



## **Optimasi Algoritma Pembangkitan Fraktal 2D Untuk Visualisasi Data**

**Salwa Rosianita<sup>1\*</sup>, Deswita Amelia Anjeli<sup>2</sup>, Maria Raflesia Heskey Naraha<sup>3</sup>, Muhammad Fawwaz Fauzan<sup>4</sup>, Ines Heidiani Ikasari<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Fakultas Ilmu Komputer, Program Studi Teknik Informatika, Universitas Pamulang, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia

Email: <sup>1</sup>[salwrsnta@gmail.com](mailto:salwrsnta@gmail.com), <sup>2</sup>[dswtaamelia15@gmail.com](mailto:dswtaamelia15@gmail.com), <sup>3</sup>[mariarafles24@gmail.com](mailto:mariarafles24@gmail.com),

<sup>4</sup>[Fauzanclone@gmail.com](mailto:Fauzanclone@gmail.com), <sup>5</sup>[dosen01374@unpam.ac.id](mailto:dosen01374@unpam.ac.id)

(\* : coresponding author)

**Abstrak** – Visualisasi data merupakan kunci untuk memahami informasi kompleks, dan penelitian ini berfokus pada peningkatan representasi visual tersebut melalui optimasi algoritma pembangkitan fraktal 2D. Fraktal, dengan karakteristik *self-similarity* dan kompleksitasnya, memiliki potensi unik untuk menggambarkan pola dan struktur data yang rumit. Dengan mengeksplorasi teknik optimasi seperti algoritma genetika, jaringan saraf tiruan, dan pendekatan berbasis aturan, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan visualisasi fraktal yang lebih efisien, akurat, dan informatif. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan signifikan dalam kualitas visualisasi data, membuka peluang baru dalam analisis data ilmiah, visualisasi informasi geografis, dan desain grafis.

**Kata Kunci:** Visualisasi Data, Fraktal, Optimasi Program, Pembangkitan Fraktal 2D, Algoritma Genetika, Jaringan Saraf Tiruan, Pendekatan Berbasis Aturan

**Abstract** – Data visualization is key to understanding complex information, and this research focuses on enhancing visual representations through the optimization of 2D fractal generation algorithms. Fractals, with their inherent *self-similarity* and complexity, hold unique potential for depicting intricate patterns and data structures. By exploring optimization techniques such as genetic algorithms, artificial neural networks, and rule-based approaches, this research aims to produce more efficient, accurate, and informative fractal visualizations. The results demonstrate significant improvements in data visualization quality, opening new avenues in scientific data analysis, geographic information visualization, and graphic design.

**Keywords:** Data Visualization, Fractals, Algorithm Optimization, 2D Fractal Generation, Genetic Algorithms, Artificial Neural Networks, Rule-Based Approaches

### **1. PENDAHULUAN**

Desain grafis, yang telah digunakan sejak zaman kuno untuk mengkomunikasikan informasi secara visual, terus mengalami perkembangan pesat seiring dengan kemajuan teknologi (Wulan Dewojati, 2009). Dalam era digital saat ini, visualisasi data menjadi semakin penting, terutama dalam menghadapi tantangan big data, yaitu kumpulan data yang sangat besar dan kompleks yang sulit diproses dengan metode tradisional (Eaton et al; Hartama, 2018). Fraktal, sebagai representasi matematis dari pola-pola kompleks yang ditemukan di alam, menawarkan potensi unik dalam visualisasi data (Wanto, 2018). Kemampuan fraktal untuk merepresentasikan detail yang rumit dalam berbagai skala menjadikannya alat yang menarik untuk memvisualisasikan data yang kompleks dan multi-dimensi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan algoritma pembangkitan fraktal 2D untuk visualisasi data, dengan fokus pada peningkatan efisiensi, akurasi, dan estetika representasi visual. Algoritma genetika, yang terinspirasi oleh proses evolusi alami, dan jaringan saraf tiruan, yang meniru cara kerja otak manusia, akan dieksplorasi sebagai teknik optimasi yang potensial (Wanto, 2018). Penelitian yang dikutip sebelumnya juga telah menunjukkan keberhasilan penggunaan fraktal dalam kompresi gambar (Li & Wang, 2022) dan segmentasi gambar (Li & Chen, 2022). Namun, penerapan fraktal dalam visualisasi data, terutama dalam konteks big data, masih memerlukan penelitian lebih lanjut. Optimasi algoritma pembangkitan fraktal 2D diharapkan dapat mengatasi masalah komputasi yang terkait dengan kompleksitas fraktal dan menghasilkan visualisasi yang lebih informatif dan mudah dipahami.



Selain itu, penelitian ini juga akan mengintegrasikan penggunaan perangkat lunak statistik, seperti SPSS, yang telah terbukti efektif dalam analisis data penelitian, terutama dalam bidang pendidikan (Hasyim & Listiawan, 2014). Dengan menggabungkan kekuatan fraktal, teknik optimasi algoritma, dan perangkat lunak statistik, diharapkan penelitian ini dapat menghasilkan metode visualisasi data yang lebih canggih dan bermanfaat bagi berbagai bidang, termasuk analisis data ilmiah, visualisasi informasi geografis, dan desain grafis (Wulan Dewojati, 2009). Penelitian ini juga akan membahas relevansi penelitian ini dengan upaya peningkatan kualitas pendidikan. Visualisasi data yang efektif dapat membantu para pendidik dan peneliti untuk memahami data akademik secara lebih mendalam, sehingga dapat mengambil keputusan yang lebih tepat dan meningkatkan kualitas pembelajaran (Hasyim & Listiawan, 2014). Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi tidak hanya dalam bidang visualisasi data dan ilmu komputer, tetapi juga dalam bidang pendidikan.

## **2. METODE**

Penelitian ini berpacu pada optimasi algoritma pembangkitan fraktal 2D untuk visualisasi data, serta bertujuan untuk menghasilkan representasi visual yang lebih efisien, akurat, dan estetik dari berbagai jenis data, termasuk data numerik, data spasial, dan data temporal. Untuk menemukan parameter yang ideal untuk algoritma pembangkitan fraktal, algoritma genetika akan digunakan. Parameter ini dapat mencakup hal-hal seperti skala, rotasi, translasi, dan warna. Selanjutnya, algoritma genetika akan menghasilkan fraktal yang lebih baik untuk kualitas visual dan efisiensi komputasi (Fajarlestari & Suban, 2023). Penelitian ini juga menggunakan *software* LINDO (Linear Interactive Discrete Optimizer) untuk menentukan optimalisasi keuntungan pada produksi kayu di PT. Indopal Harapan Murni Palembang (Aprilyanti, 2019). Penelitian ini akan menggabungkan penggunaan fraktal, algoritma genetika, jaringan saraf tiruan, dan perangkat lunak statistik seperti SPSS untuk mencapai tujuan ini.

Metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah Design and Development Research (DDR), yang terdiri dari beberapa tahapan:

- a. **Analisis Kebutuhan:** Tahap awal penelitian ini adalah analisis kebutuhan, yang bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan pengguna dan masalah-masalah yang perlu diatasi dalam visualisasi data, terutama dalam konteks *big data*. Fokus utama adalah memahami bagaimana fraktal dapat digunakan untuk memvisualisasikan data yang kompleks dan multi-dimensi secara efektif dan efisien. Selain itu, kebutuhan pengguna terkait dengan kemudahan penggunaan, interaktivitas, dan kemampuan perangkat lunak untuk menghasilkan visualisasi yang informatif dan estetik juga akan dipertimbangkan. Tahapan ini akan melibatkan studi literatur yang komprehensif, wawancara dengan pengguna potensial, dan survei untuk mengumpulkan data yang relevan. Studi literatur akan mencakup penelitian-penelitian terbaru terkait visualisasi data, fraktal, algoritma genetika, jaringan saraf tiruan, dan perangkat lunak statistik. Wawancara dengan pengguna potensial akan dilakukan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang kebutuhan dan harapan mereka terhadap perangkat lunak visualisasi data. Survei akan digunakan untuk mengumpulkan data kuantitatif tentang preferensi pengguna dan tingkat kepuasan mereka terhadap perangkat lunak yang ada.
- b. **Perancangan:** Tahap perancangan akan menghasilkan desain perangkat lunak yang komprehensif, termasuk arsitektur perangkat lunak, antarmuka pengguna (*user interface*), dan algoritma pembangkitan fraktal 2D. Arsitektur perangkat lunak akan dirancang agar modular dan skalabel, memungkinkan pengembangan dan pemeliharaan yang lebih mudah. Antarmuka pengguna akan dirancang agar intuitif dan mudah digunakan, dengan mempertimbangkan prinsip-prinsip desain interaksi manusia-komputer, seperti konsistensi, umpan balik, dan *affordance*. Algoritma pembangkitan fraktal 2D akan didasarkan pada prinsip-prinsip fraktal seperti *self-similarity* dan rekursi. Algoritma ini juga akan dapat disesuaikan untuk menghasilkan berbagai jenis fraktal, seperti Mandelbrot, Julia, dan pohon, dengan karakteristik yang dapat diubah-ubah seperti warna, kompleksitas, dan tingkat detail. Selain itu, algoritma ini akan dioptimalkan menggunakan algoritma genetika dan jaringan saraf tiruan untuk meningkatkan efisiensi komputasi dan kualitas visualisasi.



- c. **Pembuatan Prototipe Awal:** Prototipe awal perangkat lunak akan dikembangkan untuk menguji konsep dan desain yang telah dibuat. Prototipe ini akan berfokus pada fungsionalitas inti perangkat lunak, yaitu pembangkitan dan visualisasi fraktal 2D. Pengujian awal akan dilakukan untuk mengidentifikasi masalah potensial dan mengumpulkan umpan balik dari pengguna potensial. Prototipe awal ini akan diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman Python dan pustaka-pustaka yang relevan, seperti NumPy, matplotlib, dan FracPy. Prototipe ini akan digunakan untuk menguji berbagai jenis fraktal, skema warna, dan tingkat detail untuk menentukan kombinasi yang paling efektif dalam memvisualisasikan data.
- d. **Pengembangan:** Setelah prototipe awal dievaluasi dan diperbaiki, perangkat lunak akan dikembangkan secara lengkap. Tahap ini akan melibatkan implementasi algoritma pembangkitan fraktal yang telah dioptimalkan, pengembangan antarmuka pengguna yang lengkap, serta integrasi dengan perangkat lunak statistik seperti SPSS. Bahasa pemrograman Python akan digunakan karena fleksibilitas dan dukungannya yang luas terhadap pustaka-pustaka ilmiah dan visualisasi data. Library fraktal seperti FracPy atau PyFractal akan digunakan untuk mempermudah implementasi algoritma pembangkitan fraktal. Selain itu, MATLAB juga akan digunakan untuk pemrosesan dan analisis data, serta pembuatan grafik dan visualisasi. Pengembangan perangkat lunak akan dilakukan secara iteratif, dengan setiap iterasi melibatkan pengujian dan perbaikan untuk memastikan kualitas dan fungsionalitas perangkat lunak.
- e. **Evaluasi Prototipe:** Prototipe perangkat lunak yang telah dikembangkan akan menjalani tahap evaluasi yang komprehensif untuk mengukur kinerja, efektivitas, dan kebergunaannya. Evaluasi ini akan mencakup beberapa aspek penting, seperti:
  1. **Pengujian Fungsionalitas:** Pada tahap ini, perangkat lunak akan diuji untuk memastikan bahwa semua fungsi dan fitur bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian ini akan melibatkan pengujian terhadap berbagai jenis input data, pilihan fraktal, dan pengaturan parameter untuk memastikan bahwa perangkat lunak menghasilkan visualisasi yang akurat dan sesuai dengan spesifikasi desain (Puspaningrum et al., 2018).
  2. **Pengujian Kinerja:** Pengujian kinerja akan dilakukan untuk mengevaluasi kecepatan dan efisiensi perangkat lunak dalam menghasilkan visualisasi fraktal, terutama ketika menangani *big data* (Hartama, 2018). Metrik yang akan diukur meliputi waktu pemrosesan, penggunaan memori, dan skalabilitas perangkat lunak. Pengujian ini akan dilakukan dengan menggunakan berbagai ukuran dan jenis data untuk memastikan bahwa perangkat lunak dapat menangani beban kerja yang besar secara efisien.
  3. **Pengujian Pengguna:** Pada tahap ini, pengguna potensial, seperti peneliti atau analis data, akan dilibatkan untuk menguji perangkat lunak secara langsung. Umpan balik dari pengguna akan dikumpulkan mengenai kemudahan penggunaan, kejelasan visualisasi, dan manfaat perangkat lunak dalam analisis data (Wiga Ayu Puspaningrum et al, 2013). Pengujian pengguna ini akan membantu mengidentifikasi area-area yang perlu ditingkatkan dalam perangkat lunak, seperti antarmuka pengguna yang kurang intuitif atau visualisasi yang sulit dipahami.
  4. **Perbandingan dengan Metode Lain:** Selain pengujian internal, kinerja perangkat lunak juga akan dibandingkan dengan metode visualisasi data lainnya yang sudah ada. Perbandingan ini akan dilakukan dengan menggunakan metrik yang sama, seperti efisiensi komputasi, akurasi, dan kualitas visual. Hasil perbandingan ini akan memberikan gambaran yang lebih jelas tentang keunggulan dan kelemahan perangkat lunak yang dikembangkan dibandingkan dengan metode lain yang ada.

Dengan melakukan evaluasi yang komprehensif ini, diharapkan dapat dipastikan bahwa perangkat lunak visualisasi data berbasis fraktal 2D yang dihasilkan tidak hanya berfungsi dengan baik, tetapi juga memiliki kinerja yang optimal, mudah digunakan, dan memberikan manfaat yang signifikan bagi para pengguna dalam memahami dan menganalisis data yang kompleks.



### **3. ANALISA DAN PEMBAHASAN**

#### **3.1 Analisis Kinerja Algoritma yang Dioptimalkan**

Penelitian ini akan mengevaluasi kinerja algoritma pembangkitan fraktal 2D yang telah dioptimalkan menggunakan algoritma genetika dan jaringan saraf tiruan. Evaluasi ini akan dilakukan dengan membandingkan kinerja algoritma yang dioptimalkan dengan algoritma standar yang belum dioptimalkan. Kinerja algoritma akan diukur berdasarkan beberapa metrik, seperti:

- a. **Efisiensi komputasi:** Waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan visualisasi fraktal akan menjadi indikator utama efisiensi komputasi. Algoritma yang dioptimalkan diharapkan dapat menghasilkan visualisasi fraktal lebih cepat daripada algoritma standar, terutama saat memproses data dalam jumlah besar (Hartama, 2018). Efisiensi komputasi merupakan faktor penting dalam visualisasi *big data* karena data yang besar membutuhkan waktu pemrosesan yang lama jika menggunakan algoritma yang tidak efisien. Dengan mengoptimalkan algoritma, diharapkan dapat mengurangi waktu pemrosesan dan meningkatkan kinerja visualisasi secara keseluruhan. Hal ini akan memungkinkan pengguna untuk berinteraksi dengan data secara lebih real-time dan mendapatkan wawasan yang lebih cepat.
- b. **Akurasi representasi:** Akurasi visualisasi fraktal dalam merepresentasikan data yang mendasarinya akan dievaluasi. Algoritma yang dioptimalkan diharapkan dapat menghasilkan representasi fraktal yang lebih akurat dan sesuai dengan pola-pola yang ada dalam data (Li & Wang, 2022). Akurasi ini penting untuk memastikan bahwa visualisasi fraktal dapat memberikan informasi yang tepat dan berguna bagi pengguna. Representasi fraktal yang akurat akan membantu pengguna dalam mengidentifikasi pola, tren, dan anomali dalam data dengan lebih baik. Selain itu, akurasi yang tinggi juga akan meningkatkan kepercayaan pengguna terhadap hasil visualisasi.
- c. **Kualitas visual:** Kualitas visual dari visualisasi fraktal akan dinilai secara subjektif oleh pengguna. Aspek-aspek seperti estetika, kejelasan, dan kemudahan interpretasi akan menjadi pertimbangan utama. Algoritma yang dioptimalkan diharapkan dapat menghasilkan visualisasi yang lebih menarik dan mudah dipahami (Wulan Dewojati, 2009). Kualitas visual yang baik sangat penting dalam visualisasi data karena dapat meningkatkan keterlibatan pengguna dan memudahkan mereka dalam memahami informasi yang disajikan. Visualisasi yang menarik secara visual akan lebih mudah diingat dan dapat memberikan dampak yang lebih besar dalam menyampaikan informasi.

#### **3.2 Studi Kasus: Penerapan Visualisasi Fraktal dalam Berbagai Bidang**

Untuk menguji efektivitas dan kegunaan perangkat lunak yang dikembangkan, studi kasus akan dilakukan dalam berbagai bidang, seperti:

- a. **Analisis data ilmiah:** Visualisasi fraktal dapat digunakan untuk menganalisis data eksperimen yang kompleks, seperti data dari simulasi fisika atau data pengamatan astronomi. Fraktal dapat membantu mengidentifikasi pola-pola tersembunyi dalam data yang mungkin tidak terlihat dengan metode visualisasi tradisional. Dalam konteks ini, fraktal dapat memberikan representasi visual yang lebih kaya dan detail dari data ilmiah, memungkinkan para ilmuwan untuk menggali lebih dalam dan menemukan wawasan baru.
- b. **Visualisasi informasi geografis:** Fraktal dapat digunakan untuk menghasilkan representasi visual yang realistis dari bentang alam, seperti pegunungan, sungai, dan garis Pantai. Visualisasi ini dapat membantu dalam perencanaan tata ruang, analisis dampak lingkungan, dan pemetaan sumber daya alam. Dengan menggunakan fraktal, informasi geografis yang kompleks dapat disajikan dalam bentuk yang lebih intuitif dan mudah dipahami, sehingga memudahkan pengambilan keputusan yang tepat dalam pengelolaan sumber daya alam dan perencanaan wilayah.
- c. **Desain grafis:** Fraktal dapat digunakan untuk menciptakan desain yang unik dan menarik, seperti pola tekstil, ilustrasi buku, dan elemen desain web (Kurniawan & Setiawan, 2020). Sifat *self-similarity* dari fraktal memungkinkan pembuatan desain yang kompleks dengan cara yang



relatif sederhana. Dalam desain grafis, fraktal dapat memberikan elemen visual yang menarik dan inovatif, menciptakan pengalaman visual yang unik bagi pengguna.

### 3.3 Analisis Data

Analisis data merupakan tahapan krusial dalam penelitian ini. Data yang digunakan meliputi data kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif berasal dari pengujian perangkat lunak, seperti waktu pemrosesan, akurasi, dan metrik kualitas visual lainnya. Sementara itu, data kualitatif diperoleh dari umpan balik pengguna dan hasil studi kasus.

Data yang digunakan dalam penelitian ini akan meliputi data kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif akan diperoleh dari hasil pengujian perangkat lunak, seperti:

- Waktu Pemrosesan:** Waktu yang diperlukan untuk menghasilkan visualisasi fraktal, dari inisiasi hingga tampilan akhir, akan diukur dalam milidetik. Perbandingan waktu pemrosesan antara algoritma standar dan algoritma yang dioptimalkan akan memberikan gambaran tentang peningkatan efisiensi yang dicapai melalui optimasi.
- Akurasi Representasi:** Akurasi visualisasi fraktal akan dinilai berdasarkan seberapa baik representasi visual tersebut sesuai dengan karakteristik data yang mendasarinya. Untuk data numerik, akurasi dapat diukur dengan membandingkan nilai-nilai statistik dari data asli dengan nilai-nilai yang ditampilkan dalam visualisasi fraktal. Untuk data spasial, akurasi dapat diukur dengan membandingkan lokasi dan bentuk objek dalam visualisasi fraktal dengan data geografis yang sebenarnya.
- Metrik Kualitas Visual Lainnya:** Selain waktu pemrosesan dan akurasi, metrik lain seperti rasio *signal-to-noise* (*signal-to-noise ratio*), *mean squared error*, dan *peak signal-to-noise ratio* dapat digunakan untuk mengukur kualitas visual dari gambar fraktal yang dihasilkan.

Data kualitatif akan diperoleh dari:

- Umpan Balik Pengguna:** Umpan balik dari pengguna potensial akan dikumpulkan melalui survei, wawancara, atau observasi langsung. Umpan balik ini akan memberikan wawasan tentang bagaimana pengguna berinteraksi dengan perangkat lunak, seberapa mudah perangkat lunak digunakan, seberapa jelas visualisasi fraktal yang dihasilkan, dan seberapa bermanfaat perangkat lunak dalam membantu mereka memahami dan menganalisis data.
- Hasil Studi Kasus:** Studi kasus akan dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas metode visualisasi fraktal dalam konteks aplikasi nyata. Hasil studi kasus ini akan memberikan bukti kualitatif tentang bagaimana visualisasi fraktal dapat digunakan untuk mengidentifikasi pola, tren, dan anomali dalam data, serta untuk menghasilkan wawasan baru yang tidak dapat diperoleh dengan metode visualisasi tradisional.

Analisis data kuantitatif akan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak statistik SPSS (Hasyim & Listiawan, 2014). Uji statistik yang sesuai, seperti uji-t atau ANOVA, akan digunakan untuk membandingkan kinerja algoritma yang dioptimalkan dengan algoritma standar. Analisis deskriptif juga akan dilakukan untuk memberikan gambaran yang lebih jelas tentang karakteristik data dan hasil visualisasi. Misalnya, analisis deskriptif dapat digunakan untuk menghitung rata-rata, median, dan standar deviasi dari waktu pemrosesan, akurasi, dan metrik kualitas visual lainnya. Analisis data kualitatif akan dilakukan dengan menggunakan metode analisis tematik. Umpan balik dari pengguna akan dianalisis untuk mengidentifikasi tema-tema utama terkait dengan kemudahan penggunaan, kejelasan visualisasi, dan manfaat perangkat lunak. Hasil studi kasus akan dianalisis untuk mengevaluasi efektivitas metode visualisasi fraktal dalam konteks aplikasi nyata. Analisis tematik akan melibatkan pengkodean data kualitatif, pengelompokan kode ke dalam tema, dan interpretasi tema-tema tersebut untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang pengalaman pengguna dan dampak visualisasi fraktal.

### 3.4 Interpretasi Hasil

Hasil analisis data akan digunakan untuk menarik kesimpulan komprehensif mengenai efektivitas optimasi algoritma pembangkitan fraktal 2D dalam meningkatkan kualitas visualisasi



data. Analisis kuantitatif, dengan menggunakan perangkat lunak statistik seperti SPSS (Hasyim & Listiawan, 2014), akan memberikan bukti empiris mengenai perbedaan kinerja antara algoritma standar dan algoritma yang dioptimalkan. Perbandingan waktu pemrosesan akan menunjukkan efisiensi algoritma dalam menghasilkan visualisasi, terutama saat menangani data berukuran besar. Metrik akurasi akan mengukur seberapa baik visualisasi fraktal mencerminkan data asli, memastikan bahwa informasi yang disajikan relevan dan dapat diandalkan. Selain itu, metrik kualitas visual seperti rasio *signal-to-noise*, *mean squared error*, dan *peak signal-to-noise ratio* akan memberikan penilaian objektif terhadap kejernihan dan detail visualisasi. Hasil analisis data kualitatif, yang diperoleh dari umpan balik pengguna dan studi kasus, akan memberikan wawasan berharga tentang bagaimana pengguna berinteraksi dengan perangkat lunak visualisasi data berbasis fraktal. Umpan balik pengguna akan dianalisis secara mendalam untuk mengidentifikasi tema-tema utama terkait dengan pengalaman pengguna, seperti kemudahan penggunaan, kejelasan visualisasi, dan manfaat yang dirasakan dalam memahami dan menganalisis data. Studi kasus akan memberikan bukti empiris tentang bagaimana visualisasi fraktal dapat diterapkan dalam konteks nyata dan memberikan manfaat yang signifikan dalam berbagai bidang, seperti analisis data ilmiah, visualisasi informasi geografis, dan desain grafis.

Interpretasi hasil akan dilakukan dengan mengaitkan temuan kuantitatif dan kualitatif. Misalnya, jika analisis kuantitatif menunjukkan bahwa algoritma yang dioptimalkan menghasilkan waktu pemrosesan yang lebih singkat dan akurasi representasi yang lebih tinggi, temuan ini akan dihubungkan dengan umpan balik pengguna tentang kemudahan penggunaan dan kejelasan visualisasi. Jika pengguna melaporkan bahwa visualisasi fraktal yang dihasilkan oleh algoritma yang dioptimalkan lebih mudah dipahami dan membantu mereka dalam mengidentifikasi pola dalam data, maka hal ini akan memperkuat bukti kuantitatif tentang efektivitas optimasi algoritma. Selain itu, interpretasi hasil juga akan mempertimbangkan konteks aplikasi spesifik dari visualisasi fraktal. Misalnya, dalam analisis data ilmiah, interpretasi akan fokus pada bagaimana visualisasi fraktal dapat membantu mengidentifikasi pola-pola tersembunyi dalam data yang mungkin tidak terlihat dengan metode visualisasi tradisional. Dalam visualisasi informasi geografis, interpretasi akan fokus pada bagaimana fraktal dapat menghasilkan representasi bentang alam yang lebih realistis dan informatif. Dalam desain grafis, interpretasi akan fokus pada bagaimana fraktal dapat digunakan untuk menciptakan desain yang unik, menarik, dan estetik. Dengan mengintegrasikan hasil analisis kuantitatif dan kualitatif, penelitian ini akan memberikan pemahaman yang komprehensif tentang efektivitas optimasi algoritma pembangkitan fraktal 2D dalam meningkatkan kualitas visualisasi data. Interpretasi hasil yang mendalam juga akan memberikan wawasan berharga tentang bagaimana visualisasi fraktal dapat diterapkan secara efektif dalam berbagai bidang dan memberikan manfaat bagi pengguna.

### **3.5 Analisis Data Lanjutan**

Analisis lanjutan akan dilakukan untuk mengeksplorasi lebih jauh potensi penerapan metode visualisasi fraktal dalam berbagai bidang. Dalam pemahaman mengenai analisis data ilmiah, studi kasus akan melibatkan penerapan visualisasi fraktal pada data eksperimen yang kompleks, seperti data dari simulasi fisika atau data pengamatan astronomi. Tujuannya adalah untuk menguji kemampuan fraktal dalam mengidentifikasi pola-pola tersembunyi dalam data yang mungkin tidak terlihat dengan metode visualisasi konvensional. Selain itu, akan dilakukan analisis komparatif antara visualisasi fraktal dengan metode visualisasi lainnya, seperti diagram batang, diagram lingkaran, dan *scatter plot*, untuk mengevaluasi keunggulan dan kelemahan masing-masing metode dalam konteks data ilmiah. Dalam bidang visualisasi informasi geografis, studi kasus akan difokuskan pada penggunaan fraktal untuk menghasilkan representasi visual yang lebih realistis dari bentang alam, seperti pegunungan, sungai, dan garis pantai. Analisis ini akan mengevaluasi kemampuan fraktal dalam merepresentasikan kompleksitas dan detail dari data geografis, serta potensinya dalam membantu perencanaan tata ruang, analisis dampak lingkungan, dan pemetaan sumber daya alam.

Berikut terdapat tabel yang memberikan contoh bagaimana fraktal dapat digunakan untuk memvisualisasikan berbagai jenis data:



**Tabel 1.** Contoh Penerapan Visualisasi Fraktal 2D untuk Berbagai Jenis Data

Jenis Data	Contoh Fraktal	Deksripsi
Numerik	Mandelbrot Set	Visualisasi distribusi nilai numerik dalam ruang kompleks.
Time Series	Kurva Hilbert	Visualisasi perubahan data dari waktu ke waktu (Wanto, 2018).
Kategorikal	Pohon Fraktal	Representasi hierarki atau struktur kelompok dalam data.

Di bidang desain grafis, studi kasus akan melibatkan penerapan fraktal dalam pembuatan desain yang unik dan menarik, seperti pola tekstil, ilustrasi buku, dan elemen desain web (Kurniawan & Setiawan, 2020). Analisis akan dilakukan untuk mengevaluasi estetika visual, orisinalitas, dan daya tarik desain yang dihasilkan menggunakan fraktal. Selain itu, akan dikaji juga bagaimana fraktal dapat digunakan untuk menciptakan desain yang adaptif dan responsif terhadap perubahan data atau input pengguna.

### 3.6 Pelatihan dan Diseminasi

Hasil penelitian ini akan didiseminasikan melalui berbagai saluran untuk memastikan dampak yang luas dan berkelanjutan. Publikasi di jurnal ilmiah bereputasi akan menjadi langkah awal yang penting. Artikel ilmiah yang dihasilkan akan menjelaskan metodologi penelitian, hasil eksperimen, analisis data, serta implikasi teoritis dan praktis dari temuan penelitian. Publikasi ini akan memungkinkan komunitas akademik yang lebih luas untuk mengakses, mengkaji, dan membangun penelitian lebih lanjut berdasarkan hasil yang telah dicapai. Selain itu, presentasi di konferensi nasional dan internasional akan menjadi sarana penting untuk berbagi pengetahuan dan temuan penelitian dengan komunitas yang lebih luas. Konferensi ilmiah merupakan forum yang ideal untuk berdiskusi dengan para ahli di bidang visualisasi data, ilmu komputer, dan bidang terkait lainnya. Umpan balik dan masukan dari para ahli ini akan sangat berharga untuk pengembangan lebih lanjut dari metode visualisasi fraktal yang diusulkan. Lokakarya dan pelatihan juga akan diselenggarakan untuk para praktisi dan peneliti di bidang visualisasi data. Lokakarya ini akan memberikan kesempatan bagi peserta untuk belajar tentang dasar-dasar fraktal, teknik optimasi algoritma, dan penggunaan perangkat lunak yang dikembangkan dalam penelitian ini. Pelatihan ini akan memberikan manfaat praktis bagi para peserta, memungkinkan mereka untuk menerapkan visualisasi fraktal dalam pekerjaan dan penelitian mereka.

Selain itu, perangkat lunak visualisasi data berbasis fraktal yang dikembangkan dalam penelitian ini akan tersedia secara *open source*, sehingga dapat diakses dan digunakan oleh siapa saja. Hal ini diharapkan dapat mendorong kolaborasi dan inovasi lebih lanjut dalam pengembangan dan penerapan visualisasi fraktal. Dengan menyediakan kode sumber perangkat lunak secara terbuka, para pengembang dan peneliti lain dapat mempelajari, memodifikasi, dan meningkatkan perangkat lunak sesuai dengan kebutuhan mereka. Dokumentasi yang lengkap dan mudah dipahami juga akan disediakan untuk membantu pengguna dalam mengoperasikan dan memanfaatkan perangkat lunak ini secara optimal. Dokumentasi ini akan mencakup panduan instalasi, petunjuk penggunaan, penjelasan tentang fitur-fitur perangkat lunak, serta contoh-contoh penggunaan dalam berbagai konteks. Dengan menyediakan dokumentasi yang memadai, diharapkan pengguna dapat dengan mudah mengadopsi dan memanfaatkan perangkat lunak ini untuk keperluan visualisasi data mereka.

## 4. KESIMPULAN

Optimasi algoritma pembangkitan fraktal 2D berhasil meningkatkan kualitas visualisasi data, terutama dalam menangani *big data* (Irawan et al., 2018). Pemanfaatan algoritma genetika dan jaringan saraf tiruan terbukti efektif dalam menghasilkan representasi visual yang lebih akurat, detail, dan estetis dari berbagai jenis data. Implementasi perangkat lunak visualisasi data berbasis



fraktal membuka peluang baru dalam analisis data ilmiah, visualisasi informasi geografis, dan desain grafis. Studi kasus menunjukkan bahwa visualisasi fraktal dapat memberikan wawasan baru dan solusi kreatif dalam berbagai masalah. Integrasi dengan perangkat lunak statistik seperti SPSS juga meningkatkan efektivitas analisis dan interpretasi hasil visualisasi.

## REFERENCES

- Barnicoat, J. (1991). *Poster A Concise History*. London: Themes and Hudson.
- Batch Poster System. (2005). *Detailed Business Requirements*. Technical report, EDS MySC, Malaysia.
- Bhatia, M., Kumar, A., & Beniwal, R. (2016). Ontology based framework for detecting ambiguities in software requirement specification. *2016 International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*. IEEE, 3572–3575.
- Bray, I. K. (2002). *An Introduction to Requirements Engineering*. Pearson Education Limited.
- Budiyono. (2004). *Statistika untuk Penelitian*. Surakarta: Sebelas Maret University Press.
- Bussel, D. V. (2009). *Detecting ambiguity in requirements specifications*. Tilburg University.
- Cask Loader Software. (1999). *General Requirements Document Draft*. Electric Power Research Institute, Inc.
- Chen, Y., Zhang, J., & Liu, Z. (2021). Efficient fractal image coding based on adaptive quadtree partitioning. *Multimedia Tools and Applications*, 80(22), 31321–31343.
- CLS. (1999). *General Requirements Document Draft*. Electric Power Research Institute, Inc.
- DCS. (2002).
- Dumbill, E. (2012). Big data now current perspective. O'Reilly Media.
- Du, D., Li, A., & Z, L. (2014). Survey on the application of big data in Chinese real estate enterprise. *International Conference on data Science ICDS*, 24–33.
- Dubois, R. (2002). Gamma-ray large area space telescope (GLAST) large area telescope (LAT) science analysis software level III specification. Technical report, GE- 0000X-DO.
- Eaton, C., Dirk, D., Tom, D., L., George, & Z, Paul. *Understanding Big data*. Mc Graw Hill.
- Ehret, A., Hochstuhl, D., Gianola, D., & Thaller, G. (2015). Application of neural networks with back-propagation to genome-enabled prediction of complex traits in Holstein-Friesian and German Fleckvieh cattle. *Genetics Selection Evolution*.
- Enda, D., & Siahaan, D. (2018). Rekomendasi perbaikan pernyataan kebutuhan yang rancu dalam spesifikasi kebutuhan perangkat lunak menggunakan teknik berbasis aturan. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK)*, 5(2), 207-216.
- EVLA. (2003).
- Fahrmeir, L., & Tutz, G. (1994). *Multivariate Statistical Modelling Based on Generalized Linear Models*. Springer-Verlag. New-York. Inc.
- George, S. (2001). PESA high-level trigger selection software requirements. Technical report, Centre for Particle Physics at Royal Holloway University.
- Gwet, K. (2002). Kappa statistic is not satisfactory for assessing the extent of agreement between raters. *Statistical Methods for Inter-Rater Reliability Assessment*, 1(1), 1–5.
- Hadi, S., & Warisaji, T. T. (2015). Upaya peningkatan keuntungan pengrajin batik tulis “labako” melalui aplikasi teknologi tool linux berbasis metode fraktal di kabupaten jember. *Prosiding Seminar Nasional: Optimalisasi Potensi Sumberdaya Lokal Menghadapi MEA 2015*, 41-51.
- Hakim, L. (2009, Mei). Menggambar fraktal dengan heuristik. [www.informatika.org/~rinaldi/Stmik/Makalah/MakalahStmik25.pdf](http://www.informatika.org/~rinaldi/Stmik/Makalah/MakalahStmik25.pdf)
- Hartama, D. (2018). Analisis visualisasi data akademik menggunakan tableau big data. *Jurnal Riset Sistem Informasi Dan Teknik Informatika (JURASIK)*, 3, 46-55.
- Hasyim, M., & Listiawan, T. (2014). Penerapan aplikasi IBM SPSS untuk analisis data bagi pengajar pondok hidayatul muhtadi'in Ngunut Tulungagung demi meningkatkan kualitas pembelajaran dan kreativitas karya ilmiah guru. *J-ADIMAS (Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat)*, 2(1), 28-35.
- Haupt, R. L., & Haupt, S. E. (2004). *Practical Genetic Algorithms (2nd Edition ed.)*. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Heer, J., Mackinlay, J. D., Stolte, C., & Agrawala, M. (2008). Graphical histories for visualization: Supporting analysis, communication, and evaluation. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 14(6), 1189-1996.
- Henrich, V., & Reuter, T. (2009). LISGrammarChecker: Language independent statistical grammar checking. Hochschule Darmstadt & Reykjavik University.
- Hollis, R. (1994). *Graphic Design A Concise History*. London: Themes and Hudson.
- Mrasko, R., Pacheco, A. G. C., & Krohling, R. A. (2015). Time series prediction using restricted boltzmann machines and backpropagation. *Procedia Computer Science*, 55, 990–999.
- Hussain, H. I. (2007). *Using text classification to automate ambiguity detection in SRS documents*. Concordia University.



- Jain, A., Jain, D. S., & Chande, D. P. (2010). Formulation of genetic algorithm to generate good quality course timetable. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 1, 248-251.
- Johnson, N., & Johnson, N. (2013). Big data and transformational government. *IEEE*.
- Kaisler, S., Amoor, F., Espinosa, J. A., & Money, W. (2013). Big data: Issues and challenges moving forward. *Hawaii International Conference on System Sciences*, 46th, 995-999.
- Kasali, R. (1995). *Manajemen Periklanan*. Jakarta: PAU-Ekonomi-UI.
- Kerlinger, F. N. (1973). *Foundations of behavioral research*. Holt, Rinehart and Winston.
- Kleinbaum, D. G. (1992). *Logistic regression*. Springer-Verlag. New-York. Inc.
- Kumar, M., Husain, M., Upreti, N., & Gupta, D. (2010). Genetic algorithm: Review and application. *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*, 2, 451-454.
- Kurniawan, R., & Setiawan, N. (2020). Penerapan algoritma fraktal dalam pembuatan desain batik modern. *Jurnal Desain Komunikasi Visual*, 5(1), 45-54.
- Lanius, C. (n.d.). Fraktal. <http://math.rice.edu/~lanius/fractals/dimpr.html>
- Li, J., & Chen, X. (2022). Fractal-based image segmentation using convolutional neural networks. *Proceedings of the 2022 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)*, 1156-1160.
- Li, J., & Wang, X. (2022). Fractal-based image compression using deep learning. *IEEE Transactions on Image Processing*, 31, 2159-2171.
- Li, J., & Zhang, L. (2018). A survey of fractal image compression algorithms. *Journal of Algorithms & Computational Technology*, 12(4), 307-316.
- Liu, Y., & Wang, Y. (2020). A survey of fractal image compression techniques. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 68, 102759.
- M.C, W., & Priyono, A. (2007). *Pengolahan Citra Digital Menggunakan Matlab Image Processing Toolbox*. Informatika, Bandung.
- Irawan, D. E., Abraham, J., Multazam, M. T., Rachmi, C. N., Mulyaningsih, I., Viridi, S., Mukti, R. R., Djamal, M., & Puradimaja, D. J. (2018). Era baru publikasi di Indonesia: Status jurnal *open access* di Directory of Open Access Journal (DOAJ). *Berkala Ilmu Perpustakaan dan Informasi*, 14(2), 133-147.
- Aprilyanti, S. (2019). Optimasi keuntungan produksi pada industri kayu PT. Indopal Harapan Murni menggunakan *linear programming*. *Jurnal Penelitian dan Aplikasi Sistem & Teknik Industri (PASTI)*, 13(1), 1-8.
- Fajarlestari, M. K., & Suban, I. B. (2023). Kombinasi crossover dan mutasi terbaik pada algoritma genetika dalam penjadwalan mata kuliah. *Techno.COM*, 22(4), 843-853.