ANALISIS FRAKTAL PADA ORNAMEN MASJID AL JABBAR JAWA BARAT MENGGUNAKAN *PYTHON*

SKRIPSI

OLEH
AHMAD ZAIDAN AVEROUZ
NIM. 220601110045

PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025

ANALISIS FRAKTAL PADA ORNAMEN MASJID AL JABBAR JAWA BARAT MENGGUNAKAN *PYTHON*

SKRIPSI

Diajukan Kepada
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)

Oleh
Ahmad Zaidan Averouz
NIM. 220601110045

PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025

ANALISIS FRAKTAL PADA
ORNAMEN MASJID AL JABBAR JAWA BARAT
MENGGUNAKAN *PYTHON*

SKRIPSI

Oleh
Ahmad Zaidan Averouz
NIM. 220601110045

Telah Disetujui Untuk Diuji

Malang, 15 Desember 2025

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Dr. Elly Susanti, S.Pd., M.Sc.	Abdul Aziz, M.Si.
NIP. 19741129 200012 2 005	NIP. 19760318 200604 1 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika

Dr. Fachrur Rozi, M.Si.
NIP. 19800527 200801 1 012

ANALISIS FRAKTAL PADA ORNAMEN MASJID AL JABBAR JAWA BARAT MENGGUNAKAN *PYTHON*

SKRIPSI

Oleh
Ahmad Zaidan Averouz
NIM. 220601110045

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima sebagai Salah satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)

Tanggal 23 Desember 2025

Ketua Penguji	: Dr. Hairur Rahman, M.Si.	....
Anggota Penguji 1	: Dian Maharani, M.Si.	....
Anggota Penguji 2	: Dr. Elly Susanti, M.Sc.	....
Anggota Penguji 3	: Abdul Aziz, M.Si.	....

Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika

Dr. Fachrur Rozi, M.Si.
NIP. 19800527 200801 1 012

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Ahmad Zaidan Averouz
NIM	: 220601110045
Program Studi	: Matematika
Fakultas	: Sains dan Teknologi
Judul Skripsi	: Analisis Fraktal pada Ornamen Masjid Al Jabbar Jawa Barat Menggunakan *Python*

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini merupakan hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 23 Desember 2025

Yang membuat pernyataan,

Ahmad Zaidan Averouz

NIM. 220601110045

MOTO

“Ketika dunia menekanmu, berhentilah sejenak dan bernapaslah. Beristirahatlah, tetapi ingatlah untuk bangkit dan melangkah maju kembali.”

PERSEMBAHAN

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dan menuntaskan penulisan skripsi ini. Skripsi ini penulis persembahkan dengan penuh rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Elly Susanti, M.Sc., Bapak Abdul Aziz, M.Si., Bapak Dr. Hairur Rahman, M.Si., dan Ibu Dian Maharani, M.Si., yang telah menjadi panutan dan inspirasi penulis yang senantiasa memberikan motivasi, dorongan, dan dukungan tanpa henti sehingga penulis dapat menyelesaikan program studi dengan baik.
2. Kedua orang tua tercinta, Bapak Dwi Yudhi Ginanto Rahman dan Wiwien Widyaningsih, yang telah memberikan kasih sayang, doa, serta perjuangan tiada lelah agar penulis mampu mengejar pendidikan setinggi-tingginya. Terima kasih atas keteladanan, kerja keras, dan pengorbanan yang tak ternilai selama ini.
3. Seluruh keluarga, sahabat, dan dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, bantuan, serta semangat yang berarti dalam proses penyusunan skripsi ini.
4. Serta kepada diri saya sendiri yang telah gigih dan berusaha semaksimal mungkin untuk bisa menyelesaikan skripsi ini sebaik mungkin, walaupun dihadapkan dengan banyak tantangan dan rintangan selama pengerjaan.

KATA PENGANTAR

Assalaamu'alaikum Warahmatullaahi Wabarakaatuh

Segala puji bagi Allah *Subhanahu wa ta'aala* atas rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Analisis Fraktal pada Ornamen Masjid Al-Jabbar Jawa Barat Menggunakan *Python*". Shalawat serta salam tercurahkan kepada junjungan Nabi kita Nabi Muhammad *Shallallahu 'alaihi wa sallam* yang telah membawa umat manusia dari zaman kegelapan menuju zaman yang terang benderang yaitu agama Islam. Harapan penulis semoga kita tergolong sebagai orang-orang yang mendapatkan syafaat kelak pada hari kiamat, *Aamiin*.

Dalam penyelesaian skripsi berjudul "Analisis Fraktal pada Ornamen Masjid Al-Jabbar Jawa Barat Menggunakan *Python*" ini tidak dapat lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang ditujukan:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
2. Dr. Agus Mulyono, M.Kes, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
3. Dr. Fachrur Rozi, M.Si, selaku Ketua Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
4. Dr. Elly Susanti, S.Pd., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktunya serta memberikan bimbingan, nasihat, serta motivasi kepada penulis.
5. Abdul Aziz, M.Si., selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya serta memberikan bimbingan, nasihat, serta motivasi kepada penulis.
6. Seluruh Dosen Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim
7. Dwi Yudhi Ginanto Rahman dan Wiwien Widyaningsih, selaku orang tua tercinta yang telah memberikan dukungan terbesar pada penulis.
8. Seluruh mahasiswa angkatan 2022

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca khususnya mahasiswa Program Studi Matematika.

Wassalaamu'alaikum Warahmatullaahi Wabarakaatuh

Malang, 23 Desember 2025

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

ABSTRAK

Averouz, Ahmad Zaidan. 2025. Analisis Fraktal pada Ornamen Masjid Al-Jabbar Jawa Barat Menggunkan *Python.* Skripsi. Mathematics Study Program, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. Elly Susanti, M.Sc. (II) Abdul Aziz, M.Si

Kata Kunci: Fraktal, Transformasi Geometri, *Python*

Pola dan ornamen geometris sering dianggap sekadar elemen estetis dalam seni dan arsitektur tradisional, namun sebenarnya banyak di antaranya mengandung struktur matematis yang dalam. Fraktal sebagai bentuk geometri yang berulang dalam skala berbeda telah ditemukan secara tidak langsung dalam karya seni budaya, jauh sebelum konsep tersebut diformalkan secara ilmiah. Penelitian ini didukung oleh teori *self-similarity*, *iterated function system* (IFS), dan dimensi fraktal sebagai dasar analisis bentuk-bentuk geometris berulang. Studi literatur dan visual dilakukan pada bentuk-bentuk seperti Sierpinski *n*-gon, pola bintang, dan ornamen ukiran yang menunjukkan struktur berlapis secara hierarkis. Hasil analisis menunjukkan bahwa motif budaya tidak hanya bersifat dekoratif, tetapi juga memuat prinsip matematika yang kuat dan terstruktur. Geometri fraktal berperan penting dalam menjembatani antara sains dan seni, serta membuka ruang eksplorasi untuk desain kontemporer berbasis teori matematika.
.

ABSTRACT

Averouz, Ahmad Zaidan. 2025. Fractal Analysis of Al-Jabbar Mosque West Jawa Ornaments Using Python. Thesis. Mathematics Study Program, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisors: (I) Dr. Elly Susanti, M.Sc. (II) Abdul Aziz, M.Si

Keyword: Fractal, Geometry Transformation, Python

This study investigates the application of fractal geometry to ornamental patterns in Al-Jabbar Mosque (West Java) through analysis and reconstruction using Python. The research aims to identify and classify the ornaments based on geometric structure, self-similarity, symmetry, and the number of iterations underlying their formation. A descriptive qualitative approach is employed, combining direct observation of the ornaments, literature review, and qualitative pattern categorization. Three main ornaments are examined: a star-based motif from the ablution area, a pool-floor motif featuring a flower-like form inside an octagonal arrangement, and a wall motif near the shoe-storage area characterized by an irregular quadrilateral/kite-based pattern. The reconstruction formulates each ornament's initial shape and applies an Iterated Function System (IFS/SFI) to generate fractal-like structures: the star motif is modeled using contractive mappings that place scaled copies at specified points, the flower motif is defined via a polar formulation and iteratively contracted toward a fixed center, and the kite motif is constructed by defining the kite vertices and arranging copies through rotational replication. The results indicate that all three ornaments exhibit consistent fractal characteristics, can be reproduced mathematically, and can be effectively visualized using Python.

مستخلص

التحليل الكسري لزخارف مسجد الجبّار في جاوى الغربية .أفروز، أحمد زيدان. ٢٠٢٥ برقسم الرياضيات، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة .البحث العلمى .**باستخدام بايثون** مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانغ. المشرفون: (١) د. إيلي سوسانتي، .الماجستيرة. (٢) عبد العزيز، ماجستير

الكلمات المفتاحية : الكسيريات، التحويلات الهندسية، بايثون

تتناول هذه الدراسة تطبيق مفاهيم الهندسة الكسرية (الفراكتال) على الزخارف الموجودة في مسجد الجبّار (جوى تتناولت) من خلال تحليل الأنماط وإعادة بنائها باستخدام لغة بايثون. هدفت هوه الدراسة إلى تحديد الزخارف وتصنيفها اعتمادًا على البنية الهندسية، وخاصية التشابه الذاتي(، والتماثل، وعدد التكرارات التي تُنتج النمط. وقد استُخدم المنهج الوصفي النوعي عبر الملاحظة المباشرة للزخارف، ومراجعة الأدبيات، ثم تنظيم النتائج في فئات وأنماط ذات دلالة. وتم تحليل ثلاث زخارف رئيسية: زخرفة نجمية في منطقة الوضوء، وزخرفة أرضية البركة التي تتضمن شكلًا زهريًا داخل ترتيب مثمّن، وزخرفة جدارية قرب منطقة حفظ الأحذية تقوم على شكل رباعي غير منتظم/طائرة ورقية. كما أُنجزت عملية إعادة البناء بصياغة الشكل الابتدائي لكل زخرفة وتطبيق نظام الدوال التكرارية لتوليد البنى الكسرية؛ إذ نُمذجت الزخرفة النجمية باستخدام تحويلات انكماشية تضع نسخًا مصغّرة في نقاط محددة، في حين صيغت الزخرفة الزهرية عبر تمثيل قطبي مع انكماش تكراري نحو مركز ثابت، أما زخرفة الطائرة الورقية فتم بناؤها بتحديد رؤوس الشكل وتكراره دورانيًا. وتُظهر النتائج أن الزخارف الثلاث تمتلك خصائص كسرية متسقة، ويمكن إعادة إنتاجها رياضيًا وتمثيلها بصريًا بصورة فعّالة باستخدام بايثون.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Budaya adalah komponen penting dalam hidup manusia. Budaya tidak hanya terdiri dari hal-hal yang tampak secara fisik, seperti bahasa, pakaian, makanan, dan kebiasaan, tetapi juga termasuk norma, nilai, dan keyakinan yang berfungsi sebagai dasar bagi kehidupan masyarakat. Dalam memahami kehidupan dan menempatkan diri mereka di dalamnya, budaya berfungsi sebagai referensi yang memberi makna bagi individu dan kelompok (Febrian dkk., 2025). Menurut Wadiyo (2006), seni adalah alat yang diciptakan oleh manusia untuk mengekspresikan budaya mereka dan juga memiliki kemampuan untuk memicu interaksi sosial

Matematika dan budaya biasanya dianggap sebagai hal yang bertentangan karena keduanya adalah ilmu eksak. Namun, keduanya saling memengaruhi dan berhubungan. Aktivitas budaya seperti batik, arsitektur rumah adat, sistem ukur tradisional, dan pembagian lahan pertanian adalah sumber banyak konsep matematika yang sebenarnya. Sebaliknya, matematika membantu memahami, mempertahankan, dan mengembangkan budaya. Misalnya, matematika menganalisis simetri dalam batik atau proporsi dalam bangunan tradisional (Rahma & Ambarawati, 2025).

Menurut penelitian yang dilakukan pada Masjid Sultan Hassan di Kairo oleh Attia (2020), pola fraktal terlihat pada berbagai elemen arsitektural, seperti fasad, portal, menara, mihrab, mimbar, dan kubah, yang semuanya menampilkan prinsip keteraturan kompleks dan kesamaan. Pola *arabesque* dapat terus dikembangkan di era modern melalui inovasi desain berbasis komputer tanpa kehilangan esensi filosofisnya. Ini menunjukkan bahwa fraktal masih relevan sebagai jembatan antara tradisi estetika Islam, sains, dan kebutuhan desain modern. Penelitian tersebut secara langsung menujukkan pengaplikasian konsep fraktal matematika pada masjid (Attia, 2020).

Istilah fraktal pertama kali dicetuskan oleh Mandelbrot, disebut sebagai geometri fraktal dalam bukunya "*The fractal geometry of nature"* pada tahun 1977. Penemuan geometri baru ini dapat menjelaskan bentuk-bentuk indah tak beraturan yang dapat ditemukan di alam seperti pada formasi awan, pola petir, dan garis pantai. Geometri fraktal berdasar pada penggunaan prinsip perulangan atau repetisi pada bentuk geometri sehingga bentuk tersebut dapat mereproduksi dirinya saat objek tersebut diperbesar (Widodo, 2019). Secara matematis, fraktal diartikan sebagai suatu struktur yang berisikan potongan-potongan yang berbentuk mirip dengan bentuk aslinya. Berdasarkan definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa fraktal memiliki sifat yang istimewa. Suatu fraktal akan terlihat memiliki bentuk yang sama, tanpa memperdulikan pada skala apa fraktal tersebut diamati (Juraev dkk., 2024).

Sifat struktur fraktal yang terlihat mirip pada berbagai skala pembesaran yang dimiliki oleh bentuk fraktal disebut sifat *self-similar*. Sifat repetitif ini menjadikan fraktal tidak hanya menarik secara visual, tetapi juga memiliki aplikasi luas. Berdasarkan klasifikasinya, bentuk fraktal bisa dikategorikan ke dalam beberapa tipe. Beberapa contoh bentuk fraktal yaitu, himpunan Cantor, segitiga *Sierpinski*, karpet *Sierpinski*, kurva *Koch*, (Falconer, 1990).

Himpunan *Cantor* adalah salah satu contoh fraktal paling awal yang diperkenalkan oleh Georg Cantor pada tahun 1883. Proses pembentukannya dilakukan dengan cara menghapus bagian tengah dari sebuah interval dan mengulangi langkah tersebut secara tak terbatas, sehingga menghasilkan himpunan titik tak terhingga dengan sifat self-similarity. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Nagaraj, 2019), himpunan *Cantor* digunakan untuk mendeteksi *error* pada jaringan komputer dan sistem komunikasi.

Segitiga *Sierpinski*, diperkenalkan oleh Wacław Sierpiński pada tahun 1915, adalah fraktal yang dibentuk dengan cara menghilangkan segitiga tengah dari sebuah segitiga sama sisi, kemudian mengulangi proses yang sama pada segitiga-segitiga yang tersisa. Hasilnya adalah pola dengan simetri tinggi yang menunjukkan self-similarity sempurna. Segitiga ini memiliki dimensi fraktal sekitar 1.585, lebih tinggi dari garis tetapi lebih rendah dari bidang penuh, menjadikannya contoh penting dalam memahami konsep dimensi non-bilangan bulat dalam geometri fraktal. Penggunaan fraktal segitiga *Sierpinski* pernah diimplementasikan pada penelitian terkait pic *microcontroller* yang menguji kemampuan *microcontroller* dalam melakukan iterasi besar dan menangani *random number generation* (Filobello-Nino dkk., 2022) dan juga diterapkan untuk mengembangkan pola batik baru (Roi'fah, 2022).

Karpet Sierpinski adalah generalisasi dua dimensi dari segitiga Sierpinski yang juga diperkenalkan oleh Wacław Sierpiński. Pola ini dibentuk dengan membagi sebuah bujur sangkar menjadi sembilan bagian kecil, lalu menghilangkan bagian tengah, dan mengulanginya secara rekursif pada bujur sangkar yang tersisa. Struktur ini sering digunakan dalam kajian matematika, fisika, dan komputer untuk mempelajari sistem dengan perilaku skala. Karpet Sierpinski memiliki dimensi fraktal sekitar 1.8928, yang mencerminkan kompleksitasnya lebih tinggi daripada segitiga Sierpinski. Karpet Sierpinski dapat digunakan untuk merancang antena dengan profil rendah, *gain* yang lebih besar, kompak, dan multiband (Rani dkk., 2011) dan juga membuat desain batik 3D (Kediangan dkk., 2024).

Kurva Koch, atau Koch *snowflake*, diperkenalkan oleh Helge von Koch pada tahun 1904. Proses pembentukannya dimulai dari sebuah segmen garis yang dibagi menjadi tiga bagian sama panjang, lalu bagian tengahnya diganti dengan dua sisi segitiga sama sisi, dan diulang tanpa batas. Kurva ini menghasilkan bentuk yang memiliki panjang tak terhingga tetapi luas yang terbatas, sehingga menjadi contoh klasik dari paradoks geometri fraktal. Dimensi fraktal kurva Koch adalah $\log(4)/\log(3) \approx 1.262$, yang menempatkannya di antara garis dan bidang. Penelitian terdahulu terhadap implementasi kurva Koch menyatakan bahwa kurva Koch dapat digunakan sebagai dasar algoritma iteratif untuk membangkitkan jalur cetak (*toolpath*) yang efisien dan diimplementasikan pada ornamen masjid (Alghar, 2023).

Penelitian tentang penjubinan atau tiling telah lama menjadi bagian penting dalam matematika, membantu memahami pola geometri yang rumit dan aplikasinya di bidang seperti teori grup atau sistem yang berubah-ubah. Salah satu inovasi terbaru adalah *fractal tilings*, atau *f-tilings,* yang tidak hanya menutupi permukaan tanpa celah atau tumpang tindih, tapi juga memiliki kemiripan diri sendiri dan batas yang berbentuk fraktal. Dalam makalahnya tahun 2018, Ouyang dan tim mengembangkan cara sistematis untuk membuat f-tilings ini lewat aturan substitusi bertahap berdasarkan hubungan antara ubin tetangga, yang melibatkan pembagian ulang secara rekursif. Mereka menunjukkan hasilnya melalui contoh tiling Penrose jenis P2 dan P3, menghasilkan pola fraktal yang indah dan simetris (Ouyang dkk., 2018).

Selain pendekatan berbasis penjubinan seperti pada tiling Penrose, konstruksi fraktal juga dapat dihasilkan melalui metode *Iterated Function System* (IFS), seperti yang ditunjukkan dalam pengembangan *Sierpinski n-gons.* Dalam pendekatan ini, fraktal dibentuk dengan memulai dari sebuah poligon beraturan (*regular n-gon*) dan menghasilkan salinan berskala dari poligon tersebut, yang disusun secara simetris ke dalam bentuk awal. Setiap salinan memiliki faktor skala tertentu r_n yang tergantung pada jumlah sisi poligon dan dihitung agar seluruh salinan dapat mengisi poligon asli secara tepat tanpa tumpang tindih. Proses ini dilakukan secara rekursif, sehingga menghasilkan pola fraktal yang menunjukkan kemiripan diri pada setiap tingkat iterasi (Schlicker & Dennis, 1995).

Dalam perkembangan geometri modern dan seni Islam, fraktal memainkan peran penting sebagai penghubung antara struktur matematis dan ekspresi visual. Artikel ini mengkaji hubungan antara konsep fraktal dengan seni geometri Islam, khususnya dalam konteks dekoratif arsitektur tradisional. Penelitian menunjukkan bahwa motif-motif Islam yang kompleks, seperti bintang bersudut banyak, pola roset, dan bentuk interlaced, ternyata mencerminkan prinsip-prinsip fraktal seperti *self-similarity* dan iterasi skala. Analisis dilakukan terhadap berbagai elemen seni arsitektur dari dunia Islam, termasuk ubin-ubin dekoratif pada masjid dan bangunan bersejarah, yang menunjukkan adanya keteraturan geometri non-Euclidean dan pendekatan algoritmik dalam proses desainnya (Attia, 2020).

Studi terhadap konsep matematika dan implikasinya sebagai karya seni ini memanfaatkan masjid sebagai objek pengamatan, masjid yang akan diamati dan dikategorikan pada penelitian ini adalah Masjid Al-Jabbar yang berada di Bandung, Jawa Barat. Secara sekilas bentuk fasad Masjid Al-Jabbar menyerupai segitiga Sierpinski dengan bagian putihnya yang terlihat sebagai “sisi” segitiga dan jendela berwarna hijau terlihat seperti bagian kosong berbentuk segitiga sama sisi yang terbalik pada segitiga Sierpinski.

Gambar 1.1 Masjid Al-Jabbar (kiri) Interior Masjid Al-Jabbar (kanan)
Sumber: (Apriliani, 2023)

Gambar 1.2 Fasad Masjid Al-Jabbar (kiri) Fraktal segitiga Sierpinski (kanan)

Selanjutnya untuk membangkitkan bentuk dan pola pada ornamen, maka dibutuhkan aplikasi bantuan bahasa pemrograman Python. Bahasa pemrogaman Python ini digunakan untuk membuat program yang mampu membantu membuat bentuk dan pola. Karena Python besifat *Open Source*, bahasa pemrograman ini dapat dikembangkan oleh siapa saja dan digunakan tanpa lisensi. Python dibuat untuk membuat programer lebih cepat dalam hal efisiensi waktu, pengembangan program, dan kompatibilitas sistem. Selain itu, Python adalah platform multiplatform yang banyak digunakan dalam aplikasi teknologi saat ini dan mendatang. Keunggulan dari bahasa pemrograman *python* ada pada library yang sesuai dengan kebutuhan program, seperti *Numpy, Matplotlib, Open CV*, dan sebagainya (Harismawan, dkk., 2018).

Kajian fraktal pada ornamen Masjid Al-Jabbar dapat diintegrasikan dengan perspektif Islam melalui pemahaman bahwa seni arsitektur masjid tidak hanya berfungsi sebagai elemen estetika, tetapi juga mencerminkan nilai-nilai keislaman yang bersumber dari Al-Qur'an dan Hadits. Dalam ajaran Islam, Allah ﷻ menegaskan keindahan dan keteraturan ciptaan-Nya, sebagaimana ditegaskan dalam QS. Al-Mulk ayat 3–4, yang artinya adalah (Kemenag, 2022):

Artinya: *"(Dia juga) yang menciptakan tujuh langit berlapis-lapis. Kamu tidak akan melihat pada ciptaan Tuhan Yang Maha Pengasih ketidakseimbangan sedikit pun. Maka, lihatlah sekali lagi! Adakah kamu melihat suatu cela? Kemudian, lihatlah sekali lagi (dan) sekali lagi (untuk mencari cela dalam ciptaan Allah), niscaya pandanganmu akan kembali kepadamu dengan kecewa dan dalam keadaan letih (karena tidak menemukannya)"*. (QS. Al-Mulk: 3-4)

Dalam Islam, keteraturan dan keindahan alam semesta merupakan tanda kebesaran Allah SWT. Hal ini ditegaskan dalam QS. Al-Mulk ayat 3-4, bahwa ciptaan-Nya tidak mengandung cacat sedikit pun, dan setiap lapisan langit memperlihatkan keseimbangan yang sempurna. Fenomena fraktal, yang menampilkan pola berulang dengan keteraturan dalam kompleksitas, dapat menjadi salah satu cerminan keteraturan tersebut.

Masjid Al-Jabbar memiliki konsep fraktal pada desain ornamennya. Hal ini dibuktikan seperti adanya fasad yang memiliki bentuk mirip dengan fraktal segitiga Sierpinski pada Masjid Al-Jabbar di Jawa Barat. Penelitian ini akan berfokus dalam mengidentifikasi dan mengklasifikasikan bentuk fraktal yang ada pada ornamen Masjid Al-Jabbar berdasarkan bentuk dan jumlah iterasinya.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana analisis fraktal ornamen pada Masjid Al-Jabbar?
2. Bagaimana klasifikasi fraktal ornamen pada Masjid Al-Jabbar?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis ornamen pada Masjid Al-Jabbar.
2. Mengklasifikasikan ornamen pada Masjid Al-Jabbar.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini yaitu untuk pengembangan di bidang matematika khususnya pada ranah fraktal, serta memberikan sudut pandang baru dalam memahami desain masjid sebagai warisan budaya melalui pendekatan fraktal, sekaligus memperlihatkan bagaimana matematika dapat dipahami secara lebih nyata dalam konteks kehidupan sehari-hari.

1.5 Batasan Masalah

1. Bentuk fraktal yang digunakan terbatas pada fraktal, himpunan Cantor, kurva Koch, karpet Sierpinski, segitiga Sierpinski.
2. Ornamen yang menjadi objek penelitiann adalah ornamen pada Masjid Al-Jabbar.

1.6 Definisi Istilah

1. Fraktal

   Fraktal adalah pola geometris yang terbentuk dari bentuk sederhana yang berulang-ulang, sehingga jika diperbesar bagian kecilnya tetap mirip dengan keseluruhannya

2. Himpunan Cantor

   Himpunan Cantor adalah himpunan titik dalam interval $[0,1]$ yang diperoleh dengan menghilangkan bagian tengah terbuka dari panjang $\frac{1}{3}$ secara berulang (pada setiap subinterval yang tersisa).

3. Segitiga Sierpinski

   Segitiga Sierpinski adalah fraktal yang dibangun dengan mengambil sebuah segitiga sama sisi, kemudian membuang segitiga sama sisi di tengahnya secara berulang.

4. Karpet Sierpinski

   Karpet Sierpinski adalah fraktal yang dibentuk dari persegi satuan dengan cara membagi persegi menjadi 9 persegi kecil yang sama besar, kemudian menghapus persegi tengah.

5. Kurva Koch

   Kurva Koch adalah kurva fraktal yang dibangun dari suatu segmen garis dengan cara membagi menjadi tiga bagian sama panjang, mengganti bagian tengah dengan dua sisi segitiga sama sisi, lalu mengulangi prosedur tersebut tanpa batas. Kurva ini kontinu, tak terdiferensialkan di setiap titik, dan memiliki panjang tak terhingga dalam interval terbatas.

6. Ornamen

   Ornamen merupakan dekorasi yang berfungsi memperindah masjid.

BAB II

KAJIAN TEORI

2.1 Teori Pendukung

Adapun beberapa teori yang akan menjadi pendukung pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

2.1.1 Geometri Fraktal

Salah satu bidang ilmu geometri yang dikenal sebagai geometri fraktal mempelajari karakteristik fraktal. Bergantung pada parameter dan jumlah iterasi yang digunakan, cabang ilmu geometri ini dapat digunakan untuk menghasilkan bentuk-bentuk fraktal. Artikel "*Theory of Fractal Set"* membahas istilah fraktal, yang diciptakan pertama kali oleh Benoît Mandelbrot pada tahun 1975. *"Fraktus"*, yang berarti rusak, patah, atau tidak teratur, dan *"Frangere"*, yang berarti terbelah menjadi fragmen-fragmen (pecahan-pecahan atau bagian-bagian dari keseluruhan) yang tidak teratur. Menurut definisi, fraktal adalah suatu benda geometris yang memiliki kekasaran pada segala skala dan dapat "dibagi-bagi" atau dipecah secara visual. Selain itu, setiap pecahan memiliki karakteristik yang mirip dengan fraktal aslinya (Sunaryo & Fanani, 2020).

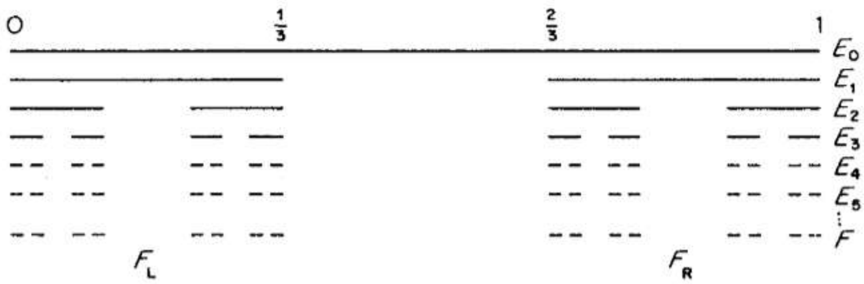
2.1.2 Himpunan Cantor

Himpunan Cantor, yang pertama kali diperkenalkan oleh Georg Cantor pada akhir abad ke-19, merupakan salah satu contoh klasik himpunan fraktal. Proses pembentukannya dimulai dari interval tertutup [0,1] dengan menghilangkan sepertiga bagian tengah secara berulang tanpa batas (Falconer, 1990). Algoritma membuat himpunan Cantor sederhana yaitu:

1. Langkah awal: dimulai dengan interval [0,1].
2. Iterasi pertama: hapus bagian tengah $\left(\frac{1}{3}, \frac{2}{3}\right)$, sehingga tersisa dua interval $\left[0, \frac{1}{3}\right] \cup \left[\frac{2}{3}, 1\right]$.
3. Iterasi berikutnya: dari setiap interval yang tersisa, kembali dihapus sepertiga bagian tengahnya.
4. Himpunan Cantor C: didefinisikan sebagai irisan dari semua iterasi tersebut

$$C = \bigcap_{n=0}^{\infty} C_n$$

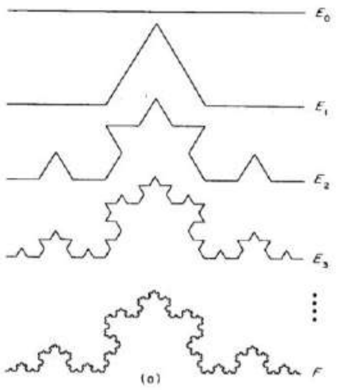
dengan $C_0 = [0,1]$ dan C_n merupakan gabungan 2^n interval setelah n iterasi



Gambar 2.1 Himpunan Cantor

2.1.3 Kurva Koch

Kurva Koch dibentuk melalui proses iteratif pada suatu segmen garis lurus. Pada setiap langkah, segmen dibagi menjadi tiga bagian sama panjang, lalu bagian tengah diganti dengan dua sisi segitiga sama sisi (Falconer, 1990). Proses ini diulangi tanpa batas, sehingga pada iterasi ke-n terdapat 4^n segmen dengan panjang masing-masing $\left(\frac{1}{3}\right)^n$ dari segmen awal.



Gambar 2.2 Kurva Koch

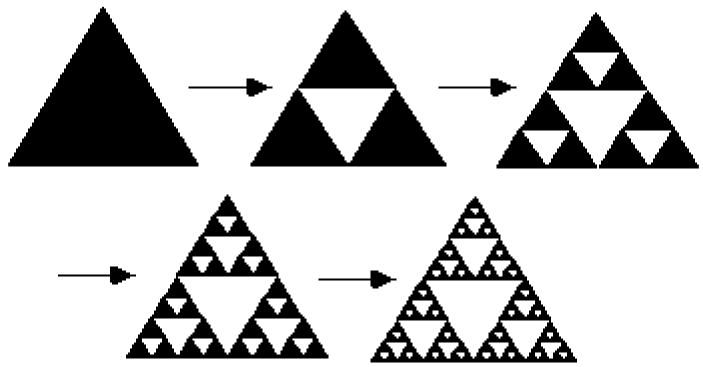
Kurva Koch didefinisikan sebagai limit dari proses konstruksi ini. Panjang kurva setelah n-iterasi diberikan oleh:

$$L_n = \left(\frac{4}{3}\right)^n L_0,$$

Sehingga ketik $n \to \infty$, panjang kurva menjadi tak hingga.

2.1.4 Segitiga Sierpinski

Segitiga Sierpinski dibentuk melalui proses iteratif pada sebuah segitiga sama sisi. Pada langkah pertama, segitiga dibagi menjadi empat bagian segitiga sama sisi dengan menghubungkan titik tengah setiap sisi, lalu segitiga tengah dihapus. Proses yang sama kemudian diterapkan berulang pada setiap segitiga yang tersisa, tanpa batas (Falconer, 1990). Hasil akhir yang diperoleh dari proses tak hingga ini adalah Segitiga Sierpinski.



Gambar 2.3 Segitiga Sierpinski

Segitiga Sierpinski S dapat didefinisikan sebagai irisan dari semua iterasi:

$$S = \bigcap_{n=0}^{\infty} S_n$$

dengan S_0 segitiga awal, dan S_n himpunan yang diperoleh setelah iterasi ke-n.

Dimensi segitiga Sierpinski adalah:

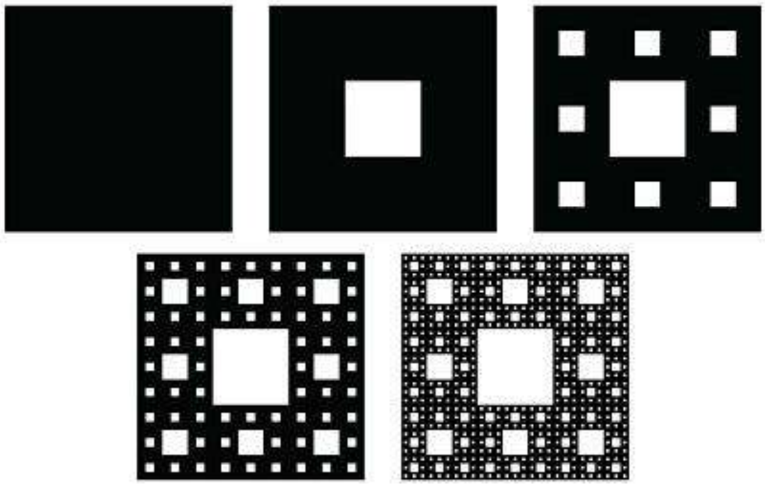
$$dim(S) = \frac{\log 3}{\log 2} \approx 1.585$$

2.1.5 Karpet Sierpinski

Karpet Sierpinski tidak jauh berbeda dibanding segitiga Sierpinski. Konstruksi fraktal ini dimulai pada bidang persegi (Kediangan dkk., 2024). Himpunan ini diperlihatkan sebagai kombinasi dari delapan sub himpunan yang kongruen terhadap himpunan aslinya dengan skala faktor $\frac{1}{3}$.

Dimensi karpet Sierpinski adalah:

$$dim(C) = \frac{\log 8}{\log 3} \approx 1.8928$$



Gambar 2.4 Fraktal Karpet Sierpinski

2.1.6 Transformasi Afin

Transformasi afin dalam fraktal adalah cara untuk membentuk pola berulang dengan menggunakan perubahan geometri sederhana seperti pergeseran, pembesaran, pengecilan, putaran, atau pemiringan, yang kemudian diulang berkali-kali. Dalam konteks fraktal, transformasi ini tidak hanya diterapkan sekali, tetapi dilakukan secara iteratif sehingga sebuah bentuk dasar sederhana dapat berkembang menjadi struktur yang sangat kompleks dengan sifat *self-similarity*—yaitu pola kecil yang mirip dengan pola keseluruhan. Misalnya, sebuah segitiga atau persegi dapat diperkecil dan dipindahkan ke berbagai posisi berulang kali hingga membentuk fraktal seperti segitiga Sierpiński atau pakis Barnsley. Dengan kata lain, transformasi afin menjadi "aturan konstruksi" yang memungkinkan fraktal terbentuk dari sesuatu yang sederhana menjadi pola yang indah dan rumit.

Definisi 2.5 (Barnsley, 1988)

Suatu transformasi $w: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$ dari bentuk

$$w(x_1, x_2) = (ax_1 + bx_2 + e, cx_1 + dx_2 + f)$$

di mana $a, b, c, d, e,$ dan f adalah bilangan riil, disebut transformasi afin dua dimensi. persamaan tersebut ekuivalen dengan notasi berikut

$$w(x) = w\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ f \end{pmatrix} = Ax + t$$

2.1.7 Sistem Fungsi Iterasi

Sistem fungsi iterasi (SFI) dalam fraktal adalah suatu kerangka matematis yang digunakan untuk menghasilkan pola fraktal dengan cara menerapkan sekumpulan transformasi sederhana secara berulang. Ide utamanya adalah bahwa sebuah bentuk dasar dapat diubah misalnya diperkecil, diputar, digeser, atau dimiringkan lalu hasil transformasi tersebut digabungkan kembali untuk membentuk pola baru. Proses ini diulangi berkali-kali sehingga muncul struktur yang kompleks namun tetap memiliki sifat *self-similarity*, yaitu bagian-bagian kecil dari pola tampak mirip dengan keseluruhan. Dengan pendekatan ini, fraktal-fraktal terkenal seperti segitiga Sierpinski, pakis Barnsley, hingga pola dekoratif pada arsitektur tradisional dapat dijelaskan secara sistematis.

Definisi 2.6 (Rosjanuardi, 2014)

Diberikan himpunan tak kosong A dan B. Sebuah relasi dari A ke B adalah pemetaan sebuah himpunan bagian dari $A \times B$.

Definisi 2.7 (Rosjanuardi, 2014)

Diberikan himpunan tak kosong A dan B. Sebuah relasi f dari A ke B disebut pemetaan atau fungsi dari A ke B jika:

1. $D(f) = A$, dan
2. untuk setiap $(x, y), (x', y') \in f$, kondisi $x = x'$ mengakibatkan $y = y'$

Sebuah pemetaan A ke B dinotasikn sebagai $f: A \to B$.

Definisi 2.8 (Wahyuningsih & Hernadi, 2020)

Diberikan himpunan tertutup D, di mana $D \subset \mathbb{R}^n$. Pemetaan $S: D \to D$ disebut pemetaan kontraksi jika terdapat konstanta c dengan $0 < c < 1$ sehingga

$$|S(x) - S(y)| \leq c|x - y|, \quad \forall x, y \in D$$

konstanta *c* disebut faktor kontraksi. Setiap pemetaan kontraksi adalah fungsi yang kontinu. Ketika berlaku $|S(x) - S(y)| = c|x - y|$, maka disebut dengan pemetaan kontraksi serupa *(contracting similarity)*.

Definisi 2.9 (Wahyuningsih & Hernadi, 2020)

Diberikan pemetaan-pemetaan kontraksi $\{S_1, \dots, S_m\}$ pada $D \in \mathbb{R}^n$ sehingga

$$|S_i(x) - S_i(y)| \leq c_i|x - y|, \qquad (x, y) \in D$$

pemetaan-pemetaan kontraksi berhingga $\{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ dengan $m \geq 2$ disebut Sistem Fungsi Iterasi (SFI).

Definisi 2.10 (Wahyuningsih & Hernadi, 2020)

Dibreikan himpunan padat tak kosong F, di mana $F \subset D$. F disebut atraktor/himpunan fraktal dari SFI jika

$$F = \bigcup_{i=1}^{m} S_i(F)$$

Sifat dasar SFI adalah memiliki himpunan fraktal tunggal, yang biasanya merupakan sebuah fraktal.

2.1.8 Bahasa Pemrograman *Python*

(Syahrudin & Kurniawan, 2018)(Syahrudin & Kurniawan, 2018) *Python* merupakan salah satu jenis bahasa pemrograman yang memiliki berbagai fungsi dengan perancangan yang berfokus pada suatu kode. *Python* juga merupakan salah satu bahasa pemrograman yang dilengkapi dengan fungsionalitas pustaka yang bersifat standar dan komprehensif dengan menggunakan sintaksis kode yang sangat jelas. Bahasa pemrograman *Python* memiliki keunggulan sebagai berikut (Syahrudin & Kurniawan, 2018):

1. Bahasa pemrograman *Python* lebih mudah dalam mengembangkan suatu produk perangkat lunak dan perangkat keras.
2. Kode dalam bahasa pemrograman *Python* yang mudah dipahami karena *Python* memiliki keterbacaan kode yang tinggi.
3. *Python* memiliki banyak *library* yang sesuai dengan kebutuhan program, seperti *Numpy, Matplotlib, Open CV*, dan sebagainya

2.1.9 Ornamen Masjid

Ornamen merupakan elemen seni yang berfungsi sebagai hiasan untuk memperindah benda seperti bejana, rumah adat, atau bangunan tradisional, sekaligus mengandung nilai simbolik dan makna tertentu yang mencerminkan pandangan hidup masyarakat penciptanya. Selain memperkuat estetika, ornamen menjadi media ungkap visual yang menyampaikan pesan dan harapan, dengan bentuk yang sering terinspirasi dari lingkungan alam sekitar melalui proses stilisasi (Ekspresi dkk., 2019).

Gambar 2.5 Ornamen pada Masjid
Sumber: (Jenis Ornamen Masjid Terindah Yang Paling Populer, 2025)

Perkembangan penggunaan ornamen tidak hanya berfungsi sebagai hiasan semata, tetapi juga memiliki tujuan yang lebih kompleks dan luas, mencakup nilai simbolik serta pengayaan estetika pada benda, bangunan, maupun kerajinan. Ornamen menjadi bagian penting dari karya seni yang melekat pada berbagai permukaan tanpa bergantung pada fungsi strukturalnya. Hal ini sudah tampak sejak peradaban Mesir kuno, yang menggunakan bentuk-bentuk alam seperti papirus dan pohon palem untuk memperindah pilar dan dinding bangunan mereka (Lestari dkk., 2023). Salah satu masjid dengan bentuk ornamen yang unik dan bragam adalah Masjid. Al-Jabbar

Masjid Al-Jabbar merupakan salah satu masjid dengan desain kontemporer. Dari segi struktur, masjid ini meiliki kubah, dinding, dan atap yang menyatu membentuk setengah bola raksasa. Bangunan ini juga dilengkapi dengan fasad berbentuk segitiga pada keempat sisinya yang menyerupai buah salak. Fasad masjid didominasi elemen dekoratif berupa kaca berwarna dan seni dekoratif lokal yang menampilkan pola berulang dengan efek visual dinamis, terutama ketika berpadu dengan pencahayaan modern fasad masjid didominasi elemen dekoratif berupa kaca patri berwarna dan seni dekoratif lokal yang menampilkan pola berulang dengan efek visual dinamis, terutama ketika berpadu dengan pencahayaan modern (Nurcahya, 2025). Bagian dalam masjid diperkaya oleh dekorasi yang kebanyakan berpola *arabesque.*

Gambar 2.6 Bangunan Masjid Al-Jabbar
Sumber: (Setiawan, 2022) (kiri), (*Masjid Al-Jabbar: Sejarah Pembangunan Hingga Fakta Menariknya - Qoobah*, 2025) (kanan)

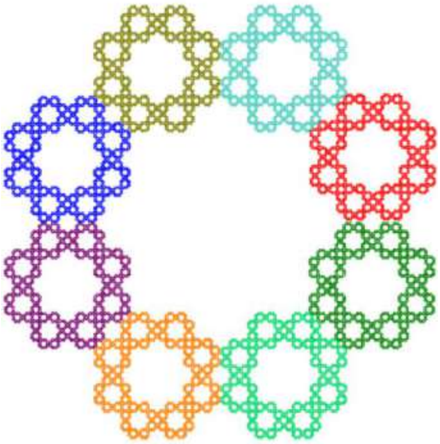
Gambar 2.7 Ornamen Masjid Al-Jabbar
Sumber: (Nurcahyo, 2023)

2.1.10 Penelitian Terdahulu

Pembangkitan pola yang mirip dengan objek ornamen pernah dilakukan pada penelitian-penelitian terdahulu berikut adalah beberapa fraktal berdasarkan penlitian terdahulu:

1. **Sierpinski *n*-gons**

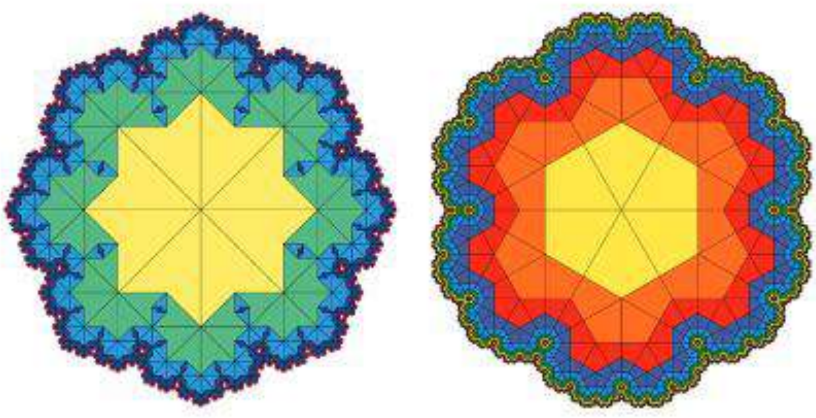
Penjelasan tentang bagaimana pola fraktal dapat dibentuk dari poligon beraturan dengan n sisi, menggunakan metode Iterated Function System (IFS). Sierpinski Pentagon dengan $n = 8$ diberikan sebagai contoh, dan diperlihatkan bagaimana skalanya digunakan untuk membentuk versi yang lebih kecil dari poligon di dalam dirinya sendiri (Schlicker & Dennis, 1995).



Gambar 2.8 Sierpinski 8-gons

2. ***f-tiling***

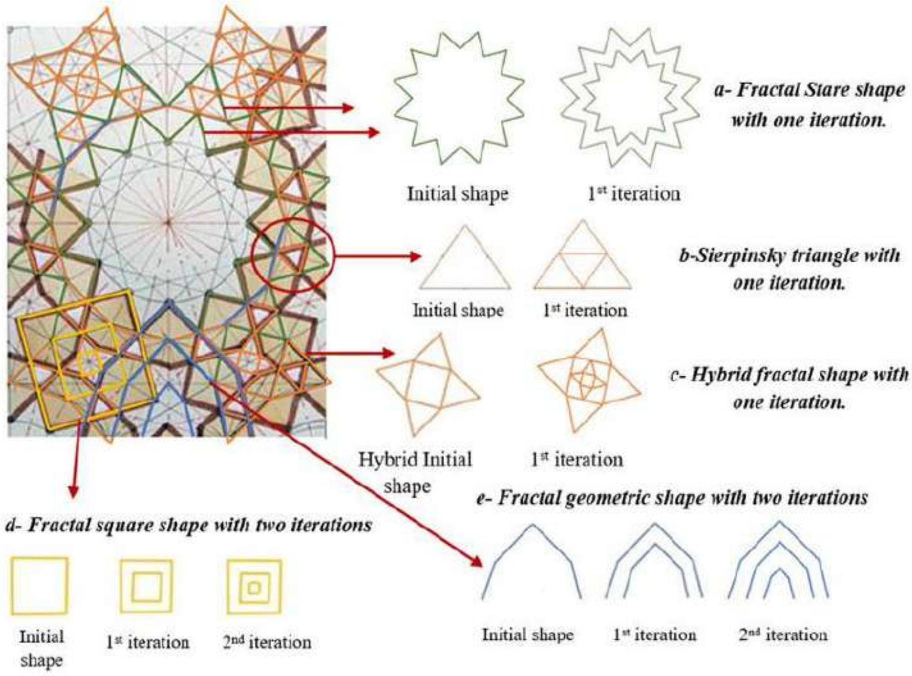
Fractal tiling (f-tiling) merupakan jenis *tiling* yang memiliki sifat diri *self-similarity* dan batas berbentuk fraktal, menjadikannya berbeda dari *tiling* konvensional yang biasanya terdiri dari ubin-ubin dengan batas lurus atau lengkung sederhana. *f-tiling* didefinisikan sebagai tiling yang tidak hanya menutupi bidang tanpa celah dan tumpang tindih, tetapi juga menampilkan pola hierarkis yang berulang dengan kompleksitas yang meningkat pada setiap tingkat iterasi (Ouyang dkk., 2018).



Gambar 2.9 Contoh *f-tiling*

3. Bentuk Ornamen Islam

Pada penelitian terhadap ornamen masjid yang telah dilakukan sebelumnya, pola pada ornamen tersusun dari bentuk-bentuk geometris sederhana seperti segitiga, persegi, bintang, dan lingkaran, yang diulang secara bertingkat dengan prinsip *self-similarity*.



Gambar 2.10 Fraktal pada Kubah Masjid El Sultan Hassan
sumber : *The Fractal shapes in Islamic design & its effects on the occupiersof the interior environment* (Attia, 2020)

2.2 Kajian Integrasi Topik dengan Al-Quran/Hadits

Dalam tradisi Islam, seni dipandang bukan sekadar ekspresi estetika, melainkan juga medium spiritual yang merefleksikan keesaan dan kebesaran Allah ﷻ. Hal ini tampak jelas pada larangan menggambarkan makhluk hidup secara berlebihan dalam seni rupa, yang kemudian melahirkan corak seni khas Islam berupa kaligrafi, arabesk, dan motif geometris. Seni dalam Islam berfungsi untuk memperindah tanpa melupakan fungsi utamanya sebagai pengingat akan Sang Pencipta. (Nasr, 1987) pada bukunya yang berjudul "Spiritiualitas dan Seni Islam" menekankan bahwa seni Islam adalah "seni yang berakar pada tauhid," di mana setiap garis, pola, dan ornamen mencerminkan keteraturan kosmik dan mengarah pada kesadaran akan Yang Maha Esa. Dengan demikian, seni Islam memiliki dimensi transenden: ia tidak sekadar memanjakan indra, melainkan juga menuntun akal dan hati untuk merenungi kebesaran Allah melalui harmoni, keseimbangan, dan pengulangan pola yang serasi.

Ornamen Masjid Al-Jabbar merupakan salah satu bentuk nyata dari integrasi seni dan Islam, di mana unsur estetika tidak hanya hadir sebagai hiasan, tetapi juga sarat makna spiritual. Seni dalam Islam pada dasarnya bertujuan menghadirkan keindahan yang menuntun manusia kepada kesadaran akan kebesaran Allah ﷻ, bukan sekadar pemuasan rasa estetis. Oleh karena itu, ornamen masjid banyak menampilkan motif geometris atau kaligrafi yang berulang, selaras dengan prinsip seni Islam yang menghindari representasi makhluk hidup secara langsung. Dalam konteks ini, seni arsitektur masjid bukan hanya memperindah bangunan, melainkan juga menjadi medium kontemplatif yang menghadirkan harmoni, keseimbangan, serta pengulangan pola yang dapat dianalisis secara matematis melalui pendekatan fraktal. Allah SWT berfirman dalam QS. Al-Mulk ayat 3–4 yang artinya (Kemenag, 2022):

> *“(Dia juga) yang menciptakan tujuh langit berlapis*-lapis*. Kamu tidak akan melihat pada ciptaan Tuhan Yang Maha Pengasih ketidakseimbangan sedikit pun. Maka, lihatlah sekali lagi! Adakah kamu melihat suatu cela? Kemudian, lihatlah sekali lagi (dan) sekali lagi (untuk mencari cela dalam ciptaan Allah), niscaya pandanganmu akan kembali kepadamu dengan kecewa dan dalam keadaan letih (karena tidak menemukannya)”*. (QS. Al-Mulk: 3-4)

Allah menciptakan langit berlapis-lapis tanpa cacat, dan siapa pun yang meneliti berulang-ulang tidak akan menemukan ketidakseimbangan di dalamnya. Konsep ini sejalur dengan pola fraktal yang ditemukan pada ornamen di Masjid Al-Jabbar. Misalnya. Dengan demikian, fraktal pada masjid tidak hanya dipahami sebagai konsep matematis, tetapi juga sebagai refleksi dari kesempurnaan ciptaan Allah yang digambarkan dalam ayat tersebut.

2.3 Kajian Topik Dengan Teori Pendukung

Berdasarkan teori fraktal yang menjelaskan adanya sifat *self-similarity* atau pengulangan bentuk dalam skala berbeda. Masjid Al-Jabbar di Jawa Barat misalnya, memiliki fasad kubah raksasa yang terdiri dari ribuan modul segitiga kaca. Pola repetisi segitiga ini menunjukkan karakteristik fraktal berupa pengulangan bentuk geometris yang menghasilkan kompleksitas visual (Bayhaqi dkk., 2025).

Ornamen masjid di Indonesia mengalami dinamika dalam pengaplikasiannya, Arsitek dan desainer masa kini berusaha menciptakan ornamen yang tidak hanya mereproduksi motif tradisional, tetapi juga mengembangkan bentuk-bentuk baru yang lebih abstrak serta bernuansa geometris (Fuadah & Arzaqina, 2025). Pada masjid yang dikaji, ornamen menunjukkan sifat fraktal karena memiliki pola berulang dengan variasi pada berbagai tingkat detail. Untuk menuju pembahasan telah dipilih empat jenis ornamen pada Masjid Al-Jabbar yang telah ditemukan berdasarkan hasil observasi secara langsung untuk di analisis.

Gambar 2.11 Ornamen Hasil Observasi

Tabel 2.1 Referensi Contoh Hasil Analisis (Sirintronsopon et a., 2016)

Name and Location	Shape	Number of iterations
NoenSawang Temple, Rayong	Triangle	2
Pak Nam Temple (1), Rayong	Triangle	2
Pa Pradoo Temple, Rayong	Triangle	3
Pak Nam Temple (2), Rayong	Square	3
Phimai Rock-Castle, Nakhon Ratchasima (Phimai Historical Park)	Lateral stacking	5
Phanom Rung Rock-Castle,Burirum (Phanom Rung Historical Park)	Lateral stacking	5
ChakriMahaPrasat, Bangkok	Hexadecagon	6
DusitMahaPrasat, Bangkok	Hexadecagon	6
SanphetMahaPrasat, Bangkok	Hexadecagon	11
Rong Kun Temple, Chiang Rai	Square, Triangle	11
PrathatsuthoneMongkolSammakkeedham, Prae	Rectangle	21

Analisis terhadap masjid dan elemen ornamen pada masjid akan dilakukan pada tiga tingkatan. Pertama, observasi dan analisis secara matematis pada bentuk ornamen dan masjid. Kedua, hasil rekonstruksi ornamen diklasifikasikan berdasarkan bentuk dan jumlah iterasinya. Ketiga, berdasarkan bentuk pada ornamen, bentuk tersebut akan disimulasikan menggunakan SFI **Definisi 2.8** untuk meniru bentuk fraktal pada ornamen di dunia nyata.

Tabel 2.2 Rencana Hasil Analisis Fraktal

	Ornamen 1	Ornamen 2	Ornamen 3
Nama Ornamen Al-Jabbar	-	-	-
Bentuk Ornamen	-	-	-
Bentuk Fraktal	-	-	-

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi, menganalisis dan menjelaskan fenomena secara mendalam, memperoleh wawasan konseptual, serta menggali makna yang terkandung dalam konsep-konsep matematika yang terkait. Metode yang digunakan adalah metode kualitatif deskriptif melalui observasi objek secara langsung dan menganlisis objek untuk mengumpulkan data kualitatif yang mendalam tentang fraktal pada ornamen di Masjid Al-Jabbar.

3.2 Pra Penelitian

Peneliti melakukan studi literatur pada tahap ini dengan melibatkan pencarian literatur mengenai teori-teori dalam ruang fraktal untuk memahami konsep-konsep yang relevan. Kemudian, peneliti melakukan observasi untuk mengidentifikasi variabel dan implementasi konsep fraktal dalam ornamen.

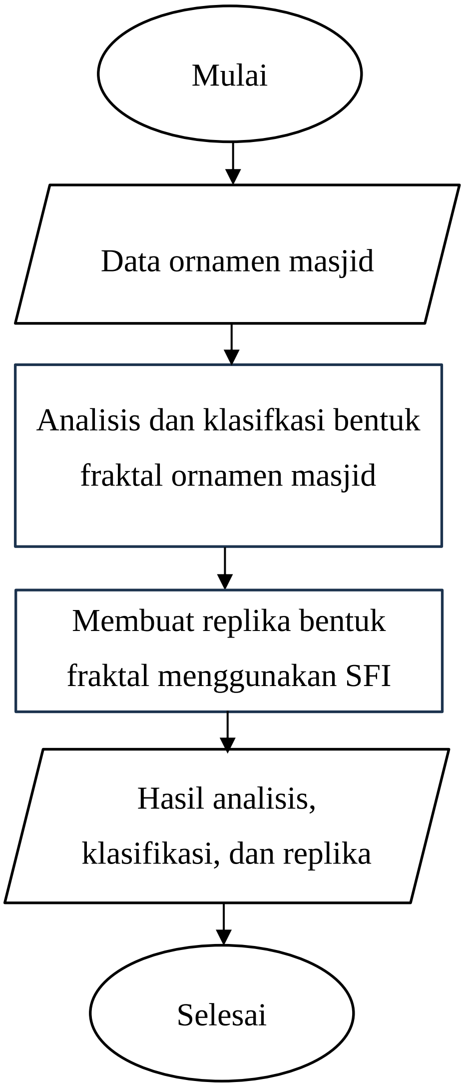
3.3 Tahapan Penelitian

Beberapa tahapan yang diperlukan untuk menyusun penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan riset secara literatur pada jurnal-jurnal terdahulu yang berkaitan dengan topik yang diusung;
2. Melakukan observasi langsung pada dan mengambil beberapa gambar objek yang akan diteliti;

3. Menggunakan pendekatan analisis kualitatif dalam menyusun temuan kualitatif menjadi pola-pola, kategori, atau tema yang bermakna;
4. Memverifikasi temuan dengan merujuk kembali pada literatur, untuk memastikan bahwa interpretasi yang dihasilkan valid;
5. Menyusun temuan-temuan kualitatif menjadi narasi atau konsep yang dapat menjelaskan fraktal pada ornamen di Masjid Al-Jabbar.

Secara garis besar, tahapan-tahapan pada penelitian ini dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.1 *Flowchart* Prosedur Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fraktal adalah suatu bentuk geometri dengan pembangkitan pola fraktal yang dilakukan melalui proses iterasi sederhana. Analisis fraktal dan rekonstruksi bentuk ornamen masjid dapat dilakukan menggunakan bantuan program komputer. Pada bab IV ini akan diberikan pemaparan hasil penelitian mengenai analisis fraktal ornamen di Masjid Al-Jabbar, sekaligus identifikasi dan klasifikasi fraktalnya.

4.1 Deskripsi Data

Data atau objek yang akan dianalisis pada bab ini yaitu ornamen yang terdapat pada masjid yang sudah ditentukan dan disampaikan pada bab-bab sebelumnya. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola geometris yang terdapat pada ornamen masjid, Sehingga dapat diklasifikasikan kecocokannya dengan fraktal teoritis yang sudah dicantumkan di bab dua.

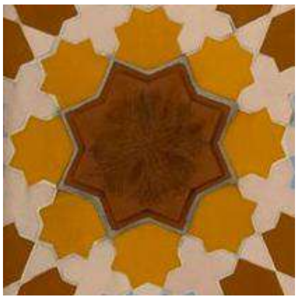
4.2 Analisis Ornamen

Fokus utama analisis ini adalah mengkaji struktur pola secara sistematis, terutama dari segi keterulangan (self-similarity), simetri, serta keterkaitan antar parameter pembentuk.

4.2.1 Ornamen 1

Gambar 4.1 Tempat Wudhu di Masjid Al- Jabbar

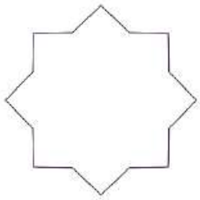
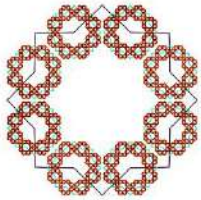
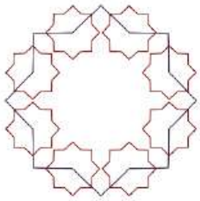
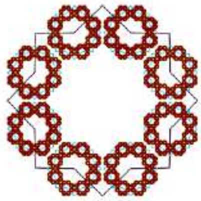
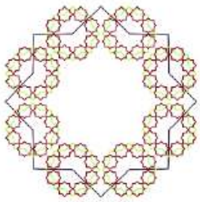
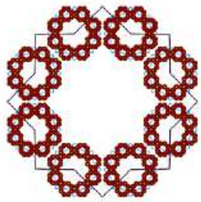
Salah satu pola menarik yang ada pada ornamen di Masjid Al-Jabbar terletak pada bagian atas tempat wudhu. Hiasan tersebut berupa keramik yang memiliki berbagai macam geometri yang membentuk pola.

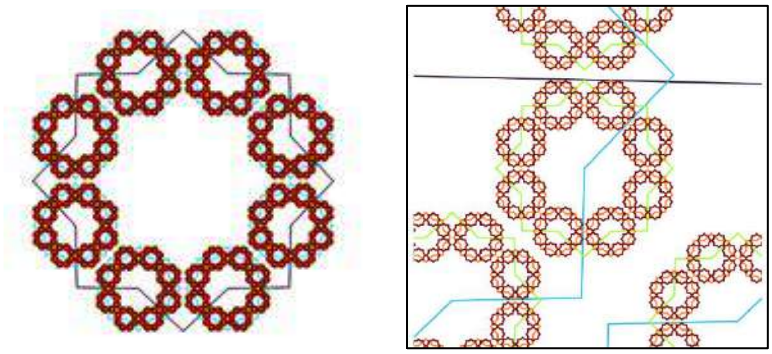


Pola A

Gambar 4.2 Pola pada Ornamen 1

Tabel 4.1 Hasil Iterasi Pola Bintang pada Ornamen 1

No.	Banyak Iterasi	Pola	No.	Banyak Iterasi	Pola
1.	0		4.	3	
2.	1		5.	4	
3.	2		6.	5	



Gambar 4.4 Fraktal bintang iterasi ke 4 (kiri), fraktal bintang yang diperbesar (kanan)

```python
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.patches import Polygon

def star_polygon(center, r1, r2, points, rotation=0):
    angle = 2 * np.pi / (2 * points)
    return [
        (
            center[0] + (r1 if i % 2 == 0 else r2) * np.cos(rotation + i * angle),
            center[1] + (r1 if i % 2 == 0 else r2) * np.sin(rotation + i * angle)
        )
        for i in range(2 * points)
    ]

def draw_star(ax, vertices, color, linewidth=2):
    ax.add_patch(Polygon(vertices, closed=True, edgecolor=color, facecolor='none', linewidth=linewidth))

def fractal_star(ax, center, r1, r2, points, depth, max_depth, scale=0.5, rotation=0, cmap=plt.cm.turbo):
    if depth > max_depth:
        return
    color = cmap(depth / max_depth) if max_depth > 0 else 'black'
    vertices = star_polygon(center, r1, r2, points, rotation)
    draw_star(ax, vertices, color)
    if depth == max_depth:
        return
    for v in vertices[1::2]:
        fractal_star(ax, v, r1 * scale, r2 * scale, points, depth + 1, max_depth, scale, rotation, cmap)

def main():
    fig, ax = plt.subplots(figsize=(8, 8))
    ax.set_aspect('equal')
    ax.axis('off')

    center = (0, 0)
    r1, r2 = 0.8, 0.62
    points = 8
    max_depth = 4
    scale = 0.28
    zoom_center, zoom_scale = (0.0, 0.0), 1.2
    total_radius = r1 * (1 / (1 - scale)) if scale < 1 else r1 * 3
    zoom_width = total_radius / zoom_scale

    ax.set_xlim(zoom_center[0] - zoom_width, zoom_center[0] + zoom_width)
    ax.set_ylim(zoom_center[1] - zoom_width, zoom_center[1] + zoom_width)

    fractal_star(ax, center, r1, r2, points, 0, max_depth, scale)
    plt.show()

if __name__ == "__main__":
    main()
```

Gambar 4.3 Script Pembentukan Fraktal Bintang

Pola A terdiri dari beberapa bagian dengan bentuk serupa. Untuk dapat membuat bentuk awal atau *initial shape*, perlu ditentukan titik-titik dari bentuk-bentuk tersebut. Secara umum, titik-titik dari bentuk awal dapat dibangkitkan dengan rumus:

Untuk $i = 0,1,2,\ldots,2n-1$:

$$\theta_i = \theta_0 + \frac{i\pi}{n}, \quad r_i = \begin{cases} R_1, & i \bmod 2 = 0 \\ R_2, & i \bmod 2 = 1 \end{cases} \tag{4.1}$$

$$P_i = (x_0 + r_i \cos\theta_i \ , y_0 + r_i \sin\theta_i)$$

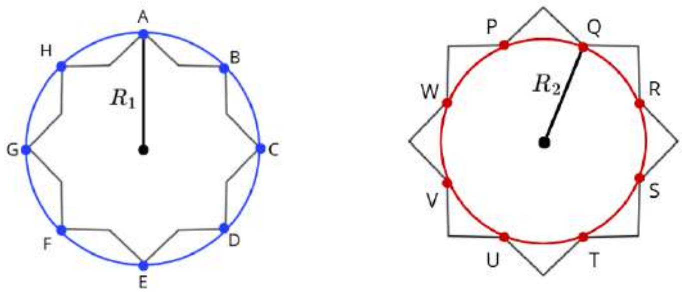
$$S_0 = \bigcup_{i=0}^{2n-1} \overline{P_i P_{i+1}}$$

dengan ,

$$\overline{P_i P_{i+1}} = \{(1-t)P_i + tP_{i+1} | t \in [0,1]\}$$

Keterangan:

i	=	Urutan ke-i
n	=	Banyak titik pada lingkaran luar
R_1	=	Radius luar
R_2	=	Radius dalam
r_i	=	Radius aktual
θ_0	=	Sudut rotasi awal
θ_i	=	Sudut polar titik ke-i
(x_0, y_0)	=	Koordinat pusat



R_1 R_2

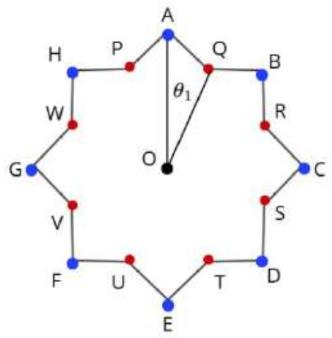
Gambar 4.4 Ilustrasi Lingkaran Luar dan Lingkaran Dalam pada Bintang

Perhatikan bahwa, bintang kiri dengan lingkaran biru dengan radius sebesar R_1 melewati titik-titik bintang yang menonjol keluar, sedangkan lingkaran merah dengan radius R_2 melewati titik-titik bintang yang berada di dalam. Lingkaran dengan radius R_1 dan radius R_2 digunakan secara bergantian dengan aturan pada r_i inilah yang menentukan panjang titik pada bintang dari titik pusat.

Tabel 4.2 Aturan Menentukan r_i

$r_i = \begin{cases} R_1, & i \bmod 2 = 0 \\ R_2, & i \bmod 2 = 1 \end{cases}$	
$\boldsymbol{r_i}$	$\boldsymbol{R_{1,2}}$
r_0	R_1
r_1	R_2
r_2	R_1
r_3	R_2
$\vdots$	$\vdots$
r_i	$\begin{cases} R_1, & i \bmod 2 = 0 \\ R_2, & i \bmod 2 = 1 \end{cases}$

Kemudian perhatikan bahwa θ_i, menentukan besaran sudut dari titik lingkaran luar ke titik lingkaran dalam. Misal titik A merupakan titik dengan $i = 0$ maka untuk menentukan titik $i = 1$ yaitu Q diperlukan sudut θ_1 yang bisa diperoleh melalui persaman $\theta_i = \theta_0 + \frac{i\pi}{n}$. Dalam kasus ini A sebagai titik $i = 0$ memiliki sudut sebesar $0°$ terhadap titik pusat O dan banyak titik lingkaran luar $n = 8$ sehingga $\theta_1 = 0° + \frac{\pi}{8} = 22.5°$. Maka besaran sudut dari $\angle AOQ = 22.5°$ dan untuk titik-titik ke-i selanjutnya selalu memiliki kenaikan sebesar $22.5°$ $(\theta_2 = 45°, \theta_3 = 67.5°, \theta_4 = 90°, \dots)$



Gambar 4.5 Penggunaan θ pada Bintang

Jika rumus (4.1) adalah untuk menentukan titik bentuk bintang untuk P_i dengan $i = 0,1, \dots, 2n - 1$ maka, *initial shape* S_0 adalah poligon yang menghubungkan berurutan $P_0 \to P_1 \to \cdots \to P_{2n-1} \to P_0$ atau . Kemudian untuk rumus fraktal yang akan membangkitkan bentuk bintang kecil ialah sebagai berikut:

1. Definisikan bentuk awal

   Misalkan $C = (x_0, y_0)$ adalah pusat bintang, $n \in \mathbb{N}$ banyaknya ujung bintang θ_0 konstanta rotasi, serta R_1 dan R_2 berturut-turut adalah radius luar dan radius dalam. Untuk setiap indeks $i = 0,1,2, \dots, 2n - 1$, definisikan sudut:

$$\theta_i = \theta_0 + \frac{i\pi}{n},$$

   dan definisikan radius yang bergantian

$$r_i = \begin{cases} R_1, & i \bmod 2 = 0 \\ R_2, & i \bmod 2 = 1 \end{cases}$$

   Selanjutnya, titik-titik sudut bintang (vertex) didefinisikan sebagai:

$$P_i = \ (x_0 + r_i \cos \theta_i \ , y_0 + r_i \sin \theta_i)$$

   Dengan demikian, bentuk awal bintang S_0 didefinisikan sebagai poligon bintang yang dibentuk dengan menghubungkan titik-titik secara berurutan:

$$S_0 : P_0 \to P_1 \to \cdots \to P_{2n-1} \to P_0$$

2. Definisikan titik ganjil pada bintang induk sebagai pusat bintang baru,

$$Q_k := P_{2k+1}\,, \; k = 0, 1, \dots, n-1$$

   Sehingga $Q_0 = P_1, Q_1 = P_3, \dots, Q_{n-1} = P_{2n-1}$, yaitu titik yang diambil hanya titik berurutan ganjil dari S_0

3. Sesuaikan radius luar dan radius dalam pada bintang kecil dengan faktor skala s dimana $0 < s < 1$,

$$R_1^{(m)} = s^m R_1, \; R_2^{(m)} = s^m R_2$$

   Sehingga pada iterasi ke-m, radius bintang menjadi,

$$r_i^{(m)} = \begin{cases} R_1^{(m)}, & i \, mod \, 2 = 0 \\ R_2^{(m)}, & i \, mod \, 2 = 1 \end{cases}$$

4. Sistem Fungsi Iterasi untuk setiap k titik ganjil bintang kecil. Misalkan $C = (x_0, y_0)$ adalah pusat bintang induk dan $p = (x, y)$ adalah sembarang titik pada bintang tersebut. Pada setiap iterasi, dibentuk n salinan bintang yang lebih kecil dengan faktor skala s, kemudian masing-masing salinan ditempatkan pada titik-titik Q_k. Transformasi untuk salinan ke-k didefinisikan sebagai

$$f_k(p) = Q_k + s(p - C)\,, \; k = 0, 1, \dots, n-1$$

   Sehingga, jika S_m adalah kumpulan semua bintang yang digambar sampai iterasi ke-m, maka iterasinya:

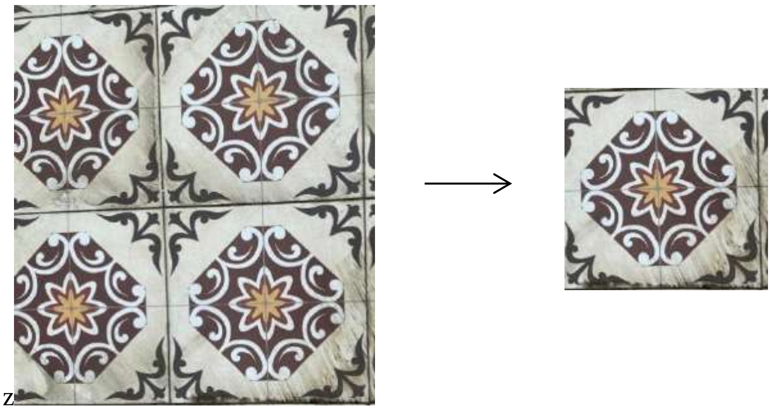
$$S_0 = \bigcup_{i=0}^{2n-1} \overline{P_i P_{i+1}}$$

$$S_1 = S_0 \cup \bigcup_{k=0}^{n-1} f_k\,(S_0)$$

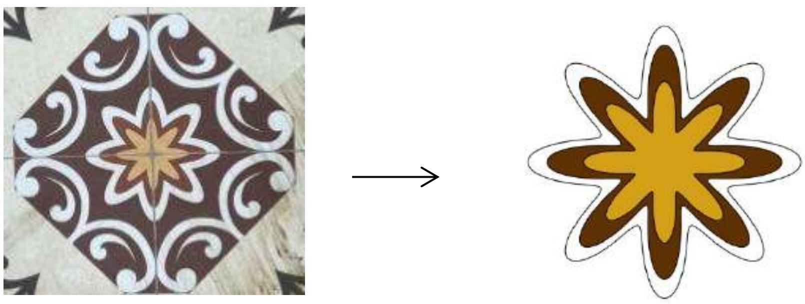
$$S_m = S_0 \cup \bigcup_{k=0}^{n-1} f_k\,(S_{m-1})$$

4.2.2 Ornamen 2

Ornamen kedua diperoleh dari lantai dasar kolam di halaman luar masjid. Pola yang dapat diamati secara sekilas adalah bentuk yang sebuah segi delapan yang berisikan bentuk yang menyerupai bunga berwarna kuning, merah dan putih di tengahnya yang kemudian dikelilingi oleh pola bewarna putih yang menyerupai "arus".

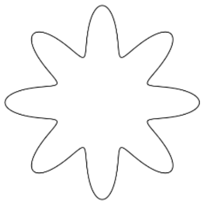
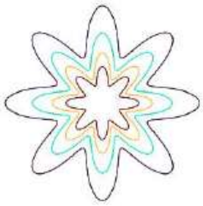
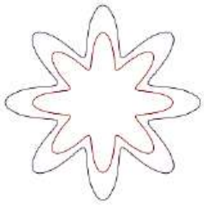
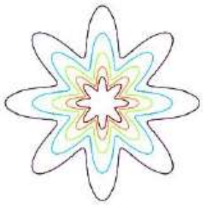
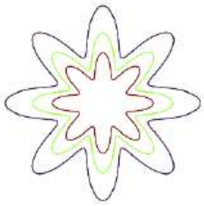
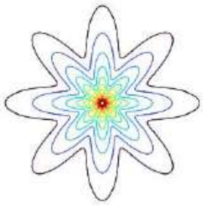


Gambar 4.6 Pola pada Ornamen 2



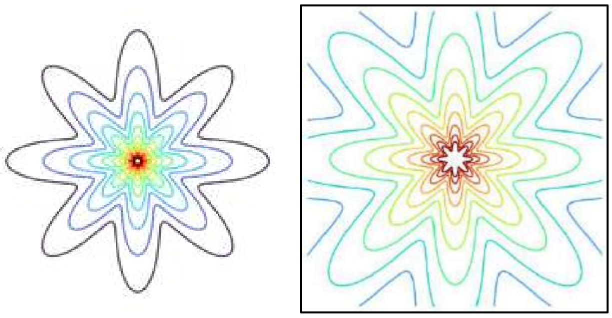
Gambar 4.7 Pola Ornamen 2 dan Bagiannya

Tabel 4.3 Hasil Iterasi Pola Bunga pada Ornamen 2

No.	Banyak Iterasi	Pola	No.	Banyak Iterasi	Pola
1.	0		4.	3	
2.	1		5.	4	
3.	2		6.	10	

```python
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.patches import Polygon

def rosette_star(center, r_base, lobes, amp, rotation=0, res=500):
    t = np.linspace(0, 2 * np.pi, res)
    r = r_base * (1 + amp * np.cos(lobes * t))
    x = center[0] + r * np.cos(t + rotation)
    y = center[1] + r * np.sin(t + rotation)
    return np.column_stack((x, y))

def flower_fractal(ax, center, r_base, lobes, amp, depth, max_depth, scale=0.7, rotation_step=0.0, cmap='viridis'):
    if depth > max_depth: return
    color = plt.get_cmap(cmap)(depth / max_depth) if max_depth > 0 else 'black'
    shape = rosette_star(center, r_base, lobes, amp, rotation=depth * rotation_step)
    ax.add_patch(Polygon(shape, closed=True, fill=False, edgecolor=color, linewidth=2))
    flower_fractal(ax, center, r_base * scale, lobes, amp, depth + 1, max_depth, scale, rotation_step, cmap)

def main(cmap='turbo', zoom_center=(0, 0), zoom_scale=1.0):
    fig, ax = plt.subplots(figsize=(7, 7))
    ax.set(aspect='equal', xlim=(-1, 1), ylim=(-1, 1)); ax.axis('off')

    center = (0, 0)
    r_base = 1.0
    lobes = 8
    amp = 0.33
    max_depth = 10
    scale = 0.72
    rotation_step = 0.0

    flower_fractal(ax, center, r_base, lobes, amp, 0, max_depth, scale, rotation_step, cmap)

    total_extent = r_base * (1 + amp) * sum(scale**i for i in range(max_depth + 1))
    zoom_width = total_extent / zoom_scale
    ax.set_xlim(zoom_center[0] - zoom_width, zoom_center[0] + zoom_width)
    ax.set_ylim(zoom_center[1] - zoom_width, zoom_center[1] + zoom_width)

    plt.show()

if __name__ == "__main__":
    main(cmap='plasma', zoom_center=(0.0, 0.0), zoom_scale=9)
```

Gambar 4.8 *Script* Bentuk Bunga



Gambar 4.9 Fraktal bunga iterasi ke 10 (kiri), fraktal bunga yang diperbesar (kanan)

Menggunakan SFI lalu mengaplikasikannya pada bahasa pemrograman python seperti pada **Gambar 4.8** akan menghasilkan bentuk bunga. Rumus umum untuk membangun bentuk bunga dengan $0 \leq \theta \leq 2\pi$ dan α yang merupakan konstanta yang mengubah rotasi pola, yaitu:

$$\begin{cases} x(\theta) = h + r(\theta)\cos(\theta + \alpha) \\ y(\theta) = k + r(\theta)\sin(\theta + \alpha) \end{cases} \tag{4.2}$$

Untuk $r(\theta)$ yaitu,

$$r(\theta) = R(1 + A\cos(n\theta))$$

Keterangan:

R = Radius lingkaran

A = Amplitudo modulasi

n = Banyaknya tonjolan/sinar pada bentuk

α = Rotasi bentuk

Dengan menggunakan rumus (4.2) maka diperoleh bentuk bunga sebagai *initial shape* atau bentuk awal. Kemudian untuk rumus fraktal yang akan membangkitkan bentuk bunga yang mengecil ialah sebagai berikut:

1. Definisikan kurva awal (*initial shape*)

   Misalkan pusat bunga $C = (h, k)$ dan parameter $0 \le \theta \le 2\pi$. kurva awal ω_0 didefinisikan oleh:

$$\begin{cases} x_0(\theta) = h + r_0(\theta)\cos(\theta + \alpha_0) \\ y_0(\theta) = k + r_0(\theta)\sin(\theta + \alpha_0) \end{cases}$$

   dengan

$$r_0(\theta) = R_0(1 + A\cos(n\theta))$$

   Sehingga,

$$\omega_0 = \{(x_0(\theta), y_0(\theta)) | \, 0 \le \theta \le 2\pi\}$$

2. Sesuaikan ukuran skala s pada setiap iterasi

   Ambil faktor skala s dengan $0 < s < 1$. Radius pada iterasi ke-m didefinisikan:

$$R_m = s^m \cdot R_0, \;\; m = 0,1,2, \ldots$$

   Sehingga fungsi radius pada iterasi ke-m menjadi,

$$r_m(\theta) = R_m(1 + A\cos(n\theta)) = s^m \cdot R_0(1 + A\cos(n\theta))$$

3. Sistem Fungsi Iterasi

   Misalkan $p = (x, y)$ adalah sembarang titik pada bunga tersebut. Karena yang dilakukan adalah mengecilkan bentuk terhadap pusat yang sama C, transformasi iterasi didefinisikan:

$$f(p) = C + s(p - C)$$

   Dengan demikian kurva pada iterasi ke-m dapat ditulis:

$$\begin{cases} x_m(\theta) = h + r_m(\theta)\cos(\theta + \alpha_0) \\ y_m(\theta) = k + r_m(\theta)\sin(\theta + \alpha_0) \end{cases}$$

   dan

$$\omega_m = \{(x_m(\theta), y_m(\theta)) \mid 0 \le \theta \le 2\pi\}$$

   Sehingga, jika F_m adalah kumpulan semua kurva bunga yang digambar sampai iterasi ke-m, maka iterasinya:

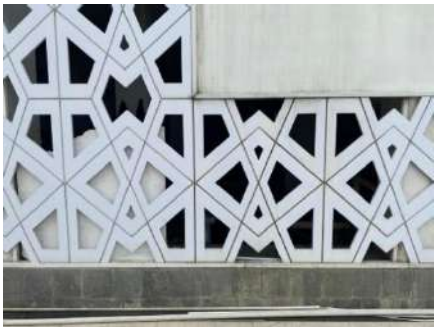
$$F_0 = \omega_0$$

$$F_m = \omega_0 \cup \omega_1 \cup \omega_2 \cup \ldots \cup \omega_m$$

$$F_{m+1} = F_m \cup \omega_{m+1}$$

4.2.3 Ornamen 3

Ornamen ke 3 merupakan bagian dari dinding tempat penyimpanan sepatu di Masjid Al-Jabbar dengan pola segi empat tidak beraturan.

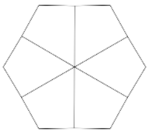
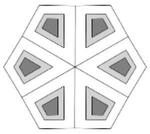


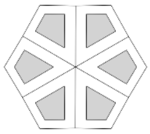
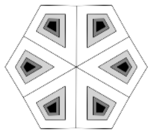
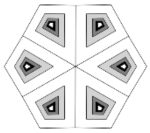
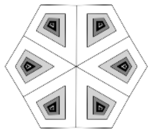
Gambar 4.10 Bagian Dinding Samping Penitipan Sepatu Masjid Al-Jabbar

Pola C

Gambar 4.11 Pola pada Ornamen 3

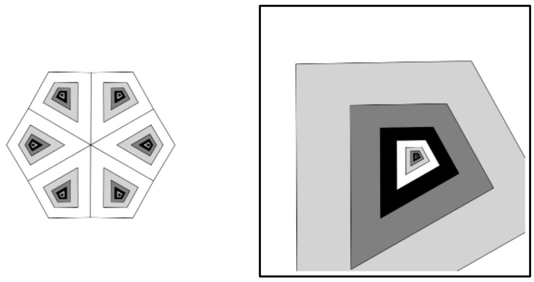
Tabel 4.4 Hasil Iterasi Pola Layangan pada Ornamen 3

No.	Banyak Iterasi	Pola	No.	Banyak Iterasi	Pola
1.	0		3.	2	

2.	1		4.	3	
5.	4		6.	10	

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.patches import Polygon

def kite_shape(l=2.4, w=1.4):
    return np.array([[0, 0], [l, w], [l * 1.35, 0], [l, -w]])

def R(theta):
    c, s = np.cos(theta), np.sin(theta)
    return np.array([[c, -s], [s, c]])

def make_rosette(shape, n=6):
    return [shape @ R(2 * np.pi * i / n).T for i in range(n)]

def orbit_maps(n, s, r):
    return [(s * np.eye(2), r * np.array([np.cos(2 * np.pi * i / n), np.sin(2 * np.pi * i / n)])) for i in range(n)]

def iterate(shapes, n, s, r, depth):
    levels = [shapes]
    for d in range(1, depth + 1):
        maps = orbit_maps(n, s, r)
        shapes = [shp @ A.T + b for j, shp in enumerate(shapes) for A, b in [maps[j % n]]]
        levels.append(shapes)
    return levels

def draw(ax, levels, colors=('white', 'lightgray', 'gray', 'black')):
    for d, level in enumerate(levels):
        color = colors[d % len(colors)]
        for shape in level:
            ax.add_patch(Polygon(shape, closed=True, facecolor=color, edgecolor='black', linewidth=0.8))

def main(depth=10, zoom_center=(0, 0), zoom_scale=1.0):
    fig, ax = plt.subplots(figsize=(8, 8))
    ax.set_aspect('equal')
    ax.axis('off')
    base = kite_shape()
    start = make_rosette(base, n=6)
    levels = iterate(start, n=6, s=0.55, r=1.0, depth=depth)
    draw(ax, levels)
    e = 6 / zoom_scale
    cx, cy = zoom_center
    ax.set_xlim(cx - e, cx + e)
    ax.set_ylim(cy - e, cy + e)
    plt.show()

if __name__ == "__main__":
    main(depth=10, zoom_center=(1, 2), zoom_scale=9)
```

Gambar 4.12 *Script* Bentuk Layangan



Gambar 4.13 Fraktal layangan iterasi ke 10 (kiri), fraktal layangan yang diperbesar (kanan)

Untuk dapat membuat layangan sebagai bentuk awal atau *initial shape* perlu ditentukan titik-titik dari bentuk layang-layang. Kemudian untuk rumus fraktal yang akan membangkitkan bentuk layangan yang mengecil ialah sebagai berikut:

1. Definisikan bentuk awal (*initial shape*)

   Definisikan satu layang-layang K dengan titik:

   $$K = \{V_0, V_1, V_2, V_3\}$$

   Dengan,

   $$V_0 = (0,0),$$

   $$V_1 = (L, W),$$

   $$V_2 = (1.35L, 0),$$

   $$V_3 = (L, -W)$$

2. Membentuk layang-layang sekeliling

   Membuat enam salinan layang-layang dengan rotasi sudut θ_i:

   $$K_i = R(\theta_i)K, \quad i = 0,1, \dots ,5$$

   dengan

   $$\theta_i = \frac{2\pi i}{n}, \quad i = 0,1, \dots , n-1$$

   dan matriks rotasi

   $$R(\theta) = \begin{pmatrix} cos\ \theta & -sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix}$$

Kemudian himpunan bentuk pada iterasi ke-0 adalah,

$$\mathcal{L}_0 = \bigcup_{i=0}^{5} K_i = \bigcup_{i=0}^{5} R(\theta_i)K$$

3. Fungsi kontraksi

Untuk setiap $i = 0,1, \dots ,5$, didefinisikan peta afin:

$$f_i(p) \; = \; sp + \; b_i$$

dengan

$$b_i = r \begin{pmatrix} cos\ \theta_i \\ \sin \theta_i \end{pmatrix}$$

sehingga,

$$f_i(x, y) \; = (sx + \; r \cos \theta_i, sy + r \sin \theta_i)$$

4. Sistem Fungsi Iterasi

Bentuk pada iterasi berikutnya diperoleh dengan menerapkan peta-peta IFS terhadap bentuk pada iterasi sebelumnya. Model menggunakan kumpulan peta afin kontraktif, tetapi implementasi iterasinya memakai skema *one-per-shape* agar jumlah komponen tetap n. Untuk itu $\mathcal{L}_m$ didefinisikan sebagai kumpulan terurut $\mathcal{L}_m = \left\{H_m^{(0)}, H_m^{(1)}, \dots, H_m^{(n-1)}\right\}$, lalu setiap komponen ke-j ditransformasikan hanya oleh peta f_j, sehingga

$$H_1^{(j)} = f_j\left(H_0^{(j)}\right), \quad j = 0,1, \dots, 5$$

Kemudian,

$$\mathcal{L}_0 = \bigcup_{j=0}^{5} H_0^{(j)} = \bigcup_{j=0}^{5} R(\theta_j)K$$

$$\mathcal{L}_1 = \bigcup_{j=0}^{5} H_1^{(j)} = \bigcup_{j=0}^{5} f_j\big(R(\theta_j)K\big)$$

$$\mathcal{L}_{m+1} = \bigcup_{j=0}^{n-1} H_{m+1}^{(j)}$$

Dari seluruh analisis terhadap tiga ornamen pada Masjid Al-Jabbar, dapat disimpulkan bahwa pola-pola yang dihasilkan memiliki karakteristik fraktal dengan tingkat iterasi dan bentuk geometris yang bervariasi. Setiap ornamen menunjukkan keterulangan (self-similarity) dan simetri yang konsisten, serta dapat dibangkitkan ulang secara matematis menggunakan rumus tertentu dengan bantuan pemrograman *python*. Hal ini memperkuat bahwa konsep fraktal tidak hanya relevan dalam teori matematika, tetapi juga terimplementasi nyata dalam ornamen.

4.3 Integrasi Al-Qur'an

Terdapat ayat Al-Qur'an yang menjelaskan mengenai keteraturan dan ketentuan yang ada pada alam semesta yakni surat Ali-Imran ayat 190 yang artinya:

Artinya :"Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, serta pergantian malam dan siang terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang-orang yang berakal."

Pada Q.S Ali Imran ayat 190 dijelaskan tentang keteraturan dan kekuasaan Allah dalam mengatur pergerakan matahari dan bulan. Ayat-ayat ini menegaskan bahwa matahari dan bulan beredar sesuai dengan ketetapan-Nya, dan malam serta siang tidak dapat saling mendahului. Setiap elemen di alam semesta berjalan dalam orbitnya dengan tepat, menggambarkan kebesaran dan kebijaksanaan Allah dalam mengatur ciptaan-Nya.

Penerapan konsep fraktal dapat dilihat dalam berbagai aspek kehidupan, salah satunya dalam ornamen Masjid Al-Jabbar. Pola-pola yang terdapat pada ornamen merupakan bentuk bentuk geometris yang merepresentasikan pola yang berulang dan teratur, mirip dengan sifat fraktal. Pola-pola ini tidak hanya menunjukkan keindahan estetika, tetapi jug menandung filosofi mendalam tentang keteraturan dan harmoni alam, yang sejatinya merupakan cerminan dari keteraturan ilahi yang diatur oleh Allah.

Dengan demikian, penerapan konsep fraktal dalam pola ornamen Masjid Al-Jabbar mengilustrasikan hubungan yang mendalam antara keteraturan alam yang digambarkan dalam Q.S Al-Imran ayat 190 dan keindahan seni pada ornamen masjid. Pola fraktal pada ornamen mencerminkan kebesaran dan kebijaksanaan Allah dalam menciptakan alam semesta yang teratur dan harmonis. Seni pada ornamen tidak hany menjadi manifestasi budaya dan warisan luhur, tetapi juga sarana untuk mengapresiasi dan merefleksikan kebesaran ciptaan Allah, seperti yang dijelaskan dalam ayat tersebut.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

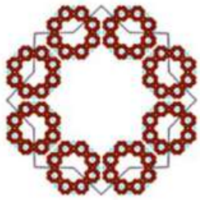
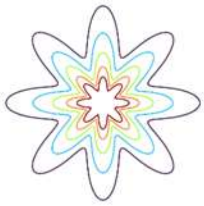
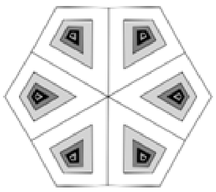
Ornamen-ornamen yang terdapat pada Masjid Al-Jabbar. masing-masing memiliki struktur geometri yang teratur dan berulang, mulai dari pola bintang bersudut banyak, , hingga kombinasi segi empat yang tersusun spiral atau radial. Ketiga ornamen yang diteliti menunjukkan kemiripan bentuk yang konsisten pada berbagai skala, menampilkan sifat *self-similarity* yang merupakan ciri khas dari fraktal.

Berdasarkan BAB IV, proses identifikasi dan analisis dilakukan dengan membagi setiap ornamen ke dalam beberapa bagian dan pola. Masing-masing pola dan bagian kemudian direkonstruksi secara matematis menggunakan formula geometri seperti pembentukan bintang dengan sistem polar, , dan transformasi koordinat berbasis rotasi serta translasi. Pendekatan ini memungkinkan setiap elemen ornamen divisualisasikan secara digital dan diklasifikasikan berdasarkan jumlah iterasi dan jenis fraktalnya.

Penerapan sifat *self-similarity* dalam konsep fraktal mampu menciptakan berbagai macam bentuk pola yang ada pada ornamen Masjid Al-Jabbar sehingga mirip dengan aslinya. Setiap ornamen memiliki karakteristik fraktal yang berbeda-beda, baik dalam bentuk dasar, jumlah iterasi, maupun metode pembangkitannya. Dengan menggunakan rumus geometris dan pendekatan pemrograman Python, pola-pola tersebut berhasil direplikasi dan diklasifikasikan sesuai jenis fraktalnya, seperti fraktal bintang.

Bahasa pemrograman Python berperan penting dalam penelitian ini sebagai alat bantu untuk membangkitkan dan memvisualisasikan fraktal pada ornamen masjid. Dengan memanfaatkan pustaka seperti Matplotlib dan Numpy, berbagai bentuk geometri kompleks dapat divisualisasikan secara presisi berdasarkan parameter yang ditentukan.

Tabel 5.1 Hasil Akhir Analisis Ornamen Masjid Al-Jabbar

Nama Ornamen	Bentuk Ornamen Asli	Bentuk Fraktal Ornamen
Keramik tempat wudhu		
Motif keramik lantai kolam		
Motif dinding		

Hasil akhir dari penelitian ini menunjukkan bahwa ornamen-ornamen pada Masjid Al-Jabbar dapat dikategorikan sebagai fraktal karena memiliki sifat self-similar, simetri, dan dibangkitkan melalui proses iterasi. Setiap pola dapat direplikasi dengan presisi menggunakan pendekatan matematis dan pemrograman.

5.2 Saran

Pada penelitian ini, penulis hanya berfokus pada penerapan fraktal hanya pada ornamen di Masjid Al-Jabbar menggunakan bahasa pemrograman *python*. Diharapkan pada penelitian selanjutnya menggunakan pola ornamen pada masjid lainnya. Selain itu, hasil analisis fraktal yang diperoleh juga berpotensi untuk digunakan dalam pengembangan motif-motif baru yang bersumber dari ornamen masjid tanpa menghilangkan keaslian motif aslinya.

DAFTAR PUSTAKA

Alghar, Z. M. (2023). Ethnomathematics: Exploration Of Fractal Geometry In Gate Ornaments Of The Sumenep Jamik Mosque Using The Lindenmayer System. *Article in Indonesian Journal of Science and Mathematics Education*. https://doi.org/10.24042/ijsme.v5i1.18219

Apriliani, R. (2023). *7 Potret Keindahan Masjid Al Jabbar Bandung yang Kini Jadi Destinasi Wisata Religi, Ramai Pengunjung!* https://www.beautynesia.id/life/7-potret-keindahan-masjid-al-jabbar-bandung-yang-kini-jadi-destinasi-wisata-religi-ramai-pengunjung/b-270189

Attia, D. I. I. (2020). The Fractal shapes in Islamic design & its effects on the occupiers of the interior environment (case study: El Sultan Hassan mosque in Cairo). *مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية*, *5*(1), 123–144. https://doi.org/10.21608/mjaf.2020.34245.1689

Barnsley, M. (1988). *Fractals Everywhere*.

Bayhaqi, A., Muhammad Rafa Alifian Zean, Sri Hasniar Rahayu, & Edi Suresman. (2025). Analisis Budaya Desain Masjid Zaman Dahulu dan Sekarang. *Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang Dan Teknik Sipil*, *3*(1), 46–61. https://doi.org/10.61132/konstruksi.v3i1.700

Falconer, K. (1990). *Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications*. John Wiley & Sons.

Febrian, R., Muhammad Fajrul Islam, & Purnama Yudistira. (2025). Peran Budaya dalam Pembentukan Identitas Manusia. *RISOMA : Jurnal Riset Sosial Humaniora Dan Pendidikan*, *3*(2), 25–35. https://doi.org/10.62383/risoma.v3i2.623

Filobello-Nino, U. A., Vazquez-Leal, H., Sandoval-Hernandez, M. A., Alvarez-Gasca, O., Contreras-Hernandez, A. D., Palma-Grayeb, B. E., Cuellar-Hernandez, L., Carrillo-Ramón, N., Lozano, M. G., & Torreblanca-Bouchan, S. E. (2022). Implementation of the Sierpinski triangle with Pic microcontroller Implementation of the Sierpinsky Triangle with Pic Microcontroller. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) Www.Ijert.Org*, *11*. https://www.researchgate.net/publication/358044182

Fuadah, R. S., & Arzaqina, S. (2025). *Kajian Bentuk dan Makna Simbolis Ornamen pada Masjid Kontemporer di Indonesia*. 35–44. https://doi.org/10.62383/realisasi.v2i1.419

Harismawan, A. F., Putra Kharisma, A., & Afirianto, T. (2018). *Analisis Perbandingan Performa Web Service Menggunakan Bahasa Pemrograman Python, PHP, dan Perl pada Client Berbasis Android* (Vol. 2, Issue 1). http://j-ptiik.ub.ac.id

Jenis Ornamen Masjid Terindah yang Paling Populer - Kubah Madina. (2025). https://www.kubahmadina.com/ornamen-masjid-terindah/

Juraev, D. A., Juraev, D. A., & Mammadzada, N. M. (2024). Fractals And Its Applications. In *Karshi Multidisciplinary International Scientific Journal* (Vol. 1, Issue 1). https://www.researchgate.net/publication/382237390

Kediangan, I. V. A., Zakaria, L., & Sutrisno, A. (2024). Design 3D Wallpaper Motifs from Sierpinski Carpet Fractals Using Mathematica Applications. *Journal of Mathematics: Theory and Applications*, *6*(2), 146–157. https://doi.org/10.31605/jomta.v6i2.3569

Kemenag. (2022). *Qur'an Kemenag*. https://quran.kemenag.go.id/quran/per-ayat/surah/67?from=1&to=30

Lestari, S., Ramadhani, I., Bintarto, J., & Salma, A. (2023). *Pengenalan dan Pembuatan Ornamen Sebagai Bentuk Pembelajaran Sejarah dan Kebudayaan*. *12*(1), 2745–4223. https://doi.org/10.20961/semar.v12i1.62340

Masjid Al-Jabbar: Sejarah Pembangunan Hingga Fakta Menariknya - Qoobah. (2025). https://qoobah.co.id/masjid-al-jabbar/

Nagaraj, N. (2019). Using cantor sets for error detection. *PeerJ Computer Science*, *2019*(1). https://doi.org/10.7717/peerj-cs.171

Nasr, S. H. (1987). *Islamic art and spirituality*. State University of New York Press.

Nurcahya, Y. (2025). *Desain Arsitektur Masjid Al-Jabbar dalam Menunjang Sejarah Islam dan Terapan Ilmu Sosial Humaniora*. https://indojurnal.com/index.php/jisoh

Nurcahyo, A. T. (2023). *Jika Diperhatikan Detail, Arsitektur Masjid Al Jabbar Punya Ciri Khas dari 16 Keistimewaan yang Dimiliki - PRFM News*. https://prfmnews.pikiran-rakyat.com/bandung-raya/pr-136478365/jika-diperhatikan-detail-arsitektur-masjid-al-jabbar-punya-ciri-khas-dari-16-keistimewaan-yang-dimiliki?page=all

Ouyang, P., Tang, X., Chung, K., & Yu, T. (2018). Fractal tilings based on successive adjacent substitution rule. *Complexity*, *2018*. https://doi.org/10.1155/2018/6451921

Patriansah, M., & Hariansyah, Y. (2019). *Analisis Bentuk Ornamen Rumah Tradisional Kampung Arab Al-Munawwar Palembang*. https://journal.isi-padangpanjang.ac.id/index.php/Ekspresi

Rahma, A., & Ambarawati, M. (2025). Studi Literatur Etnomatematika: Konsep Matematika Dalam Kearifan Lokal Budaya Jawa Timur. *Jurnal Ilmiah Matematika Realistik (JI-MR*, *6*(1), 97–103.

Rani, M., Haq, R. U., & Sulaiman, N. (2011). Koch curves: Rewriting system, geometry and application. *Journal of Computer Science*, *7*(9), 1330–1334. https://doi.org/10.3844/jcssp.2011.1330.1334

Roi'fah, M. (2022). Penerapan Modifikasi Fraktal Segitiga Sierpinski pada Ragam Hias Geometris Tumpal. *Jurnal Ilmiah Soulmath : Jurnal Edukasi Pendidikan Matematika*, *9*(2), 165–174. https://doi.org/10.25139/smj.v9i2.4194

Rosjanuardi, R. (2014). *Himpunan dan Fungsi*.

Schlicker, S., & Dennis, K. (1995). *Sierpinski n-gons*.

Setiawan, R. (2022). *Pesona Masjid Raya Al-Jabbar Ikon Baru Jabar, Masjid Terapung Hingga Museum Rasulullah – Minanews.net*. https://minanews.net/pesona-masjid-raya-al-jabbar-ikon-baru-jabar-masjid-terapung-hingga-museum-rasulullah/

Sirintronsopon, W., Bamroongshawgasame, T., & Gorka, A. (2016). *Fractals in Thai Cultural Designs*.

Sunaryo, W. N. P., & Fanani, A. (2020). *Penggabungan Geometri Fraktal Dengan Batik Sendang*.

Syahrudin, A. N., & Kurniawan, T. (2018). *Input dan Output pada Bahasa Pemrograman Python.*

Wadiyo. (2006). *Seni sebagai Sarana Interaksi Sosial*.

Wahyuningsih, S., & Hernadi, J. (2020). *Sistem Fungsi Iterasi dan Dimensi Fraktal Pada Himpunan Serupa Diri*. *9*(2), 59–74. https://doi.org/10.14421/fourier.2020.92.59-74

Widodo, C. E. (2019). Multicolor Symmetrical Fractal Pattern Generator. *Journal of Physics: Conference Series*, *1217*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1217/1/012034

RIWAYAT HIDUP

Ahmad Zaidan Averouz, putra sulung dari tiga bersaudara dari Bapak Dwi Yudhi Ginanto Rahman dan Ibu Wiwien Widyaningsih. Lahir di Kota Bandung pada tanggal 23 Januari 2004 dengan nama panggilan Zaidan atau Idun. Pendidikan yang telah ditempuh mulai dari taman kanak-kanak di Smart Kids dan lulus pada tahun 2010. Kemudian melanjutkan pendidikan dasar di SD Asy Syifa 1 Bandung dan lulus pada tahun 2016. Lalu menempuh pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 34 Bandung dan lulus pada tahun 2019. Setelah itu, menempuh pendidikan menengah kejuruan di SMK Daarut Tauhiid Boarding School Bandung dan lulus pada tahun 2022. Selanjutnya menempuh pendidikan di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dengan mengambil Program Studi Matematika. Pembaca dapat menghubungi penulis melalui email di azaidan632@gmail.com.

KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Gajayana No.50 Dinoyo Malang Telp. / Fax. (0341)558933

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama	:	Ahmad Zaidan Averouz
NIM	:	220601110045
Fakultas / Jurusan	:	Sains dan Teknologi / Matematika
Judul Skripsi	:	Analisis Fraktal pada Ornamen Masjid Al-Jabbar Jawa Barat Menggunakan *Python*
Pembimbing I	:	Dr. Elly Susanti, M.Sc.
Pembimbing II	:	Abdul Aziz, M.Si.

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	25 Agustus 2025	Konsultasi Bab I, II, dan III	1.
2.	1 September 2025	Konsultasi Bab I, II, dan III	2.
3.	15 September 2025	Konsultasi Bab I, II, dan III	3.
4.	22 September 2025	ACC Bab I, II, dan III	4.
5.	29 September 2025	Konsultasi Kajian Agama Bab I dan II	5.
6.	13 Oktober 2025	ACC Kajian Agama Bab I dan II	6.
7.	13 Oktober 2025	ACC Seminar Proposal	7.
8.	27 Oktober 2025	Konsultasi Revisi Seminar Proposal	8.
9.	10 November 2025	Konsultasi Bab IV	9.
10.	17 November 2025	Konsultasi Bab IV	10.
11.	21 November 2025	Konsultasi Bab IV dan V	11.
12.	24 November 2025	ACC Bab IV dan V	12.
13.	24 November 2025	Konsultasi Kajian Agama Bab IV	13.
14.	24 November 2025	Konsultasi Kajian Agama Bab IV	14.
15.	1 Desember 2025	ACC Seminar Hasil	15.

KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Gajayana No.50 Dinoyo Malang Telp. / Fax. (0341)558933

16.	4 Desember 2025	Konsultasi Revisi Seminar Hasil	16.
17.	16 Desember 2025	Sidang Skripsi	17.
18.	23 Desember 2025	ACC Keseluruhan	18.

Malang, 23 Desember 2025
Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika

Dr. Fachrur Rozi, M.Si.
NIP. 19800527 200801 1 012