

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan zaman dan kemajuan teknologi tidak terlepas dari matematika, di mana matematika sendiri menjadi ilmu dasar yang menjadi tolak ukur untuk mengembangkan ilmu pengetahuan, teknologi, dan sebagainya. Seturut perkembangan zaman, mulai ditemukan solusi yang layak guna merepresentasikan objek matematika yang tidak mulus. Salah satu cabang ilmu dalam geometri yang dapat digunakan adalah geometri fraktal (Palma, dkk., 2022). Fraktal merupakan salah satu cabang ilmu matematika yang mempelajari kesamaan bentuk, baik bentuk-bentuk geometri dalam matematika maupun bentuk-bentuk yang terdapat di alam (Sunny, dkk., 2020). Benoit B. Mandelbrot, seorang matematikawan kelahiran Polandia, merupakan tokoh yang pertama kali memperkenalkan istilah fraktal. Kata ini sendiri berakar dari bahasa Latin, yakni kata sifat "*Fractus*" dan kata kerja "*frangere*", keduanya mengimplikasikan penguraian menjadi bagian-bagian yang tidak beraturan (Mandelbrot, 1977). Salah satu karakteristik utama fraktal adalah *self-similarity* atau keserupaan diri, di mana struktur yang dibangun secara berulang pada tingkatan skala yang lebih kecil menyerupai bagian-bagian pada skala yang lebih besar dari bentuk aslinya. Karakteristik lain dari fraktal adalah detail tak hingga (*infinite detail*), yang memungkinkan pengungkapan detail semakin jelas seiring

dengan pembesaran objek (Wahyuningtyas, dkk., 2022). Bentuk matematis yang termasuk fraktal, antara lain *Sierpinski Triangle*, *Koch Snowflake*, *Peano curve*, *Mandelbrot set*, dan *Lorenz attractor*.

Fraktal bisa membantu menjelaskan banyak situasi yang sulit dideskripsikan menggunakan geometri klasik, dan sudah cukup banyak diaplikasikan dalam sains, teknologi, dan seni karya komputer. Penerapan fraktal dalam teknologi sangat luas. Salah satu contohnya adalah dalam bidang kompresi data. Dengan memanfaatkan sifat *self-similarity* fraktal, data gambar atau suara dapat dikompresi dengan efisien tanpa kehilangan kualitas yang signifikan. Selain itu, fraktal juga digunakan dalam generasi gambar dan animasi, menghasilkan bentuk-bentuk kompleks dan alami yang sulit dihasilkan dengan metode geometri tradisional. Dalam bidang keamanan data, fraktal digunakan untuk enkripsi dan steganografi. Citra fraktal dapat digunakan sebagai kunci enkripsi untuk mengamankan data sensitif. Di bidang medis, fraktal digunakan untuk analisis citra medis seperti MRI dan CT scan. Pola fraktal pada citra medis dapat membantu dalam deteksi dini penyakit seperti tumor dan kanker. Oleh karena itu, diperlukan suatu parameter untuk menginterpretasikan obyek kanker yang terdapat pada citra (Alam, dkk., 2014).

Fraktal mendeskripsikan berbagai pola yang tidak biasa di sekeliling umat manusia dan lebih cocok untuk memodelkan dan memprediksi tentang fenomena-fenomena alam. Konsep geometri fraktal hampir selalu dapat ditemukan di lingkungan sekitar, misalnya bentuk awan, daun, atau pohon (dikutip dari Wulandari, dkk., 2022, yang mengutip Ngilawajan, 2015). Kumpulan awan, garis pegunungan, garis pantai, petir bercabang dan berbagai objek alam lain dapat dideskripsikan dengan lebih baik menggunakan fraktal daripada menggunakan garis lurus dan kurva halus pada geometri klasik (Palma, dkk., 2022). Seperti terlihat pada Gambar 1.1, *Brokoli Romanesco* merupakan merupakan contoh nyata dari objek alami yang memiliki sifat fraktal.



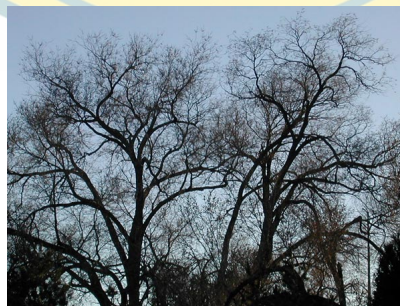
Gambar 1.1: *Broccoli Romanesco*
(Sumber: Wikipedia.org)

Pohon fraktal secara sederhana merupakan batang dan sejumlah cabang masing-masing terlihat seperti pohon itu sendiri. Pohon fraktal dapat dibangkitkan melalui metode L-System dan IFS. L-Systems merupakan metode yang mengubah secara bergantian bagian-bagian dari objek sederhana seperti segmen garis dengan menggunakan formula atau aturan produksi (Ramadhan, dkk., 2021). Sedangkan, membangun pohon fraktal dilakukan dengan memanfaatkan metode *Iterated Function System* dengan menentukan bentuk dasar percabangan kemudian menerapkan transformasi affine yaitu translasi, dilatasi, dan rotasi (Wulandari, dkk., 2022). Dengan menggunakan IFS, pohon fraktal dapat dibangkitkan secara efisien hanya dengan mendefinisikan sejumlah kecil aturan atau fungsi affine. Hal ini mengurangi kebutuhan untuk membuat setiap cabang secara manual, sehingga membuat proses pembentukan pohon menjadi lebih sederhana dan terstruktur.

Iterated Function System (IFS) adalah suatu sistem fungsi iteratif yang terdiri dari satu atau lebih transformasi kontraktif atau transformasi yang membuat objek menjadi lebih kecil pada setiap iterasi dan diaplikasikan secara berulang pada suatu himpunan titik awal untuk menghasilkan fraktal. Pola awal yang sederhana, seperti segmen garis atau segitiga, dapat diubah menjadi struktur fraktal yang kompleks dan indah melalui proses ini. Pembangkitan pohon fraktal menggunakan IFS umumnya melibatkan

transformasi affine. Transformasi affine ini merepresentasikan operasi geometri seperti rotasi, dilatasi (perbesaran atau pengecilan), dan translasi (pergeseran). Dengan menggabungkan beberapa transformasi affine, dapat dihasilkan berbagai bentuk pohon fraktal yang bervariasi.

Dengan kata lain, IFS membangun fraktal melalui proses iterasi yang terus-menerus. Terdapat dua jenis metode IFS, yaitu deterministik dan acak (Wahyudi, dkk., 2023). Dengan menggunakan pendekatan deterministik dalam pembangkitan pohon fraktal, peneliti dapat menghasilkan model yang konsisten dan terprediksi berdasarkan aturan matematis yang telah ditetapkan. Pada dasarnya, pendekatan deterministik termasuk metode IFS mengacu pada suatu proses yang sepenuhnya dapat diprediksi dan mengikuti aturan yang sudah ditetapkan secara pasti, sehingga menerapkan aturan yang sama secara berulang dan akan selalu mendapatkan hasil akhir yang identik untuk pembangkitan pohon fraktal yang menghasilkan pola *recurrent*. Sedangkan pada kenyataannya, tidak ada tanaman yang berkembang dengan cara yang sama. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode untuk visualisasi yang lebih realistis dalam struktur tanaman yang dihasilkan agar tidak terjadi kemonotonan. Metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan pola *non-recurrent* yaitu dengan pendekatan stokastik berupa interval probabilitas dimana memberikan rentang nilai yang dipilih secara acak pada parameter transformasi. Gambar 1.2. Visualisasi pohon alami dengan struktur percabangan yang kompleks.



Gambar 1.2: Contoh pohon alami
(Sumber: fractalfoundation.org)

Model deterministik dan stokastik dalam dua dimensi dan tiga dimensi seringkali melibatkan penggunaan matriks rotasi untuk menghasilkan transformasi geometri. Grafik dalam ruang dua dimensi hanya memakai matriks rotasi 2×2 yang digunakan untuk memutar titik di sekitar asal dalam bidang datar. matriks ini berfungsi untuk memutar titik-titik di sekitar asal dalam bidang datar. Proses ini melibatkan penerapan transformasi yang teratur dan berulang, sehingga menghasilkan pola yang kompleks namun terprediksi. Sebaliknya, dalam tiga dimensi, model fraktal lebih kompleks dan menggunakan matriks rotasi berukuran 3×3 . matriks ini memungkinkan untuk memutar objek di sekitar sumbu x , y , z , dan menambahkan elemen koordinat homogen untuk memberikan fleksibilitas yang lebih besar dalam ruang tiga dimensi dalam grafik komputer, terutama untuk objek yang kompleks seperti pohon fraktal. Perbedaan dimensi ini juga berimplikasi pada kompleksitas pola fraktal yang dihasilkan. Fraktal 2D cenderung memiliki pola yang lebih sederhana dan lebih mudah divisualisasikan, seperti segitiga Sierpinski atau kurva Koch. Sementara itu, fraktal 3D dapat menghasilkan struktur yang jauh lebih kompleks dan realistis yang memiliki panjang, lebar, dan tinggi, seperti pohon, awan, gunung, dan lembah.

Terdapat beberapa penelitian dalam pembangkitan suatu objek fraktal terkait *Iterated Function System*, seperti yang diteliti Ubaidillah, dkk. (2019), yang membangkitkan berbagai bentuk pohon Pythagoras dengan memanfaatkan metode IFS menggunakan beberapa transformasi affine dilatasi dan rotasi membentuk pohon dengan pendekatan deterministik dan acak. Sementara itu, Wahyuningtyas, dkk. (2022) meneliti tentang pembangkitan pohon fraktal tiga cabang dengan beberapa transformasi affine dilatasi, translasi, dan rotasi dengan menggunakan persegi sebagai bentuk awal dan menentukan dasar percabangan pada koordinat kartesius di dimensi 2. Namun, penelitian mengenai pembangkitan pohon fraktal tiga dimensi menggunakan IFS masih relatif terbatas. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan metode yang efisien untuk

menghasilkan berbagai jenis pohon fraktal tiga dimensi yang kompleks dan realistis.

Berdasarkan uraian di atas, peneliti akan memusatkan penelitian untuk metode IFS dalam menghasilkan pohon fraktal tiga dimensi dengan memanfaatkan transformasi affine seperti rotasi, dilatasi, dan translasi untuk menciptakan pola cabang yang menyebar secara alami. IFS dapat menghasilkan berbagai jenis pohon dengan percabangan yang kompleks dan akan menyelidiki lebih lanjut mengenai perhitungan dimensi untuk pola *recurrent* dan *non-recurrent* pada pohon fraktal tiga dimensi yang dihasilkan menggunakan metode IFS. Peneliti memanfaatkan teknologi dengan bantuan *software* untuk membangkitkan pohon fraktal 3D dan menghitung dimensi fraktalnya menggunakan Box Counting.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka rumusan masalah yang dapat diperoleh pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana membangkitkan pohon fraktal tiga dimensi untuk pola *recurrent* dan *non-recurrent* dengan menerapkan metode *Iterated Function System* (IFS)?
2. Bagaimana menghitung dimensi fraktal untuk pohon fraktal pola *recurrent*?
3. Bagaimana menghitung dimensi fraktal untuk pohon fraktal pola *non-recurrent*?

1.3 Batasan Masalah

Mengacu pada rumusan masalah yang telah ditetapkan, penelitian ini akan membatasi cakupannya pada:

1. Analisis dimensi fraktal pohon fraktal tiga dimensi yang dihasilkan oleh pola *recurrent* dan *non-recurrent* menggunakan Box Counting.
2. Jenis transformasi yang digunakan dalam pembangkitan pohon fraktal hanya terbatas pada perubahan sudut rotasi antara 0 - 90 derajat.
3. Cabang pohon di setiap iterasinya adalah 3 cabang.
4. Setelah batang utama terbentuk, iterasi berikutnya menumbuhkan cabang baru dari ujung cabang sebelumnya.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan, berikut adalah tujuan penelitian yang dapat diperoleh:

1. Memahami bagaimana metode IFS digunakan untuk membangun pohon fraktal tiga dimensi untuk pola *recurrent* dan *non-recurrent*.
2. Mengaplikasikan metode perhitungan dimensi fraktal dengan metode Box Counting pada model pohon fraktal 3D dengan pola *recurrent* dan *non-recurrent*.
3. Menganalisis dimensi fraktal pola *recurrent* dan *non-recurrent* pada pohon yang dibangkitkan dengan metode Box Counting.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini, sebagai berikut:

1. Menambah pemahaman tentang konsep geometri fraktal dan mengimplementasikan dalam membangun pohon fraktal dalam ruang tiga dimensi untuk pola *recurrent* dan *non-recurrent*.
2. Memperoleh beberapa variasi visualisasi pohon fraktal yang dibangkitkan menggunakan metode *Iterated Function System* (IFS)

3. Dapat melakukan perhitungan dimensi fraktal menggunakan Box-Counting terhadap pohon-pohon yang telah berhasil dibangkitkan.

