

ANALISA WAKTU RESPON PADA METODE PENGUKURAN JARAK PADA SISTEM INFORMASI GEOGRAFI

Agus Purnomo^{*1}, Rudi Hartono^{*2}

¹Universitas Islam Negeri Salatiga, Salatiga, ²Universitas Sebelas Maret, Surakarta
Email: ¹agus.purnomo@uinsalatiga.ac.id, ²rudi.hartono@staff.uns.ac.id

*Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 01 Februari 2024, diterima untuk diterbitkan: 01 Oktober 2024)

Abstrak

Efisiensi waktu respon adalah kunci dalam penerapan sistem informasi geografi (GIS) di berbagai aplikasi, seperti navigasi, pemetaan, dan pencarian lokasi. Penelitian ini membandingkan efisiensi waktu respon antara formula *euclidean*, *haversine*, dan *manhattan* dalam melakukan pencarian data dengan variasi radius yang berbeda. Metodologi yang digunakan melibatkan pengumpulan dan analisis data yang dihasilkan dari implementasi ketiga formula tersebut dalam sistem GIS. Data yang dianalisis mencakup waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan *query* pencarian data pada variasi radius yang berbeda. Analisis statistik mengungkapkan bahwa formula *manhattan* menghasilkan peningkatan efisiensi waktu sebesar 6.75% dibandingkan dengan *euclidean*, sementara *haversine* dan *euclidean* mengumpulkan 68.8% lebih banyak data dibandingkan dengan *manhattan*, menunjukkan karakteristik waktu respon yang berbeda tergantung pada radius yang digunakan. Ditemukan bahwa pilihan metode tergantung pada prioritas spesifik setiap aplikasi. Studi ini memberikan wawasan tentang keunggulan dan kelemahan masing-masing metode dalam konteks waktu respon pada GIS, memberikan informasi berharga untuk pengembangan aplikasi GIS, khususnya dalam pemilihan metode perhitungan jarak yang paling efektif sesuai dengan kebutuhan spesifik aplikasi.

Kata kunci: *euclidean*, *haversine*, *manhattan distance*, waktu response, GIS

RESPONSE TIME ANALYSIS OF DISTANCE METHODS ON GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Abstract

Time response efficiency is key in the implementation of Geographic Information Systems (GIS) across various applications such as navigation, mapping, and location search. This research compares the time response efficiency of the *euclidean*, *haversine*, and *manhattan* formulas in conducting data searches across different radius variations. The methodology involves the collection and analysis of data generated from implementing these three formulas within a GIS. The data analyzed includes the time taken to complete data search queries across varying radii. Statistical analysis reveals that the *manhattan* formula achieves a 6.75% increase in time efficiency compared to *euclidean*, while *haversine* and *euclidean* collects 68.8% more data compared to *manhattan*, showing distinct time response characteristics dependent on the radius used. It was found that the choice of method depends on the specific priorities of each application. This study provides insights into the advantages and disadvantages of each method in the context of time response in GIS, offering valuable information for GIS application development, particularly in selecting the most effective distance calculation method according to the specific needs of the application.

Keywords: *euclidean*, *haversine*, *manhattan distance*, response time efficiency, GIS

1. PENDAHULUAN

Sistem Informasi Geografis (GIS) merupakan sebuah sistem yang dirancang untuk menangkap, menyimpan, memanipulasi, menganalisis, mengelola, dan menyajikan semua jenis data geografis. Teknologi ini memungkinkan pengguna untuk melihat, memahami, mempertanyakan,

menginterpretasikan dan mengGambarkan data dengan berbagai metode untuk membangkitkan hubungan, pola, serta arah yang terlihat dalam bentuk peta, laporan, dan diagram. (Sui, 2014). GIS menggabungkan data spasial (lokasi geografis) dengan data deskriptif (informasi tentang lokasi) dan memungkinkan untuk analisis spasial yang kompleks dan pemodelan lingkungan (Oztuna, 2023). Dalam

penerapannya, GIS menghadapi berbagai tantangan dan problematika. Salah satu isu utama adalah pengelolaan dan pemrosesan data yang besar dan kompleks, yang membutuhkan kapasitas komputasi yang signifikan dan algoritma pemrosesan data yang efisien (Surbakti, 2022). Selain itu, ketepatan dan validitas data geospasial menjadi krusial, mengingat keputusan yang dibuat berdasarkan analisis GIS dapat memiliki dampak luas pada perencanaan kota, manajemen bencana, transportasi, dan sektor lainnya (Alrwais, 2023). Isu lainnya termasuk masalah privasi dan keamanan data, serta kebutuhan akan standarisasi data geospasial agar kompatibel antar sistem. Salah satu tantangan utama dalam GIS adalah pencarian lokasi berdasarkan jarak. Dalam banyak aplikasi, seperti navigasi, manajemen logistik, dan layanan berbasis lokasi, diperlukan metode yang akurat dan efisien untuk menentukan jarak antara koordinat pada peta. Masalah ini tidak hanya melibatkan perhitungan jarak yang akurat tetapi juga mempertimbangkan faktor-faktor seperti rute terpendek, hambatan geografis, dan variasi kecepatan perjalanan.

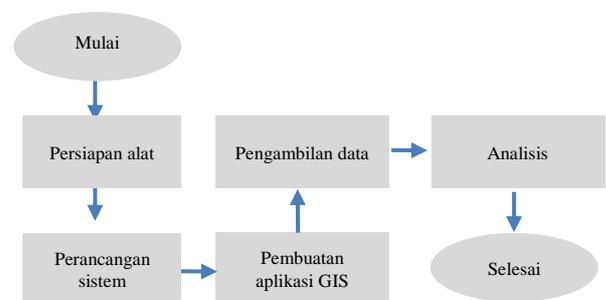
Perhitungan jarak dalam GIS dapat menggunakan metode *euclidean*, *haversine*, dan *manhattan*. Masing-masing metode memiliki kelebihan dan keterbatasannya sendiri tergantung pada konteks aplikasi dan jenis data geografis yang digunakan. Misalnya, metode Euclidean cocok untuk perhitungan jarak dalam ruang dua dimensi dengan asumsi permukaan datar, sementara Haversine lebih akurat untuk mengukur jarak antara koordinat pada permukaan bumi yang bulat (Onean, Jung and Chinnasarn, 2021). *Manhattan*, di sisi lain, sering digunakan dalam konteks perkotaan dimana jarak diukur sebagai perjalanan melalui jalan-jalan yang membentuk *grid* (Czembor et al., 2023). Penelitian sebelumnya dalam bidang GIS telah mengembangkan berbagai algoritma dan teknik untuk mengatasi tantangan dalam perhitungan jarak dan pencarian lokasi. Beberapa studi fokus pada optimasi algoritma pencarian rute (Fernando et al., 2022) untuk meningkatkan efisiensi pemrosesan dan akurasi hasil. Penelitian lainnya mengeksplorasi penggunaan teknologi baru, seperti kecerdasan buatan (Alharbi, 2015) dan pembelajaran mesin (Sun et al., 2023), untuk prediksi pola pergerakan (Mueen, Awedh and Zafar, 2022). dan pemrosesan data geospasial secara *real-time* (Pakdil and Çelik, 2022). Meskipun banyak penelitian telah dilakukan terkait dengan metode perhitungan jarak dalam GIS, masih terdapat ruang penelitian yang belum banyak dieksplorasi, khususnya terkait dengan analisis waktu respon dari berbagai metode perhitungan jarak. Waktu response (Suzuki and Satoh, 2020), atau kecepatan di mana sistem dapat menghasilkan hasil perhitungan jarak, menjadi kritis dalam aplikasi real-time seperti navigasi dan sistem rekomendasi. Analisis komparatif terhadap waktu respon antara metode *euclidean*, *haversine*, dan *manhattan* dalam

berbagai skenario dan kondisi data belum banyak dilakukan. Kajian ini penting untuk mengidentifikasi metode perhitungan jarak mana yang paling efisien dan efektif dalam kondisi penggunaan yang berbeda, terutama dalam menghadapi volume data yang besar dan kebutuhan pemrosesan data secara real-time.

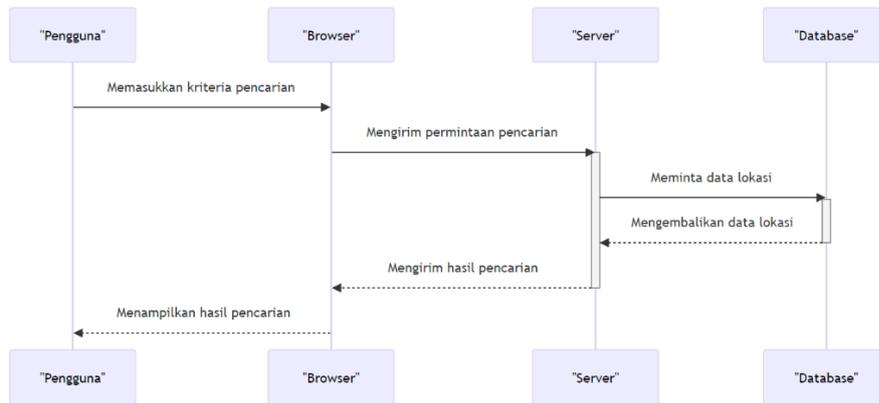
Dalam rangka menutup kesenjangan tersebut, dilakukan analisis perbandingan terhadap waktu tanggapan dari metode penghitungan jarak *euclidean*, *haversine*, dan *manhattan* dalam lingkup GIS. Tujuan khusus dari studi ini menguji dan menganalisis variasi waktu respon yang diperlukan oleh tiap metode penghitungan jarak untuk menghasilkan output, di bawah berbagai kondisi data dan skenario aplikasi yang berbeda. Menilai keakuratan hasil perhitungan jarak yang dihasilkan oleh masing-masing metode dan kelayakannya untuk aplikasi real-time dalam GIS. Hasil analisis ini akan digunakan untuk merumuskan saran mengenai metode perhitungan jarak terbaik yang cocok untuk aplikasi GIS, khususnya untuk aplikasi yang membutuhkan pemrosesan data secara *real-time*. Memberikan kontribusi pada literatur penelitian GIS dengan menyediakan pemahaman yang lebih mendalam tentang implikasi waktu respon dalam perhitungan jarak dan aplikasinya dalam sistem informasi geografis. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh wawasan baru mengenai bagaimana waktu respon mempengaruhi efisiensi dan efektivitas berbagai metode perhitungan jarak dalam aplikasi GIS. Sehingga, hasilnya berkontribusi memberikan panduan bagi pengembang dan peneliti dalam memilih metode perhitungan jarak yang paling sesuai untuk kebutuhan spesifik aplikasi mereka, sehingga meningkatkan kinerja dan kegunaan sistem informasi geografis dalam berbagai bidang aplikasi.

2. METODE PENELITIAN

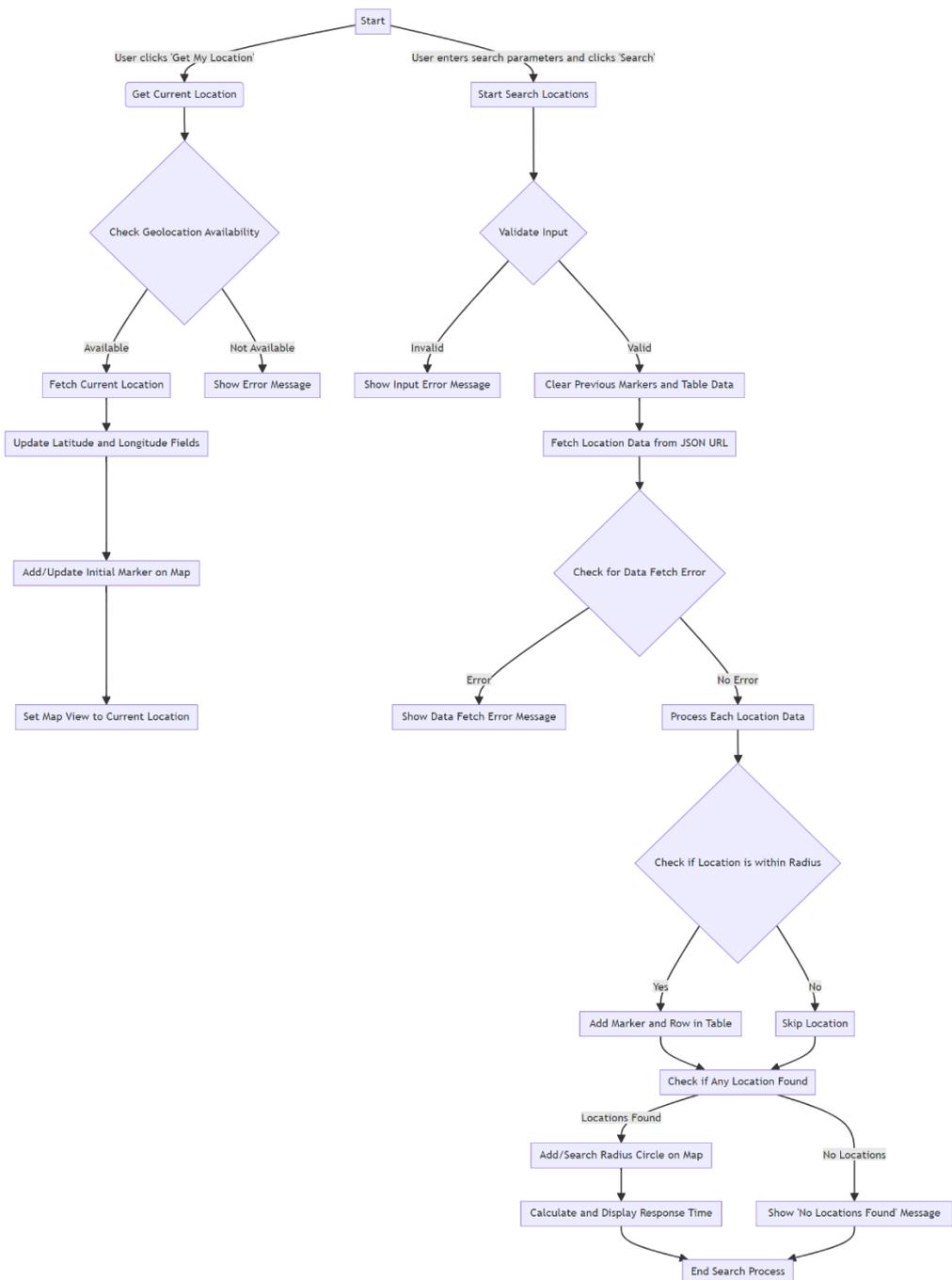
Studi ini menerapkan pendekatan eksperimental (Sukmadinata and Syaodih, 2017) yang merupakan teknik penelitian yang bertujuan mengevaluasi dampak dari suatu perlakuan spesifik pada variabel lain dalam situasi yang dikontrol. Proses penelitian dituangkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan penelitian



Gambar 2. Sequence diagram



Gambar 3 Flowchart pencarian lokasi

Seperti ditunjukkan pada Gambar 1, dalam tahap persiapan alat dilakukan pendataan kebutuhan alat berupa perangkat *hardware* dan *software*. *Hardware* yang digunakan adalah perangkat komputer dengan spesifikasi intel core i3, Ram 8GB, SSD 128GB. Dan *software* yang digunakan adalah *browser chrome*, *mysql*, *javascript*, *openstreetmap*, *json*.

Kemudian dilanjutkan perancangan sistem. Untuk mendapatkan data waktu respon, maka dikembangkan program pencarian lokasi sekolah berbasis GIS. Program GIS dikembangkan berbasis web dijelaskan dalam *Sequence diagram* yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pengguna memasukkan kriteria pencarian berupa koordinat awal dan jarak radius dalam satuan meter di *browser*. Kemudian browser mengirimkan permintaan pencarian ke server. Server menerima permintaan pencarian dari browser. Di sini, server melakukan dua tugas utama yaitu 1) meminta data lokasi dari database: server mengirim permintaan ke database untuk mendapatkan data lokasi yang relevan dengan kriteria pencarian; 2) mengembalikan hasil pencarian ke Browser: Setelah menerima data dari database, server mengolahnya dan mengirimkan hasil pencarian kembali ke browser. Database merespon permintaan dari server, kemudian database mengirimkan data lokasi kembali ke server. Akhirnya, browser menerima hasil pencarian dari server dan menampilkannya kepada pengguna. Mekanisme server melakukan proses perhitungan jarak dengan formula menghitung *euclidean*, *haversine*, dan *manhattan* ditunjukkan pada *flowchart* pada Gambar 3.

Setelah perancangan dilakukan kemudian dilanjutkan pembuatan Aplikasi GIS. Aplikasi GIS dikembangkan dengan teknologi berbasis *web* ditunjukkan pada Gambar 4. Seperti pada desain yang disampaikan. Program ini akan mengukur waktu respon setiap perubahan jarak radius dalam satuan meter, dimana koordinat awal ditemukan yaitu lat=-7.3099884 lon=110.479037.

Kemudian dalam studi ini, data yang diambil termasuk data primer, yakni data waktu respon dari setiap formula yang direkam pada setiap penambahan radius sebesar 5000 meter. waktu respon diukur dengan persamaan (1).

$$\text{Waktu respon} = \frac{\text{Waktu Selesai} - \text{Waktu Permintaan}}{\text{Jumlah Akses}} \quad (1)$$

Untuk data sekunder berupa data koordinat sekolah di seluruh Indonesia yang diambil dari sumber resmi <https://sekolah.data.kemdikbud.go.id/>. Data ini digunakan untuk menguji respon waktu dari formula jarak.



Gambar 4. Program pengukuran waktu respon

Data yang berhasil diambil kemudian untuk mengetahui dari ketiga formula yang diuji mana yang terbaik dilakukan evaluasi dengan metode statistik. Yang digunakan acuan adalah waktu respon yang sedikit adalah yang terbaik. Dilakukan 3 analisis uji statistik yaitu: Analisis Korelasi (Zhuang, Yang and Cordes, 2020), Analisis Regresi (Shrestha, 2020), Analisis Varians (ANOVA) (Liu and Wang, 2021).

Untuk memperjelas bagaimana setiap formula dihitung maka, disini diulas teori tentang *euclidean distance*, *haversine distance*, dan *manhattan distance* pada sistem informasi. Dalam matematika, *euclidean distance* (Alfakih, 2018) adalah panjang garis segmen yang terbentang antara dua titik dapat ditentukan melalui penggunaan teorema *pythagoras*, dengan menghitungnya berdasarkan koordinat kartesius dari kedua titik tersebut, oleh karena itu formula ini juga disebut *pythagoras distance*. Nama-nama ini berasal dari matematikawan yunani kuno *euclid* dan *pythagoras*. Formula *euclidean distance* dengan p dan q adalah titik pada garis real.

- 1) Formula satu dimensi

$$d(p, q) = \sqrt{(p - q)^2} \quad (2)$$

- 2) Formula dua dimensi

$$d(p, q) = \sqrt{(q_1 - p_1)^2 + (q_2 - p_2)^2} \quad (3)$$

- 3) Formula Multidimensi

$$d(p, q) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_i - q_i)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} \quad (4)$$

Haversine (Van Brummelen, 2012) adalah metode untuk mengukur jarak lingkaran antara dua pasang koordinat pada bola. Perkiraan bentuk Bumi adalah *spheroid oblate*. Formula *haversine* adalah salah satu metode untuk mengukur jarak titik pada bola yang dapat diterapkan pada bumi. Persamaan *haversine* menghitung jarak garis lurus antara titik lokasi utama dan titik tujuan. Garis lintang diwakili oleh simbol ϕ , dan itu didefinisikan sebagai sudut antara garis lurus pada lokasi tertentu dan bidang ekuator. Bujur diwakili oleh simbol λ . Bujur diartikan sebagai sudut yang mengarah ke arah barat atau timur dari meridian primer atau *meridian Greenwich*. Ketika garis bujur dan nilai lintang telah diidentifikasi di kedua lokasi, nilai desimal dikonversi ke radian (ubah nilai bilangan bulat lintang dan bujur ke dalam radian), maka angka-angka ini dapat dihitung dalam

algoritma *haversine*. Langkah-langkah untuk menghitung jarak menggunakan metode *haversine* adalah sebagai berikut: langkah 1, ekspresikan koordinat lokasi dalam format decimal; langkah 2, ekspresikan Bujur dan lintang; langkah 3, ekspresikan koordinat lokasi sebagai radian; langkah 4, tentukan garis lintang awal dan garis bujur awal ; langkah 5, hitung total jarak dari ke optimal lokasi menggunakan rumus *haversine*. Persamaan *haversine* memungkinkan *haversine* θ (yaitu, $\text{hav}(\theta)$) dihitung langsung dari garis lintang (diwakili oleh ϕ) dan bujur (diwakili oleh λ) dari dua titik:

$$\begin{aligned} \text{hav}(\theta) &= \text{hav}(\phi_2 - \phi_1) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \text{hav}(\lambda_2 - \lambda_1) \\ \text{hav}(\theta) &= \text{hav}(\phi_2 - \phi_1) + (1 - \text{hav}(\phi_1 - \phi_2) - \text{hav}(\phi_1 + \phi_2)) \\ &\quad \cdot \text{hav}(\lambda_2 - \lambda_1) \\ \text{hav}(\theta) &= \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{1 - \cos(\theta)}{2} \end{aligned} \tag{5}$$

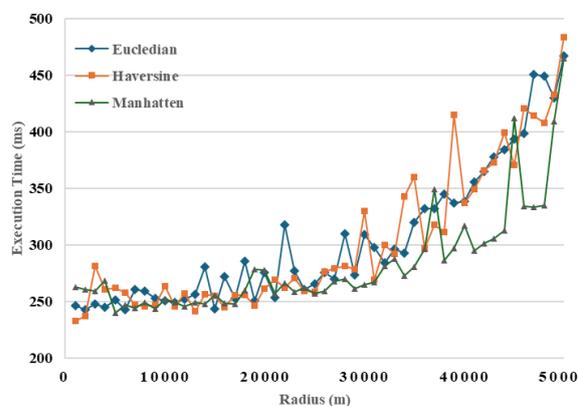
Manhattan distance (Shekhar, Xiong and Zhou, 2017) antara dua titik didefinisikan sebagai total dari panjang segmen-segmen garis yang menghubungkan kedua titik tersebut pada masing-masing sumbu dalam sistem koordinat kartesius. Dalam konteks ruang vektor dengan koordinat Kartesius, ini berkaitan dengan vektor $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ dan $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$, *manhattan distance* adalah total dari panjang proyeksi segmen garis yang menghubungkan kedua vektor tersebut pada setiap sumbu koordinat. *Manhattan distance* diformulasikan pada persamaan (6).

$$\begin{aligned} d_1(p, q) &= |p - q|_1 = \sum_{i=1}^n |p_i - q_i| \\ &= |p_1 - q_1| + |p_2 - q_2| + \dots + |p_n - q_n| \end{aligned} \tag{6}$$

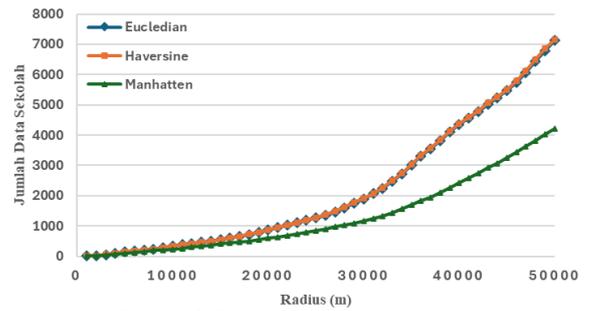
Manhattan distance dipengaruhi oleh rotasi sistem koordinat, tetapi tidak terpengaruh oleh pencerminan terhadap sumbu koordinat atau pergeseran posisi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengukuran dihasilkan grafik hubungan radius dengan waktu respon pada Gambar 5. Dan grafik hubungan radius dengan jumlah data sekolah ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Execution time vs radius



Gambar 6. Radius vs jumlah data sekolah

4.1 Analisis Korelasi

Untuk menentukan hubungan antara radius dan variabel lainnya, yaitu waktu eksekusi dan jumlah data sekolah, untuk masing-masing metode pengukuran (*euclidean*, *haversine*, *manhattan*). Kita akan menggunakan uji korelasi *pearson*, yang paling umum digunakan untuk menilai hubungan linear antara dua variabel kuantitatif. Pengujian ini memberikan skor koefisien korelasi yang variatif, mulai dari -1 sampai +1. Skor yang hampir mencapai +1 atau -1 menandakan adanya keterkaitan yang signifikan, sedangkan skor yang berada dekat dengan 0 menandai keterkaitan yang minim.

Hasil uji Tabel 1 korelasi Pearson untuk menunjukkan hubungan yang signifikan antara radius dan variabel lainnya untuk ketiga metode pengukuran

Tabel 1. Hasil uji korelasi Pearson

Formula	Execution Time		Data sekolah	
	Koefisien Korelasi	p-value	Koefisien Korelasi	p-value
<i>Euclidean</i>	0.888	8.55e-18	0.942	1.92e-24
<i>Haversine</i>	0.866	4.32e-16	0.942	1.92e-24
<i>Manhattan</i>	0.758	1.91e-10	0.942	1.98e-24

Berdasarkan hasil uji Tabel 1, koefisien korelasi yang tinggi (> 0.75) untuk semua metode menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara radius dengan *execution time* dan jumlah data sekolah. P-value yang sangat kecil (jauh di bawah 0.05) menunjukkan bahwa hasil ini sangat signifikan secara statistik. Maka hasil ini menunjukkan bahwa radius pencarian yang lebih besar akan menghasilkan lebih banyak data sekolah, yang berarti lebih banyak informasi untuk analisis. Namun, ini juga berarti bahwa waktu yang dibutuhkan untuk pengolahan data akan meningkat seiring dengan peningkatan radius.

4.2 Analisis Regresi

Untuk melakukan analisis regresi, kita akan menggunakan regresi linear untuk memodelkan hubungan antara radius (sebagai variabel independen) dan dua variabel dependen, yaitu waktu eksekusi dan jumlah data sekolah. Kita akan melakukan ini untuk setiap metode pengukuran (*Euclidean*, *Haversine*, *Manhattan*).

Tabel 2. Hasil uji analisis regresi

Formula	Execution Time		Data sekolah	
	Koefisien	R-	Koefisien	R-
	untuk Radius (ms)	untuk <i>squared</i>	untuk Radius	untuk <i>squared</i>
<i>Euclidean</i>	0.0038	0.788	0.1372	0.888
<i>Haversine</i>	0.0037	0.751	0.1384	0.888
<i>Manhattan</i>	0.0024	0.574	0.0789	0.888

Berdasarkan hasil uji Tabel 2 menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu meter dalam radius, waktu eksekusi metode *euclidean* meningkat sekitar 0.0038 ms, pada *haversine* meningkat 0.0037 ms dan pada *manhattan* meningkat 0.0024. Berdasarkan hubungan variasi radius dengan data sekolah menunjukkan bahwa menunjukkan peningkatan jumlah data sekolah sekitar 0.1372 untuk metode *euclidean* setiap peningkatan 1 meter radius, *haversine* peningkatan 1384 dan *manhattan* 0.0789.

Berdasarkan hubungan radius dan waktu eksekusi dapat ditemukan bahwa semua metode menunjukkan hubungan positif antara radius dan waktu eksekusi, artinya radius yang lebih besar mengakibatkan waktu eksekusi yang lebih lama. Koefisien dan *R-squared* berbeda antara metode, dengan metode *euclidean* menunjukkan hubungan yang paling kuat. Berdasarkan hubungan radius dan jumlah data sekolah: Ada hubungan positif yang sangat kuat antara radius dan jumlah data sekolah untuk semua metode. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan radius secara konsisten meningkatkan jumlah data sekolah yang ditemukan, dengan persentase variasi yang sangat tinggi dijelaskan oleh radius. Temuan ini memberikan wawasan berharga tentang bagaimana perubahan dalam radius mempengaruhi waktu eksekusi dan jumlah data sekolah dalam konteks penelitian geospasial. Ini dapat membantu dalam perencanaan dan alokasi sumber daya untuk proyek-proyek yang memerlukan pengolahan data geospasial.

4.3 Analisis ANOVA

Untuk melakukan analisis ANOVA (Analisis Varians), kita akan membandingkan rata-rata waktu eksekusi dan jumlah data sekolah antara metode pengukuran yang berbeda. Tujuan utamanya adalah untuk mengidentifikasi apakah terdapat perbedaan bermakna secara statistik antara metode-metode pengukuran tersebut dalam aspek waktu eksekusi dan volume data sekolah. Dalam konteks ini, kita akan melakukan dua ANOVA terpisah: ANOVA untuk membandingkan waktu eksekusi antara ketiga metode dan ANOVA untuk membandingkan jumlah data sekolah antara ketiga metode.

Mari kita mulai dengan melakukan ANOVA untuk waktu eksekusi. Hasil ANOVA untuk membandingkan waktu eksekusi antara metode *euclidean*, *haversine*, dan *manhattan* adalah sebagai berikut: F-Statistic: 1.938, P-Value: 0.148. P-value yang melebihi 0.05 mengindikasikan bahwa tidak terdapat perbedaan yang secara statistik signifikan dalam waktu pelaksanaan di antara ketiga metode

pengukuran tersebut. Dengan kata lain, berdasarkan data yang dianalisis, kita tidak memiliki bukti yang cukup untuk menyimpulkan bahwa satu metode pengukuran lebih cepat atau lebih lambat daripada yang lain.

Sekarang, mari kita lanjutkan dengan melakukan ANOVA untuk jumlah data sekolah. Hasil ANOVA untuk membandingkan jumlah data sekolah antara metode *euclidean*, *haversine*, dan *manhattan* adalah sebagai berikut: F-Statistic: 3.793, P-Value: 0.025. P-value yang kurang dari 0.05 menunjukkan ada perbedaan signifikan secara statistik dalam jumlah data sekolah antara ketiga metode pengukuran. Ini berarti bahwa setidaknya satu metode pengukuran memiliki rata-rata jumlah data sekolah yang berbeda secara signifikan dari metode lainnya.

Berdasarkan uji tersebut maka dapat kita simpulkan bahwa berdasarkan waktu eksekusi: tidak ada perbedaan signifikan antara metode *euclidean*, *haversine*, dan *manhattan*. Ini menunjukkan bahwa kecepatan eksekusi tidak berbeda secara signifikan di antara metode tersebut. Berdasarkan Jumlah Data Sekolah: Ada perbedaan signifikan antara metode dalam hal jumlah data sekolah yang ditemukan. Ini menunjukkan bahwa salah satu atau lebih metode tersebut menemukan jumlah data sekolah yang berbeda signifikan.

Untuk menentukan metode mana yang berbeda signifikan dalam hal jumlah data sekolah, maka dilanjutkan uji *post-hoc*. Uji *Tukey's HSD (Honest Significant Difference)* adalah salah satu metode yang umum digunakan untuk tujuan ini setelah ANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan. Uji *Tukey* akan membandingkan setiap pasangan metode untuk menentukan pasangan mana yang memiliki perbedaan yang signifikan. Mari kita lakukan uji *Tukey* untuk jumlah data sekolah. Berikut adalah ringkasannya:

Tabel 3. *Tukey's HSD Test Summary*

Formula	Mean	P-	Interval	Reject	Ket
<i>Euclidean</i> vs. <i>Haversine</i>	17.54	0.9000	-872.023 s/d 907.103	<i>False</i>	tidak ada perbedaan signifikan
<i>Euclidean</i> vs. <i>Manhattan</i>	-887.20	0.0508	- 1776.763 s/d 2.363	<i>False</i>	tidak ada perbedaan signifikan, tetapi mendekati batas signifikan
<i>Haversine</i> vs. <i>Manhattan</i>	-904.74	0.0452	- 1794.303 s/d -15.177	<i>True</i>	ada perbedaan signifikan

Berdasarkan hasil uji Tabel 3, tidak ada perbedaan yang signifikan dalam jumlah data sekolah antara metode *euclidean* dan *haversine*. Perbandingan antara *euclidean* dan *manhattan*, serta *haversine* dan *manhattan* menunjukkan bahwa perbedaan

mendekati batas signifikansi, dengan perbandingan *haversine* dan *manhattan* secara khusus menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan. Hasil ini menunjukkan bahwa metode *manhattan* cenderung menghasilkan jumlah data sekolah yang berbeda secara signifikan dibandingkan dengan metode *haversine*. Untuk *euclidean* dan *manhattan*, meskipun tidak secara statistik signifikan, perbedaannya cukup dekat dengan ambang batas, menunjukkan kemungkinan adanya perbedaan praktis.

Untuk memilih antara metode *euclidean*, *haversine*, dan *manhattan* berdasarkan waktu eksekusi terendah dan jumlah data terbesar, kita perlu menganalisis data yang tersedia berdasarkan kedua kriteria ini. Kita lanjutkan dengan analisisnya. Berdasarkan perhitungan rata-rata dari data yang Anda berikan, berikut adalah hasil untuk masing-masing metode

Tabel 4. Rata-Rata hasil uji tiap formula

Formula	Rata-rata <i>Execution Time</i> (ms)	Rata-rata Data sekolah
<i>Euclidean</i>	303.590	2202
<i>Haversine</i>	301.626	2219.54 (terbanyak)
<i>Manhattan</i>	283.092 (terendah)	1314.80

Berdasarkan Tabel 4, metode *manhattan* menunjukkan kinerja paling efisien dalam hal waktu eksekusi, dengan rata-rata waktu response sebesar 283.092 ms, yang lebih rendah dibandingkan dengan metode lain yang diuji. Sebagai perbandingan, metode *euclidean* memiliki waktu eksekusi rata-rata sebesar 303.590 ms, yang berarti metode *manhattan* menghasilkan respon yang 20.498 ms lebih cepat. Ini mencerminkan peningkatan efisiensi waktu eksekusi sebesar 6.75%, yang merupakan peningkatan signifikan dalam konteks aplikasi yang memprioritaskan kecepatan respon.

Sebaliknya, metode *haversine* menunjukkan performa unggul dalam hal cakupan data, dengan rata-rata jumlah data sekolah yang dihasilkan sebesar 2219.54, tertinggi di antara metode lain. Ketika dibandingkan dengan metode *manhattan* yang hanya menghasilkan rata-rata 1314.80 data sekolah, terdapat perbedaan kuantitatif signifikan sebesar 904.74 data lebih banyak yang dikumpulkan oleh metode *haversine*. Hal ini mengindikasikan bahwa metode *haversine* mampu mengumpulkan sekitar 68.8% lebih banyak data dibandingkan dengan metode *manhattan*. Selanjutnya, ketika dibandingkan dengan *euclidean*, *haversine* menghasilkan peningkatan sebesar 0.8%. Persentase ini menegaskan keunggulan *haversine* dalam aplikasi yang memerlukan pengumpulan data geospasial dalam jumlah besar, menjadikannya pilihan yang lebih tepat untuk kebutuhan yang berfokus pada cakupan informasi yang lebih luas. Selain itu, mengingat perbedaan kinerja yang minimal dengan *euclidean*, *haversine* dan *euclidean* dapat dianggap setara dalam efektivitasnya untuk aplikasi tertentu.

Dengan demikian, jika prioritas adalah waktu respon terendah, metode *manhattan* menjadi pilihan terbaik, karena menunjukkan waktu eksekusi rata-rata terendah di antara ketiganya. Namun, untuk aplikasi yang memerlukan pengumpulan data yang lebih besar, metode *haversine* lebih unggul, karena menghasilkan jumlah data sekolah tertinggi. Oleh karena itu, pemilihan metode yang tepat sangat bergantung pada prioritas spesifik aplikasi, baik itu efisiensi waktu eksekusi maupun jumlah data yang dikumpulkan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa tidak ada satu metode yang unggul dalam semua aspek yang diuji, sehingga pilihan metode harus disesuaikan dengan prioritas aplikasi. Metode *manhattan* unggul dalam efisiensi waktu dengan peningkatan kecepatan sebesar 6.75% dibandingkan metode *euclidean*. Namun, jika prioritas adalah pengumpulan data, metode *haversine* dan *euclidean* mampu mengumpulkan sekitar 68.8% lebih banyak data dibandingkan *manhattan*, menjadikannya pilihan yang lebih baik untuk aplikasi dengan cakupan data yang lebih luas.

Dalam penelitian ini fokus terhadap kinerja formula *euclidean*, *haversine*, *manhattan* dalam uji, waktu respon dan banyaknya data yang ditemukan dengan dengan mengabaikan efek relief dan topografi bumi. Maka direkomendasikan perlunya penelitian lanjut untuk mendukung semua aspek implementasi di bidang geospasial

DAFTAR PUSTAKA

- ALFAKIH, A.Y., 2018. *Euclidean Distance Matrices and Their Applications in Rigidity Theory*. *Euclidean Distance Matrices and Their Applications in Rigidity Theory*. Springer.
- ALHARBI, R., 2015. A GIS-Based Decision Support System for Reducing Air Ambulance Response Times: A Case Study on Public Schools in Jeddah City. *Journal of Geographic Information System*, 07(04).
- ALRWAIS, O., 2023. Assessing GIS education and GIS workforce in Saudi Arabia. *Arab Gulf Journal of Scientific Research*.
- VAN BRUMMELEN, G., 2012. *Heavenly mathematics: The forgotten art of spherical trigonometry*. *Heavenly Mathematics: The Forgotten Art of Spherical Trigonometry*.
- CZEMBOR, J.H., CZEMBOR, E., KRYSZEK, M. AND PUKACKI, J., 2023. AgriGenome: Interactive Genomic-Based Web Server Developed Based on Data Collected for Accessions Stored in Polish Genebank. *Agriculture (Switzerland)*, 13(1).
- FERNANDO, M., THIBBOTUWAWA, A., PERERA, H.N. AND RATNAYAKE,

- R.M.C., 2022. Close-Open Mixed Vehicle Routing Optimization Model with Multiple Collecting Centers to Collect Farmers' Perishable Produce. In: *2022 International Conference for Advancement in Technology, ICONAT 2022*.
- LIU, Q. AND WANG, L., 2021. t-Test and ANOVA for data with ceiling and/or floor effects. *Behavior Research Methods*, 53(1).
- MUEEN, A., AWEDH, M. AND ZAFAR, B., 2022. Multi-obstacle aware smart navigation system for visually impaired people in fog connected IoT-cloud environment. *Health Informatics Journal*, 28(3).
- ONEAN, A., JUNG, H. AND CHINNASARN, K., 2021. Finding optimal stations using euclidean distance and adjustable surrounding sphere. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(2).
- OZTUNA, A., 2023. Environmental Analysis Using Integrated GIS and Spatial Configurations in Israel. *Journal of Geographic Information System*, 15(02).
- PAKDIL, M.E. AND ÇELIK, R.N., 2022. Serverless Geospatial Data Processing Workflow System Design. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(1).
- SHEKHAR, S., XIONG, H. AND ZHOU, X., 2017. *Encyclopedia of GIS. Encyclopedia of GIS*. Springer.
- SHRESTHA, N., 2020. Detecting Multicollinearity in Regression Analysis. *American Journal of Applied Mathematics and Statistics*, 8(2).
- SUI, D., 2014. Opportunities and impediments for open GIS. *Transactions in GIS*, 18(1).
- SUKMADINATA AND SYAODIH, N., 2017. *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- SUN, Y., WANG, X., REN, N., LIU, Y. AND YOU, S., 2023. Improved Machine Learning Models by Data Processing for Predicting Life-Cycle Environmental Impacts of Chemicals. *Environmental Science and Technology*, 57(8).
- SURBAKTI, F.P.S., 2022. Understanding Effective Use of Big Data: Challenges and Capabilities (A Management Perspective). *Jurnal METRIS*, 23(01).
- SUZUKI, T. AND SATOH, E., 2020. An analysis on the optimum location of the fire department based on ambulance dispatch situation—A case study in Utsunomiya City. *Japan Architectural Review*, 3(2).
- ZHUANG, X., YANG, Z. AND CORDES, D., 2020. *A technical review of canonical correlation analysis for neuroscience applications. Human Brain Mapping*.