VARIASI BARISAN FRAKTAL *i-FIBONACCI WORD* MENGGUNAKAN *i*-GENAP DENGAN ATURAN GANJIL-GENAP

SKRIPSI

Oleh

Puspita Ayu Kusuma Ningrum
211810101033

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
JURUSAN MATEMATIKA
JEMBER
2025

VARIASI BARISAN FRAKTAL *i-FIBONACCI WORD* MENGGUNAKAN *i*-GENAP DENGAN ATURAN GANJIL-GENAP

diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Matematika

SKRIPSI

Oleh

Puspita Ayu Kusuma Ningrum
211810101033

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
JURUSAN MATEMATIKA
JEMBER
2025

PERSEMBAHAN

Karya sederhana ini saya persembahkan dengan penuh rasa syukur dan cinta kepada:

1. Ibu Yama Nuraini dan Bapak Sugiono, atas segala doa, perjuangan, dan pengorbanan tanpa henti dalam memberikan yang terbaik demi pendidikan anak-anaknya.
2. Regita Ayu Dwi Septiani, Prasetya Adi Nugroho, Oktavia Kartika Putri adik tercinta yang selalu menjadi sumber semangat dan pengingat agar tidak mudah menyerah dalam meraih impian.
3. Alm. Kakek Arsin dan Almh. Nenek Sana, yang semasa hidupnya selalu menjadi sumber semangat, nasihat, dan motivasi, serta tidak pernah lelah mendoakan hingga akhir hayatnya. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dan mengampuni segala khilaf mereka.
4. Seluruh keluarga besar, yang tiada henti memberi dukungan, doa, dan kepercayaan, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dan meraih gelar sarjana.

MOTTO

“ Jadikanlah hinaan sebagai motivasi”
(Puspita Ayu)

“Orang yang sukses tidak selalu orang yang pintar. Orang yang selalu meraih kesuksesan adalah orang yang gigih dan pantang menyerah”
(Susi Pudjiastuti)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : PUSPITA AYU KUSUMA NINGRUM

NIM : 211810101033

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: "Variasi Barisan Fraktal *i-Fibonacci Word* Menggunakan *i*-Genap Dengan Aturan Ganjil-Genap" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 9 Juli 2025

Yang menyatakan,

Puspita Ayu Kusuma Ningrum

NIM 211810101033

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul *Variasi Barisan Fraktal i-Fibonacci Word Menggunakan i-Genap Dengan Aturan Ganjil-Genap* telah diuji dan disetujui pada

Hari	: RABU
Tanggal	: 30 JUL 2025
Tempat	: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Kosala Dwidja Purnomo S.Si.,M.Si.
NIP. 196908281998021001

Anggota I,

Dr. Firdaus Ubaidillah, S.Si., M.Si.
NIP. 197006061998031003

Anggota II,

Bagus Juliyanto, S.Si., M.Si.
NIP. 198007022003121001

Anggota III,

Dr. Kristiana Wijaya, S.Si., M.Si.
NIP. 197408132000032004

ABSTRACT

Fractals are a branch of mathematics that explores objects with structures that appear random or irregular but actually exhibit repeating patterns at various scales. These patterns occur frequently in nature and can be modeled mathematically. One interesting example of a fractal is the Fibonacci Word, a binary sequence consisting of 0s and 1s. This sequence can be used to generate visual curves by applying the odd-even rule, where the number "1" is drawn as a straight line, while the number "0" causes the curve to bend to the left if it is in an even position and to the right if it is in an odd position. The Fibonacci Word was later extended to the i-Fibonacci Word by Ramirez and Rubianto (2014), which is recursively defined based on the parameter i. Previous research has shown that when i is odd, the i-Fibonacci Word can form a fractal when visualized using the odd-even method. However, fractal patterns for even values of i have not been explored extensively. This study aims to visualize and analyze the i-Fibonacci Word with even values $i = 2,4,6,8$ *by varying the initial series* $f_1^{[i]}$. *Visualization is done using the odd-even rule to determine whether the variation still forms a fractal pattern and maintains self-similarity, which is the basic property of fractals.*

Keywords: geometri, fractal,Fibonacci Word,i-Fibonacci Word

RINGKASAN

Variasi Barisan Fraktal *i-Fibonacci Word* Menggunakan i-Genap Dengan Aturan Ganjil-Genap; Puspita Ayu Kusuma Ningrum, 211810101033; 39 halaman; Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Fraktal adalah struktur geometris yang memiliki sifat *self-similarity* yang memiliki bentuk atau pola yang sama dan berulang. salah satu bentuk fraktal yaitu *Fibonacci Word.* Fraktal *i-Fibonacci Word* merupakan sebuah kurva yang terbentuk dari penerapan aturan ganjil-genap terhadap barisan (n,i)-*Fibonacci Word*. Barisan ini dibentuk secara rekursif $f_0^{[i]} = 0$; $f_1^{[i]} = 0^{i-1}1$; $f_n^{[i]} = f_{n-1}^{[i]} f_{n-2}^{[i]}$ untuk $n \geq 2$ dan $i \geq 1$. dengan n menyatakan iterasi, dan i menunjukkan generalisasi dari barisan tersebut. Aturan ganjil-genap yang digunakan dalam proses visualisasi adalah: jika digit bernilai “1”, maka digambar garis lurus; sedangkan untuk digit “0”, kurva akan berbelok ke kiri jika posisinya genap, dan ke kanan jika posisinya ganjil.

Dalam penelitian ini, fraktal *i-Fibonacci Word* divariasikan pada $i = 2,4,6,8$ Variasi tersebut bertujuan untuk menghasilkan kurva yang kemudian dianalisis untuk mengetahui apakah kurva tersebut termasuk dalam kategori fraktal. Proses visualisasi dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB.Hasil visualisasi dari variasi barisan *i-Fibonacci Word* dengan menggunakan $i = 2,4,6,8$ dapat membentuk pola-pola yang memiliki sifat *self-similarity* pada $\mathcal{F}_n^{[i]}$dan $\mathcal{F}_{n-3}^{[i]}$. Pola-pola pada $f_1^{[2]}$, $f_1^{[4]}$, $f_1^{[6]}$dan $f_1^{[8]}$ juga menunjukkan sebuah kesamaan bentuk pola dimana dalam setiap bentuk iterasi akan memiliki bentuk dan pola yang sama tetapi mengalami perulangan. Pola berulang untuk $\mathcal{F}_n^{[i]}$ dan $\mathcal{F}_{n-6}^{[8]}$.

Visualisasi fraktal *i-Fibonacci Word* dengan variasi $f_1^{[i]}$ khususnya pada posisi peletakan angka 1 yang akan menghasilkan kurva dengan bentuk yang identik apabila angka 1 ditempatkan pada posisi digit yang sama-sama ganjil. Hal

yang sama juga berlaku jika angka 1 diletakkan pada posisi digit yang sama-sama genap, di mana hasil visualisasinya akan membentuk pola kurva yang serupa.

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Variasi Barisan Fraktal *i-Fibonacci Word* Menggunakan *i*-Genap Dengan Aturan Ganjil-Genap." Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Tersusunnya skripsi ini tentunya tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kosala Dwidja Purnomo, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing utama dan Dr. Firdaus Ubaidillah, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing anggota atas bimbingan, masukan, dan arahannya selama proses penyusunan skripsi ini;
2. Bagus Juliyanto, S.Si., M.Si. dan Dr. Kristiana Wijaya, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini;
3. Seluruh dosen di Jurusan Matematika FMIPA Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan selama masa studi;
4. Oktavia dan Zulyuraida serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dan mendukung penulis selama menjalani masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna dan memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat serta menjadi dasar bagi pengembangan penelitian lebih lanjut di masa mendatang.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR LAMPIRAN

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam matematika, konsep geometri telah lama digunakan untuk menggambarkan bentuk-bentuk yang teratur seperti bentuk lingkaran, segitiga, atau persegi. Namun, banyak fenomena di alam yang menunjukkan kompleksitas bentuk yang tidak dapat dijelaskan hanya dengan geometri konvensional. Pola-pola alam seperti cabang pohon, garis pantai yang sering kali tampak acak dan tidak beraturan. Fenomena ini menunjukkan bahwa bentuk alam sebenarnya dapat dianalisis dan dijelaskan melalui konsep matematika yang lebih kompleks, yaitu geometri fraktal.

Fraktal adalah suatu bentuk atau pola geometris yang memiliki sifat *self-similarity* dimana bentuk atau pola yang sama dan berulang pada setiap skala. Fraktal pertama kali diperkenalkan oleh matematikawan asal Polandia yang bernama Benoit B. Mandelbrot pada tahun 1983. Fraktal berasal dari kata "*fractus*" yang berarti pecah. Fraktal dapat terlihat dalam berbagai fenomena alam seperti bentuk awan, pola daun, struktur pegunungan, dan banyak lagi, ini menunjukkan bagaimana matematika dapat menangkap esensi estetika dan keteraturan yang ada di sekitar kita, salah satu bentuk fraktal yaitu *Fibonacci Word.*

Fraktal *Fibonacci Word* memiliki pola yang unik dan memiliki sifat quasi-periodik yang dapat dimodelkan sebagai fraktal. Fraktal *Fibonacci Word* dapat dibangun dari sebuah barisan *Fibonacci Word* yang hanya berisi angka 1 dan 0, memiliki sebuah makna akan menggambar segmen garis ke suatu arah tertentu. Salah satu yang menarik dalam pembentukan *Fibonacci Word* ini yaitu menggunakan aturan ganjil genap untuk mengatur pola yang akan muncul (Dumaine, 2009). Seiring berkembangnya waktu banyak peneliti yang mengembangkan *Fibonacci Word* seperti modifikasi dengan menggunakan aturan-aturan tambahan seperti penentuan kata atau simbol berdasarkan kriteria khusus. Dalam bidang geometri fraktal *Fibonacci Word* dapat digunakan dalam membentuk sebuah pola fraktal yang rumit yang dapat direpresentasikan secara visualisasi sebagai pola yang berulang pada berbagai skala. Pengembangan tentang *Fibonacci*

Word juga dikembangkan oleh (Ramirez dan Rubianto, 2014) yang memperkenalkan sebuah barisan yang bernama *i-Fibonacci Word* yang didefinisikan secara rekursif $f_0^{[i]} = 0$; $f_1^{[i]} = 0^{i-1}1$; $f_n^{[i]} = f_{n-1}^{[i]} f_{n-2}^{[i]}$ untuk $n \geq 2$ dan $i \geq 1$.

Dalam beberapa tahun terakhir, banyak para peneliti telah mengeksplorasi penggunaan barisan *Fibonacci*, yang juga dikenal sebagai barisan *i-Fibonacci Word*. Barisan *i-Fibonacci Word* adalah barisan angka yang mengikuti pola barisan *Fibonacci*, di mana setiap angka ditentukan oleh dua angka sebelumnya. Dumaine (2009) menciptakan aksioma dan aturan produksi untuk membentuk sebuah kurva fraktal dari *Fibonacci Word* berdasarkan pola kurva yang dihasilkan melalui aturan penggambaran ganjil-genap. Penelitian yang telah dilakukan oleh Umami,dkk (2019) yang mengkaji *Fraktal i-Fibonacci Word* dengan menggunakan *L-System*. Pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa *i-Fibonacci Word* dengan menggunakan *i-ganjil* dapat membentuk sebuah kurva fraktal seiring sudut beloknya divariasikan. Bentuk pola fraktal *i-Fibonacci Word* bergantung dengan nilai generalisasi dan parameter *i* semakin besar nilai *i* dan generasi maka semakin besar pula jumlah segmen dan belokannya. Segmen pada fraktal akan merenggang jika besar sudutnya semakin kecil dan sudut akan bertumpang-tindih jika sudutnya semakin besar.

Berdasarkan penjelasan tersebut bahwa fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi *i genap* perubahannya belum diketahui jika f_1^i akan divariasikan dengan memvisualisasikannya menggunakan metode ganjil-genap. Dengan demikian, penulis akan mengkaji perubahan fraktal dari *i-Fibonacci Word* untuk generalisasi $i = 2$, $i = 4$,$i = 6$ dan $i = 8$ jika f_1^i akan divariasikan menggunakan visualisasi metode ganjil-genap. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi variasi-variasi baru dari *i-Fibonacci Word* dengan menggunakan *i-genap* sebagai parameter utama, serta menganalisis penerapan metode ganjil genap dalam proses pembentukan dan visualisasi barisan tersebut. Berharap dapat membuktikan jika variasi pada $f_1^{[2]}$, $f_1^{[4]}$, $f_1^{[6]}$dan $f_1^{[8]}$ akan membentuk sebuah fraktal ataukah tidak.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana bentuk variasi jika angka 1 pada barisan *i-Fibonacci Word* dipindah posisi ke depan untuk $f_1^{[2]}$, $f_1^{[4]}$, $f_1^{[6]}$dan $f_1^{[8]}$. Bagaimana penerapan metode ganjil-genap mempengaruhi bentuk dan struktur fraktal *i-Fibonacci Word* pada generalisasi *i*-genap.

1.3 Batasan Penelitian

Beberapa batasan masalah dalam penelitian seperti berikut:

1. Penelitian ini hanya akan fokus pada variasi *i-Fibonacci Word* dengan i-genap yaitu $i = 2,4,6,8$ tidak akan mengeksplorasi *i* lebih besar dari 8.
2. Penelitian ini terbatas pada penggunaan metode ganjil-genap dalam pembentukan pola fraktal, tanpa mengeksplorasi metode lain.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang akan dicapai adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi dan mendeskripsikan bentuk variasi yang dihasilkan dari barisan *i-Fibonacci Word* pada $f_1^{[2]}$, $f_1^{[4]}$, $f_1^{[6]}$dan $f_1^{[8]}$ dapat membentuk pola fraktal yang konsisten dengan sifat *self-similarity*.
2. Menganalisis bagaimana penerapan metode ganjil-genap mempengaruhi bentuk dan struktur fraktal *i-Fibonacci Word* pada generalisasi *i*-genap.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang akan diperoleh adalah sebagai berikut

1. Bagi pembaca membantu memahami fraktal dan *i-Fibonacci Word*, serta aplikasinya dalam geometri. Dan dapat menjadi inspirasi untuk penerapan pola fraktal dalam seni dan desain.
2. Bagi peneliti selanjutnya menjadikan landasan untuk eksplorasi variasi *i-Fibonacci Word* dan metode visualisasi

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fraktal

Fraktal berasal dari bahasa Latin "*fractus*," yang merupakan kata sifat. Kata kerja yang terkait dengan "*fractus*" adalah "*frangere*," yang berarti membelah, memecah, atau membagi menjadi bagian-bagian yang tidak beraturan. Objek fraktal memiliki ciri khas *self-similarity* dan infinite detail. Self-similarity adalah sifat yang menunjukkan bahwa suatu objek dibentuk oleh aturan sederhana yang berulang, di mana objek tersebut digantikan oleh objek yang sebangun tetapi berukuran lebih kecil. Dengan kata lain, setiap bagian kecil dari fraktal dapat dianggap sebagai duplikasi dalam skala kecil dari keseluruhan bentuk fraktal tersebut (Mandelbrot, 1983).

Berbagai jenis fraktal awalnya dipelajari sebagai objek matematis yang dapat diukur dengan perhitungan matematis konvensional. Terdapat banyak bentuk matematis yang merupakan fraktal, seperti segitiga Sierpinski, kepingan salju (Koch), kurva Peano, himpunan Mandelbrot, dan atraktor Lorenz. Fraktal juga sering ditemukan pada objek-objek di dunia nyata, seperti awan, pegunungan, turbulensi, dan garis pantai, yang memiliki bentuk geometris yang kompleks. Secara umum, fraktal memiliki bentuk yang tidak teratur dan tidak berbasis linearitas seperti bentuk matematis pada umumnya, sehingga tidak termasuk dalam objek yang didefinisikan oleh geometri tradisional atau geometri Euclid.

2.2 Fraktal *Fibonacci Word*

Barisan *Fibonacci Word* adalah suatu jenis barisan angka yang dihasilkan berdasarkan barisan *Fibonacci*. Dalam konteks ini, barisan angka dibangun dengan aturan tertentu yang mengikuti pola barisan *Fibonacci*. Barisan *Fibonacci* merupakan sebuah barisan bilangan yang memiliki pola yang unik, dengan suku pertama dan suku kedua juga 1, kemudian untuk suku-suku berikutnya diperoleh dari penggabungan dari dua suku sebelumnya sampai seterusnya. Berdasarkan aturan tersebut diperoleh barisan bilangan *Fibonacci* yaitu $1,1,2,3,5,8,13,21,...$ dengan nilai suku ke-*n* untuk $n \geq 3$ dengan menggunakan rumus $f_n = f_{n-1}f_{n-2}$

Fibonacci Word pertama kali diperkenalkan oleh *Fibonacci* dalam studi tentang urutan angka yang dihasilkan oleh penjumlahan dua angka sebelumnya. Barisan *Fibonacci Word* merupakan barisan yang khusus dibangun dari bilangan biner (0 dan 1). Barisan *Fibonacci Word* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$f_1 = 1$$

$$f_2 = 0$$

$$f_3 = 01$$

$$f_4 = 010$$

$$f_5 = 01001$$

$$\vdots$$

$$f_n = f_{n-1}f_{n-2}, n \geq 3 \qquad (2.1)$$

dengan f_n merupakan gabungan dari dua suku sebelumnya. Barisan *Fibonacci Word* dapat digambarkan menjadi sebuah kurva *Fibonacci Word* dengan cara mengambar garis. Fraktal Fibonacci Word merupakan salah satu jenis fraktal yang diperoleh dari barisan *Fibonacci Word* yang terdiri dari angka 1 dan 0 yang memiliki makna akan mengambar sebuah segmen garis pada arah tertentu. Sehingga disebut sebagai barisan berhingga dari *Fibonacci Word* maka

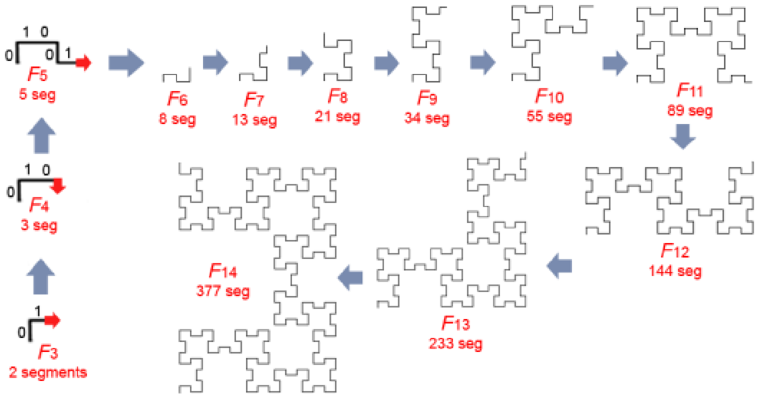
$$f = \lim_{n \to \infty} f_n = 0100101001001010010100100101 \ldots \qquad (2.2)$$

Ini mengindikasikan bahwa $|f_n| = F_n$, dengan $|f_n|$ menyatakan jumlah segmen angka dalam barisan *Fibonacci Word* (1 dan 0) pada iterasi ke-*n*, sedangkan F_n merupakan panjang segmen pada iterasi ke-*n* dalam barisan *Fibonacci*, seperti contoh $f_5 = 01001$ maka $|f_5| = 5 = F_5$. Barisan tak hingga dari barisan *Fibonacci* disebut sebagai *Sturmian word* (Dumaine, 2009).

Barisan *Fibonacci Word* memiliki berbagai karakteristik matematika dan linguistik, seperti sifat-sifat kesimetrian dan struktur berulang. Setiap angka dalam barisan ini memiliki bentuk yang merupakan angka *Fibonacci*, dan barisan angka-angka tersebut membentuk pola yang menarik dalam teori bahasa dan komputasi.

Aturan untuk membangun fraktal *Fibonacci word* dari simbol barisan *Fibonacci word* dapat dilakukan dengan mengambil digit-digit dari barisan tersebut. Kemudian, gambarlah segmen garis. Jika digitnya menunjukkan angka 0, maka belok kiri jika *n* genap dan belok kanan jika *n* ganjil, lalu lanjutkan sampai ke iterasi berikutnya. Aturan ini dikenal sebagai aturan garis ganjil-genap. Garis pertama menurut aturan ini dapat digambar sebagai digit pertama adalah 0, maka menggambar garis vertikal dan belok kanan. Digit kedua adalah 1, maka mengambar garis horizontal. Digit ketiga adalah 0 (berada di posisi yang ganjil), maka lanjutkan menggambar garis horizontal dan belok kanan. Digit keempat adalah 0 (berada di posisi yang genap), maka menggambar garis vertikal dan belok kiri. Lanjutkan secara induktif (Dumaine, 2009).

Konstruksi fraktal *Fibonacci Word* dengan menggunakan aturan pengambaran ganjil-genap seperti Gambar 2.1. Pada gambar tersebut menunjukkan proses pembentukan kurva fraktal ketika aturan ganjil genap diterapkan dari f_3 hingga f_{14}. Notasi pada kurva fraktal dan barisan *Fibonacci Word* masing-masing diberi notasi $\mathcal{F}_n$ dan f_n.



Gambar 2.1 Konstruksi Fraktal *Fibonacci Word*

Berdasarkan Gambar 2.1 tersebut terlihat adanya kemiripan (*self-similarity*) antara kurva $\mathcal{F}_{11}$ dan $\mathcal{F}_{14}$. Ini menunjukkan sifat fraktal pada Fibonacci Word, di mana kurva $\mathcal{F}_n$ serupa dengan $\mathcal{F}_{n-3}$. Jumlah segmen garis pada $\mathcal{F}_n$ sama dengan suku ke-n dalam barisan *Fibonacci* (F_n) pada suku ke-*n*. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa jumlah digit dalam barisan *Fibonacci Word* (f_n) sama dengan F_n (Dumaine, 2009).

2.3 Fraktal *i-Fibonacci Word*

Ramirez dan Rubiano (2014) di dalam artikelnya yang berjudul *Properties and Generalizations of the Fibonacci Word Fractal* memperkenalkan sebuah barisan baru yaitu barisan (n, i) $-$*Fibonacci*. Barisan ini didefinisikan secara rekursif sebagai:

$$F_n^{[i]} = F_{n-1}^{[i]} + F_{n-2}^{[i]}, \text{untuk } n \geq 2 \text{ dan } i \geq 1 \quad (2.3)$$

dengan n menunjukkan suku ke-n dan i menunjukkan generalisasi dari barisan (n, i)-*Fibonacci*. Barisan $(n, 1)$-*Fibonacci* merupakan bilangan *Fibonacci* seperti pada umumnya dan barisan $(n, 2)$-*Fibonacci* merupakan barisan *Fibonacci* yang bergeser satu. Untuk $(n, 3)$-*Fibonacci* dan selanjutnya berlaku hal yang sama. Barisan (n, i)-*Fibonacci* ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Barisan *(n,i)-Fibonacci Word*

$F_n^{[i]}$ \ Suku ke-n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$F_n^{[1]}$	1	1	2	3	5	8	13	21	34
$F_n^{[2]}$	1	2	3	5	8	13	21	34	55
$F_n^{[3]}$	1	3	4	7	11	18	29	47	76
$F_n^{[4]}$	1	4	5	9	14	23	37	60	97
$F_n^{[5]}$	1	5	6	11	17	28	45	73	118
$F_n^{[6]}$	1	6	7	13	20	33	53	86	139

Pada Tabel 2.1 menunjukkan jumlah elemen (0 dan 1) di dalam barisan pada suku ke-*n*. Barisan (n, i)-*Fibonacci Word* merupakan barisan khusus yang dibentuk oleh bilangan biner (0,1) dengan dua parameter, yaitu n dan i. Barisan ini dapat didefinisikan secara rekursif sebagai berikut :

$$f_0^{[i]} = 0$$

$$f_1^{[i]} = 0^{i-1}1$$

$$f_n^{[i]} = f_{n-1}^{[i]} f_{n-2}^{[i]} \text{ untuk } n \geq 2 \text{ dan } i \geq 1 \quad (2.4)$$

Operasi 0^{i-1} bukanlah sebuah operasi aljabar, tetapi dapat menunjukkan bahwa digit 0 pada barisan itu akan diulang sampai $i - 1$ kali. Misalnya jika $f_1^{[i]} =$

$0^{i-1}1$ dan untuk $i = 8$ maka diperoleh $f_1^{[8]} = 0^{8-1}1 = 00000001$. Berikut merupakan barisan *(n,i)-Fibonacci Word* untuk $i = 6$.

$$f_0^{[6]} = 0$$

$$f_1^{[6]} = 000001$$

$$f_2^{[6]} = 0000010$$

$$f_3^{[6]} = 0000010000001$$

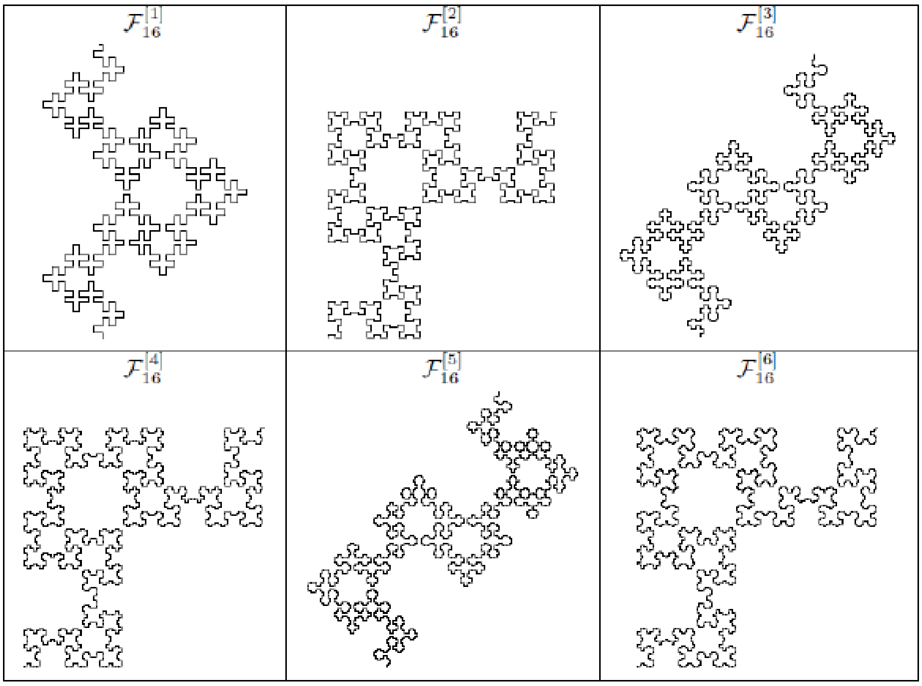
$$f_4^{[6]} = 00000100000010000010$$

$$f_5^{[6]} = 000001000000100000100000010000001$$

Dalam penggambaran menggunakan aturan ganjil-genap jika diaplikasikan dalam barisan (n, i)-*Fibonacci Word* dapat membentuk sebuah kurva yang merupakan fraktal *i-Fibonacci word* yang dapat dinotasikan dengan $\mathcal{F}_n^{[i]}$. Diperoleh definisi untuk fraktal *i-Fibonacci Word* sebagai :

$$\mathcal{F}^{[i]} = \lim_{n \to \infty} \mathcal{F}_n^{[i]}$$

Kurva $\mathcal{F}_{16}^{[i]}$ dengan $i = 1,2,3,4,5,6$ dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Kurva $\mathcal{F}_{16}^{[i]}$ dengan $i = 1,2,3,4,5,6,$

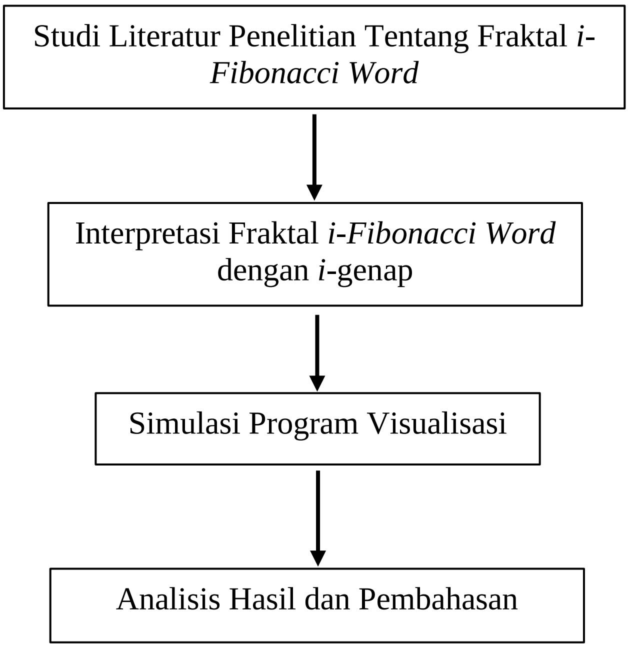
2.4 Aturan Ganjil-Genap

Dalam fraktal *i-Fiboanacci word* aturan ganjil-genap hanya khusus diterapkan pada elemen nol untuk menentukan arah belokan dalam proses visualisasi. Misalnya jika digitnya 0 maka akan berbelok ke kiri untuk *n genap* dan untuk *n ganjil* akan berbelok kanan sampai iterasi selanjutnya. Aturan ini disebut sebagai aturan ganjil-genap.

Aturan ganjil-genap ini merupakan salah satu metode yang akan diterapkan untuk membentuk sebuah fraktal dari *Fibonacci Word*. Melalui metode ini aturan yang akan diterapkan berdasarkan dari posisinya atau nilai dalam barisan *Fibonacci*. Aturan ini berfungsi untuk menentukan cara penggabungan atau perubahan elemen yang ada di dalam urutan *Fibonacci* yang akan membentuk pola fraktal. Implementasi aturan ganjil-genap ini dapat membantu menciptakan struktur yang simetris atau berulang sesuai dengan pola *i-Fibonacci*, yang akhirnya akan menghasilkan bentuk fraktal yang unik dan memiliki karakteristik tersendiri.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini secara skematik dapat dilihat pada skema di bawah dengan memberikan gambaran yang terstruktur mengenai proses penelitian yang akan dilakukan. Interpretasi aturan ganjil-genap menjadi salah satu kunci utama dalam membangun fraktal *i-Fibonacci Word* akan dijelaskan secara rinci dalam beberapa tahapan yang telah dirancang seperti Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Tahapan dalam penelitian

Tahapan pada Gambar 3.1 merupakan langkah-langkah penelitian yang diuraikan pada bagian berikut.

3.1 Studi Literatur Penelitian Tentang fraktal *i-Fibonacci Word*

Pada tahap awal akan dilakukan peninjauan berbagai literatur dan penelitian sebelumnya yang relevan dengan menggunakan konsep fraktal *i-Fibonacci Word*. Studi literatur bertujuan untuk memahami dasar teori, metode dan perkembangan terkini yang berkaitan dengan fraktal dan variasi *i-Fibonacci Word*, serta metode yang digunakan dalam penelitian ini. Pada Tabel 3.1 merupakan penelitian terdahulu.

Tabel 3.1 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul penelitian	Hasil penelitian
1	Amalia (2018)	Kajian Fraktal *i-Fiboancci Word* dengan Menggunakan *L-system*	Penelitian ini membuat pola fraktal *i-Fibonacci Word* yang berhasil dibentuk dengan menggunakan aturan *L-system*, yang menghasilkan visualisasi dengan struktur yang berulang yang menunjukkan karakteristik fraktal
2	Umami dkk. (2019)	Kajian Fraktal *i-Fibonacci Word* Generalisasi Ganjil dengan Menggunakan *L-system*	Penelitian ini mengungkapkan bahwa *i-Fibonacci Word* bisa membuat kurva fraktal menggunakan aturan ganjil-genap dan metode *L-System*. Bentuk pola fraktal *i-Fibonacci Word* bergantung dengan nilai generasi dan parameter *i* semakin besar nilai *i* dan generasinya, akan semakin komplek kurva fraktal yang akan dihasilkan dengan lebih banyak segmen dan lengkungan.
3	Rozida, dkk (2019)	Variasi Sudut Belok pada Fraktal *i-Fibonacci Word* dengan Menggunakan *L-system*	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar sudut belok akan mempengaruhi bentuk fraktal. Semakin besar sudut belok pada fraktal *i-Fibonacci Word* dengan menggunakan generalisasi *i genap*, akan semakin bertumpang-tindih segmen-segmen pada kurva fraktal. Perbedaan antara fraktal *i-Fibonacci Word* dengan generalisasi *i ganjil* dan *i genap* saat sudut belok divariasikan hanya terlihat pada bentuk kurva fraktal itu sendiri.
4	Sari, dkk (2021)	Kajian Morfisme untuk Variasi Kurva Dense *Fibonacci Word* dengan *L-system*	Penelitian ini berhasil memvisualisasikan bentuk fraktal Dense *Fibonacci Word* dengan menggunakan metode *L-Systems* dan menerapkan berbagai morfisme. Setiap morfisme menghasilkan variasi kurva Dense *Fibonacci Word* yang berbeda. Walaupun pada generasi kecil tiap morfisme akan membentuk kurva yang unik, pada generasi yang lebih tinggi pola fraktal yang dihasilkan akan tampak serupa.

3.2 Interpretasi Fraktal *i-Fibonacci Word* dengan *i*-genap

Fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi untuk *i* genap yaitu $i = 2$, $i = 4$, $i = 6$, dan $i = 8$ yang akan divariasikan untuk $f_1^{[i]}$ untuk divisualisasikan dengan menggunakan aturan *ganjil-genap*. Untuk variasi barisan *(n,i)-Fibonacci Word* untuk $i = 4$ yaitu $f_1^{[4]} = 0001$ divariasikan menjadi $f_1^{[4]} = 0010$, $f_1^{[4]} = 0100$ dan $f_1^{[4]} = 1000$ dengan menghasilkan 3 variasi barisan, berikut ini adalah 3 barisan *(n,i)-Fibonacci Word* untuk $i = 4$ yang sudah divariasikan.

$f_0^{[4]} = 0$	$f_0^{[4]} = 0$	$f_0^{[4]} = 0$
$f_1^{[4]} = 0010$	$f_1^{[4]} = 0100$	$f_1^{[4]} = 1000$
$f_2^{[4]} = 00100$	$f_2^{[4]} = 01000$	$f_2^{[4]} = 10000$
$f_3^{[4]} = 001000010$	$f_3^{[4]} = 010000100$	$f_3^{[4]} = 100001000$
$f_4^{[4]} = 00100001000100$	$f_4^{[4]} = 01000010001000$	$f_4^{[4]} = 10000100010000$

Penelitian yang akan dilakukan variasi untuk $f_1^{[2]}$ yang akan divariasikan pada $i = 4$, dengan mengubah letak angka 1 di dalam barisan *(n,i)-Fibonacci Word.*

3.3 Simulasi Program

Langkah selanjutnya adalah tahap visualisasi pada variasi $f_1^{[i]}$ pada fraktal *i-Fibonacci Word* dengan menggunakan $i = 2,4,6,8$ yang telah divariasikan menggunakan aturan ganjil-genap. Visualisasi dalam penelitian ini menggunakan MATLAB, untuk program dapat dilihat pada Lampiran 1. Berikut langkah-langkah dalam membuat program.

1. Input *n* dan $f_1^{[i]}$

   Pada tahap awal program masukkan nilai *n* dan $f_1^{[i]}$. Variabel *n* adalah iterasi yang di inginkan untuk membentuk pola kurva fraktal. $f_1^{[i]}$ memasukkan barisan *i-Fibonacci Word* yang sudah ditentukan.

2. Pembuatan Variasi Barisan *i-Fibonacci Word*

   Barisan *i-Fibonacci Word* didefinisikan secara berulang seperti pada persamaan (2.4). Generasi pertama barisan menggunakan ‘0’ pada Generasi kedua menggunakan barisan yang sudah divariasikan. Dalam langkah ini akan dilakukan dengan menggunakan program matlab. Terdapat beberapa variasi yang akan diteliti yaitu $f_1^{[2]} = 01$ dan $f_1^{[2]} = 10$, untuk $f_1^{[4]} = 0001$, $f_1^{[4]} = 0010$, $f_1^{[4]} = 0100$, dan $f_1^{[4]} = 1000$. Untuk $f_1^{[6]} = 000001$, $f_1^{[6]} = 000010$, $f_1^{[6]} = 000100$, $f_1^{[6]} = 001000$, $f_1^{[6]} = 010000$, dan $f_1^{[6]} = 100000$, sedangkan untuk $f_1^{[8]} = 00000001$, $f_1^{[8]} = 0000010$, $f_1^{[8]} = 00000100$, $f_1^{[8]} = 00001000$, $f_1^{[8]} = 00010000$, $f_1^{[8]} = 00100000$, $f_1^{[8]} = 01000000$, $f_1^{[8]} = 10000000$. Selanjutnya membuat visualisasi fraktal *i-Fibonacci Word* dengan generalisasi *i*-genap dengan $f_1^{[2]}, f_1^{[4]}, f_1^{[6]}$dan $f_1^{[8]}$

3. Menggambar Visualisasi Fraktal *i-Fibonacci Word*

   Hasil dari variasi barisan *i-Fibonacci Word* kemudian akan digambarkan dengan menggunakan aturan ganjil-genap, dengan mulai pengambaran pada titik (0,0) dengan garis awal mengarah keatas.

3.4 Analisis Hasil dan Pembahasan

Hasil dari yang sudah diuraikan merupakan visualisasi dari variasi $f_1^{[i]}$ menggunakan fraktal *i-Fibonacci Word* $i = 2$, $i = 4$, $i = 6$ dan $i = 8$ dengan aturan ganjil-genap. Pada visualisasi tersebut yang akan diteliti apakah akan membentuk sebuah fraktal ataukah tidak.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil visualisasi serta analisis terhadap karakteristik kurva fraktal dari *i-Fibonacci Word* yang mengalami variasi pada $f_1^{[2]}, f_1^{[4]}, f_1^{[6]}$ dan $f_1^{[8]}$ berdasarkan aturan ganjil-genap. Visualisasi tersebut bertujuan untuk mengidentifikasi apakah variasi yang dilakukan dalam penelitian ini menghasilkan pola yang bersifat fraktal. Selain itu, pada bab ini juga akan dibahas karakteristik kurva fraktal *i-Fibonacci Word* untuk nilai $i = 2, i = 4, i = 6$ dan $i = 8$, baik sebelum maupun setelah dilakukan variasi terhadap bentuk awalnya.

4.1 Penyusunan Variasi Barisan *i-Fibonacci Word*

Hasil dari variasi barisan *i-Fibonacci Word* kemudian akan digambarkan dengan menggunakan aturan ganjil-genap. Aturan ganjil-genap dapat diterapkan untuk membedakan elemen-elemen yang akan ditempatkan dalam suatu pola. Misalnya jika digitnya 0 maka akan berbelok ke kiri untuk *n genap* dan untuk *n ganjil* akan berbelok kanan sampai iterasi selanjutnya.

4.1.1. Variasi Barisan *i-Fibonacci Word* pada $i = 2$

Variasi barisan *i-Fibonacci Word* untuk $i = 2$ dengan $f_1^{[2]} = 01$ dapat divariasikan menjadi $f_1^{[2]} = 10$ yang dapat diavriasi satu barisan, pada Tabel 4.1 merupakan barisan *i-Fibonacci Word* untuk $i = 2$ dan barisan yang sudah divariasikan.

Tabel 4.1 Barisan *i-Fibonacci Word* untuk $i = 2$

Barisan $f_1^{[2]} = 01$	Barisan variasi $f_1^{[2]} = 10$
$f_0^{[2]} = 0$ $f_1^{[2]} = 01$ $f_2^{[2]} = 010$ $f_3^{[2]} = 01001$ $f_4^{[2]} = 01001010$ $f_5^{[2]} = 0100101001001$	$f_0^{[2]} = 0$ $f_1^{[2]} = 10$ $f_2^{[2]} = 100$ $f_3^{[2]} = 10010$ $f_4^{[2]} = 10010100$ $f_5^{[2]} = 1001010010010$

4.1.2. Variasi Barisan *i-Fibonacci Word* pada $i = 4$

Variasi barisan *i-Fibonacci Word* untuk $i = 4$ yaitu $f_1^{[4]} = 0001$ divariasikan menjadi $f_1^{[4]} = 0010$, $f_1^{[4]} = 0100$ dan $f_1^{[4]} = 1000$ dengan menghasilkan 3 variasi barisan, pada Tabel 4.2 merupakan barisan *i-Fibonacci Word* untuk $i = 4$ dan barisan yang sudah divariasikan.

Tabel 4.2 barisan *i-Fibonacci Word* untuk $i = 4$

Barisan $f_1^{[4]} = 0001$	Variasi barisan $f_1^{[4]} = 0010$
$f_0^{[4]} = 0$ $f_1^{[4]} = 0001$ $f_2^{[4]} = 00010$ $f_3^{[4]} = 000100001$ $f_4^{[4]} = 00010000100010$ $f_5^{[4]} = 0001000010001000010000 1$	$f_0^{[4]} = 0$ $f_1^{[4]} = 0010$ $f_2^{[4]} = 00100$ $f_3^{[4]} = 001000010$ $f_4^{[4]} = 00100001000100$ $f_5^{[4]} = 00100001000100001000010$
Variasi barisan $f_1^{[4]} = 0100$	Variasi barisan $f_1^{[4]} = 1000$
$f_0^{[4]} = 0$ $f_1^{[4]} = 0100$ $f_2^{[4]} = 01000$ $f_3^{[4]} = 010000100$ $f_4^{[4]} = 01000010001000$ $f_5^{[4]} = 01000010001000010000100$	$f_0^{[4]} = 0$ $f_1^{[4]} = 1000$ $f_2^{[4]} = 10000$ $f_3^{[4]} = 100001000$ $f_4^{[4]} = 10000100010000$ $f_5^{[4]} = 10000100010000100001000$

4.1.3. Variasi Barisan *i-Fibonacci Word* pada $i = 6$

Variasi barisan *i-Fibonacci Word* untuk $i = 6$ dengan $f_1^{[6]} = 000001$ dapat divariasikan menjadi $f_1^{[6]} = 000010$, $f_1^{[6]} = 000100$, $f_1^{[6]} = 001000$, $f_1^{[6]} = 010000$, $f_1^{[6]} = 100000$ yang dapat divariasikan ada lima barisan, pada Tabel 4.3 merupakan barisan *i-Fibonacci Word* untuk $i = 6$ dan barisan yang sudah divariasikan.

Tabel 4.3 Barisan *i-Fibonacci Word* untuk $i = 6$

Barisan $f_1^{[6]} = 000001$	Variasi barisan $f_1^{[6]} = 000010$
$f_0^{[6]} = 0$ $f_1^{[6]} = 000001$ $f_2^{[6]} = 0000010$ $f_3^{[6]} = 0000010000001$ $f_4^{[6]} = 0000010000001000001 0$ $f_5^{[6]} = 00000100000010000010$ 0000010000001	$f_0^{[6]} = 0$ $f_1^{[6]} = 000010$ $f_2^{[6]} = 00000100$ $f_3^{[6]} = 00000100000010$ $f_4^{[6]} = 0000010000001000000100$ $f_5^{[6]} = 0000010000001000000100$ 00000100000010
Variasi barisan $f_1^{[6]} = 000100$	Variasi barisan $f_1^{[6]} = 001000$
$f_0^{[6]} = 0$ $f_1^{[6]} = 000100$ $f_2^{[6]} = 0001000$ $f_3^{[6]} = 0001000000100$ $f_4^{[6]} = 00010000001000001000$ $f_5^{[6]} = 00010000001000001000$ 0001000000100	$f_0^{[6]} = 0$ $f_1^{[6]} = 001000$ $f_2^{[6]} = 0010000$ $f_3^{[6]} = 0010000001000$ $f_4^{[6]} = 00100000010000010000$ $f_5^{[6]} = 00100000010000010000$ 0010000001000
Variasi barisan $f_1^{[6]} = 010000$	Variasi barisan $f_1^{[6]} = 100000$
$f_0^{[6]} = 0$ $f_1^{[6]} = 010000$ $f_2^{[6]} = 0100000$ $f_3^{[6]} = 0100000010000$ $f_4^{[6]} = 01000000100000100000$ $f_5^{[6]} = 01000000100000100000$ 0100000010000	$f_0^{[6]} = 0$ $f_1^{[6]} = 100000$ $f_2^{[6]} = 1000000$ $f_3^{[6]} = 1000000100000$ $f_4^{[6]} = 10000001000001000000$ $f_5^{[6]} = 10000001000001000000$ 1000000100000

4.1.4. Variasi Barisan *i-Fibonacci Word* pada $i = 8$

Variasi barisan *i-Fibonacci Word* untuk $i = 8$ dengan $f_1^{[8]} = 00000001$ dapat divariasikan menjadi $f_1^{[8]} = 00000001$, $f_1^{[8]} = 00000010$, $f_1^{[8]} = 00000100$, $f_1^{[8]} = 00001000$, $f_1^{[8]} = 00010000$, $f_1^{[8]} = 00100000$, $f_1^{[8]} = 01000000$, $f_1^{[8]} = 10000000$ yang dapat divariasikan ada tujuh barisan, pada Tabel 4.4 adalah barisan *i-Fibonacci Word* untuk $i = 8$ dan barisan yang sudah divariasikan.

Tabel 4.4 Barisan *i-Fibonacci Word* untuk $i = 8$

Barisan $f_1^{[8]} = 00000001$	Variasi barisan $f_1^{[8]} = 00000010$
$f_0^{[8]} = 0$ $f_1^{[8]} = 00000001$ $f_2^{[8]} = 000000010$ $f_3^{[8]} = 00000001000000001$ $f_4^{[8]} = 0000000100000000100$ 0000010 $f_5^{[8]} = 0000000100000000100000$ 001000000001000000001	$f_0^{[8]} = 0$ $f_1^{[8]} = 00000010$ $f_2^{[8]} = 000000100$ $f_3^{[8]} = 00000010000000010$ $f_4^{[8]} = 000000100000000100000$ 00100 $f_5^{[8]} = 0000001000000001000000$ 010000000010000000010
Variasi barisan $f_1^{[8]} = 00000100$	Variasi barisan $f_1^{[8]} = 00001000$
$f_0^{[8]} = 0$ $f_1^{[8]} = 00000100$ $f_2^{[8]} = 000001000$ $f_3^{[8]} = 00000100000000100$ $f_4^{[8]} = 00000100000000100000$ 001000 $f_5^{[8]} = 0000010000000010000000$ 100000000100000000100	$f_0^{[8]} = 0$ $f_1^{[8]} = 00001000$ $f_2^{[8]} = 000010000$ $f_3^{[8]} = 00001000000001000$ $f_4^{[8]} = 000010000000010000000$ 10000 $f_5^{[8]} = 00001000000001000000001$ 000000001000000001000
Variasi barisan $f_1^{[8]} = 00010000$	Variasi barisan $f_1^{[8]} = 00100000$
$f_0^{[8]} = 0$ $f_1^{[8]} = 00010000$ $f_2^{[8]} = 000100000$ $f_3^{[8]} = 00010000000010000$ $f_4^{[8]} = 00010000000010000000$ 100000 $f_5^{[8]} = 0001000000001000000010$ 000000010000000010000	$f_0^{[8]} = 0$ $f_1^{[8]} = 00100000$ $f_2^{[8]} = 001000000$ $f_3^{[8]} = 00100000000100000$ $f_4^{[8]} = 001000000001000000010$ 00000 $f_5^{[8]} = 0010000000010000000100$ 000000100000000100000
Variasi barisan $f_1^{[8]} = 01000000$	Variasi barisan $f_1^{[8]} = 10000000$
$f_0^{[8]} = 0$ $f_1^{[8]} = 01000000$ $f_2^{[8]} = 010000000$ $f_3^{[8]} = 01000000001000000$ $f_4^{[8]} = 01000000001000000010$ 000000 $f_5^{[8]} = 0100000000100000001000$ 000001000000001000000	$f_0^{[8]} = 0$ $f_1^{[8]} = 10000000$ $f_2^{[8]} = 100000000$ $f_3^{[8]} = 10000000010000000$ $f_4^{[8]} = 10000000010000000100$ 000000 $f_5^{[8]} = 1000000001000000010000$ 000010000000010000000

Selanjutnya dalam membuat visualisasi fraktal *i-Fibonacci Word* dengan generalisasi *i* genap dari $f_1^{[2]}, f_1^{[4]}, f_1^{[6]}$dan $f_1^{[8]}$ yang akan divariasikan menggunakan metode ganjil-genap. Tujuan dari variasi ini adalah untuk mengeksplorasi dan menganalisis bagaimana perubahan pada nilai i memengaruhi bentuk fraktal yang dihasilkan. Dengan meningkatnya nilai i, pola-pola fraktal yang terbentuk diharapkan menunjukkan kompleksitas yang berbeda, baik dari segi kerapatan garis, tingkat keteraturan, maupun karakteristik self-similarity yang merupakan ciri khas dari fraktal. Proses visualisasi ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak MATLAB.

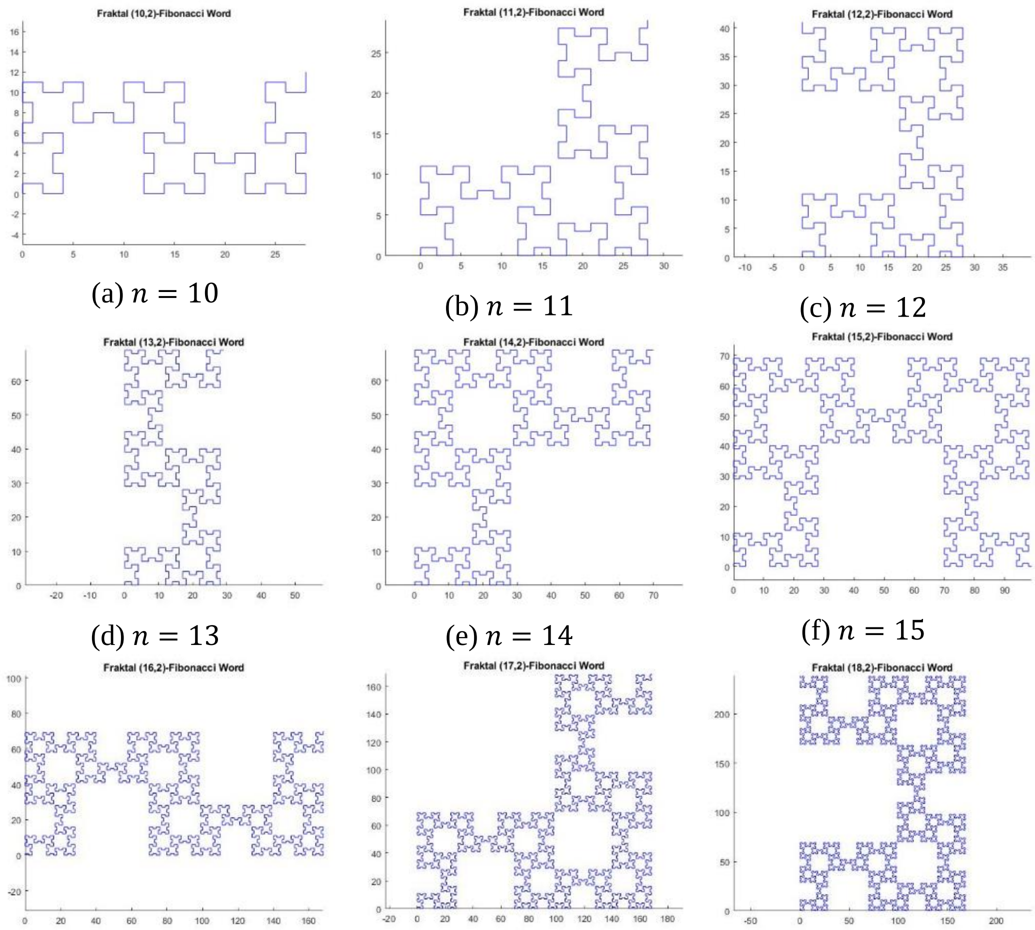
4.2 Analisis Hasil Visualisasi dan Pembahasan

Dalam penelitian ini dilakukan untuk menganalisis hasil visualiasasi dari variasi barisan fraktal *i-Fibonacci Word* dengan $i = 2,4,6,8$. Visualiasasi ini bertujuan untuk menunjukkan bagaimana pola-pola geometris fraktal yang terbentuk seiring nilai *i* yang semakin bertambah, serta bagaimana aturan ganjil-genap diterapkan dalam proses ini. Aturan ganjil-genap diterapkan untuk mengatur arah perubahan berdasarkan letak posisi angka 0 pada barisan.

Melalui analisis ini, diamati bagaimana perubahan nilai *i* mempengaruhi struktur fraktal dengan bertambahnya nilai *i* akankah memperlihatkan sifat dari fraktal yang lebih jelas ataukah tidak berikut adalah pembahasan hasil visualiasasi untuk nilai *i*.

4.2.1. Visualisasi Variasi *Fraktal i-Fibonacci Word* $i = 2$

Variasi barisan *i-Fibonacci Word* untuk $i = 2$ dengan $f_1^{[2]} = 01$, yang dalam proses variasinya mengubah posisi angka 1 pindah ke depan menjadi $f_1^{[2]} = 10$. Dalam proses visualisasi menggunakan iterasi $(n) = 10,11,12, \dots ,18$ visualisasi menggunakan MATLAB dengan $f_1^{[2]} = 01$ dapat dilihat pada Gambar 4.1 dengan menggunakan $i = 2$ dimulai mengambar pada titik (0,0) dan mengikuti aturan ganjil-genap untuk menentukan arah garis pada Gambar 4.1 menunjukkan perubahan bentuk dari iterasi ke iterasi.



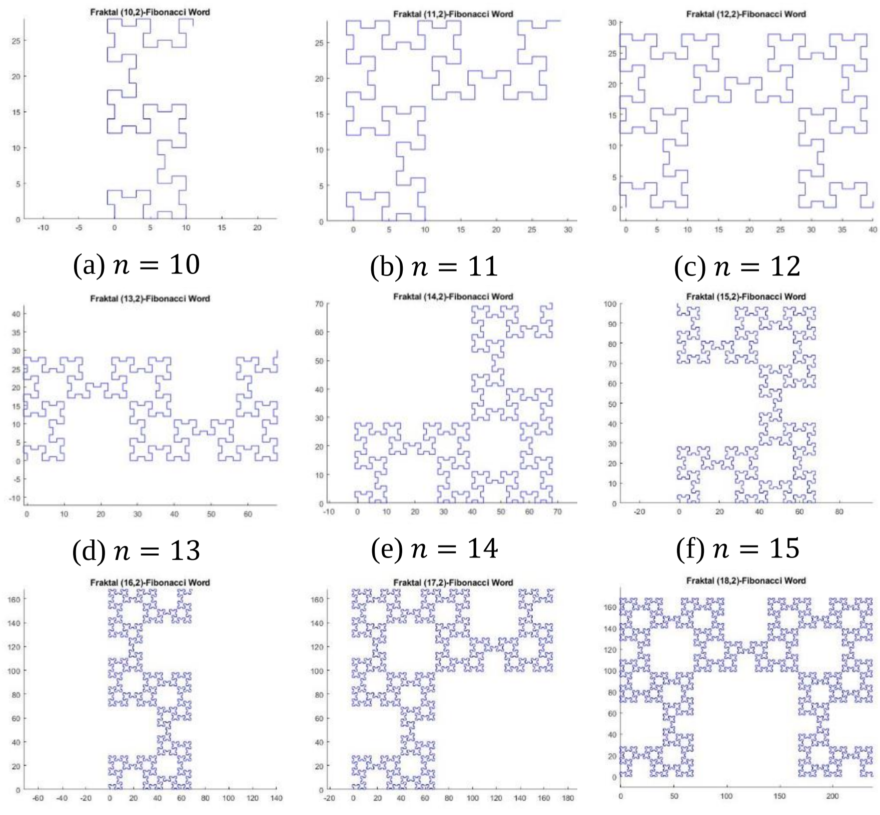
(a) $n = 10$ (b) $n = 11$ (c) $n = 12$

(d) $n = 13$ (e) $n = 14$ (f) $n = 15$

(g) $n = 16$ (h) $n = 17$ (i) $n = 18$

Gambar 4.1 Hasil Visualisasi $f_1^{[2]} = 01$

Hasil variasi dari $f_1^{[2]} = 01$ yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dapat divariasikan menjadi $f_1^{[2]} = 10$. variasi ini akan divisualisasikan menggunakan matlab dengan menggunakan iterasi $(n) = 10,11,12, \ldots ,18$. Variasi ini bertujuan untuk mengamati pengaruh perubahan pada barisan awal terhadap bentuk akhir fraktal yang terbentuk. Hasil dari visualisasi pada barisan $f_1^{[2]} = 10$ ditampilkan pada Gambar 4.2 dari deretan gambar tersebut terlihat meskipun bentuk dasarnya serupa terdapat perbedaan dari arah kurvanya.



(a) $n = 10$ (b) $n = 11$ (c) $n = 12$

(d) $n = 13$ (e) $n = 14$ (f) $n = 15$

(g) $n = 16$ (h) $n = 17$ (i) $n = 18$

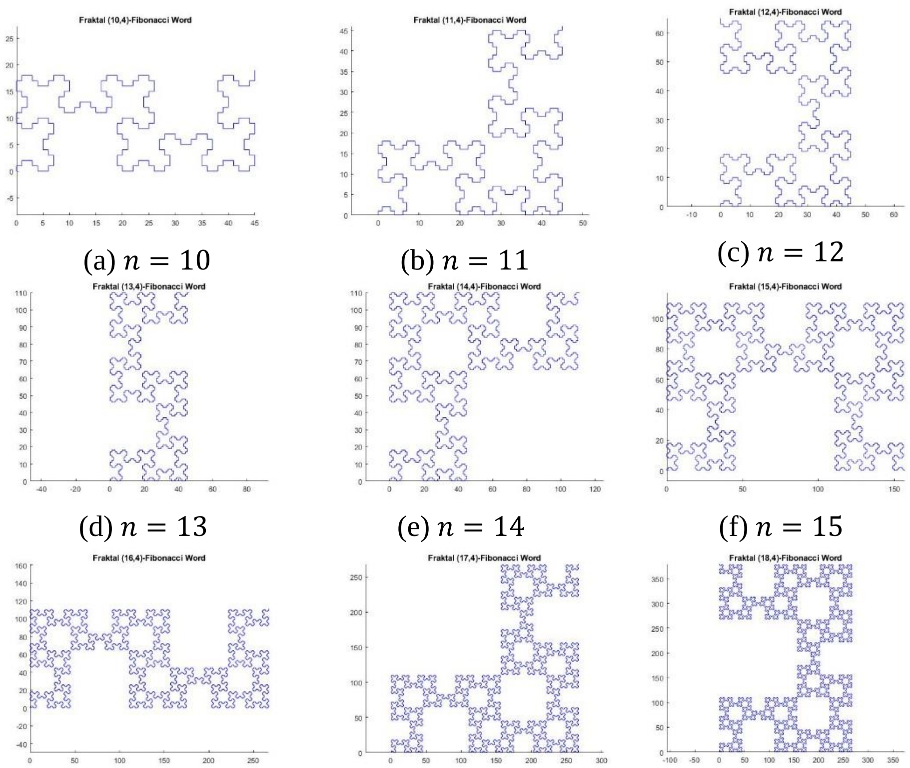
Gambar 4.2 Hasil visualisasi $f_1^{[2]} = 10$

Dari hasil visualisasi pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 menunjukkan bahwa bentuk pola dari kedua gambar hasil visualisasi pada matlab tersebut menunjukkan bahwa bentuk variasi $f_1^{[2]} = 10$ sangat menyerupai seperti bentuk $f_1^{[2]} = 01$ yang memiliki sifat *self-similarity*. Terbukti jika *self similarity* yaitu $\mathcal{F}_n^{[2]}$dan $\mathcal{F}_{n-3}^{[2]}$ terjadi seperti contoh pada Gambar 4.2(a), Gambar 4.2(d), dan Gambar 4.2(g), contoh yang sama juga pada Gambar 4.2(b), Gambar 4.2(e) dan Gambar 4.2(h) contoh yang lain pada Gambar 4.2(c), Gambar 4.2(f) dan Gambar 4.2(i) untuk variasi $f_1^{[2]} = 10$ maka menunjukkan bahwa visualisasi $\mathcal{F}_n^{[2]}$ membentuk fraktal.

Visualisasi variasi pada *i-Fibonacci word* dengan $i = 2$ dengan $f_1^{[2]}$yang sudah divariasikan memiliki bentuk pola yang berulang terdapat pada $\mathcal{F}_n^{[2]}$dan $\mathcal{F}_{n-6}^{[2]}$. Hasil visualisasi $\mathcal{F}_n^{[2]}$ memiliki bentuk yang serupa dengan hasil visualisasi $\mathcal{F}_{n-6}^{[2]}$. Contohnya terdapat pada Gambar 4.2(a) dan Gambar 4.2(g) memiliki bentuk visualisasi yang serupa. Contoh yang lain juga terdapat pada Gambar 4.2(b) dan Gambar 4.2(h) juga memiliki bentuk visualisasi yang sama. Begitu juga dengan contoh pada Gambar 4.2(c) dan Gambar 4.2(i) yang memiliki hasil visualisasi yang serupa. Hasil yang sama juga dapat diketahui pada pola barisan $f_1^{[2]} = 01$. Hasil visualisasi menunjukkan bahwa bentuk kurva dari masing-masing barisan memiliki pola geometris dan jumlah segmen garis yang serupa. Perbedaan utama terlihat pada arah belokan kurva, yang dipengaruhi oleh perubahan urutan angka dan aturan ganjil-genap, sehingga kurva tampak berputar ke kanan atau ke kiri.

4.2.2. Visualisasi Variasi *Fraktal i-Fibonacci Word* $i = 4$

Variasi barisan *i-Fibonacci Word* untuk $i = 4$ yaitu $f_1^{[4]} = 0001$. Bentuk awal akan divariasikan menjadi tiga yaitu $f_1^{[4]} = 0010$, $f_1^{[4]} = 0100$ dan $f_1^{[4]} = 1000$. Visualisasi dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Pada Gambar 4.3 ditampilkan hasil visualisasi untuk $f_1^{[4]} = 0001$ dengan menggunakan terasi (n) $= 10{,}11{,}12, \ldots, 18$ proses visualisasi dimulai dari titik koordinat $(0{,}0)$ dengan menggunakan $i = 4$. Untuk tampilan gambar lebih rinci dapat dilihat pada Lampiran 2.



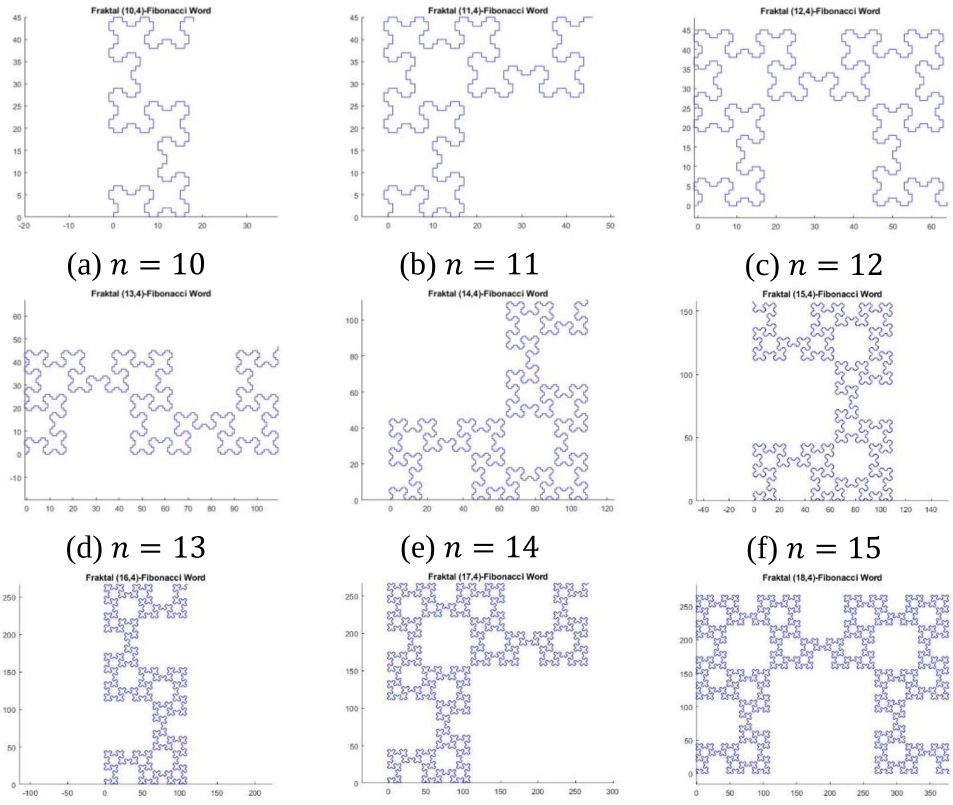
(a) $n = 10$ (b) $n = 11$ (c) $n = 12$

(d) $n = 13$ (e) $n = 14$ (f) $n = 15$

(g) $n = 16$ (h) $n = 17$ (i) $n = 18$

Gambar 4.3 Hasil visualisasi $f_1^{[4]} = 0001$

Hasil dari barisan $f_1^{[4]} = 0001$ pada Gambar 4.3 dapat divariasikan menjadi $f_1^{[4]} = 0010$. Variasi ini akan divisualisasikan menggunakan matlab dengan menggunakan n yang sama, hasil dari visualisasinya dari $f_1^{[4]} = 0010$ pada Gambar 4.4 dalam memvisualisasi dimulai dari titik koordinat $(0{,}0)$.



(a) $n = 10$ (b) $n = 11$ (c) $n = 12$

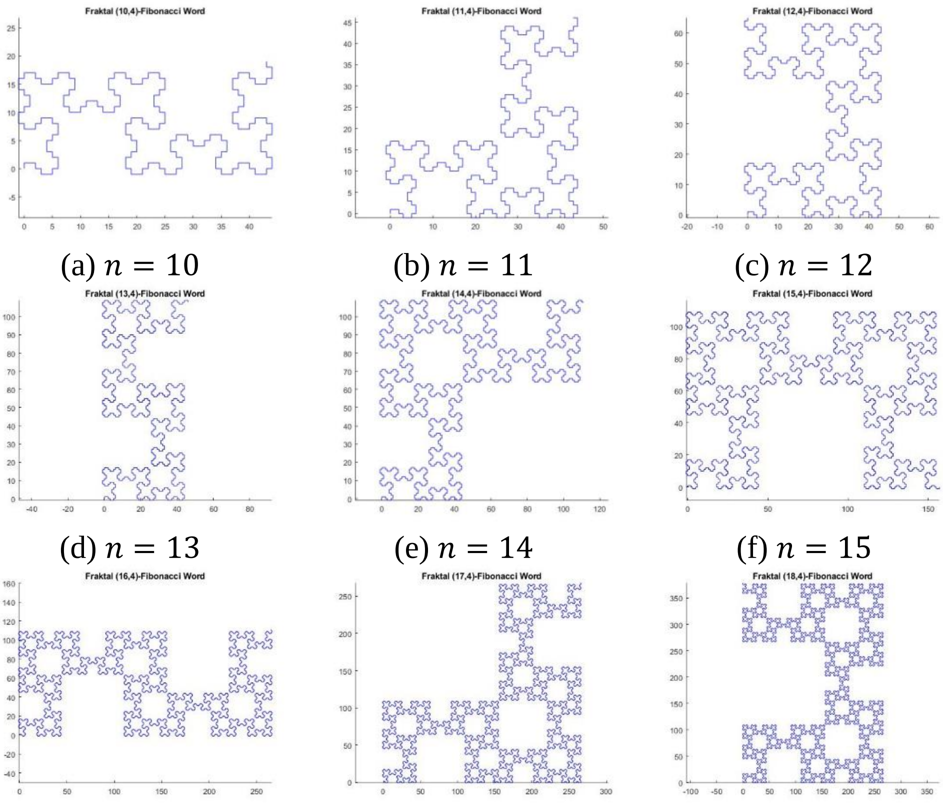
(d) $n = 13$ (e) $n = 14$ (f) $n = 15$

(g) $n = 16$ (h) $n = 17$ (i) $n = 18$

Gambar 4.4 Hasil visualisasi $f_1^{[4]} = 0010$

Dari hasil visualisasi pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa bentuk pola dari hasil visualisasi pada matlab tersebut menunjukkan bahwa bentuk variasi $f_1^{[4]} = 0010$ yang memilki sifat *self-similarity*. Terbukti jika *self similarity* yaitu $\mathcal{F}_n^{[4]}$dan $\mathcal{F}_{n-3}^{[4]}$ terjadi seperti contoh pada Gambar 4.4(a), Gambar 4.4(d), dan Gambar 4.4(g), contoh yang sama juga pada Gambar 4.4(b), Gambar 4.4(e) dan Gambar 4.4(h) contoh yang lain pada Gambar 4.4(c), Gambar 4.4(f) dan Gambar 4.4(i) untuk variasi $f_1^{[4]} = 0010$ maka menunjukkan bahwa visualisasi $\mathcal{F}_n^{[4]}$ membentuk fraktal.

Visualisasi variasi pada *i-Fibonacci word* dengan $i = 4$ dengan $f_1^{[4]}$yang sudah divariasikan memiliki bentuk pola yang berulang terdapat pada $\mathcal{F}_n^{[4]}$dan $\mathcal{F}_{n-6}^{[4]}$. Hasil visualisasi $\mathcal{F}_n^{[4]}$ memiliki bentuk yang serupa dengan hasil visualisasi $\mathcal{F}_{n-6}^{[4]}$. Contohnya terdapat pada Gambar 4.4(a) dan Gambar 4.4(g) memiliki bentuk visualisasi yang serupa. Contoh yang lain juga terdapat pada Gambar 4.4(b) dan Gambar 4.4(h) juga memiliki bentuk visualisasi yang sama. Begitu juga dengan contoh pada Gambar 4.4(c) dan Gambar 4.4(i) yang memiliki hasil visualisasi yang serupa. Pada Gambar 4.5 merupakan variasi yag ketiga $f_1^{[4]} = 0100$.



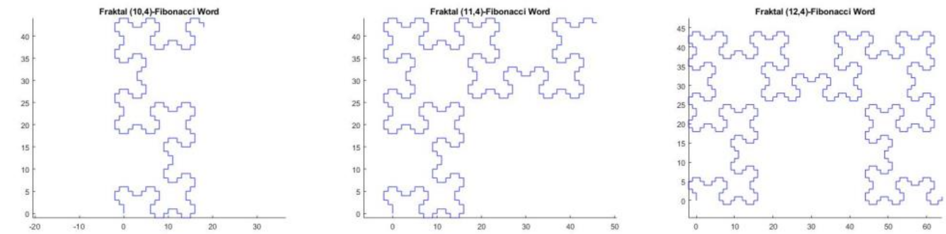
(a) $n = 10$ (b) $n = 11$ (c) $n = 12$

(d) $n = 13$ (e) $n = 14$ (f) $n = 15$

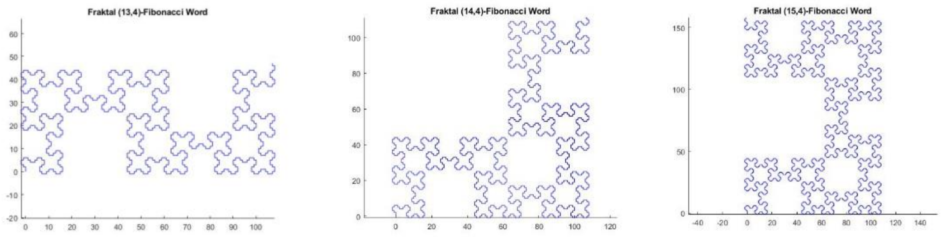
(g) $n = 16$ (h) $n = 17$ (i) $n = 18$

Gambar 4.5 Hasil visualisasi $f_1^{[4]} = 0100$

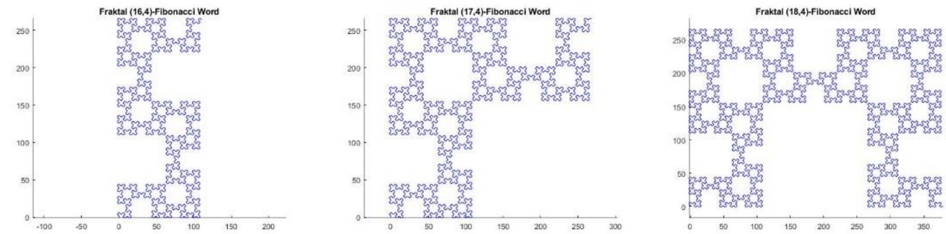
Dari hasil visualisasi pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa bentuk pola dari gambar hasil visualisasi pada matlab tersebut menunjukkan bahwa bentuk variasi $f_1^{[4]} = 0100$ sangat menyerupai seperti bentuk $f_1^{[4]} = 0001$ yang memilki sifat *self-similarity*. Terbukti jika *self similarity* yaitu $\mathcal{F}_n^{[4]}$dan $\mathcal{F}_{n-3}^{[4]}$ terjadi seperti contoh pada Gambar 4.5(a), Gambar 4.5(d), dan Gambar 4.5(g), contoh yang sama juga pada Gambar 4.5(b), Gambar 4.5(e) dan Gambar 4.5(h) contoh yang lain pada Gambar 4.5(c), Gambar 4.5(f) dan Gambar 4.5(i) untuk variasi $f_1^{[4]} = 0100$ maka menunjukkan bahwa visualisasi $\mathcal{F}_n^{[4]}$ membentuk fraktal. Visualisasi Variasi pada *i-Fibonacci word* $f_1^{[4]} = 0100$ yang sudah divariasikan memiliki bentuk pola yang berulang terdapat pada $\mathcal{F}_n^{[4]}$dan $\mathcal{F}_{n-6}^{[4]}$. Hasil visualisasi $\mathcal{F}_n^{[4]}$ memiliki bentuk yang serupa dengan hasil visualisasi $\mathcal{F}_{n-6}^{[4]}$. Contohnya terdapat pada Gambar 4.5(a) dan Gambar 4.5(g) memiliki bentuk visualisasi yang serupa. Contoh yang lain juga terdapat pada Gambar 4.5(b) dan Gambar 4.5(h) juga memiliki bentuk visualisasi yang sama. Begitu juga dengan contoh pada Gambar 4.5(c) dan Gambar 4.5(i) yang memiliki hasil visualisasi yang serupa. Hasil visualisasi pada barisan $f_1^{[4]} = 0010$ memiliki bentuk yang serupa dengan barisan $f_1^{[4]} = 0001$. Pada Gambar 4.6 merupakan variasi yag ke empat $f_1^{[4]} = 1000$.



(a) $n = 10$ (b) $n = 11$ (c) $n = 12$



(d) $n = 13$ (e) $n = 14$ (f) $n = 15$



(g) $n = 16$ (h) $n = 17$ (i) $n = 18$

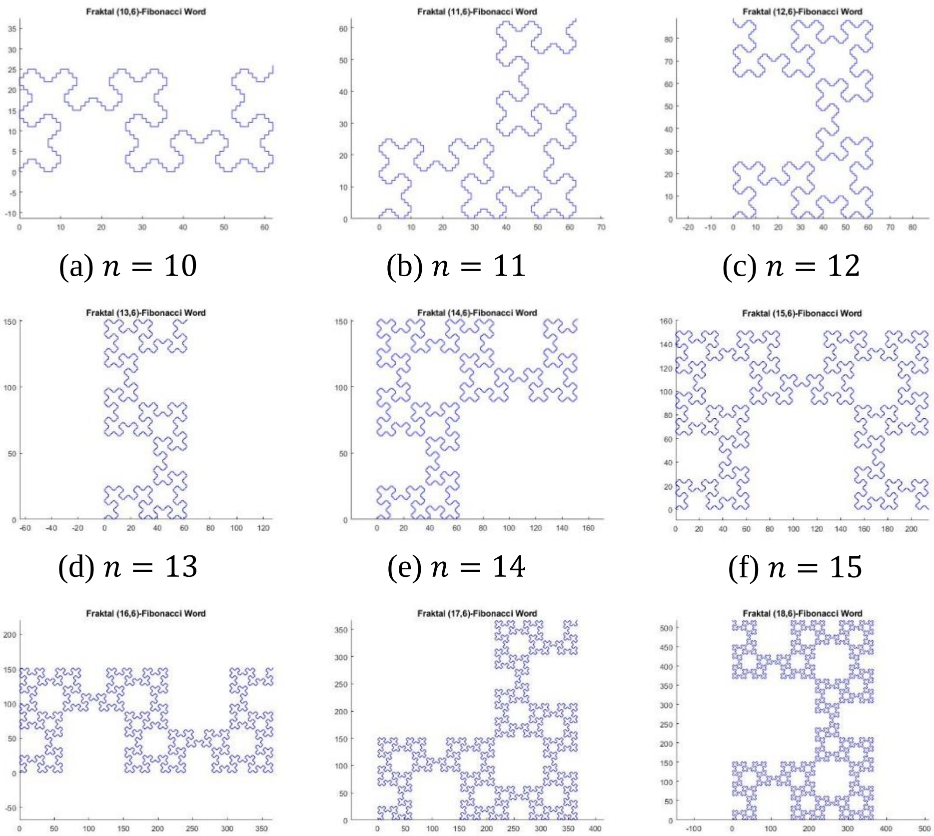
Gambar 4.6 Hasil visualisasi $f_1^{[4]} = 1000$

Dari hasil visualisasi pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa bentuk variasi $f_1^{[4]} = 1000$, terbukti jika *self similarity* yaitu $\mathcal{F}_n^{[4]}$dan $\mathcal{F}_{n-3}^{[4]}$ terjadi seperti contoh pada Gambar 4.6(a), Gambar 4.6(d), dan Gambar 4.6(g), contoh yang sama juga pada Gambar 4.6(b), Gambar 4.6(e) dan Gambar 4.6(h) contoh yang lain pada Gambar 4.6(c), Gambar 4.6(f) dan Gambar 4.6(i) untuk variasi $f_1^{[4]} = 1000$ maka menunjukkan bahwa visualisasi $\mathcal{F}_n^{[4]}$ membentuk fraktal. Visualisasi Variasi pada *i-Fibonacci Word* $f_1^{[2]} = 0100$ yang sudah divariasikan memiliki bentuk pola yang berulang terdapat pada $\mathcal{F}_n^{[4]}$dan $\mathcal{F}_{n-6}^{[4]}$. Hasil visualisasi $\mathcal{F}_n^{[4]}$ memiliki bentuk yang serupa dengan hasil visualisasi $\mathcal{F}_{n-6}^{[4]}$. Contohnya terdapat pada Gambar 4.6(a) dan Gambar 4.6(g) memiliki bentuk visualisasi yang serupa. Contoh yang lain juga terdapat pada Gambar 4.6(b) dan Gambar 4.6(h) juga memiliki bentuk visualisasi yang sama. Begitu juga dengan contoh pada Gambar 4.6(c) dan Gambar 4.6(i) yang memiliki hasil visualisasi yang serupa.

Selain itu, variasi dengan bentuk awal $f_1^{[4]} = 1000$ juga menunjukkan hasil visualisasi yang sangat mirip dengan variasi $f_1^{[4]} = 0010$. Kedua variasi ini menghasilkan pola kurva yang hampir sama, baik dari segi struktur maupun arah belokannya. Hal ini memperkuat temuan bahwa susunan digit dalam barisan awal *i-Fibonacci Word* memainkan peran penting dalam membentuk arah pola fraktal, namun tidak selalu memengaruhi bentuk keseluruhan secara signifikan.

4.2.3. Visualisasi Variasi *Fraktal i-Fibonacci Word* $i = 6$

Variasi barisan *i-Fibonacci Word* untuk $i = 6$ dengan $f_1^{[6]} = 000001$ dapat divariasikan menjadi $f_1^{[6]} = 000010$, $f_1^{[6]} = 000100$, $f_1^{[6]} = 001000$, $f_1^{[6]} = 010000$, $f_1^{[6]} = 100000$ yang dapat divariasikan ada lima barisan. Berikut merupakan visualisasi menggunakan MATLAB dengan $f_1^{[6]} = 000001$ terdapat pada Gambar 4.7.



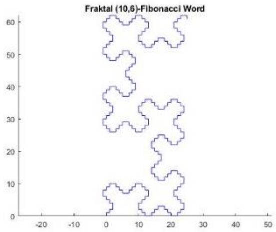
(a) $n = 10$ (b) $n = 11$ (c) $n = 12$

(d) $n = 13$ (e) $n = 14$ (f) $n = 15$

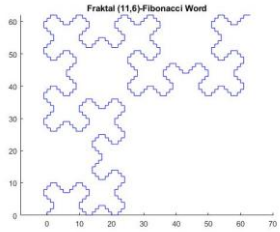
(g) $n = 16$ (h) $n = 17$ (i) $n = 18$

Gambar 4.7 Hasil visualisasi $f_1^{[6]} = 000001$

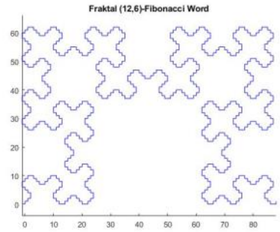
Hasil pada Gambar 4.7 merupakan visualisasi dari $f_1^{[6]} = 000001$ yang dapat divariasikan menjadi $f_1^{[6]} = 000010$, $f_1^{[6]} = 000100$, $f_1^{[6]} = 001000$, $f_1^{[6]} = 010000$, $f_1^{[6]} = 100000$. variasi ini akan divisualisasikan menggunakan MATLAB dengan menggunakan iterasi $(n) = 10,11,12, \ldots, 18$. Variasi ini bertujuan untuk mengamati pengaruh perubahan pada barisan awal terhadap bentuk akhir fraktal yang terbentuk. Hasil dari visualisasi pada barisan $f_1^{[6]} = 000010$ dapat dilihat pada Gambar 4.8 dari deretan gambar tersebut terlihat meskipun bentuk dasarnya serupa terdapat perbedaan dari arah kurvanya.



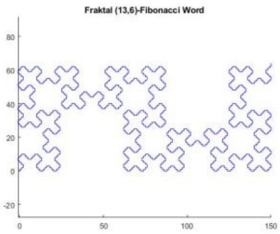
(a) $n = 10$



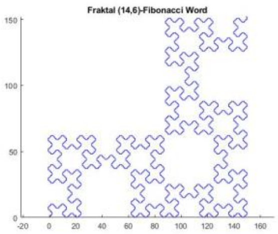
(b) $n = 11$



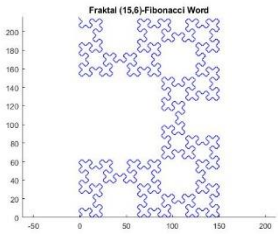
(c) $n = 12$



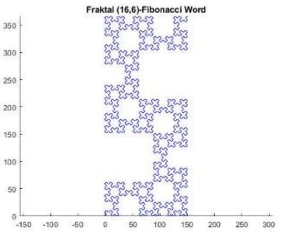
(d) $n = 13$



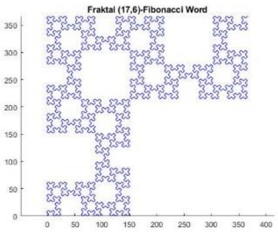
(e) $n = 14$



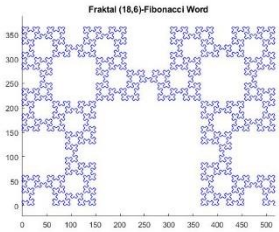
(f) $n = 15$



(g) $n = 16$



(h) $n = 17$

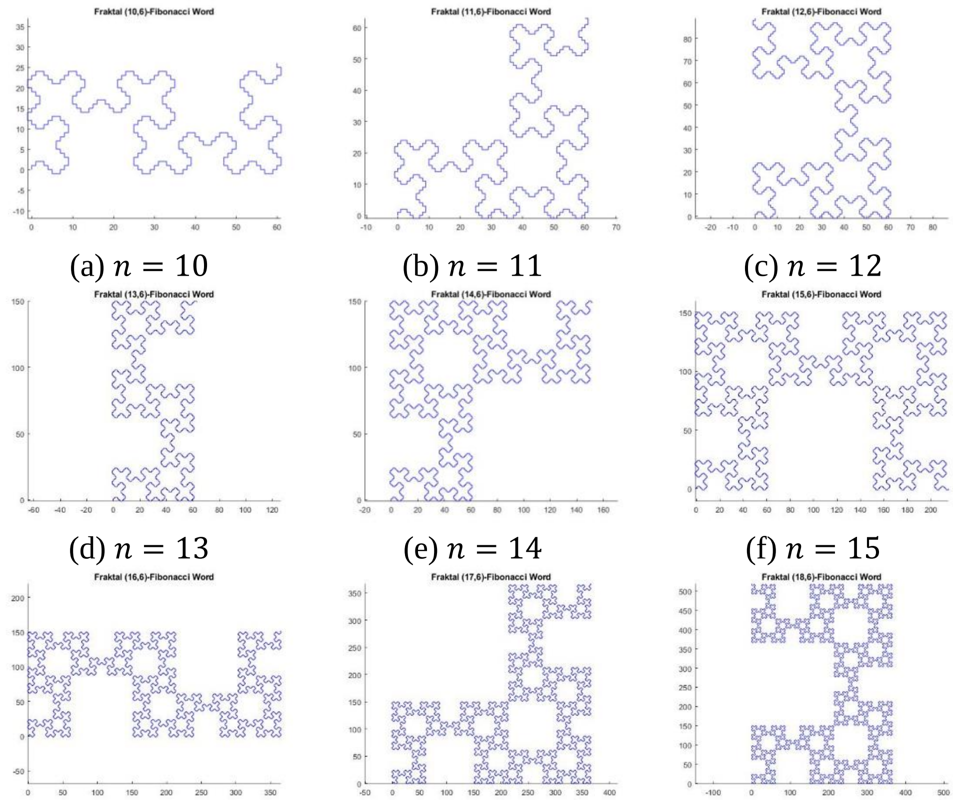


(i) $n = 18$

Gambar 4.8 Hasil visualisasi $f_1^{[6]} = 000010$

Dari hasil visualisasi pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa bentuk variasi $f_1^{[6]} = 000010$, terbukti jika *self similarity* yaitu $\mathcal{F}_n^{[6]}$dan $\mathcal{F}_{n-3}^{[6]}$ terjadi seperti contoh pada Gambar 4.8(a), Gambar 4.8(d), dan Gambar 4.8(g), contoh yang sama juga pada Gambar 4.8(b), Gambar 4.8(e) dan Gambar 4.8(h) contoh yang lain pada Gambar 4.8(c), Gambar 4.8(f) dan Gambar 4.8(i) untuk variasi $f_1^{[4]} = 000010$ maka menunjukkan bahwa visualisasi $\mathcal{F}_n^{[6]}$ membentuk fraktal.

Hasil visualisasi $\mathcal{F}_n^{[6]}$ memiliki bentuk yang serupa dengan hasil visualisasi $\mathcal{F}_{n-6}^{[6]}$. Contohnya terdapat pada Gambar 4.8(a) dan Gambar 4.8(g) memiliki bentuk visualisasi yang serupa. Contoh yang lain juga terdapat pada Gambar 4.8(b) dan Gambar 4.8(h) juga memiliki bentuk visualisasi yang sama. Begitu juga dengan contoh pada Gambar 4.8(c) dan Gambar 4.8(i) yang memiliki hasil visualisasi yang serupa. Hasil dari visualisasi pada barisan $f_1^{[6]} = 000100$ dapat dilihat pada Gambar 4.9.



(a) $n = 10$ (b) $n = 11$ (c) $n = 12$

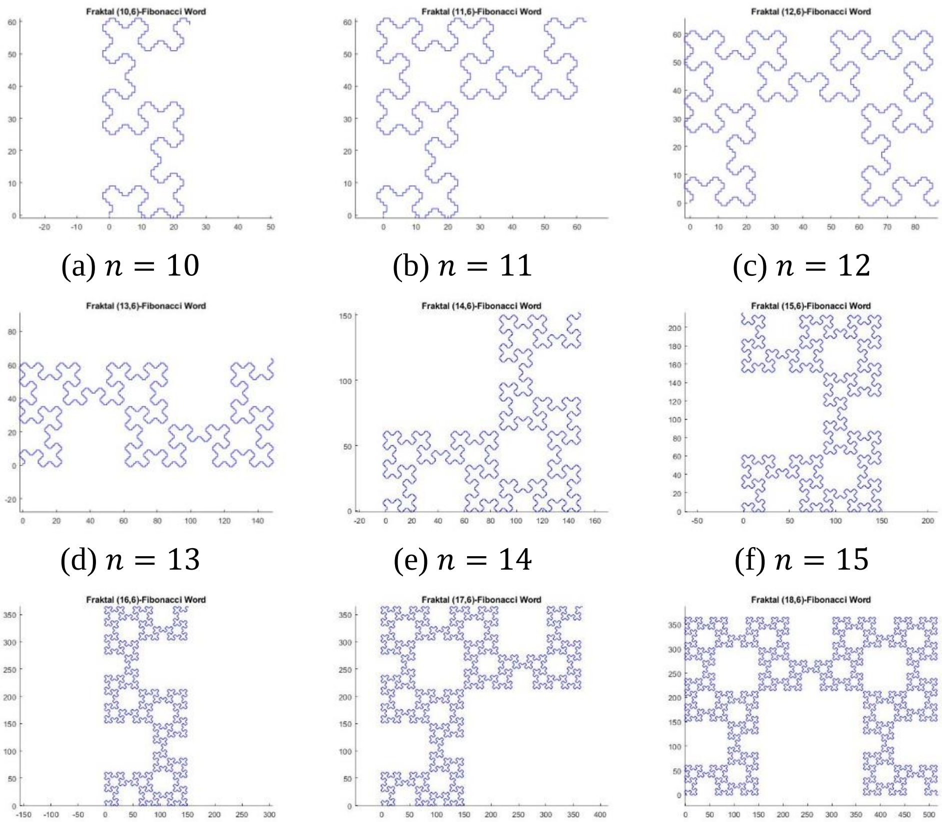
(d) $n = 13$ (e) $n = 14$ (f) $n = 15$

(g) $n = 16$ (h) $n = 17$ (i) $n = 18$

Gambar 4.9 Hasil visualisasi $f_1^{[6]} = 000100$

Dari hasil visualisasi pada Gambar 4.9 menunjukkan bahwa bentuk variasi $f_1^{[6]} = 000100$, terbukti jika *self similarity* yaitu $\mathcal{F}_n^{[6]}$dan $\mathcal{F}_{n-3}^{[6]}$ terjadi seperti contoh pada Gambar 4.9(a), Gambar 4.9(d), dan Gambar 4.9(g), contoh yang sama juga pada Gambar 4.9(b), Gambar 4.9(e) dan Gambar 4.9(h) contoh yang lain pada Gambar 4.9(c), Gambar 4.9(f) dan Gambar 4.9(i) untuk variasi $f_1^{[4]} = 000100$ maka menunjukkan bahwa visualisasi $\mathcal{F}_n^{[6]}$ membentuk fraktal.

Hasil visualisasi $\mathcal{F}_n^{[6]}$ memiliki bentuk yang serupa dengan hasil visualisasi $\mathcal{F}_{n-6}^{[6]}$. Contohnya terdapat pada Gambar 4.9(a) dan Gambar 4.9(g) memiliki bentuk visualisasi yang serupa. Contoh yang lain juga terdapat pada Gambar 4.9(b) dan Gambar 4.9(h) juga memiliki bentuk visualisasi yang sama. Begitu juga dengan contoh pada Gambar 4.9(c) dan Gambar 4.9(i) yang memiliki hasil visualisasi yang serupa. Hasil dari visualisasi pada barisan $f_1^{[6]} = 001000$ dapat dilihat pada Gambar 4.10.



(a) $n = 10$ (b) $n = 11$ (c) $n = 12$

(d) $n = 13$ (e) $n = 14$ (f) $n = 15$

(g) $n = 16$ (h) $n = 17$ (i) $n = 18$

Gambar 4.10 Hasil visualisasi $f_1^{[6]} = 001000$

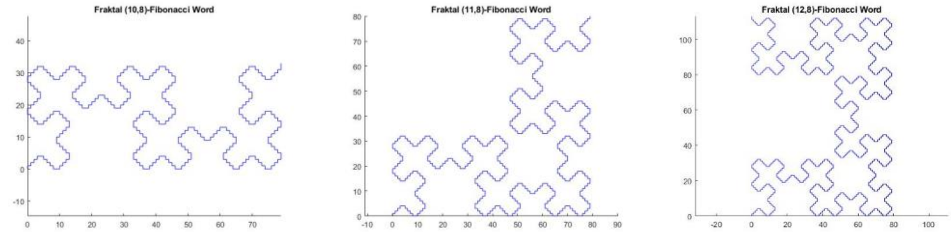
Dari hasil visualisasi pada Gambar 4.10 menunjukkan bahwa bentuk variasi $f_1^{[6]} = 001000$, terbukti jika *self similarity* yaitu $\mathcal{F}_n^{[6]}$dan $\mathcal{F}_{n-3}^{[6]}$ terjadi seperti contoh pada Gambar 4.10(a), Gambar 4.10(d), dan Gambar 4.10(g), contoh yang sama juga pada Gambar 4.10(b), Gambar 4.10(e) dan Gambar 4.10(h) contoh yang lain pada Gambar 4.10(c), Gambar 4.10(f) dan Gambar 4.10(i) untuk variasi $f_1^{[6]} = 001000$ maka menunjukkan bahwa visualisasi $\mathcal{F}_n^{[6]}$ membentuk fraktal.

Hasil visualisasi $\mathcal{F}_n^{[6]}$ memiliki bentuk yang serupa dengan hasil visualisasi $\mathcal{F}_{n-6}^{[6]}$. Contohnya terdapat pada Gambar 4.10(a) dan Gambar 4.10(g) memiliki bentuk visualisasi yang serupa. Contoh yang lain juga terdapat pada Gambar 4.10(b) dan Gambar 4.10(h) juga memiliki bentuk visualisasi yang sama. Begitu juga dengan contoh pada Gambar 4.10(c) dan Gambar 4.10(i) yang memiliki hasil visualisasi yang serupa.

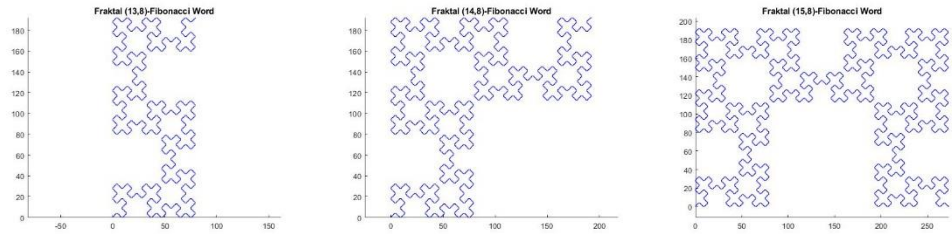
Hasil visualisai pada variasi barisan $f_1^{[6]} = 001000$ dan variasi barisan $f_1^{[6]} = 100000$ dapat dilihat pada Lampiran 2. Berdasarkan pengamatan terhadap bentuk visualisasi yang dihasilkan, barisan $f_1^{[6]} = 000001$ memiliki bentuk yang serupa dengan hasil visualisasi variasi barisan $f_1^{[6]} = 000100$ dan $f_1^{[6]} = 010000$. Kemiripan ini terlihat dari pola dan arah kurva yang terbentuk. Kemudian untuk hasil visualisasi dari variasi barisan $f_1^{[6]} = 000010$ memiliki bentuk yang serupa dengan $f_1^{[6]} = 001000$ dan $f_1^{[6]} = 100000$. Kesamaan ini menunjukkan bahwa variasi barisan yang posisi angka 1 berada di genap maka akan memiliki bentuk yang serupa begitu pula jika berada pada posisi ganjil bentuk visualisasi nya akan serupa. Keenam variasi ini menghasilkan pola kurva yang hampir sama, baik dari segi struktur maupun arah belokannya. Hal ini memperkuat temuan bahwa susunan digit dalam barisan awal *i-Fibonacci Word* memainkan peran penting dalam membentuk arah pola fraktal, namun tidak selalu memengaruhi bentuk keseluruhan secara signifikan.

4.2.4. Visualisasi Variasi *Fraktal i-Fibonacci Word* $i = 8$

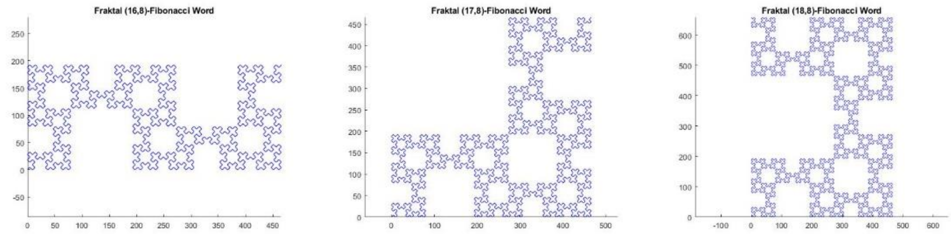
Variasi barisan *i-Fibonacci Word* untuk $i = 8$ dengan $f_1^{[8]} = 00000001$, yang dalam proses variasinya mengubah posisi angka 1 pindah ke depan menjadi $f_1^{[8]} = 00000001$, $f_1^{[8]} = 00000010$, $f_1^{[8]} = 00000100$, $f_1^{[8]} = 00001000$, $f_1^{[8]} = 00010000$, $f_1^{[8]} = 00100000$, $f_1^{[8]} = 01000000$, $f_1^{[8]} = 10000000$. Dalam proses visualisasi nya menggunakan iterasi $(n) = 10,11,12, \dots ,18$ visualisasi menggunakan MATLAB dengan $f_1^{[8]} = 00000001$ dapat dilihat pada Gambar 4.11 dengan menggunakan $i = 8$ dimulai mengambar pada titik (0,0) dan mengikuti aturan ganjil-genap untuk menentukan arah garis yang menunjukkan perubahan bentuk dari iterasi ke iterasi.



(a) $n = 10$ (b) $n = 11$ (c) $n = 12$



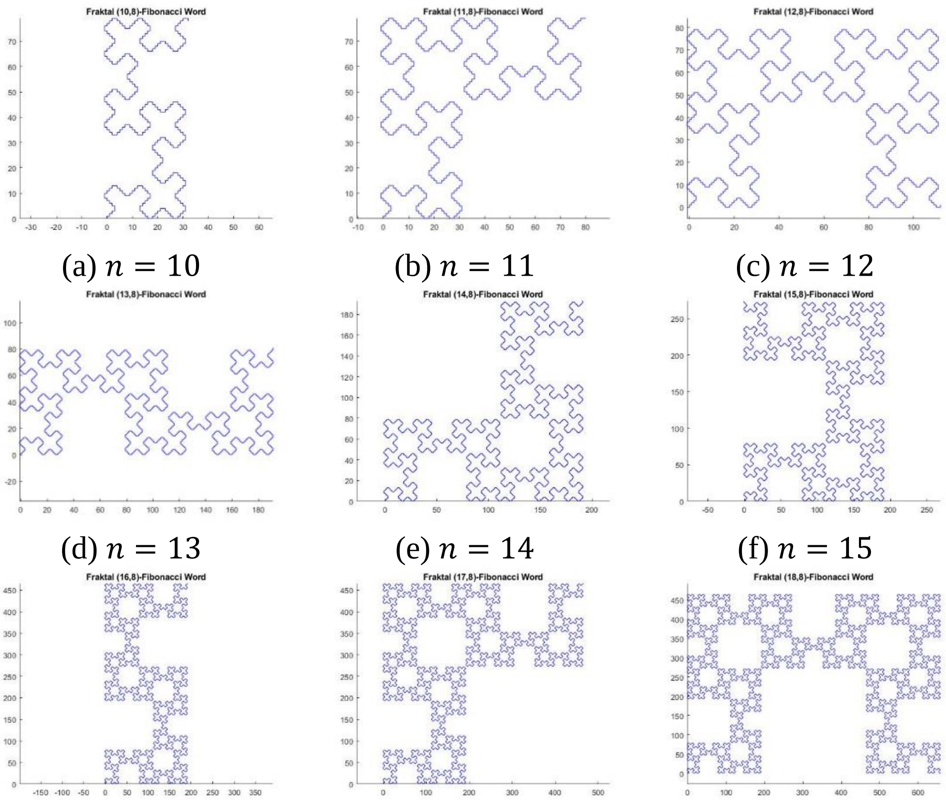
(d) $n = 13$ (e) $n = 14$ (f) $n = 15$



(g) $n = 16$ (h) $n = 17$ (i) $n = 18$

Gambar 4.11 Hasil visualisasi $f_1^{[8]} = 00000001$

Hasil pada Gambar 4.11 merupakan visualisasi dari $f_1^{[8]} = 00000001$ yang dapat divariasikan menjadi $f_1^{[8]} = 00000001$, , $f_1^{[8]} = 00000100$, $f_1^{[8]} = 00001000$, $f_1^{[8]} = 00010000$, $f_1^{[8]} = 00100000$, $f_1^{[8]} = 01000000$, $f_1^{[8]} = 10000000$. Variasi ini akan divisualisasikan menggunakan MATLAB dengan menggunakan iterasi (n) $= 10,11,12, \ldots ,18$. Variasi ini bertujuan untuk mengamati pengaruh perubahan pada barisan awal terhadap bentuk akhir fraktal yang terbentuk. Hasil dari visualisasi pada barisan $f_1^{[8]} = 00000010$ dapat dilihat pada Gambar 4.12 dari deretan gambar tersebut terlihat meskipun bentuk dasarnya serupa terdapat perbedaan dari arah kurvanya.



(a) $n = 10$ (b) $n = 11$ (c) $n = 12$

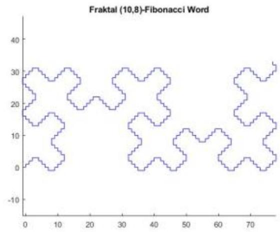
(d) $n = 13$ (e) $n = 14$ (f) $n = 15$

(g) $n = 16$ (h) $n = 17$ (i) $n = 18$

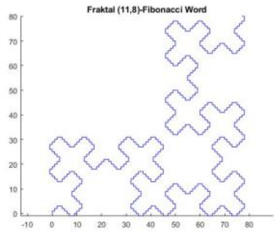
Gambar 4.12 Hasil visualisasi $f_1^{[8]} = 00000010$

Dari hasil visualisasi pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa bentuk variasi $f_1^{[8]} = 00000010$, terbukti jika *self similarity* yaitu $\mathcal{F}_n^{[8]}$dan $\mathcal{F}_{n-3}^{[8]}$ terjadi seperti contoh pada Gambar 4.12(a), Gambar 4.12(d), dan Gambar 4.12(g), contoh yang sama juga pada Gambar 4.12(b), Gambar 4.12(e) dan Gambar 4.12(h) contoh yang lain pada Gambar 4.12(c), Gambar 4.12(f) dan Gambar 4.12(i) untuk variasi $f_1^{[8]} = 00000010$ maka menunjukkan bahwa visualisasi $\mathcal{F}_n^{[8]}$ membentuk fraktal.

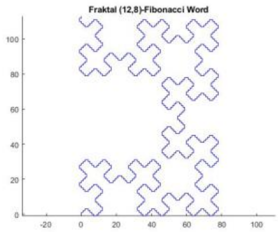
Hasil visualisasi $\mathcal{F}_n^{[8]}$ memiliki bentuk yang serupa dengan hasil visualisasi $\mathcal{F}_{n-6}^{[8]}$. Contohnya terdapat pada Gambar 4.12(a) dan Gambar 4.12(g) memiliki bentuk visualisasi yang serupa. Contoh yang lain juga terdapat pada Gambar 4.12(b) dan Gambar 4.12(h) juga memiliki bentuk visualisasi yang sama. Begitu juga dengan contoh pada Gambar 4.12(c) dan Gambar 4.12(i) yang memiliki hasil visualisasi yang serupa. Hasil dari visualisasi pada barisan $f_1^{[8]} = 00000100$ dapat dilihat pada Gambar 4.13.



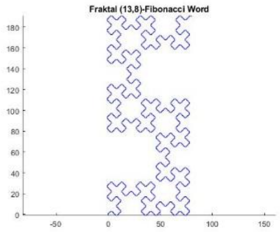
(a) $n = 10$



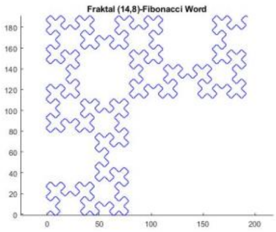
(b) $n = 11$



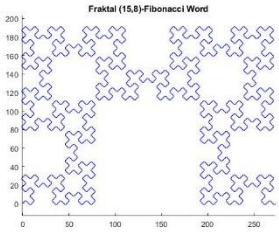
(c) $n = 12$



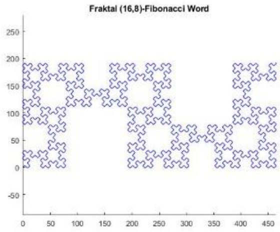
(d) $n = 13$



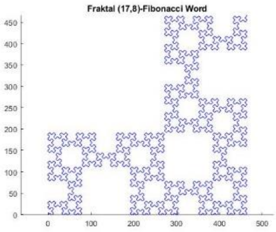
(e) $n = 14$



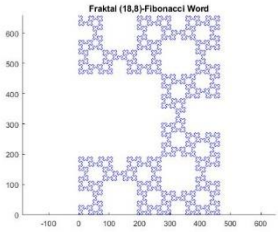
(f) $n = 15$



(g) $n = 16$



(h) $n = 17$

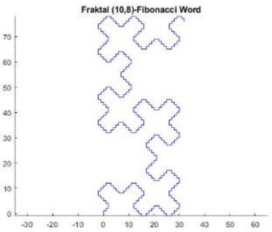


(i) $n = 18$

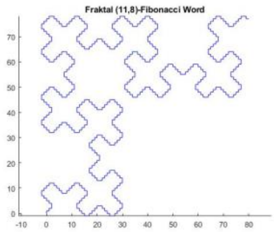
Gambar 4.13 Hasil visualisasi $f_1^{[8]} = 00000100$

Dari hasil visualisasi pada Gambar 4.13 menunjukkan bahwa bentuk variasi $f_1^{[8]} = 00000100$, terbukti jika *self similarity* yaitu $\mathcal{F}_n^{[8]}$dan $\mathcal{F}_{n-3}^{[8]}$ terjadi seperti contoh pada Gambar 4.13(a), Gambar 4.13(d), dan Gambar 4.13(g), contoh yang sama juga pada Gambar 4.13(b), Gambar 4.13(e) dan Gambar 4.13(h) contoh yang lain pada Gambar 4.13(c), Gambar 4.13(f) dan Gambar 4.13(i) untuk variasi $f_1^{[8]} = 00000100$ maka menunjukkan bahwa visualisasi $\mathcal{F}_n^{[8]}$ membentuk fraktal.

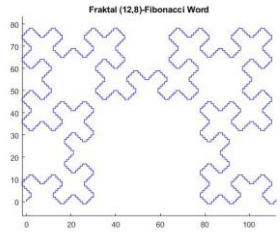
Hasil visualisasi $\mathcal{F}_n^{[8]}$ memiliki bentuk yang serupa dengan hasil visualisasi $\mathcal{F}_{n-6}^{[8]}$. Contohnya terdapat pada Gambar 4.13(a) dan Gambar 4.13(g) memiliki bentuk visualisasi yang serupa. Contoh yang lain juga terdapat pada Gambar 4.13(b) dan Gambar 4.13(h) juga memiliki bentuk visualisasi yang sama. Begitu juga dengan contoh pada Gambar 4.13(c) dan Gambar 4.13(i) yang memiliki hasil visualisasi yang serupa. Hasil dari visualisasi pada barisan $f_1^{[8]} = 00001000$ dapat dilihat pada Gambar 4.14



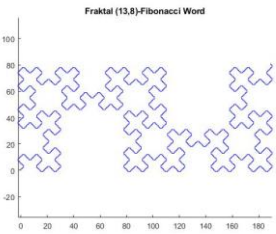
(a) $n = 10$



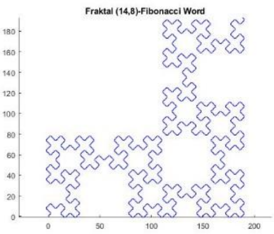
(b) $n = 11$



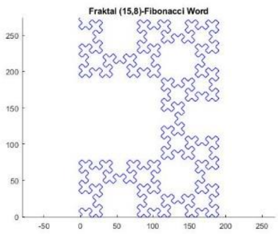
(c) $n = 12$



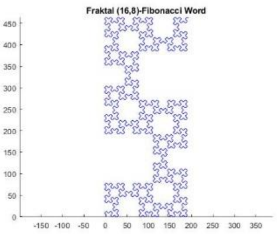
(d) $n = 13$



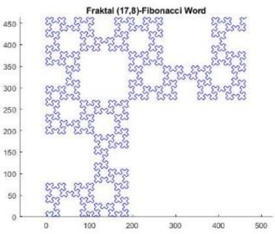
(e) $n = 14$



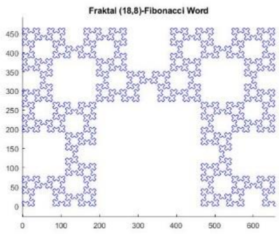
(f) $n = 15$



(g) $n = 16$



(h) $n = 17$



(i) $n = 18$

Gambar 4.14 Hasil visualisasi $f_1^{[8]} = 00001000$

Dari hasil visualisasi pada Gambar 4.14 menunjukkan bahwa bentuk variasi $f_1^{[8]} = 00001000$, terbukti jika *self similarity* yaitu $\mathcal{F}_n^{[8]}$dan $\mathcal{F}_{n-3}^{[8]}$ terjadi seperti contoh pada Gambar 4.14(a), Gambar 4.14(d), dan Gambar 4.14(g), contoh yang sama juga pada Gambar 4.14(b), Gambar 4.14(e) dan Gambar 4.14(h) contoh yang lain pada Gambar 4.14(c), Gambar 4.14(f) dan Gambar 4.14(i) untuk variasi $f_1^{[8]} = 00001000$ maka menunjukkan bahwa visualisasi $\mathcal{F}_n^{[8]}$ membentuk fraktal.

Hasil visualisasi $\mathcal{F}_n^{[8]}$ memiliki bentuk yang serupa dengan hasil visualisasi $\mathcal{F}_{n-6}^{[8]}$. Contohnya terdapat pada Gambar 4.14(a) dan Gambar 4.14(g) memiliki bentuk visualisasi yang serupa. Contoh yang lain juga terdapat pada Gambar 4.14(b) dan Gambar 4.14(h) juga memiliki bentuk visualisasi yang sama. Begitu juga dengan contoh pada Gambar 4.14(c) dan Gambar 4.14(i) yang memiliki hasil visualisasi yang serupa.

Hasil visualisai pada variasi barisan $f_1^{[8]} = 00010000$, $f_1^{[8]} = 00100000$, $f_1^{[8]} = 01000000$ dan variasi barisan $f_1^{[8]} = 10000000$ dapat dilihat pada Lampiran 2. Berdasarkan pengamatan terhadap bentuk visualisasi yang dihasilkan, barisan $f_1^{[8]} = 00000001$ memiliki bentuk yang serupa dengan hasil visualisasi variasi barisan $f_1^{[8]} = 00000100$, $f_1^{[8]} = 00010000$, dan $f_1^{[8]} = 01000000$. Kemiripan ini terlihat dari pola dan arah kurva yang terbentuk. Kemudian untuk hasil visualisasi dari variasi barisan $f_1^{[8]} = 00000010$ memiliki bentuk yang serupa dengan $f_1^{[8]} = 00001000$, $f_1^{[8]} = 00100000$ dan $f_1^{[8]} = 10000000$. Kesamaan ini menunjukkan bahwa variasi barisan yang posisi angka 1 berada di genap maka akan memiliki bentuk yang serupa begitu pula jika berada pada posisi ganjil bentuk visualisasi nya akan serupa. Delapan variasi ini menghasilkan pola kurva yang hampir serupa, baik dari segi struktur maupun arah belokannya. Hal ini memperkuat temuan bahwa susunan digit dalam barisan awal *i-Fibonacci Word* memainkan peran penting dalam membentuk arah pola fraktal, namun tidak selalu memengaruhi bentuk keseluruhan secara signifikan.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan maka diperoleh hasil kesimpulan sebagai berikut:

a. Hasil visualisasi dari variasi barisan *i-Fibonacci Word* dengan menggunakan $i = 2,4,6,8$ dapat membentuk pola-pola yang memiliki sifat *self-similarity* pada $\mathcal{F}_n^{[i]}$dan $\mathcal{F}_{n-3}^{[i]}$.

b. Pola-pola pada $f_1^{[i]}$ menunjukkan keserupaan bentuk pola, dengan setiap iterasi akan memiliki bentuk dan pola yang serupa tetapi mengalami perulangan. Pola berulang untuk $\mathcal{F}_n^{[i]}$ kurva yang dihasilkan akan serupa dengan $\mathcal{F}_{n-6}^{[i]}$.

c. Visualisasi fraktal *i-Fibonacci Word* dengan variasi $f_1^{[i]}$ khususnya pada posisi peletakan angka 1 yang akan menghasilkan kurva dengan bentuk yang identik apabila angka 1 ditempatkan pada posisi digit yang sama-sama ganjil. Hal yang sama juga berlaku jika angka 1 diletakkan pada posisi digit yang sama-sama genap, di mana hasil visualisasinya akan membentuk pola kurva yang serupa.

5.2 Saran

Visualisasi fraktal *i-Fibonacci Word* dengan variasi pada $f_1^{[i]}$, terutama dalam posisi angka 1, menunjukkan bahwa kurva yang terbentuk akan memiliki bentuk yang serupa jika angka 1 diletakkan pada digit yang ganjil, begitu pula saat angka 1 ditempatkan pada digit genap. Artinya, posisi angka 1 dalam kelompok digit ganjil atau genap mempengaruhi kemiripan bentuk kurva yang dihasilkan. Sebagai saran untuk penelitian selanjutnya, dapat dilakukan eksplorasi terhadap variasi barisan fraktal *i-Fibonacci Word* dengan mengganti simbol 1 dan 0 menggunakan angka atau simbol lain. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah perubahan simbol tersebut akan menghasilkan pola kurva yang serupa atau justru menciptakan pola baru yang berbeda

DAFTAR PUSTAKA

Amalia, D. A. R. (2018). *Kajian Fraktal i-Fibonacci Word dengan Menggunakan LSystem*. Universitas jember.

Anggraini, L. D. F. (2019). Geometri Fraktal Dan Transformasi Geometri Sebagai Dasar Pengembangan Motif Batik. *Transformasi : Jurnal Pendidikan Matematika Dan Matematika*, *3*(1). https://doi.org/10.36526/tr.v3i1.384

Baichaqi, A. Y. (2017). Penggabungan Geometri Fraktal dengan Batik Labako. *Digital Repository Universitas Jember*, *3*(3).

Dumaine, A. M. (2009). *The Fibonaci Word Fractal*. https://hal.archivesouvertes fr/file/index/docid/367972/filename/The_Fibonacci_word_fractal.pdf

Hoffman, T. , and Steinhurst, B. (2018). Hausdorff dimension of generalized fibonacci word fractals. *Fractals*, *26*(1). https://doi.org/10.1142/S0218348X18500123

Liyani N, Purnomo, K. D., dan Ubaidillah, F. (2018). *Kajian Morfisme untuk Variasi Kurva Dense Fibonacci Word*. Universitas Jember.

Mandelbrot, B. B. 1983. The Fractal Geometry of Nature. W. H. Freeman and Company

Prastiwi, U. M., Purnomo, K. D.,dan Ubaidillah, F. (2018). Kajian Fraktal k-Fibonacci Word Menggunakan Natural Drawing Rule. *berkala sainstek*, *6*(2). https://doi.org/10.19184/bst.v6i2.9225

Purnomo, K. D., Oktavia, F. I. N., dan Ubaidillah, F. (2018). Pola Pengubinan dengan Memanfaatkan Fraktal Fibonacci Snowflake. *Pembelajaran Matematika Menghadapi Era Revolusi Industri 4.0*, *53*(9).

Ramírez, J., and Rubiano, G. (2014). Properties and Generalizations of the Fibonacci Word Fractal. *The Mathematica Journal*, *16*. https://doi.org/10.3888/tmj.16-2

Rozida, Purnomo, K. D., dan Ubaidillah, F. (2019). *Variasi Sudut Belok pada Fraktal i-Fibonacci Word dengan Menggunakan L-Systems*. Universitas Jember.

Sari, A. E., Purnomo, K. D., dan Ubaidillah, F. (2021). Kajian Morfisme Untuk Variasi Kurva Dense Fibonacci Word. *Jurnal Matematika*, *11*(1). https://doi.org/10.24843/jmat.2021.v11.i01.p136

Solar, F. Y., Titaley, J., dan Rindengan, A. J. (2021). Penerapan Geometri Fraktal dalam Membuat Variasi Motif Batik Nusantara Berbasis Julia Set. *d'CARTESIAN*, *9*(2). https://doi.org/10.35799/dc.9.2.2020.29968

Umami, R., Purnomo, K. D., dan Ubaidillah, F. 2019. Kajian Fraktal *i-Fibonacci Word* Generalisasi Ganjil Dengan Menggunakan *L-System* (*Study on Odd Generalization of i-Fibonacci Word Fractal Using L-System*). *Majalah Ilmiah Matematika Dan Statistika*. *19*(1): 1–8.

Wahyuningsih, S. dan Hernadi, J. (2020). Sistem Fungsi Iterasi dan Dimensi Fraktal pada Himpunan Serupa Diri. *Euclid*, *7*(2), 108. https://doi.org/10.33603/e.v7i2.2941

LAMPIRAN

Lampiran 1. Program MATLAB

Link tautan :
https://drive.google.com/drive/folders/1xrUIE5CS_7uOeBYPeZd8fCDJABLx5oDU?usp=sharing
QR Code :

Lampiran 2. Hasil Visualiasi

Link tautan :
https://drive.google.com/drive/folders/11ljUi3r4C7oHb43plLSs3tz3WVDwzsi4?usp=sharing
QR Code :