



POTENSI METODE FRAKTAL UNTUK EKSPLORASI BENTUK ORNAMENTASI DALAM ARSITEKTUR

Ernaning Setiyowati¹, Juhari Juhari², Achmad Gat Gautama¹, Pudji Pratitis Wismanara¹

¹Program Studi Arsitektur, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Malang, Indonesia

²Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Malang, Indonesia

E-mail: ernaning@arch.uin-malang.ac.id

Informasi Naskah:

Diterima:

5 Januari 2026

Direvisi:

3 Februari 2026

Disetujui terbit:

16 Maret 2026

Diterbitkan:

Cetak:

29 Maret 2026

Online

29 Maret 2026

Abstract: Ornamentation is one of the elements that can enrich architectural design, both on the exterior and interior. One method that can be used in exploring ornamentation design is the fractal method. A fractal is a geometric form or pattern characterized by self-repetition. In architecture, fractals can be used to create forms that are complex yet structured. This study aims to explore architectural ornamentation design forms using fractals. The method employed is a mathematical operation by generating Julia set fractals and Sierpinski fractal patterns to obtain Islamic ornamentation patterns involving floral and geometric forms. The results of the fractal Julia program produce 24 fractal forms that can be further developed into architectural ornamentation through geometric modification and repetition. The design exploration outcomes can be applied to interiors, building façades, and secondary-skin façades for shading devices.

Keyword: fractal, ornamentation, design exploration

Abstrak: Ornamentasi merupakan salah satu hal yang bisa memperkaya desain arsitektur, baik pada eksterior maupun interior. Salah satu metode yang bisa digunakan dalam eksplorasi desain ornamentasi ini adalah metode fraktal. Fraktal adalah bentuk atau pola geometris yang memiliki sifat pengulangan diri. Dalam arsitektur, fraktal dapat digunakan untuk menciptakan bentuk yang kompleks namun terstruktur. Penelitian ini bertujuan untuk mencari eksplorasi bentuk desain ornamentasi arsitektur menggunakan fraktal. Metode yang digunakan adalah operasi matematika dengan cara membangkitkan fraktal *Julia set* dan pola fraktal *Sierpinski* untuk memperoleh pola ornamentasi Islam yang melibatkan bentuk floral dan geometri. Hasil running program fractal Julia menghasilkan 24 bentuk fraktal yang bisa dikembangkan ke dalam ornamentasi arsitektur, seperti modifikasi dengan geometri dan repetisi. Hasil eksplorasi desainnya bisa digunakan pada interior, fasad bangunan, dan juga *secondary skin facade* untuk *shading device*.

Kata Kunci: fraktal, ornamentasi, eksplorasi desain

PENDAHULUAN

Ornamentasi memiliki peran penting dalam membentuk identitas dan estetika arsitektur, baik pada bangunan tradisional maupun kontemporer. Perkembangan metode analisis dan eksplorasi bentuk dalam arsitektur mendorong munculnya pendekatan matematika sebagai salah satu strategi perancangan. Salah satu pendekatan tersebut adalah metode fraktal, yaitu metode yang memanfaatkan pola geometris berulang untuk menghasilkan bentuk yang kompleks namun tetap terstruktur. Sejumlah penelitian telah menunjukkan bahwa fraktal mampu menggambarkan karakter visual dan komposisi arsitektur tradisional hingga modern secara lebih presisi, serta membuka peluang inovasi desain.

Studi fraktal dalam arsitektur telah diterapkan pada berbagai konteks, seperti analisis keindahan fasad tradisional Bali (Aisyah et al., 2023), eksplorasi pola ornamen gerbang masjid menggunakan sistem Lindenmayer (Alghar & Marhayati, 2023), hingga

pengembangan desain biomimetik untuk optimasi pencahayaan interior (Attia, 2020). Selain itu, pendekatan fraktal juga digunakan untuk menganalisis kompleksitas formal arsitektur Palladio dan Le Corbusier (Dawes et al., 2023), serta mengidentifikasi aturan komposisi fasad klasik dan Renaisans (Katona, 2023). Berbagai penelitian tersebut menunjukkan bahwa fraktal dapat berfungsi sebagai alat analisis dan sekaligus sebagai metode generatif dalam perancangan arsitektur.

Namun demikian, kajian mengenai eksplorasi bentuk ornamentasi arsitektur menggunakan metode fraktal sebagai pendekatan desain generatif masih sangat terbatas. Penelitian yang ada lebih banyak berfokus pada analisis fasad, evaluasi karakter visual, atau interpretasi pola tradisional. Sementara itu, potensi fraktal untuk menghasilkan pola ornamentasi baru, baik berbasis geometri Islam, floral, maupun bentuk abstrak, belum dipetakan secara komprehensif. Sedangkan fraktal memiliki kemampuan untuk menghasilkan pola berulang dengan tingkat

kompleksitas yang dapat dikontrol, sehingga potensial digunakan dalam pengembangan ornamentasi pada interior, fasad, maupun elemen penyaring cahaya (*shading device*).

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi metode fractal, khususnya Julia set dan pola Sierpinski, dalam menghasilkan bentuk-bentuk ornamentasi arsitektur. Penelitian ini memberikan kebaruan (*novelty*) berupa pendekatan generatif berbasis fraktal yang menghasilkan varian pola ornamentasi baru, serta menunjukkan bagaimana pola tersebut dapat diaplikasikan pada elemen arsitektur kontemporer. Selain itu, penelitian ini memberikan urgensi ilmiah dengan memperluas pemahaman tentang penerapan fraktal dalam desain ornamentasi, yang saat ini belum banyak dibahas dalam literatur arsitektur.

TINJUAN PUSTAKA

Penelitian tentang fraktal telah berkembang dalam dua pendekatan utama: fraktal sebagai alat analisis visual dan fraktal sebagai metode generatif desain. Pada pendekatan analitis, fraktal digunakan untuk mengukur tingkat kompleksitas pola arsitektur, seperti pada studi fraktal terhadap arsitektur Palladio dan Le Corbusier (Dawes et al., 2023) atau analisis komposisi fasad klasik dan Renaisans (Katona, 2023). Lee dan Ostwald (Lee & Ostwald, 2021) memanfaatkan dimensi fraktal untuk menilai karakter visual fasad dan kaitannya dengan perhatian visual. Penelitian lain mengevaluasi perubahan fasad bangunan tinggi berdasarkan periode arsitektur menggunakan dimensi fractal (YILDIZ & DİNÇ KALAYCI, 2022). Pendekatan ini menegaskan bahwa dimensi fraktal merupakan indikator penting dalam memahami keteraturan dan kompleksitas visual arsitektur.

Selain itu, penelitian dalam konteks arsitektur tradisional juga menunjukkan bagaimana fraktal dapat mengungkap pola keteraturan yang tersembunyi. Aisyah et al. (2023) menerapkan analisis fraktal untuk mendefinisikan estetika fasad tradisional Bali, sedangkan Rini (Rini, 2024) mengkaji kompleksitas fasad rumah vernakular Indonesia seperti Rumah Gadang dan Uma. Okuyucu dan Baştaş (Okuyucu & Baştaş, 2023) menggunakan geometri fraktal untuk menganalisis fasad rumah tradisional di Afyonkarahisar, Turki. Penelitian serupa pada taman Islam dan Persia menunjukkan bahwa konfigurasi geometrisnya memiliki dimensi fraktal tertentu yang memengaruhi persepsi harmoninya (Patuano & Lima, 2021).

Pendekatan generatif berbasis fraktal mulai digunakan untuk menciptakan pola baru dalam seni dan desain. Chen dan Zhang (Chen & Zhang, 2023) menggunakan Julia set dalam mendesain motif dekoratif tradisional Chaoshan, sedangkan Alghar dan Marhayati (Alghar & Marhayati, 2023) menerapkan sistem Lindenmayer untuk mengeksplorasi ornamen gerbang masjid. Tercan (Tercan, 2023) menyoroti hubungan antara dimensi fraktal dan persepsi keteraturan dalam seni Islam,

sehingga menguatkan relevansi fraktal dalam pembentukan pola ornamental. Ibrahim et al. (Ibrahim et al., 2021) juga menunjukkan bahwa geometri fraktal dapat menghasilkan formasi inovatif dalam desain interior.

Beberapa penelitian lain menunjukkan bahwa fraktal mampu menghasilkan bentuk yang adaptif terhadap konteks tertentu. Attia (2020) memanfaatkan fraktal biomimetik untuk mengoptimalkan distribusi cahaya dalam ruang interior, sementara Ghosh et al. (Ghosh et al., 2023) menggunakan dimensi fraktal untuk mempelajari pola digital heritage. Dalam konteks desain struktural modern, fraktal diterapkan sebagai metode untuk mengembangkan bentuk-bentuk struktural yang lebih efisien (Mayatskaya et al., 2024). Dengan demikian, fraktal terbukti mampu menjadi alat kreatif yang mendukung inovasi dalam perancangan.

Kajian mengenai fraktal dalam arsitektur menunjukkan bahwa fraktal memiliki potensi besar untuk membangun pola ornamentasi yang terstruktur namun kompleks. Namun, sebagian besar penelitian masih menekankan aspek analisis, bukan eksplorasi bentuk baru. Sementara itu, kebutuhan terhadap inovasi ornamentasi kontemporer meningkat seiring berkembangnya teknologi fabrikasi digital dan kebutuhan *shading device* yang estetis dan fungsional.

Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan melakukan eksplorasi generatif bentuk ornamentasi berbasis fractal, khususnya melalui Julia set dan pola Sierpinski. Pendekatan ini berbeda dari penelitian sebelumnya karena tidak hanya menganalisis pola tradisional, tetapi menghasilkan varian pola baru yang dapat diadaptasi pada interior, fasad, dan elemen secondary skin. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada perluasan aplikasi fraktal dalam desain arsitektur, sekaligus menawarkan pendekatan sistematis untuk menciptakan pola ornamentasi generatif di era digital.

METODOLOGI PENELITIAN

Secara garis besar langkah penelitian dalam mencari desain ornamentasi adalah sebagai berikut:

1. Membangkitkan fraktal Julia set dan pola fraktal Sierpinski untuk memperoleh pola ornamentasi Islam yang melibatkan bentuk floral dan geometri dengan menggunakan operasi matematika. Banyak iterasi pada fraktal ditentukan untuk mengetahui bentuk fraktal yang akan digabungkan.
2. Membentuk ornamentasi Islam fraktal dari pola dasar yang sudah dibuat menggunakan transformasi geometri. Transformasi geometri yang digunakan adalah translasi, dilatasi, refleksi, dan rotasi.
3. Menggabungkan beberapa pola geometri yang terbentuk menggunakan pengolahan citra yaitu penjumlahan dua buah citra.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Tahapan Membangkitkan Pola Dasar Fraktal

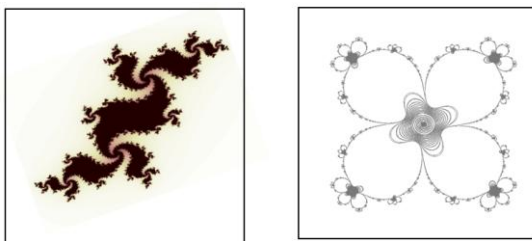
Fraktal yang digunakan adalah himpunan Mandelbrot dan himpunan Julia. Pembangkitan fraktal tersebut menggunakan script Matlab. Sehubungan dengan hal tersebut maka pada bagian ini akan dibahas penyelesaiannya dengan ketentuan sebagai berikut:

Himpunan Julia

Himpunan Julia dibuat dengan memilih titik tertentu dan mengalikan setiap titik-titik yang lain dengannya secara berulang-ulang, kemudian hasilnya ditambahkan ke titik aslinya. Proses iterasi yang dilakukan untuk suatu fungsi adalah melakukan perubahan pada komposisi fungsi itu sendiri secara berulang kali (rekursi) yang dibangkitkan dari fungsi polinomial. Fungsi himpunan Julia yaitu $f_a(z) = z^2 + c$. z merupakan sebuah variabel dimana z tersebut merupakan bagian bilangan kompleks yang berupa $x + yi$, dimana $x, y \in R$, sedangkan c merupakan sebuah parameter konstanta yang dapat dibedakan menjadi 3 bagian yaitu:

- a. berupa bilangan real saja.
- b. berupa bilangan imajiner saja.
- c. gabungan nilai real dan imajiner.

Pada beberapa literatur, untuk membuat motif yang berbeda hanya dilakukan perubahan pada iterasinya saja (n). Hal itu membuat Pertambahan iterasi menambahkan detail baru yang tak terhingga tetapi ketika gambar diperbesar maka sifat kemiripan-diri tetap ada. Namun dalam penelitian ini, akan dipaparkan modifikasi baru dalam segi pangkat dan nilai parameter c . Gambar 1 menunjukkan hasil running program menggunakan Matlab dengan pangkat dan parameter yang berbeda-beda.



(1) $f(z)=z^2+c$ dengan $c=-0.2-0.7i$ (2) $f(z)=z^2+a \cdot e^{2\pi i/g} \cdot z$ dengan $a=1.0001$ dan $t=Pi/1000$

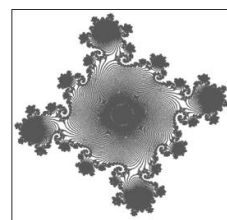
Gambar 1. Hasil Running Program Menggunakan Matlab Gambar (1) dibangun dari fungsi himpunan Julia itu sendiri yaitu dari persamaan kuadrat bilangan kompleks $f(z)=z^2$ dengan menetapkan terlebih dahulu parameter c yaitu $-0.2 - 0.7i$. sedangkan bagian real dan imajinernya dalam interval terbuka dengan tujuan untuk memperlihatkan bentuk fraktal himpunan Julia secara keseluruhan. Dengan melakukan sebanyak n iterasi pada masing-masing titik yang sudah ditentukan, maka hasil iterasi tersebut akan membentuk orbit dari titik itu sendiri dan orbit-orbit itulah yang memperlihatkan bentuk fraktal pada himpunan Julia.

Gambar (2) dibangun dari fungsi polinomial bilangan kompleks $f(z)=z^5$ dengan menambahkan fungsi linier $f(z)=az$, dimana a bilangan kompleks konstan yang tidak nol, dan z adalah bilangan kompleks $z = x + yi$. Dengan menetapkan nilai $a = 1.0001$ dan mengalikan fungsi linier dengan z_0 dalam persamaan

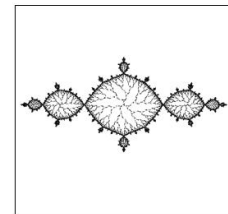
polar $z_0 = r e^{it}$ dengan $t = Pi/100$. Demikian juga dengan gambar (3) dan (4) memiliki kesamaan dalam proses membangun polanya. Berikut diberikan beberapa hasil modifikasi fraktal himpunan Julia yang lain untuk menambah motif-motif dalam desain batik fraktal. Himpunan Julia dibuat dengan memilih titik tertentu dan mengalikan setiap titik-titik yang lain dengannya secara berulang-ulang, kemudian hasilnya ditambahkan ke titik aslinya. Proses iterasi yang dilakukan untuk suatu fungsi adalah melakukan perubahan pada komposisi fungsi itu sendiri secara berulang kali (rekursi). Misalkan $f(z)=z^5+a \cdot e^{2\pi i/g} \cdot z$ dengan $a =1.0001$ adalah fungsi dari z , iterasi kedua dari f adalah:

$$f^2(z) = f(f(z)) = f(z^5+a \cdot e^{2\pi i/g} \cdot z) = (z^5+a \cdot e^{2\pi i/g} \cdot z)^5 + a \cdot e^{2\pi i/g} \cdot (z^5+a \cdot e^{2\pi i/g} \cdot z)$$

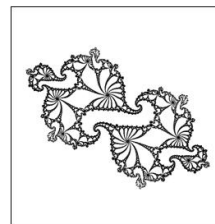
Begitu seterusnya sampai pada iterasi tertentu sehingga menghasilkan model fraktal himpunan Julia seperti pada Gambar 2.



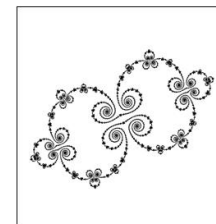
(3) $f(z)=z^5+a \cdot e^{2\pi i/g} \cdot z$ dengan $a =1.0001$



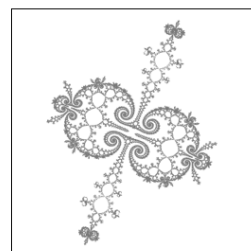
(4) $f(z)=(z^2-z+a)/z = (z^2-1)+az, a=0.0003i$



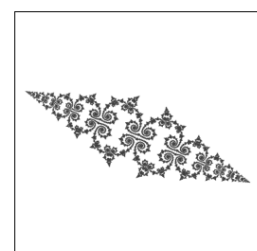
$f(z)=1/(z^2+dz), d=-1.7+2.4i$



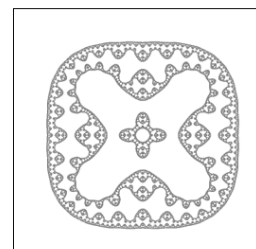
$f(z)=1/(z^2+dz+c), c=0$ dan $d=-3(1+i)$



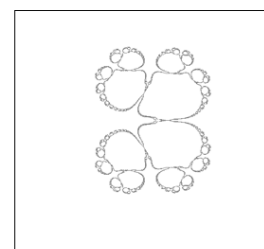
$f(z)=1/((0.15+0.15i)z^5+z^3+(-3+3i)z)$



$f(z)=(0.18e^{2\pi i/8}z^2+1)/(z^3+(-3+3i)z)$



$f(z)=z^4/(0.4z^{12}+z^8+0.635z^4+0.001)$



$f(z)=(z^3+0.37z-0.04)/z$

Gambar 2. Modifikasi fraktal himpunan Julia Analisis Himpunan Julia Daerah himpunan Julia (*Filled Julia*) untuk fungsi

$$f(z)=z^2+c$$

adalah himpunan dari semua titik-titik yang memiliki orbit yang terbatas. Himpunan Julia adalah batas antara *filled Julia Set* dan himpunan titik-titik yang memiliki orbit yang tidak terbatas (*escape set*). Tinjau persamaan $f(z)=z^2$, dapat diketahui dari persamaan kuadrat bilangan kompleks bahwa:

- Jika $|z_0 < 1|$ maka orbit akan menuju 0 dan orbit akan terbatas (*bounded*);
- Jika $|z_0 = 1|$ maka orbit akan selalu berada dalam lingkaran satuan dan orbit ini juga akan terbatas (*bounded*);
- Jika $|z_0 > 1|$ maka orbit akan menuju ke tak hingga dan orbit ini tidak terbatas (*unbounded*);

Dengan melihat kumpulan dari orbit-orbit tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa himpunan Julia untuk persamaan $f(z)=z^2+c$ dimana nilai $c = 0$ merupakan suatu lingkaran satuan. Untuk membuat fraktal himpunan Julia, langkah awal harus ditentukan nilai parameter c , yang bagian real dan imajinernya dalam interval tutup $[-2,2]$. Jika diubah nilai parameter c dari daerah himpunan Julia pada fungsi $f(z)=z^2+c$ dengan $c = -0.2 + 0.7i$, dan ambil enam titik $(x + iy)$, antara lain:

- titik 1 = (1.00, 0.00), titik 2 = (0.50, 0.25)
- titik 3 = (0.00, 0.88), titik 4 = (0.000, 0.000)
- titik 5 = (0.500, -0.250), titik 6 = (-0.250, 0.50)

Dengan melakukan sebanyak n iterasi pada masing-masing titik, maka hasil iterasi tersebut akan membentuk orbit dari titik itu sendiri dan orbit-orbit itulah yang akan memperlihatkan motif-motif fraktal pada himpunan Julia. Berikut hasil perhitungan tiap-tiap orbit pada masing-masing titik.

Orbit 1:

$$z_0 = 1 + 0i,$$

$$z_1 = z_0^2 + c = (1 + 0i)^2 + (-0.2 + 0.7i) = 0.80 + 0.7i$$

$$z_2 = z_1^2 + c = (0.80 + 0.7i)^2 + (-0.2 + 0.7i) = -0.05 + 1.82i$$

$$z_3 = z_2^2 + c = (-0.05 + 1.82i)^2 + (-0.2 + 0.7i) = -3.2099 + 0.182i$$

⋮

tak terhingga

Orbit 2:

$$z_0 = 0.50 + 0.25i,$$

$$z_1 = z_0^2 + c = (0.50 + 0.25i)^2 + (-0.2 + 0.7i) = -0.17265625 + 0.793750i$$

$$z_2 = z_1^2 + c = (-0.17265625 + 0.793750i)^2 + (-0.2 + 0.7i) = -0,7942 + 0.2733i$$

$$z_3 = z_2^2 + c = (-0,7942 + 0.2733i)^2 + (-0.2 + 0.7i) = 0,3561 + 0.2659i$$

terbatas menuju orbit 0

Orbit 3:

$$z_0 = 0.00 + 0.88i,$$

$$z_1 = z_0^2 + c = (0.00 + 0.88i)^2 + (-0.2 + 0.7i) = 0.9744 + 0.7i$$

$$z_2 = z_1^2 + c = (0.9744 + 0.7i)^2 + (-0.2 + 0.7i) = 0.2594 - 0.66416i$$

$$z_3 = z_2^2 + c = (0.2594 - 0.66416i)^2 + (-0.2 + 0.7i) = -0.57382 + 0.4446i$$

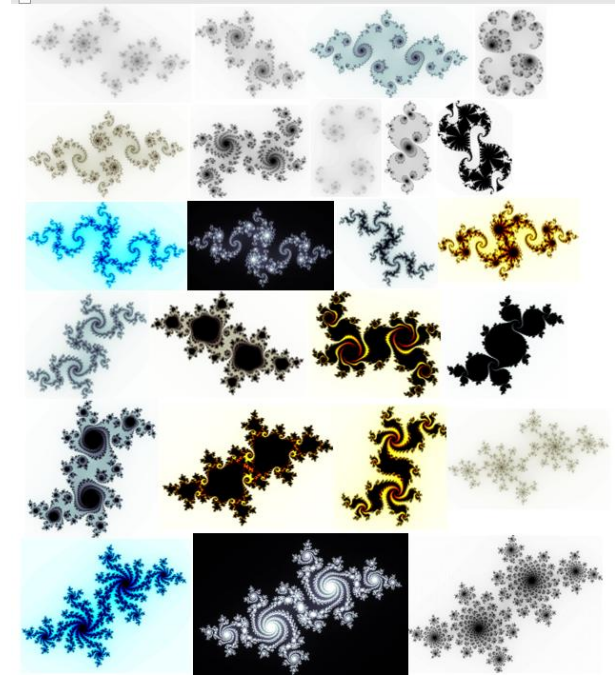
terbatas menuju orbit 0

Dapat disimpulkan bahwa orbit 1 tak terhingga dan orbit ini menuju tak terbatas, sedangkan orbit 2 dan 3 terbatas (*bounded*) menuju orbit 0. Proses perhitungan orbit pada titik 4 sampai 6 sama dengan perhitungan pada orbit 1 sampai 3. Jika digambarkan dalam bentuk fraktal himpunan Julia seperti pada gambar (1).

Selanjutnya melakukan modifikasi pada persamaan $f_a(z) = z^2 + c$. z merupakan sebuah variabel dimana z tersebut merupakan bagian bilangan kompleks yang berupa $x + yi$, dimana $x, y \in R$, sedangkan c merupakan sebuah parameter konstanta, khususnya pada bilangan kompleksnya untuk mendapatkan model visualisasi dari Julia set yang berbeda. (Gambaranya dapat dilihat pada hasil *running* program Matlab).

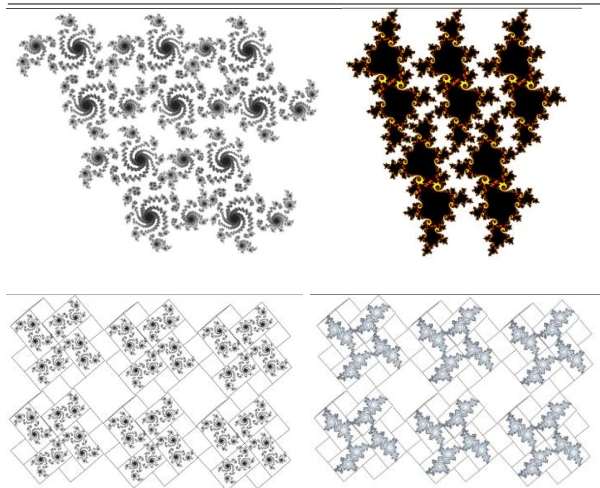
Pola Gambar Hasil Pembangkitan Fractal Julia

Hasil running program fractal Julia menghasilkan 24 bentuk fractal seperti yang bisa dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Modifikasi fraktal Julia

Bentuk fraktal yang dihasilkan tersebut dapat kemudian dimodifikasi dengan eksplorasi bentuk arsitektural, dengan penggabungan dengan geometri dan repetisi. Hasil penggabungan antara lain dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Modifikasi fraktal Julia dengan pola geometri dan repetisi

Hasil running fraktal yang dihasilkan melalui pembangkitan Julia set dan pola Sierpinski memperlihatkan keragaman bentuk yang kaya, kompleks, dan memiliki potensi visual tinggi untuk dikembangkan sebagai ornamentasi arsitektur. Pada gambar pertama, variasi Julia set menunjukkan struktur bercabang, spiral, dan konfigurasi radial yang menyerupai pola floral atau motif arabesque. Pola-pola tersebut memperlihatkan karakteristik utama fraktal yaitu self-similarity, ritme pengulangan, serta kompleksitas terstruktur yang muncul dari proses matematis sederhana namun berulang.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Chen dan Zhang (2023) yang menunjukkan bahwa Julia set efektif digunakan untuk menghasilkan pola dekoratif baru yang memiliki kedekatan visual dengan motif tradisional. Dalam konteks seni Islam, Tercan (2023) menegaskan bahwa pola fraktal dapat memengaruhi persepsi keteraturan, yang juga tampak pada bentuk-bentuk berulang hasil running fraktal dalam penelitian ini. Selain itu, pola bercabang yang menyerupai bentuk organik menguatkan temuan Ibrahim et al. (2021), yang menyatakan bahwa fraktal dapat menjadi sumber inovasi desain interior, terutama untuk menghasilkan formasi geometri yang kompleks dan ornamental.

Kedekatan bentuk fraktal dengan ornamen tradisional juga tampak dalam pola yang menyerupai struktur florasi dan motif ukiran. Aisyah et al. (2023) menunjukkan bahwa analisis fraktal dapat menjelaskan estetika fasad tradisional Bali, sementara Alghar dan Marhayati (2023) menggunakan fraktal dalam mengkaji ornamen masjid melalui sistem L--system. Pola hasil running fraktal dalam penelitian ini memperlihatkan kesesuaian dengan karakteristik ornamen tradisional tersebut, sekaligus menawarkan potensi penciptaan bentuk baru melalui manipulasi parameter matematis.

Pada gambar kedua, hasil Julia set yang disusun secara repetitif melalui rotasi, translasi, dan tessellation menghasilkan komposisi geometris yang menyerupai pola modul arsitektur. Keberulangan struktur fraktal dalam bentuk grid ini berkaitan erat dengan penelitian Katona (2023) yang menunjukkan

bahwa fasad klasik dan Renaisans memiliki aturan komposisi tersembunyi yang dapat dijelaskan melalui prinsip fraktal. Temuan ini juga diperkuat oleh Lee dan Ostwald (2021), yang membuktikan bahwa repetisi pola fraktal berpengaruh terhadap persepsi keteraturan fasad bangunan. Dengan demikian, pendekatan repetisi fraktal dalam penelitian ini menunjukkan potensi besar sebagai dasar pembentukan ornamentasi modular dalam arsitektur kontemporer.

Selain kesesuaian dengan pola tradisional, hasil fraktal dalam penelitian ini menunjukkan potensi rekayasa desain untuk kebutuhan modern. Beberapa pola Julia set memiliki struktur rapat dengan sela-sela kecil yang memungkinkan penerapan sebagai secondary skin, mashrabiya, panel dekoratif, ataupun shading device. Penelitian Attia (2020) telah menunjukkan bagaimana fraktal biomimetik dapat dimanfaatkan untuk optimasi pencahayaan alami, sementara Suh et al. (Suh et al., 2024) menegaskan bahwa geometri fraktal berpengaruh pada kenyamanan perseptual dalam interior. Hasil fraktal dalam penelitian ini memperlihatkan kesiapan untuk dikembangkan sebagai elemen arsitektur baik dalam aspek estetika maupun fungsi.

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, kontribusi utama penelitian ini terletak pada sifatnya yang generatif. Tidak seperti penelitian yang lebih banyak menggunakan fraktal untuk analisis visual atau rekonstruksi pola tradisional (Rini, 2024; Okuyucu & Bastas, 2023), penelitian ini menghasilkan 24 pola Julia set yang dapat langsung digunakan sebagai basis ornamentasi baru. Selain itu, komposisi repetitif yang ditampilkan pada hasil eksplorasi memberikan kebaruan dalam memadukan fraktal dengan logika modul arsitektur modern, sebuah pendekatan yang belum banyak dibahas dalam literatur.

Penelitian ini memberikan sejumlah implikasi penting bagi pengembangan desain arsitektur:

1. Pengembangan Ornamentasi Generatif
Pola fraktal dapat menjadi basis pembentukan ornamentasi baru yang tidak hanya estetik tetapi juga matematis terstruktur, mendukung proses desain digital dan fabrikasi CNC.
2. Aplikasi pada Fasad dan Secondary Skin
Beberapa pola fraktal memiliki karakter perforasi yang cocok diterapkan sebagai panel fasad untuk pengendalian panas dan cahaya.
3. Penerapan dalam Interior
Pola hasil fraktal dapat dikembangkan untuk elemen interior seperti panel akustik, dinding partisi, dan dekorasi plafon yang kaya secara visual.
4. Relevansi dengan Arsitektur Vernakular Modern

Fraktal dapat menghubungkan pola tradisional dengan pendekatan modern melalui transformasi bentuk yang tetap mempertahankan ritme dan harmoni visual.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa metode fraktal, khususnya Julia set dan pola Sierpinski, memiliki potensi besar dalam eksplorasi bentuk ornamentasi arsitektur. Hasil running fraktal menghasilkan beragam pola dengan karakter spiral, cabang, dan geometri repetitif yang dapat dikembangkan menjadi ornamentasi baru pada interior, fasad, maupun elemen shading. Temuan ini menguatkan bukti penelitian terdahulu mengenai peran fraktal dalam analisis estetika dan struktur arsitektur, sekaligus memberikan kebaruan dengan menawarkan pola generatif yang siap diterapkan dalam desain kontemporer. Dengan demikian, fraktal dapat menjadi pendekatan desain yang adaptif, inovatif, dan relevan dalam pengembangan ornamentasi arsitektur modern.

Beberapa keterbatasan dalam penelitian ini antara lain pola yang dihasilkan belum dikaji secara kuantitatif melalui analisis dimensi fraktal seperti pada penelitian Dawes et al. (2023) atau Katona (2023), dan belum dilakukan uji persepsi pengguna, sehingga dampak pola fraktal terhadap kenyamanan visual masih bersifat asumptif berdasarkan literatur. Selain itu juga belum dilakukan simulasi performa, terutama untuk penerapan sebagai shading device atau panel fasad. Penelitian ini menggunakan dua jenis fraktal utama (Julia dan Sierpinski); tipe fraktal lain seperti Mandelbrot atau L-system masih berpotensi dieksplorasi lebih jauh.

Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan melalui beberapa jalur berikut, antara lain analisis dimensi fractal, yaitu mengukur tingkat kompleksitas pattern yang dihasilkan untuk mendapatkan relasi numerik dengan persepsi estetika dan keteraturan. Selain itu bisa diarahkan ke penelitian eksperimen persepsi dan estetika dengan melakukan uji respon pengguna terhadap pola fraktal untuk menilai kenyamanan visual, preferensi, dan dampak psikologis. Integrasi dengan simulasi kinerja fasad juga bisa dilakukan untuk menguji performa pola fraktal ketika diterapkan sebagai shading device menggunakan simulasi pencahayaan dan panas. Perlu juga melakukan eksplorasi fraktal lain untuk mengembangkan pola dari Mandelbrot set, L-system, ataupun fraktal biomimetik untuk menghasilkan varian ornamentasi baru. Juga implementasi Prototipe Fisik untuk menguji pola fraktal melalui fabrikasi digital (CNC, laser cutting, 3D printing) untuk menilai kelayakan teknis dan visual.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada LP2M UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan pendanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Aisyah, K. S., Noerwasito, V. T., & Novianto, D. (2023). Implementing Fractal to Define Balinese Traditional Architectural Facade Beauty: The Kori Agung. *DIMENSI (Journal of Architecture and Built Environment)*, 50(2), 111–126. <https://doi.org/10.9744/dimensi.50.2.111-126>

- Alghar, M. Z., & Marhayati, M. (2023). Ethnomathematics: Exploration of Fractal Geometry in Gate Ornaments of the Sumenep Jamik Mosque Using the Lindenmayer System. *Indonesian Journal of Science and Mathematics Education*, 6(3), 311. <https://doi.org/10.24042/ijsme.v6i3.18219>
- Attia, D. (2020). A Sustainable Biomimetic Fractal Design Method to Illuminate the Interior Environment of a Single-Floor Building. *The International Journal of Architectonic, Spatial, and Environmental Design*, 15(1), 19–33. <https://doi.org/10.18848/2325-1662/CGP/v15i01/19-33>
- Chen, J., & Zhang, Y. (2023). A Study of the Fractal Design of Decorative Patterns in Chaoshan Drawnwork: An Illustration of the Julia Set. *Proceedings of the 16th International Symposium on Visual Information Communication and Interaction*, 1–9. <https://doi.org/10.1145/3615522.3615558>
- Dawes, M., Ostwald, M., & Lee, J. (2023). The Mathematics of 'Natural Beauty' in the Architecture of Andrea Palladio and Le Corbusier: An Analysis of Colin Rowe's Theory of Formal Complexity Using Fractal Dimensions. *Fractal and Fractional*, 7(2), 139. <https://doi.org/10.3390/fractalfract7020139>
- Ghosh, S., Basu, A., Paul, S., Chanda, B., & Das, S. (2023). *On Regenerative and Discriminative Learning from Digital Heritages: A Fractal Dimension Based Approach* (pp. 405–417). https://doi.org/10.1007/978-981-99-3250-4_31
- Ibrahim, O., Kamel, A., & Khamis, E. (2021). Fractal Geometry as a Source of Innovative Formations in Interior Design. *Journal of Design Sciences and Applied Arts*, 2(2), 67–87. <https://doi.org/10.21608/jdsaa.2021.42275.1075>
- Katona, V. (2023). The Hidden Dimension of Façades: Fractal Analysis Reveals Composition Rules in Classical and Renaissance Architecture. *Fractal and Fractional*, 7(3), 257. <https://doi.org/10.3390/fractalfract7030257>
- Lee, J. H., & Ostwald, M. J. (2021). Fractal Dimension Calculation and Visual Attention Simulation: Assessing the Visual Character of an Architectural Façade. *Buildings*, 11(4), 163. <https://doi.org/10.3390/buildings11040163>
- Mayatskaya, I., Yazyeva, S., Gatiev, M., Kuznetsov, V., Klyuev, S., & Sabitov, L. (2024). *Application of Fractal Methods in the Design of Modern Structures* (pp. 414–422). https://doi.org/10.1007/978-3-031-44432-6_49
- Okuyucu, Ş. E., & Baştaş, M. S. (2023). Analysis based on fractal geometry of traditional housing facades: Afyonkarahisar traditional housing facade examples, Turkey. *Applied Nanoscience*, 13(3), 2489–2505. <https://doi.org/10.1007/s13204-021-02226-3>
- Patuano, A., & Lima, M. F. (2021). The fractal dimension of Islamic and Persian four-folding gardens. *Humanities and Social Sciences Communications*, 8(1), 86. <https://doi.org/10.1057/s41599-021-00766-1>
- Rini, J. A. (2024). A Fractal Dimensional Analysis of Vernacular House Façades in Indonesia: Rumah Gadang and Uma. *Journal of Architectural Research and Design Studies*, 8(1). <https://doi.org/10.20885/jars.vol8.iss1.art6>
- Suh, J., Stalker, W., Pedersen, S., & Harel, A. (2024). Three-Dimensionalization Mediates the Subjective Experience of Fractal Interior Spaces. *Architecture*, 4(3), 651–667. <https://doi.org/10.3390/architecture4030034>

- Tercan, N. (2023). Fractal Dimension and Perception of Order in Islamic Art. In *Conservation of Urban and Architectural Heritage - Past, Present and Future*. IntechOpen.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.109432>
- YILDIZ, A., & DİNÇ KALAYCI, P. (2022). Fractal Change Of Facades Of High-Rise Buildings According To Architectural Periods. *International Refereed Journal Of Design And Architecture*, 26, 220–243.
<https://doi.org/10.17365/TMD.2022.TURKEY.26.09>