

Analisis Klasterisasi Patok Jalan Berbasis Geospasial Menggunakan K-Means dan Evaluasi Davies-Bouldin

Analysis of Geospatial-Based Road Milestone Clustering Using K-Means and Davies-Bouldin Evaluation

Habibie Ed Dien¹⁾, M. Hasyim Ratsanjani²⁾, Agung Adi Saputra³⁾, Noprianto⁴⁾, Ariadi Retno Tri Hayati Ririd⁵⁾, Bagas Satya Dian Nugraha⁶⁾

^{1,2,3,4,5,6}Teknik Informatika, Jurusan Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Malang
^{1,2,3,4,5,6}Jl. Soekarno Hatta No.9 Jatimulyo, Lowokwaru, Malang, 65141, Telp. (0341) 404424, Fax (0341) 404420

habibie@polinema.ac.id¹⁾

Diterima: 7 Mei 2024 || Direvisi: 2 Juni 2024 || Disetujui: 27 September 2024

Abstrak – Sistem Informasi Geografis (SIG) telah menjadi alat yang sangat penting untuk analisis spasial dan pengambilan keputusan di berbagai bidang. Dalam *paper* ini, proses analisis tentang pengelompokan patok Kilometer Hektometer (KM/HM) menggunakan metode K-Means dalam konteks SIG. Patok KM/HM merupakan perlengkapan jalan yang terbuat dari beton atau papan rambu yang dilengkapi tulisan yang berisi informasi tentang jarak dan nama kota yang akan ditempuh oleh pengguna jalan. Panjang jalan yang memiliki jarak begitu jauh akan menyulitkan untuk pemeliharaan dan pengelolaan patok yang tersebar di seluruh ruas jalan. Saat ini, proses pemetaan lokasi patok masih dilakukan dengan metode konvensional, yaitu petugas survei mencatat data di kertas dan mengukur dengan odometer kendaraan. Namun, cara ini sering menyebabkan terjadinya kehilangan data, kesalahan dalam menentukan lokasi, serta tidak memiliki bukti foto sebagai acuan untuk menilai kondisi patok. Peran SIG bagi petugas survei dapat melakukan pemetaan patok dan memvisualisasikan data patok. Tujuan utamanya adalah untuk mendapatkan wawasan yang bermakna dari distribusi spasial patok-patok ini, yang akan membantu dalam navigasi yang lebih baik dan perencanaan infrastruktur. Metode K-Means menjadikan kluster terpisah dari patok KM/HM yang diidentifikasi berdasarkan kedekatan geografis. Untuk menilai kualitas kluster ini, evaluasi menggunakan indeks Davies-Bouldin (DBI), yang memberikan ukuran kuantitatif dari kemiripan antar-kelompok dan ketidaksamaan dalam kelompok. Bagi petugas dapat bermanfaat untuk mencari titik lokasi patok yang memiliki kondisi kerusakan tinggi untuk diprioritaskan perbaikan terlebih dahulu. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan DBI menghasilkan nilai hampir mendekati nol yaitu sebesar 0,1656 menunjukkan bahwa kluster yang terbentuk memiliki kualitas sangat baik.

Kata Kunci: Sistem Informasi Geografis, pemetaan, patok Kilometer dan Hektometer, K-means clustering

Abstract – Geographic Information System (GIS) has become a very important tool for spatial analysis and decision making in various fields. In this paper, the analysis process of grouping Kilometer Hectometer (KM/HM) road milestones use the K-Means method in the context of GIS. The KM/HM road milestones are road equipment made of concrete or signboards equipped with texts containing information about the distance and the name of the city to be traveled by road users. The length of the road that has such a long distance will make it difficult to maintain and to manage the road milestones that are scattered throughout the road. Currently, the process of mapping the location of the road milestones is still being carried out using the conventional method, in which the survey officer records the data on paper and measures it with the vehicle's odometer. However, this method often causes data loss, errors in determining the location, and lacks photographic evidence as a reference for assessing the condition of the road milestones. The role of GIS for survey officers is to map the road milestones and to visualize the road milestone data. The main objective is to gain meaningful insights from the spatial distribution of these road milestones, which will assist in better navigation and infrastructure planning. The K-Means method separates clusters from KM/HM road milestones which are identified based on geographical proximity. To assess the quality of these clusters, the evaluation is conducted using the Davies-Bouldin index (DBI) which provides a quantitative measure of inter-group similarity and within-group dissimilarity. For officers, it can be useful to find location points for the road milestones that have high damage conditions to prioritize to be repaired first. Based on the test results using DBI, it produces a value close to zero, which is equal to 0.1656, indicating that the clusters formed have very good quality.

Keywords: Geographic Information System, mapping, Kilometer and Hectometer road milestones, K-means clustering

PENDAHULUAN

Patok kilometer dan hektometer (KM/HM) merupakan salah satu perlengkapan jalan yang dimaksudkan untuk memberikan informasi panjang jalan dan jarak antar kota bagi pengguna jalan. Menurut (*Permen PUPR No. 19/PRT/M/2011 Tahun 2011*, t.t.) tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan, pada patok KM/HM secara fisik bisa terbuat dari beton atau papan rambu yang dilengkapi warna dan tulisan yang berisi informasi tentang jarak KM atau HM dan nama kota yang akan ditempuh. Patok KM digunakan sebagai penanda titik setiap jarak satu kilometer pada jalan raya, sedangkan patok HM digunakan sebagai penanda titik setiap jarak satu hektometer pada jalan raya. Sehingga di sepanjang jalan raya, patok HM harus ditempatkan setiap jarak 100 (seratus) meter di antara patok KM.

Permasalahannya adalah jumlah patok yang tersebar di jalan raya menyulitkan Unit Pelaksana Teknis Pengelolaan Jalan dan Jembatan (UPT PJJ) Bojonegoro untuk mengidentifikasi patok KM/HM yang mengalami kerusakan, dengan berbagai penyebab seperti tertabrak mobil, warna cat yang hilang, posisi patok yang bergeser, serta patok yang terhalang objek seperti pohon. Pengawasan dan inventarisasi patok ini, yang mencakup wilayah jalan sepanjang 82 km di Tuban dan 48 km di Bojonegoro¹, masih dilakukan secara konvensional oleh petugas survei (Pilot, 2023) menggunakan catatan kertas dan odometer kendaraan, yang rentan terhadap kehilangan data dan kesalahan penentuan lokasi. Oleh karena itu, diperlukan metode pemetaan yang lebih efektif untuk meningkatkan akurasi, efisiensi, dan keandalan dalam pemeliharaan dan pengelolaan patok KM/HM di jalan raya.

Penggunaan teknologi informasi terkini dapat menjadi alternatif yang lebih efektif. Salah satu caranya adalah menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Pemanfaatan SIG dapat diterapkan untuk menyajikan informasi pemetaan patok KM/HM yang tersebar di jalan secara spasial.

Penelitian ini bertujuan untuk membangun SIG yang akan digunakan oleh UPT PJJ Bojonegoro untuk pemetaan patok jalan raya di wilayah Bojonegoro dan Tuban. Harapannya adalah mempermudah dalam proses pemetaan, pengawasan, dan inventarisasi patok pada setiap ruas jalan. Petugas survei hanya perlu menggunakan gawai untuk memotret dan melaporkan

kondisi patok yang rusak, hilang, terhalang, atau bergeser dari titik yang seharusnya. Hasil dari pemetaan akan tersimpan dalam basis data yang akan ditampilkan di *web* dalam bentuk peta yang menunjukkan garis jalan dan titik patok serta menyajikan informasi mengenai kondisi patok KM/HM.

Salah satu solusi potensial adalah penerapan teknik *clustering k-means*, yang dapat membantu dalam pengelompokan lokasi patok berdasarkan kondisi dan faktor-faktor kerusakan tertentu, sehingga mempermudah dalam penentuan prioritas perbaikan dan pengelolaan sumber daya secara lebih efisien. Informasi titik-titik patok yang diperoleh akan dikelompokkan menjadi beberapa kluster, sehingga memberikan kemudahan bagi UPT PJJ Bojonegoro dalam mengambil keputusan dan mencari titik lokasi patok yang memiliki kondisi kerusakan tinggi untuk diprioritaskan perbaikan terlebih dahulu.

Pemilihan *k-means* sebagai teknik *clustering* didasarkan pada beberapa alasan yang kuat, termasuk kesederhanaan, efisiensi, serta relevansi dengan banyak aplikasi praktis. Berikut adalah beberapa justifikasi yang lebih mendalam mengapa *k-means* menjadi pilihan dalam penelitian ini (Alam dkk., 2024; Faizan dkk., 2020; Maronna, 2016; Nisha & Kaur, 2015; Singh dkk., 2020).

1. Kesederhanaan dan Kemudahan Implementasi

K-means adalah algoritma yang sangat sederhana untuk dipahami dan diimplementasikan. Ini membuatnya menjadi pilihan yang baik terutama ketika membutuhkan pengembangan cepat dan kemudahan interpretasi menjadi faktor penting.

2. Efisiensi Komputasi

K-means memiliki kompleksitas komputasi yang relatif rendah, biasanya $O(n \cdot k \cdot t)$, di mana n adalah jumlah data poin, k adalah jumlah kluster, dan t adalah jumlah iterasi. Ini membuatnya sangat efisien dan cepat bahkan untuk *dataset* yang cukup besar.

3. Konvergensi Cepat

Algoritma *k-means* biasanya konvergen dalam beberapa iterasi. Meskipun tidak selalu menghasilkan solusi optimal secara global, namun cukup baik dalam praktiknya untuk banyak masalah *clustering*.

4. Skalabilitas

K-means sangat *scalable* dengan *dataset* besar karena algoritma ini bekerja dengan baik dalam

¹Hasil wawancara dengan Mokhammad Syaifudin, Kepala UPT PJJ Bojonegoro.

lingkungan *high-dimensional* data dan dapat dengan mudah diadaptasi untuk dijalankan secara paralel atau pada arsitektur *distributed computing*.

5. Hasil yang Mudah Dimengerti

Hasil *clustering* dari *k-means* mudah untuk diinterpretasikan. Setiap data *point* hanya memiliki satu kluster, dan pusat kluster (*centroid*) yang memberikan representasi baik pada karakteristik setiap kluster.

6. Relevansi dan Keefektifan pada Berbagai Aplikasi

K-means telah terbukti efektif di banyak domain aplikasi seperti segmentasi pelanggan, pengelompokan dokumen, pengelompokan gambar, dan pengelompokan data sensor. Kesederhanaan dan keefektifannya membuatnya menjadi *baseline* yang baik dibandingkan dengan teknik *clustering* lainnya.

7. Fleksibilitas dalam Pemilihan Jarak

Meskipun *k-means* secara tradisional menggunakan jarak *Euclidean*, variasinya dapat menggunakan metrik jarak lain sesuai kebutuhan aplikasi, memberikan fleksibilitas dalam adaptasi terhadap berbagai jenis data.

8. Ketersediaan dalam Paket dan Library Populer

K-means tersedia di hampir semua *library* statistik dan *machine learning* (seperti *scikit-learn* dalam *Python*, *MMLib* dalam *Spark*), menjadikannya sangat mudah diakses dan digunakan oleh praktisi.

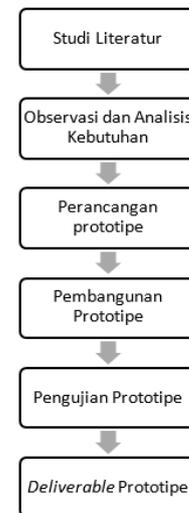
Meskipun demikian, penting untuk menyadari keterbatasan *k-means* seperti kecenderungan untuk terjebak pada solusi lokal, asumsi bentuk kluster yang bulat dan seragam, serta kesulitan dalam menangani *outliers*. Oleh karena itu, dalam praktiknya, *k-means* sering digunakan sebagai langkah awal atau *baseline* sebelum mengeksplorasi teknik *clustering* yang lebih kompleks dan khusus.

Beberapa penelitian terdahulu terkait penggunaan metode *k-means* (Batarius dkk., 2023; D. Indriyanti dkk., 2021; Prabiantissa dkk., 2017; Rahma dkk., 2019; Riza dkk., 2021; Syaifudin & Irawan, 2018) dan evaluasi *davies-bouldien* (DBI) (Jumadi Dehotman Sitompul dkk., 2019; Septiani dkk., 2022). Penelitian tersebut belum banyak membahas terkait penggunaan *k-means* dan evaluasi DBI untuk analisis klasterisasi patok jalan berbasis geospasial. Penggunaan evaluasi DBI untuk *k-means* menunjukkan hasil yang baik (Septiani dkk., 2022; Singh dkk., 2020). Melalui pendekatan ini, harapannya penelitian ini dapat menghasilkan kluster yang baik dalam

mengelompokkan kondisi patok jalan dalam konteks SIG.

METODOLOGI PENELITIAN

Pengembangan prototipe SIG ini harus dilakukan dengan tahapan yang tepat agar dapat menghasilkan prototipe yang berkualitas. Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan seperti pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1 Bagan Alir Metodologi Penelitian Studi Literatur

Pada tahap ini, tim peneliti melakukan kajian lebih lanjut mengenai konsep metode atau algoritma dan teknologi yang akan digunakan pada prototipe SIG pemetaan kondisi patok KM/HM. Kajian tersebut antara lain mengenai metode yang tepat untuk melakukan pengelompokan data kondisi patok. Selain itu, kajian tentang pengolahan data yang sesuai untuk mendapatkan informasi yang relevan terhadap data kondisi patok.

Proses ini dilakukan dengan harapan untuk menemukan inovasi atau ide-ide tambahan yang mampu mendukung prototipe yang akan dibangun. Inovasi atau ide-ide tersebut dapat dilihat dari sisi fitur sistem dan teknologi yang akan digunakan.

Observasi dan Analisis Kebutuhan

Observasi dan analisis kebutuhan dilakukan dengan melakukan wawancara kepada petugas UPT PJJ yang selama ini telah berpengalaman melakukan survei dan perbaikan patok KM/HM secara konvensional. Hasil dari wawancara tersebut akan dirumuskan dalam bentuk kebutuhan fungsional dan kebutuhan non-fungsional. Hasil dari tahapan ini adalah daftar kebutuhan fungsional dan non-fungsional tersebut.

Beberapa hal yang perlu diketahui pada tahapan ini untuk mempermudah pada saat melakukan perancangan prototipe antara lain:

1. Data-data apa saja yang digunakan untuk proses pemetaan dalam SIG.
2. Faktor apa saja yang memengaruhi data kondisi patok KM/HM dalam proses *clustering*.
3. Faktor apa saja yang memengaruhi deteksi pergeseran patok KM/HM.

Selanjutnya dilakukan pengumpulan data dan informasi. Data populasi dan sampel penelitian menggunakan data di Kabupaten Bojonegoro dan Tuban. Pada Tabel 1 berikut terdapat tujuh ruas jalan di Kabupaten Bojonegoro dengan total panjang 48,41 km. Pada Tabel 2 terdapat tiga ruas jalan di wilayah Tuban dengan total panjang 82,08 km. Saat ini untuk survei patok KM/HM masih menggunakan metode konvensional, yaitu dengan mencatat data di kertas dan diukur menggunakan odometer kendaraan.

Tabel 1 Ruas Jalan Wilayah Bojonegoro

No	Kode	Ruas Jalan	Panjang
1	143	Bts. Kota Bojonegoro – Bts. Kab Tuban	3.11
2	143	Jln. Jagung. Suprpto	0.54
3	143	Jln. Sawunggaling	0.99
4	143	Jln. Basuki Rahmad	1.54
5	144	Jln. Cokroaminoto	0.98
6	144	Jln. KH. R. Moch Rosyid	1.68
7	144	BTS. Kota Bojonegoro – (Pajeng) Bts.Kab Nganjuk	39.57
Total Panjang Jalan (KM) :			48,41

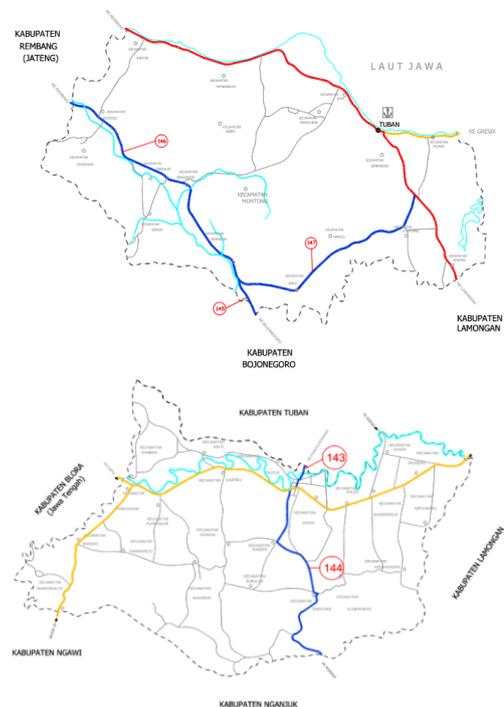
Tabel 2 Ruas Jalan Wilayah Tuban

No	Kode	Ruas Jalan	Panjang
1	143	Bts. Kota Bojonegoro – Ponco	3,66
2	143	Ponco – Jatirogo (Bts. Prov. Jateng)	42,46
3	143	Pakah - Ponco	35,96
Total Panjang Jalan (KM):			82,08

Harapannya patok yang ideal adalah yang memiliki kondisi patok tidak rusak, hilang, atau terhalang. Selain itu, memastikan posisi patok tidak bergeser dengan jarak tidak kurang atau lebih dari 10 meter, sesuai dengan ketentuan jarak patok. Hal ini disadari karena penggunaan GPS gawai dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kekuatan sinyal dan kualitas akurasi perangkat. Melalui aplikasi mobile yang akan dibangun, petugas survei dapat memasukkan data patok, lalu sistem akan otomatis menghitung jarak antar patok untuk mendeteksi titik lokasi patok. Sistem akan mendeteksi pergeseran patok dengan nilai toleransi 10 meter dari jarak seharusnya menggunakan

algoritma *haversine* (Jabid dkk., 2023). Lalu foto patok yang telah diunggah melalui gawai dapat digunakan sebagai bukti.

SIG akan digunakan untuk inventarisasi dan pengawasan hasil patok yang sudah dipetakan oleh petugas survei pada wilayah Bojonegoro dan Tuban seperti pada Gambar 2 berikut ini. Sistem ini menyediakan informasi kondisi patok dan data geografis titik lokasi patok setiap ruas jalan dari banyak data patok yang diambil. Lalu dilakukan pengelompokan patok menurut jumlah patok yang mengalami masalah menggunakan metode *k-means clustering* untuk pengambilan keputusan perbaikan. Informasi tersebut dapat dilihat melalui *web* yang diakses oleh staf admin dan kepala UPT. Selain menampilkan data, staf admin juga dapat memproses data tersebut untuk meminta persetujuan dari kepala UPT apakah perlu ditindaklanjuti ke proses perbaikan patok.



Gambar 2 Peta Wilayah Patok KM/HM

Analisis kebutuhan yang dilakukan dalam pengembangan aplikasi android dan *web* SIG yaitu diawali dengan menentukan tahapan pengembangan untuk membangun sistem tersebut menggunakan metode *System Development Life Cycle (SDLC) waterfall*. Tahap pertama adalah pengumpulan data dengan studi literatur, wawancara, dan observasi. Setelah pengumpulan data, dilakukan teknik pengolahan data untuk menerapkan metode yang digunakan apakah dapat berkorelasi dengan data yang

didapat. Selanjutnya, dilakukan perancangan desain sistem dan pemilihan metode pengujian yang tepat untuk memastikan bahwa aplikasi yang akan dibuat sesuai dengan kebutuhan.

Tabel 3 berikut terdapat beberapa data sebagai sampel dengan 4 variabel acuan, yang berisi informasi tentang jumlah patok KM/HM yang mengalami masalah. Diantaranya jumlah patok yang hilang (H), rusak (R), geser (G), dan terhalang (T).

Tabel 3 Sampel Data Patok KM/HM

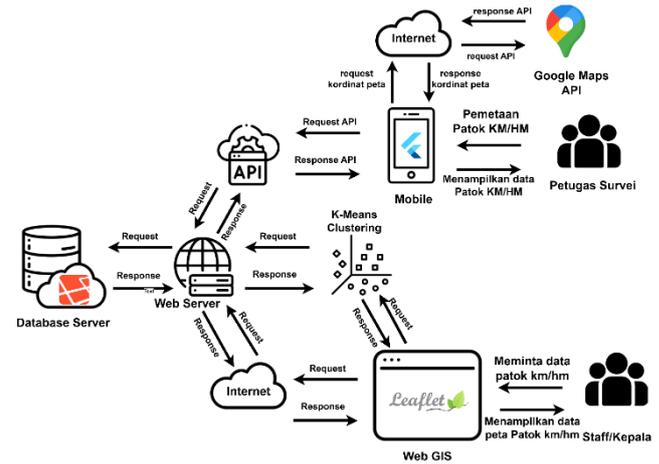
Ruas Jalan	Patok KM	H	R	G	T
Bojonegoro	KM				
Pajeng	10	0	1	0	0
Ponco -	KM				
Jatirogo	11	2	1	3	1
Ponco -	KM				
Jatirogo	12	0	2	1	0
Ponco -	KM				
Jatirogo	13	1	2	2	1
Ponco -	KM				
Jatirogo	14	2	3	3	2
Pakah -	KM				
Ponco	45	2	1	2	1
Pakah -	KM				
Ponco	46	1	3	2	2
Pakah -	KM				
Ponco	47	1	2	3	0

Perancangan Prototipe

Setelah mendapatkan kebutuhan fungsional dan non-fungsional dari tahapan analisis kebutuhan, selanjutnya membuat rancangan prototipe sistem yang merupakan representasi kebutuhan dari pengguna. Rancangan prototipe sistem digambarkan dalam bentuk diagram-diagram yang digunakan sebagai pedoman dalam melakukan pembangunan prototipe. Diagram yang digunakan antara lain bisnis proses, diagram fungsional, diagram aktivitas, diagram entitas, serta diagram *use case*.

Arsitektur sistem dapat dilihat pada Gambar 3 berikut. Sistem ini memiliki tiga aktor, yaitu petugas survei yang akan melakukan pemetaan menggunakan gawai, serta staf admin dan kepala UPT yang akan mengelola data hasil pemetaan patok KM/HM menggunakan web SIG yang diakses melalui *browser*. Petugas survei akan meminta data lokasi saat ini ke Google Maps, yang akan memberikan data alamat, *latitude* dan *longitude* pada gawai. Kemudian, petugas survei akan mengirimkan data patok KM/HM ke basis data yang akan diproses oleh API Laravel di *web server* Apache. Dari sisi staf admin dan kepala UPT, data yang tersimpan di basis data dapat diakses melalui browser

dan ditampilkan dalam bentuk peta menggunakan *library* LeafletJS.



Gambar 3 Arsitektur SIG

Proses pengolahan data yang diperoleh dilakukan pada tahap ini untuk menghasilkan informasi. Teknik pengolahan data menggunakan metode *k-means clustering*, yang diperoleh dari survei pemetaan di lapangan menjadi beberapa *cluster* sesuai dengan kemiripan data. Proses pengolahan data dapat dilakukan dengan tahapan seperti yang digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 4, dengan menggunakan beberapa data *dummy* sebagai sampel. Tabel 3 menunjukkan 4 variabel yang digunakan sebagai acuan, yang berisi informasi tentang jumlah patok KM/HM yang mengalami masalah. Sistem akan menyaring data yang akan digunakan untuk *clustering* dengan aturan bahwa data yang diambil hanya data patok KM/HM yang minimal memiliki jumlah satu masalah pada salah satu variabel. Termasuk jika status data patok masih menunggu persetujuan atau belum diperbaiki.

Pembangunan Prototipe

Pembangunan prototipe dilakukan dengan berpedoman pada rancangan prototipe sistem yang telah dibuat sebelumnya. Pembangunan prototipe memanfaatkan beberapa perangkat pendukung, baik perangkat keras maupun perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan antara lain laptop atau komputer desktop dengan minimal *processor* Intel i3 dengan Memori (RAM) 8 GB dan koneksi internet 1 Mbps.

Sedangkan untuk kebutuhan perangkat lunak dalam pembangunan sistem antara lain Trello dan Google Drive yang digunakan untuk pemantauan dan pembagian pekerjaan tim, Visual Studio Code yang digunakan untuk implementasi *source code*. XAMPP

sebagai media *server* lokal untuk penyimpanan basis data.



Gambar 4 Diagram Alir K-Means Clustering

Pengujian Prototipe

Setelah tahap implementasi selesai, selanjutnya dilakukan tahap pengujian yang bertujuan untuk mengetahui apakah prototipe sudah sesuai dengan kebutuhan pengguna. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian fungsionalitas dan pengujian usabilitas.

Pengujian fungsionalitas menggunakan teknik pengujian *blackbox*, yang bertujuan untuk memastikan *input* dan *output* pada sistem sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan.

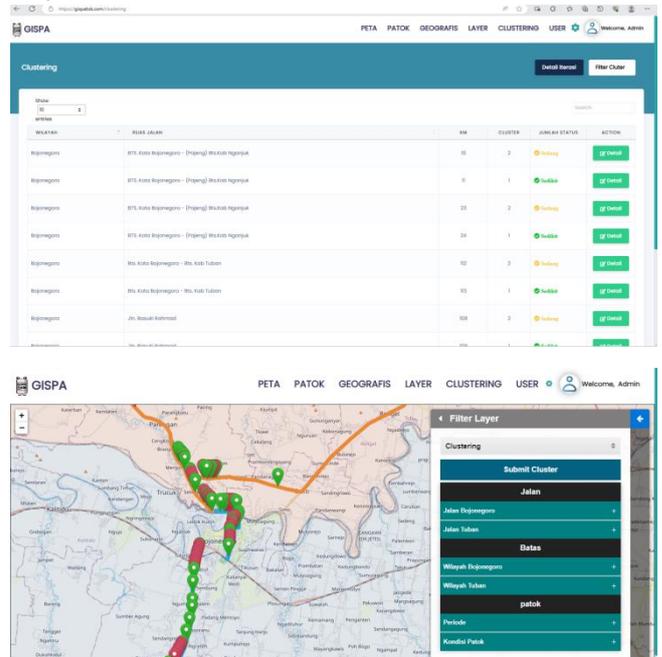
Pengujian usabilitas adalah pengujian yang berfokus pada tingkat kualitas dari aplikasi dan untuk menentukan seberapa mudah perangkat lunak dapat dipahami dan digunakan oleh pengguna. Pengujian ini menggunakan metode *System Usability Scale (SUS)* yang mana pengguna akan diminta melakukan penilaian terhadap sistem yang telah dibangun melalui kuesioner.

Deliverable Prototipe

Deliverable prototipe merupakan proses tahap terakhir, dimana prototipe yang telah dibangun dan diuji disesuaikan atau direvisi terlebih dahulu. Prototipe yang telah direvisi dan siap digunakan akan diimplementasikan agar dapat digunakan oleh pengguna. Selain itu pada tahapan ini juga dilakukan pembuatan buku manual maupun video tutorial penggunaan SIG. Harapan luaran dari tahapan ini adalah prototipe siap untuk digunakan dan pengguna telah paham tata cara penggunaannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

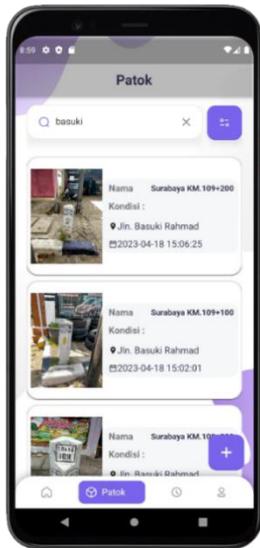
Tampilan *web* hasil implementasi pengolahan data patok dapat dilihat pada Gambar 5 berikut. Halaman web tersebut menampilkan hasil kluster tiap area wilayah patok KM, dan terdapat tombol detail iterasi untuk melihat proses perhitungan setiap iterasi secara rinci. Terdapat juga tombol detail yang berfungsi untuk menampilkan daftar data patok pada area tersebut sehingga memungkinkan dilakukannya aksi lebih lanjut.



Gambar 5 Tampilan Aplikasi SIG Versi Web

Tampilan aplikasi *mobile* pada Gambar 6 berikut telah diimplementasikan sesuai dengan kebutuhan pengguna. Aplikasi *mobile* ini memungkinkan petugas survei untuk melakukan pemetaan menggunakan gawai dengan menambahkan data patok saat di lapangan.

Berdasarkan pemetaan yang telah dilakukan sebanyak 115 data patok di lapangan, selanjutnya dilakukan normalisasi berdasarkan atribut ruas jalan dan nilai KM. Normalisasi dilakukan karena setiap patok KM memiliki maksimal 9 patok HM, kemudian dilakukan penjumlahan kondisi patok yang bermasalah. Hasil normalisasi ditampilkan dalam Tabel 5 berikut yang terdiri dari jumlah patok rusak (R), hilang (H), terhalang (T), dan geser (G). Proses ini bertujuan mempermudah analisis dan pengelompokan data patok menjadi kelompok yang memiliki kesamaan karakteristik (RHTG).



Gambar 6 Tampilan Aplikasi Mobile SIG

Tabel 5 Hasil Normalisasi Data Patok RHTG

Ruas Jalan	Patok KM	Jumlah				Klaster
		R	H	T	G	
BTS. Kota Bojonegoro - Bts.Kab Nganjuk	KM.10	7	2	2	1	2
BTS. Kota Bojonegoro - Bts.Kab Nganjuk	KM.11	1	0	0	0	1
BTS. Kota Bojonegoro - Bts.Kab Nganjuk	KM.23	2	4	0	2	2
BTS. Kota Bojonegoro - Bts.Kab Nganjuk	KM.24	0	0	0	0	1
Bts. Kota Bojonegoro - Bts. Kab Tuban	KM.112	2	1	2	5	2
Bts. Kota Bojonegoro - Bts. Kab Tuban	KM.113	0	0	0	0	1
Jln. Basuki Rahmad	KM.10	1	0	3	6	2
Jln. Basuki Rahmad	KM.109	0	0	0	0	1
Jln. Cokroaminoto	KM.2	0	8	0	5	3
Jln. Jagung. Suprpto	KM.110	3	1	1	4	2
Jln. KH. R. Moch Rosyid	KM.3	0	9	0	4	3
Jln. KH. R. Moch Rosyid	KM.4	0	0	0	0	1
Jln. Sawunggaling	KM.109	3	1	0	5	2
Jln. Sawunggaling	KM.110	1	0	0	0	1
Bts. Kota Bojonegoro - Ponco	KM.114	2	1	2	1	2
Bts. Kota Bojonegoro - Ponco	KM.115	0	0	0	0	1
Bts. Kota Bojonegoro - Ponco	KM.116	3	0	0	0	1
Bts. Kota Bojonegoro - Ponco	KM.117	0	0	0	0	1
Pakah - Ponco	KM.40	0	0	0	0	1
Pakah - Ponco	KM.45	0	0	1	5	2
Pakah - Ponco	KM.46	0	0	0	0	1
Ponco - Jatirogo (Bts. Prov. Jateng)	KM.118	0	0	0	1	1
Ponco - Jatirogo (Bts. Prov. Jateng)	KM.119	0	0	0	0	1

Ruas Jalan	Patok KM	Jumlah				Klaster
		R	H	T	G	
Ponco – Jatirogo (Bts. Prov. Jateng)	KM.124	0	0	0	0	1
Ponco – Jatirogo (Bts. Prov. Jateng)	KM.134	0	0	0	0	1

Hasil *k-means clustering* dari Tabel 5 yang diperoleh setelah melalui proses empat iterasi, di mana hasil iterasi ke-4 klaster tidak mengalami perpindahan. Dari 25 hasil normalisasi secara keseluruhan, lalu dilakukan pengelompokan sehingga terbentuk menjadi tiga klaster sesuai yang tercantum pada Tabel 6 berikut ini. Pengguna sistem dapat memilih klaster berdasarkan kondisi permasalahan patok yang ingin diprioritaskan untuk perbaikan. Klaster tiga merupakan kondisi patok terbanyak yang termasuk dalam kondisi RHTG.

Tabel 6 Hasil Jumlah Klaster

Klaster	Jumlah Anggota
1	15
2	8
3	2

Dari hasil *k-means clustering*, kemudian dilakukan evaluasi terhadap kualitas klaster yang terbentuk. Untuk melakukan validasi (Ika Febryanti dkk., 2023; Jumadi Dehotman Sitompul dkk., 2019; Septiani dkk., 2022; Singh dkk., 2020), digunakan DBI yang menghitung nilai *Sum of Square Within-Cluster* (SSW), *Sum of Square Between-Cluster* (SSB), dan rasio di antara keduanya. Data yang digunakan adalah data yang sudah terbentuk pada klaster akhir dan titik pusat (*centroid*) klaster yang terakhir seperti pada Tabel 7. DBI membantu untuk validasi klaster dengan memberikan gambaran tentang sejauh mana klaster tersebut terpisah dan seberapa baik mereka terkumpul dalam klaster yang sama (Jumadi Dehotman Sitompul dkk., 2019).

Tabel 7 Cuplikan Hasil Klaster Iterasi Akhir

Ruas Jalan	Patok KM	Jarak Ke Centroid			Terdekat	Klaster
		1	2	3		
BTS. Kota Bojonegoro - (Pajeng)	10	7.	5.	10.	5.3	2
BTS. Kota Bojonegoro - (Pajeng)	11	0.	4.	9.6	0.67	1
Jln. Cokroaminoto	2	9.	7.	0.7	0.71	3
.....
Ponco – Jatirogo (Bts. Prov. Jateng)	124	0.	4.	9.6	0.34	1

$$SSW_1 = \frac{0.67 + \dots + 0.34 + 0.34}{15} = 0.582666667$$

$$SSW_2 = \frac{5.3 + 3.51 + \dots + 3.14}{8} = 2.82375$$

$$SSW_3 = \frac{0.71 + 0.71}{2} = 0.71$$

Setelah mengetahui nilai SSW maka selanjutnya dilakukan perhitungan SSB. Untuk menghitung nilai SSB maka diperlukan *centroid* terakhir pada iterasi terakhir. Berikut Tabel 8 *centroid* yang didapat dari hasil iterasi terakhir.

Tabel 8 *Centroid* Iterasi Akhir

<i>Centroid</i>	Jumlah			
	R	H	T	G
1	0.333	0	0	0.066
2	2.5	1.25	1.375	3.625
3	0	8.5	0	4.5

$$SSB_{1,2} = \sqrt{(0.333333 - 2.5)^2 + (0 - 1.25)^2 + (0 - 1.375)^2 + (0.066667 - 3.625)^2} = 4.561721775$$

$$SSB_{1,3} = \sqrt{(0.333333 - 0)^2 + (0 - 8.5)^2 + (0 - 0)^2 + (0.066667 - 4.5)^2} = 9.592473902$$

$$SSB_{2,3} = \sqrt{(2.5 - 0)^2 + (1.25 - 8.5)^2 + (1.375 - 0)^2 + (3.625 - 4.5)^2} = 7.84020089$$

Setelah nilai SSW dan nilai SSB dihitung dan mendapatkan hasilnya, maka selanjutnya adalah mencari nilai rasio antar kluster dengan perhitungan sebagai berikut.

$$R_1 = \frac{0.582666667}{\frac{4.561721775 + 9.592473902 + 7.84020089}{0.582666667}} = \frac{0.582666667}{21.99439657} = 0.026491596$$

$$R_2 = \frac{2.82375}{\frac{4.561721775 + 9.592473902 + 7.84020089}{2.82375}} = \frac{2.82375}{21.99439657} = 0.128384973$$

$$R_3 = \frac{0.71}{\frac{4.561721775 + 9.592473902 + 7.84020089}{0.71}} = \frac{0.71}{21.99439657} = 0.032280949$$

Setelah mengetahui rasio antar kluster kemudian dihitung nilai DBI sebagai berikut.

$$DBI = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{K}$$

$$= \frac{0.026491596 + 0.128384973 + 0.032280949}{3} = 0.165636885$$

Untuk validasi kluster menggunakan DBI dikatakan optimal jika nilai DBI tersebut mendekati nol. Untuk hasil pengujian mendapatkan nilai sebesar 0,1656. Sehingga hasil kluster yang terbentuk dapat dikatakan memiliki kualitas yang sangat baik.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini diperoleh tiga kluster patok berdasarkan jumlah kondisi patok yang bermasalah. Terdiri dari sedikit (C1), sedang (C2), dan banyak (C3). Artinya, pada C3 merupakan kelompok kluster patok yang mengalami banyak permasalahan RHTG, sehingga petugas dapat mengelola sumber daya untuk dilakukan prioritas perbaikan patok. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan DBI menunjukkan nilai sangat baik sebesar 0,1656. Sehingga dapat disimpulkan hasil kluster yang terbentuk memiliki kualitas yang sangat baik.

Penelitian selanjutnya dapat menerapkan algoritma *k-means clustering* dengan mengombinasikan algoritma lain. Fitur SIG diharapkan tidak hanya untuk memetakan patok KM/HM, tetapi juga dapat menambahkan informasi perlengkapan jalan yang lain secara keseluruhan. Selain itu, dapat ditambahkan fitur sistem penjadwalan pemetaan yang terintegrasi. Sehingga dapat membantu petugas survei untuk menjadwalkan perbaikan patok menjadi lebih baik, dengan memperhatikan tenggat waktu yang telah ditentukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat, khususnya P2M Politeknik Negeri Malang yang telah mendanai penelitian ini hingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, A., Muqem, M., Ahamad, M. K., & Mohammed Aarif, K. O. (2024). *K-means clustering hybridized with nature inspired optimization algorithm: A review*. 020026. <https://doi.org/10.1063/5.0202041>
- Batarius, P., Siki, Y. C. H., & others. (2023). Klusterisasi Data Hasil Produksi Pertanian dan Peternakan Provinsi Nusa Tenggara Timur Menggunakan Metode K-Means. *Jurnal Informatika Polinema*, 9(4), 415–426.
- D. Indriyanti, A., R. Prehanto, D., & Z. Vitadiar, T. (2021). K-means method for clustering learning classes.

- Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 22(2), 835. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v22.i2.pp835-841>
- Faizan, M., F., M., Ismail, S., & Sultan, S. (2020). Applications of Clustering Techniques in Data Mining: A Comparative Study. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(12). <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2020.0111218>
- Ika Febryanti, W. O., Sri Adiningsi, & Rizal Adi Saputra. (2023). MENGANALISIS POLA DEFORESTASI HUTAN LINDUNG DI SULAWESI TENGGARA MENGGUNAKAN METODE K-MEANS. *Jurnal Informatika Polinema*, 10(1), 53–58. <https://doi.org/10.33795/jip.v10i1.1455>
- Jabid, T., Rizvy, N. H., Mow, F. T. Z., Shosy, T. Z., Ali, Md. S., Islam, M., Hassan, S. B., & Hasan, M. (2023). An intelligent road accident reduction system using device-to-device communication. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 30(3), 1729. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v30.i3.pp1729-1739>
- Jumadi Dehotman Sitompul, B., Salim Sitompul, O., & Sihombing, P. (2019). Enhancement Clustering Evaluation Result of Davies-Bouldin Index with Determining Initial Centroid of K-Means Algorithm. *Journal of Physics: Conference Series*, 1235(1), 012015. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1235/1/012015>
- Maronna, R. (2016). Charu C. Aggarwal and Chandan K. Reddy (eds.): Data clustering: algorithms and applications. *Statistical Papers*, 57(2), 565–566. <https://doi.org/10.1007/s00362-015-0661-7>
- Nisha, & Kaur, P. J. (2015). Cluster quality based performance evaluation of hierarchical clustering method. *2015 1st International Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT)*, 649–653. <https://doi.org/10.1109/NGCT.2015.7375201>
- Permen PUPR No. 19/PRT/M/2011 Tahun 2011. (t.t.). Diambil 28 Agustus 2023, dari <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/160044/permen-pupr-no-19prtm2011-tahun-2011>
- Pilot, D. M. R. (2023, Desember 6). *Metode Survey Pemetaan GNSS/GPS Geodetic: Panduan Lengkap dan Terperinci*. <https://digitaleksplorasi.com/metode-survey-pemetaan-gnss-gps-geodetic/>.
- Prabiantissa, C. N., Tri, A. R., & Asmara, R. A. (2017). Sistem Identifikasi Batik Alami Dan Batik Sintetis Berdasarkan Karakteristik Warna Citra Dengan Metode K-Means Clustering. *Jurnal Informatika Polinema*, 3(2), 26.
- Rahma, I., Arhandi, P. P., & Firdausi, A. T. (2019). Penerapan Metode Hierarchical Clustering Dan K-Means Clustering Untuk Mengelompokkan Potensi Lokasi Penjualan Linkaja. *Jurnal Informatika Polinema*, 6(1), 15–22.
- Riza, L. S., Rosdiyana, R. A., Pérez, A. R., & Wahyudin, A. (2021). The K-Means Algorithm for Generating Sets of Items in Educational Assessment. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 6(1), 93–100. <https://doi.org/10.17509/ijost.v6i1.31523>
- Septiani, I. W., Fauzan, Abd. C., & Huda, M. M. (2022). Implementasi Algoritma K-Medoids Dengan Evaluasi Davies-Bouldin-Index Untuk Klasterisasi Harapan Hidup Pasca Operasi Pada Pasien Penderita Kanker Paru-Paru. *Jurnal Sistem Komputer dan Informatika (JSON)*, 3(4), 556. <https://doi.org/10.30865/json.v3i4.4055>
- Singh, A. K., Mittal, S., Malhotra, P., & Srivastava, Y. V. (2020). Clustering Evaluation by Davies-Bouldin Index (DBI) in Cereal data using K-Means. *2020 Fourth International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, 306–310. <https://doi.org/10.1109/ICCMC48092.2020.ICCMC-00057>
- Syaifudin, Y. W., & Irawan, R. A. (2018). Implementasi Analisis Clustering Dan Sentimen Data Twitter Pada Opini Wisata Pantai Menggunakan Metode K-Means. *Jurnal Informatika Polinema*, 4(3), 189–194.

Halaman ini sengaja dikosongkan