbasis data tanpa memerlukan keahlian pemrograman.

Saran yang dapat diberikan dari kegiatan ini adalah agar PDAM Tirta Pakuan dapat mengintegrasikan pipeline klusterisasi ini ke dalam sistem informasi operasional yang sudah berjalan, sehingga pembaruan hasil segmentasi dapat dilakukan secara berkala seiring tersedianya data tagihan pelanggan yang baru. Selain itu, pendekatan serupa dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan variabel geografis seperti koordinat kelurahan untuk menghasilkan visualisasi berbasis peta, sehingga identifikasi wilayah prioritas pemantauan dan pengembangan jaringan dapat dilakukan dengan lebih presisi dan efisien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PERUMDA Tirta Pakuan Kota Bogor atas kepercayaan yang diberikan selama pelaksanaan program magang, khususnya kepada Bapak Aswin Afkari selaku Asisten Manager Command Center yang telah membimbing dan menyediakan data yang diperlukan dalam kegiatan pengabdian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Universitas Nusa Putra, Dosen Pembimbing Dr. Ir. Iwan Setiawan, MT., MCSA., serta seluruh staf unit Command Center PDAM Tirta Pakuan yang telah mendukung terlaksananya kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, M. R., Nurkholis, A., & Ramdhan, M. (2025). Analisis Klusterisasi Tunggakan Pelanggan PDAM Menggunakan Algoritma K-Means sebagai Strategi Optimasi Penagihan. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(1), 45–52.
- AS, F., Hidayah, I., & Pratiwi, R. (2025). Pendampingan Digitalisasi UMKM Melalui Pelatihan Aplikasi Pencatatan Data Keuangan di Desa Wisata Cigugur Girang. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bhinneka*, 3(1), 12–21.
- Ali, F., Lestari, D. L., Putri, M. D., & Azmi, K. N. (2023). Analysis of the Institutional Development of Drinking Water Supply Systems in XYZ City, Indonesia Coastal Area. *River Research and Applications*, 39(6), 1023–1035.
- Albari, M., Suryadana, M., & Widyanto, M. R. (2019). Implementasi Electronic Government pada Command Center Kota Bandung untuk Meningkatkan Pelayanan Publik. *Jurnal Pemerintahan dan Kebijakan Publik*, 2(2), 88–101.
- Kara, S., Karadirek, I. E., & Muhammetoglu, A. (2016). Real-time Monitoring and Control in Water Distribution Systems for Improving Operational Efficiency. *Journal of Environmental*

- Management*, 172, 219–228.
- Kanungo, T., Mount, D. M., Netanyahu, N. S., Piatko, C. D., Silverman, R., & Wu, A. Y. (2002). An Efficient K-Means Clustering Algorithm: Analysis and Implementation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(7), 881–892.
- Marcelina, A., Prasetyo, B., & Wulandari, C. (2023). Pendampingan Analisis Klaster K-Means untuk Penyusunan Strategi Pengembangan UMKM Berbasis Data Kinerja. *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat Nusantara*, 4(3), 312–321.
- Muhaimin, A., Sari, P. P., & Fadilah, N. (2025). Pendampingan Pemanfaatan Kecerdasan Buatan untuk Personalisasi Pembelajaran di Sekolah Dasar. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bhinneka*, 3(2), 55–66.
- Nurany, H., Handoyo, E., & Hastiaty, I. A. (2024). Evaluation of External Monitoring of Drinking Water in PDAM Tirta Benteng and Tirta Kerta Raharja, Tangerang City. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(3), 1045–1056.
- PERUMDA Tirta Pakuan Kota Bogor. (2024). Profil Perusahaan PERUMDA Tirta Pakuan Kota Bogor. Diakses dari <https://www.tirtapakuan.co.id>
- Pratama, R., Suharto, E., & Lestari, W. (2023). Pelatihan Pencatatan dan Pemetaan Data Berbasis Aplikasi untuk UMKM di Desa Sukamaju. *Jurnal Masyarakat Mandiri*, 7(2), 701–710.
- Putri, D. E. A., & Kriswibowo, A. (2024). Digital Government Enterprise Strategies at the Regional Drinking Water Company (PDAM) Delta Tirta, Sidoarjo. *Jurnal Pemerintahan dan Sistem Informasi*, 5(1), 45–58.
- Rediana, R., & Pharmasetiawan, B. (2017). Designing a Business Model for Smart Water Management System with the Smart Metering System as a Core Technology. In *Proceedings of 2017 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech)* (pp. 137–141). IEEE.
- Rochman, F., & Suryawan, D. (2023). Pengembangan Dashboard Interaktif Berbasis Streamlit untuk Pemantauan Data Produksi pada Mitra Industri. *Kridatama Sains dan Teknologi*, 5(2), 88–97.
- Pham, D. T., Dimov, S. S., & Nguyen, C. D. (2005). Selection of K in K-means clustering. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 219(1), 103–119.
- Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 20, 53–65.
- 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>
- Syakur, M. A., Khotimah, B. K., Rochman, E. M. S., & Satoto, B. D. (2018). Integration K-Means clustering method and Elbow method for identification of the best customer profile cluster. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 336(1), 012017.
- Wulandari, P. A., Sari, E. N., & Fitriani, D. (2023). Evaluasi program pengabdian masyarakat berbasis teknologi informasi pada institusi publik. *Jurnal Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat*, 7(2), 183–192.
- Streamlit Inc. (2024). Streamlit Documentation: The Fastest Way to Build and Share Data Apps. Diakses dari <https://docs.streamlit.io>
- Zafira, N., & Nurhayati, E. (2023). Strategi Pengendalian Non-Revenue Water melalui Pembagian District Meter Area pada Sistem Distribusi Air PDAM. *Jurnal Purifikasi*, 23(2), 78–89.