



**VARIASI SUDUT BELOK PADA FRAKTAL *i*-FIBONACCI WORD
DENGAN MENGGUNAKAN *L*-SYSTEMS**

SKRIPSI

Oleh

**Rozida
NIM 151810101037**

**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**VARIASI SUDUT BELOK PADA FRAKTAL *i*-FIBONACCI WORD
DENGAN MENGGUNAKAN *L*-SYSTEMS**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Matematika (S1) dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh
Rozida
NIM 151810101037

**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Siti Rohma dan Ayahanda Abdul Rozak yang tercinta, yang telah membesarkan, mendidik dan mendukung dengan penuh kasih sayang;
2. Adik Misri Indayani tersayang yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan dan semangat;
3. Guru-guru sejak taman kanak-kanak TK Tunas Muda, SDN 1 Maron Kidul, SMPN 1 Maron, SMA 1 Gending sampai dengan perguruan tinggi;
4. Keluarga besar yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan untuk menyelesaikan pendidikan;
5. Almamater Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

MOTTO

Man Jadda Wajada

“Barang siapa yang bersungguh-sungguh maka akan berhasil.”*)

“Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi orang lain.”

(Diriwayatkan Ath-Thabrani dari Jabir ra.). **)



*) Fuadi, A. 2009. *Negeri 5 Menara*. Jakarta: PT. Gramedia.

**) HR. Ath Thabarani, *Al Mu'jam Al Awsath* No. 5787. Al Qudha'i, *Musnad Syihab* No. 129. Dihasankan Syaikh Al Albani. *Shahihul Jami'* No. 6662. Dari Jabir radhiyallau 'anhuma.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Rozida

NIM : 151810101037

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Variasi Sudut Belok Pada Fraktal *i-Fibonacci Word* Dengan Menggunakan *L-Systems*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan 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 ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 22 Januari 2019

Yang menyatakan,

Rozida
NIM 151810101037

SKRIPSI

**VARIASI SUDUT BELOK PADA FRAKTAL *i-FIBONACCI WORD*
DENGAN MENGGUNAKAN *L-SYSTEMS***

Oleh
Rozida
NIM 151810101037

Pembimbing;

Dosen Pembimbing Utama : Kosala Dwidja Purnomo, S.Si., M.Si

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Firdaus Ubaidillah, S.Si., M.Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Variasi Sudut Belok Pada Fraktal *i-Fibonacci Word* Dengan Menggunakan *L-Systems*” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas
Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

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

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

Anggota II,

Anggota III,

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

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

Mengesahkan
Dekan,

Drs. Sujito, Ph.D
NIP. 196102041987111001

RINGKASAN

Variasi Sudut Belok Pada Fraktal *i-Fibonacci Word* Dengan Menggunakan *L-Systems*; Rozida, 151810101037; 2019: 57 halaman; Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Dumaine (2009) membuat suatu aksioma dan aturan produksi untuk membangun kurva fraktal *Fibonacci Word* berdasarkan bentuk kurva yang dihasilkan dari aturan penggambaran ganjil-genap. Secara umum aturan tersebut adalah apabila digitnya 0, maka gambarkan segmen garis dan setelahnya berbelok ke kanan atau ke kiri (sebesar 90°), yaitu berbelok ke kanan jika digit 0 terletak pada suku ganjil dan berbelok ke kiri jika digit 0 terletak pada suku genap. Apabila digitnya adalah 1, maka gambarkan segmen garis dan tidak berbelok setelahnya. Berdasarkan aturan penggambaran tersebut dapat diketahui bahwa sudut belok yang digunakan adalah sebesar 90° . Berdasarkan penggunaan simbol dan aturan produksinya, aturan produksi tersebut merupakan *L-Systems* yang juga digunakan sudut sebesar 90° .

Ramirez dan Rubiano (2014) memperkenalkan sebuah barisan baru yang diberi nama *i-Fibonacci Word*. Barisan ini didefinisikan secara rekursif sebagai: $f_0^{[i]} = 0$; $f_1^{[i]} = 0^{i-1}1$; $f_n^{[i]} = f_{n-1}^{[i]}f_{n-2}^{[i]}$, untuk $n \geq 2$ dan $i \geq 1$, dengan n menyatakan suku ke- n dan i menyatakan generalisasi dari barisan *i-Fibonacci Word* tersebut. Barisan *i-Fibonacci Word* dapat membentuk sebuah kurva yang mempunyai sifat keserupaan diri (*self-similarity*) seperti halnya kurva pada *Fibonacci Word*. Kurva tersebut dikenal dengan kurva fraktal *i-Fibonacci Word*. Fraktal *i-Fibonacci Word* merupakan bentuk umum dari fraktal *Fibonacci Word* yang terdiri dari dua generalisasi, yaitu fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi ganjil dan *i* genap. Sebagaimana pada fraktal *Fibonacci Word*, konstruksi fraktal *i-Fibonacci Word* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu menggunakan aturan penggambaran ganjil genap dan menggunakan metode *L-Systems*.

Penelitian terkait yang pernah dilakukan sebelumnya ialah oleh Amalia (2018) tentang kajian fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi *i* genap dan Umami (2018)

melakukan hal yang sama namun dengan generalisasi i ganjil. Penelitian yang akan dilakukan ini mengkaji tentang karakteristik maupun pola-pola yang akan terbentuk antara fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi i ganjil dan i genap jika sudut beloknya divariasikan. Penerapan *L-Systems* untuk membangun fraktal *i-Fibonacci Word* dalam dimensi dua dilakukan untuk memodifikasi bentuk fraktal jika sudut beloknya divariasikan dengan besar sudut antara 0° sampai 180° dengan interval sudut yang digunakan adalah sebesar 20° .

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh bahwa, nilai sudut belok berpengaruh terhadap bentuk fraktal, yaitu kurva fraktal akan diregangkan seiring berkurangnya besar sudut. Dengan kata lain, semakin lebih kecil dari 90° sudut belok yang digunakan maka kurva fraktal *i-Fibonacci Word* semakin bergerak ke arah kiri. Sebaliknya semakin lebih besar dari 90° sudut belok yang digunakan, maka kurva fraktal semakin bergerak ke arah kanan. Hal tersebut disebabkan karena adanya perubahan nilai x dan y . Nilai x dan y akan naik pada rentang sudut tertentu. Kemudian, hasil dari perbandingan y dan x juga akan naik pada rentang sudut tertentu dan rasio y terhadap x cenderung tetap untuk $i = 2, 4, 6$ dan 8 . Selain itu untuk masing-masing fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi i ganjil dan i genap memiliki kesamaan dalam hal kecenderungan kemiringan bentuk fraktal, yaitu untuk generasi ganjil cenderung miring ke arah kiri, sedangkan untuk generasi genap akan cenderung miring ke arah kanan dengan catatan bahwa untuk generalisasi i genap dilihat dari sudut pandang yang berbeda.

Selain hal tersebut di atas, juga dapat disimpulkan bahwa nilai generasi berdampak pada banyaknya segmen dan belokan. Semakin besar generasi suatu fraktal, maka semakin banyak pula segmen dan belokannya. Hal itu disebabkan karena i yang lebih besar mempunyai lebih banyak gerigi pada bentuk fraktalnya.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Variasi Sudut Belok Pada Fraktal *i-Fibonacci Word* Dengan Menggunakan *L-Systems*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari perhatian, bimbingan, motivasi, dan petunjuk dari beberapa pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

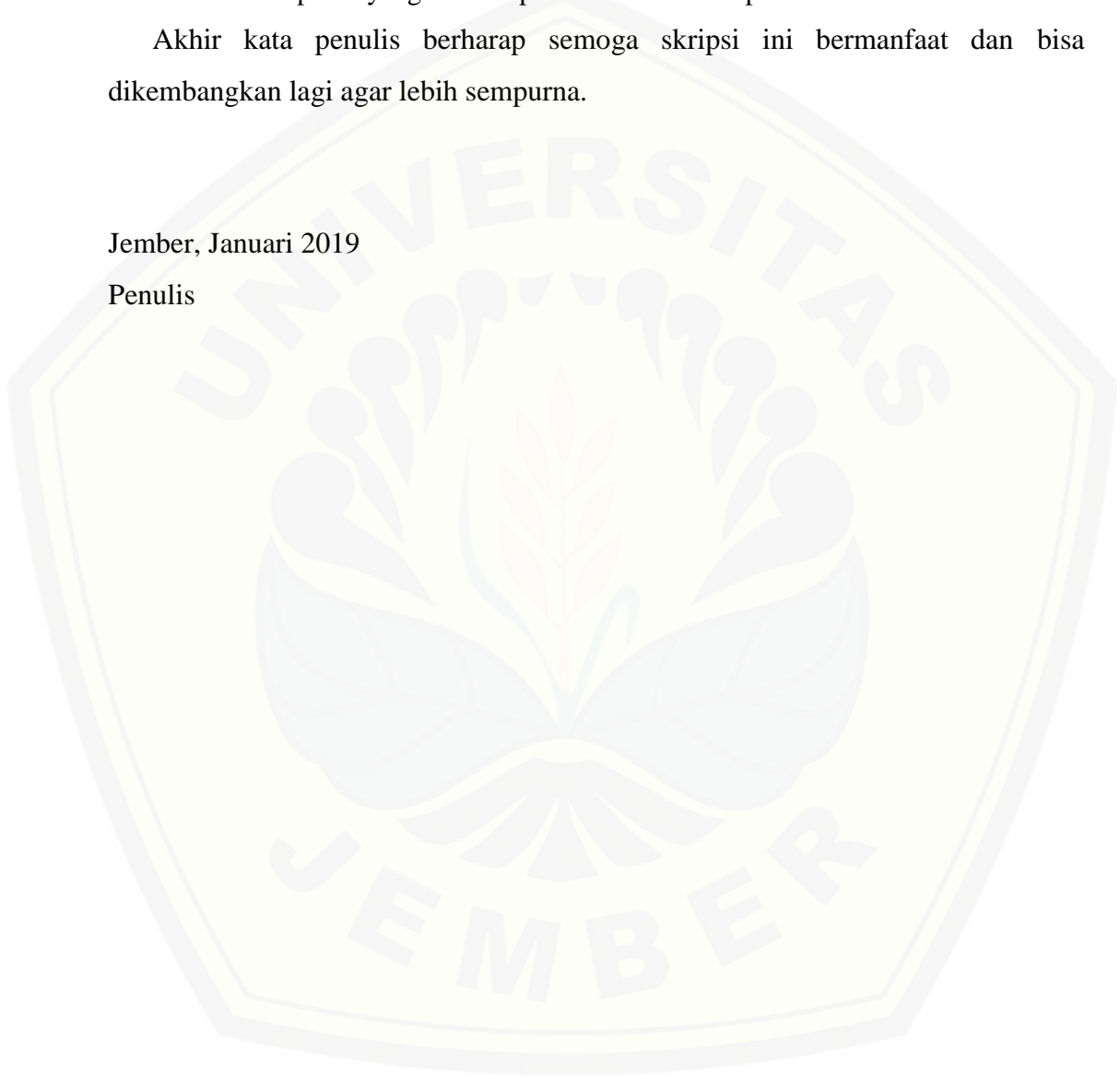
1. Kosala Dwidja Purnomo, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dr. Firdaus Ubaidillah, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang dengan penuh kesabaran membimbing, mengarahkan, memberikan saran dan petunjuk dalam penyusunan skripsi ini;
2. Bagus Juliyanto, S.Si., M.Si. dan Dr. Kristiana Wijaya, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun dalam penyusunan skripsi;
3. Seluruh staf pengajar Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Jember yang telah memberikan ilmu serta bimbingannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini;
4. Ziaul Arif, S. Si., M. Sc. dan Dr. Kristiana Wijaya, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
5. Ibu Siti Rohma, Bapak Abdul Rozak, Adik Misri Indayani, Nenek Asiati dan seluruh keluarga di rumah yang telah memberikan doa, dukungan dan motivasi;
6. Sahabatku Tutik Qomaria, Yona Eka Pratiwi, Novita Anggraini Juwitarty, Siti Febriana Fatmala dan Muhammad Ma’sum Al Fikri yang telah membantu, memberikan saran, memberikan motivasi, mendoakan dan memberikan semangat;
7. Sahabat SIGMA ‘15 yang telah menemani selama masa perkuliahan;

8. Teman-teman seperjuangan bidang minat fraktal diantaranya, Intan, Melati, Nadiya, Ingka, Novita, Dwi, Mitha dan Dyakzah yang senantiasa kompak;
9. Teman-teman kosan, Mbak Ira, Mbak Era dan Anggi yang selalu membantu dan memberikan saran yang baik;
10. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu .

Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat dan bisa dikembangkan lagi agar lebih sempurna.

Jember, Januari 2019

Penulis



DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|-----------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | ii |
| HALAMAN MOTTO | iii |
| HALAMAN PERNYATAAN..... | iv |
| HALAMAN PEMBIMBING | v |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | vi |
| RINGKASAN | vii |
| PRAKATA | ix |
| DAFTAR ISI | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xv |
| BAB 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan | 3 |
| 1.4 Manfaat | 3 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA | 4 |
| 2.1 Fraktal | 4 |
| 2.2 Fraktal <i>Fibonacci Word</i> | 5 |
| 2.3 Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> | 8 |
| 2.4 <i>Lindenmayer Systems (L-Systems)</i>..... | 12 |
| 2.5 Aturan Produksi Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> | 15 |
| 2.5.1 Aturan Produksi Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> Generalisasi | |
| <i>i</i> Genap | 15 |
| 2.5.2 Aturan Produksi Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> Generalisasi | |
| <i>i</i> Ganjil..... | 16 |
| BAB 3. METODE PENELITIAN..... | 19 |

| | |
|--|----|
| 3.1 Kajian Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> Generalisasi <i>i</i> Genap dan <i>i</i> Ganjil dengan Sudut Belok Divariasikan..... | 19 |
| 3.2 Penafsiran Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> Generalisasi <i>i</i> Genap dengan Sudut Belok Divariasikan Secara Grafis | 20 |
| 3.3 Simulasi Program | 20 |
| 3.4 Analisis Hasil dan Pembahasan..... | 20 |
| BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAAN | 22 |
| 4.1 Kajian Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> Generalisasi <i>i</i> Genap dan <i>i</i> Ganjil dengan Sudut Belok Divariasikan..... | 22 |
| 4.2 Penafsiran Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> Generalisasi <i>i</i> Genap dengan Sudut Belok Divariasikan Secara Grafis | 23 |
| 4.3 Simulasi Program | 24 |
| 4.4 Analisis Hasil dan Pembahasan..... | 26 |
| 4.4.1 Visualisasi Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> $i = 2$ dengan Variasi Sudut Belok | 26 |
| 4.4.2 Visualisasi Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> $i = 4$ dengan Variasi Sudut Belok | 29 |
| 4.4.3 Visualisasi Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> $i = 6$ dengan Variasi Sudut Belok | 32 |
| 4.4.4 Visualisasi Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> $i = 8$ dengan Variasi Sudut Belok | 35 |
| 4.4.5 Perbandingan Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> Generalisasi <i>i</i> Ganjil dan <i>i</i> Genap dengan Variasi Sudut Belok..... | 38 |
| BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN | 44 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 44 |
| 5.2 Saran | 44 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|---------|
| 2.1 Konstruksi Fraktal <i>Fibonacci Word</i> | 7 |
| 2.2 Interpretasi <i>L-Systems</i> dalam Membangun Fraktal <i>Fibonacci Word</i> | 8 |
| 3.1 Skema Penelitian..... | 19 |
| 4.1 Generasi Pertama <i>L-Systems</i> Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> untuk $i = 2$ dan sudut belok $\frac{\pi}{9}$ | 24 |
| 4.2 Visualisasi Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> $i = 2$ generasi 6 dengan variasi sudut belok..... | 26 |
| 4.3 Visualisasi Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> $i = 2$ generasi 4 dengan variasi sudut belok..... | 28 |
| 4.4 Visualisasi Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> $i = 4$ generasi 4 dengan variasi sudut belok..... | 31 |
| 4.5 Visualisasi Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> $i = 6$ generasi 4 dengan variasi sudut belok..... | 34 |
| 4.6 Visualisasi Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> $i = 8$ generasi 4 dengan variasi sudut belok..... | 37 |
| 4.7 Visualisasi Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> dari generasi 2 hingga 5 dengan sudut belok sebesar 60^0 | 39 |
| 4.8 Visualisasi Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> dari generasi 2 hingga 5 dengan sudut belok sebesar 100^0 | 41 |
| 4.9 Visualisasi Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> dari generasi 2 hingga 5 dengan sudut belok sebesar 160^0 | 42 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|---|---------|
| 2.1 Barisan (n,i) -Fibonacci | 9 |
| 2.2 Kurva $\mathcal{F}_{16}^{[i]}$ untuk $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ | 11 |
| 2.3 Generasi <i>Deterministic L-Systems</i> | 14 |
| 2.4 Generasi <i>Stochastic L-Systems</i> | 14 |
| 4.1 Nilai x, y dan $y:x$ pada $\mathcal{F}_4^{[2]}$ | 29 |
| 4.2 Nilai x, y dan $y:x$ pada $\mathcal{F}_4^{[4]}$ | 32 |
| 4.3 Nilai x, y dan $y:x$ pada $\mathcal{F}_4^{[6]}$ | 35 |
| 4.4 Nilai x, y dan $y:x$ pada $\mathcal{F}_4^{[8]}$ | 38 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | Halaman |
|--|---------|
| 4.4.1. <i>Script</i> Program Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> Generalisasi <i>i</i> Ganjil..... | 47 |
| 4.4.2. <i>Script</i> Program Fraktal <i>i-Fibonacci Word</i> Generalisasi <i>i</i> Genap | 55 |



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Matematika adalah salah satu cabang ilmu pengetahuan yang mendasari perkembangan teknologi saat ini. Matematika berkembang pesat seiring dengan perkembangan teknologi, khususnya setelah ditemukannya komputer. Salah satu bidang ilmu matematika yang berkembang pesat adalah geometri fraktal. Geometri fraktal merupakan bidang ilmu matematika yang secara tidak langsung menunjukkan bahwa matematika bukan hanya sekadar ilmu yang datar dan hanya berkutat dengan angka dan simbol, namun juga memiliki nilai seni dan keindahan di dalamnya. Geometri fraktal ini kemudian lebih familiar dikenal sebagai fraktal.

Fraktal diperkenalkan pertama kali oleh ilmuan asal Polandia yang bernama Benoit B Mandelbrot pada tahun 1983. Fraktal berasal dari bahasa Latin, yaitu kata sifat *fractus* dan kata kerja *frangere* yang berarti menguraikan menjadi kepingan-kepingan yang tak beraturan. Selain itu Mandelbrot (1983) menjelaskan bahwa fraktal merupakan bentuk geometri kompleks yang umumnya mempunyai nilai dimensi pecahan. Sedangkan menurut Peitgen & Soupe (1988), geometri fraktal adalah ilmu matematika yang mendefinisikan berbagai pola tak beraturan dan terpecah-pecah serta mempelajari tentang aspek-aspek rumit yang berada di alam sebagai suatu basis dalam matematika. Fraktal memiliki sifat unik, yaitu *self-similarity* yang berarti untuk setiap bagian kecil dari sebuah fraktal dapat dilihat sebagai duplikasi skala kecil dari bentuk fraktal tersebut secara keseluruhan.

Salah satu contoh bentuk fraktal adalah kurva *Fibonacci Word*. Kurva ini diperkenalkan pertama kali oleh Dumaine (2009) yang kemudian dikenal sebagai fraktal *Fibonacci Word*. Fraktal *Fibonacci Word* dibangun dari barisan *Fibonacci Word* yang hanya memuat angka 1 dan 0 yang mempunyai makna geometris menggambarkan segmen garis pada arah tertentu (Ramirez & Rubiano, 2014). Konstruksi kurva *Fibonacci Word* dapat dilakukan dengan dua cara, yakni pertama dengan mengikuti aturan penggambaran ganjil-genap dan yang kedua adalah dengan menggunakan aturan produksi *L-Systems* yang ditemukan oleh Dumaine (2009).

Tahun 2014, Ramirez dan Rubiano memperkenalkan sebuah barisan baru yang diberi nama *i-Fibonacci Word*. Barisan ini didefinisikan secara rekursif sebagai: $f_0^{[i]} = 0$; $f_1^{[i]} = 0^{i-1} 1$; $f_n^{[i]} = f_{n-1}^{[i]} f_{n-2}^{[i]}$, untuk $n \geq 2$ dan $i \geq 1$, dengan n menyatakan suku ke- n dan i menyatakan generalisasi dari barisan *i-Fibonacci Word* tersebut. Barisan *i-Fibonacci Word* juga dapat membentuk sebuah kurva yang mempunyai sifat keserupaan diri (*self-similarity*) seperti layaknya kurva pada *Fibonacci Word*. Konstruksi fraktal *i-Fibonacci Word* juga dapat dilakukan dengan dua metode seperti pada fraktal *Fibonacci Word*. Metode pertama yaitu menggunakan aturan penggambaran ganjil-genap dan metode kedua yaitu dengan menggunakan metode *L-systems*.

Tahun 2009, Dumaine membuat suatu aksioma dan aturan produksi untuk membangun kurva fraktal *Fibonacci Word* berdasarkan bentuk kurva yang dihasilkan dari aturan penggambaran ganjil-genap. Kemudian, Alyagustin dkk. (2015) membuat suatu perbandingan kurva *Fibonacci Word* dengan cara memvariasikan panjang segmen K dan Q pada aturan produksi *L-Systems*. Amalia (2018) juga membuat suatu aturan produksi *L-Systems* Deterministik untuk fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi i genap berdasarkan aturan penggambaran ganjil-genap serta mengkaji karakteristiknya. Kemudian Umami (2018) melanjutkan penelitian dari Amalia (2018) dengan fraktal *i-Fibonacci Word* untuk generalisasi i ganjil.

Penelitian yang dilakukan Umami (2018) mengkaji tentang karakteristik fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi i ganjil dengan menggunakan aturan produksi *L-Systems* dan mengidentifikasi perubahan fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi i ganjil jika sudut belok divariasikan. Berdasarkan uraian di atas diperoleh bahwa untuk fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi i genap belum diidentifikasi perubahannya jika sudut belok divariasikan. Oleh karena itu, penulis akan mengidentifikasi perubahan fraktal *i-Fibonacci Word* untuk generalisasi i genap jika sudut belok divariasikan kemudian mengkaji secara umum hubungan antara fraktal *i-Fibonacci Word* untuk generalisasi i ganjil dan i genap jika sudut belok divariasikan dengan menggunakan *L-Systems* Deterministik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana identifikasi perubahan fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi i genap jika sudut belok divariasikan?
2. Bagaimana hubungan antara fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi i ganjil dan i genap jika sudut belok divariasikan dengan menggunakan *L-Systems Deterministik*?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui perubahan fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi i genap jika sudut belok divariasikan.
2. Mengetahui hubungan antara fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi i ganjil dan i genap jika sudut belok divariasikan dengan menggunakan *L-Systems Deterministik*.

1.4 Manfaat

Manfaat penelitian ini antara lain untuk menerapkan metode *L-Systems* dalam menggambarkan perubahan fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi i genap jika sudut belok divariasikan. Program yang diperoleh dari penelitian ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi perubahan fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi i genap jika sudut belok divariasikan, sehingga dapat diketahui karakteristiknya. Selain itu, identifikasi hubungan antara fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi i ganjil dan i genap jika sudut belok divariasikan dilakukan sehingga diperoleh informasi yang bermanfaat untuk pengembangan keilmuan ke depannya.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fraktal

Menurut Benoit B Mandelbrot (1983), fraktal berasal dari bahasa Latin yaitu kata sifat *fractus*. Kata kerja yang berhubungan dengan sifat *fractus* adalah *frangere* yang berarti membelah, memecah-mecah, menjadi bagian-bagian yang tidak beraturan. Ciri khusus yang dimiliki oleh objek fraktal, yaitu *self-similarity* dan *infinite detail*. *Self-similarity* merupakan sifat yang menunjukkan keadaan sebuah objek yang dibangun dari aturan sederhana yang berulang dengan mengganti suatu objek dengan objek yang sebangun, tetapi berukuran lebih kecil dari objek aslinya. Dapat dikatakan bahwa setiap bagian kecil dalam sebuah fraktal dapat dilihat sebagai duplikasi skala kecil dari bentuk fraktal tersebut secara keseluruhan. Contoh dari sifat *self-similarity* dapat dilihat dari pola yang ada pada daun pakis, dengan bagian daun pakis yang kecil merupakan duplikasi dari bentuk utuh daun pakis secara keseluruhan. Selanjutnya ciri khusus yang kedua, yaitu *infinite detail* merupakan sifat objek fraktal yang menunjukkan bahwa jika objek fraktal tersebut diperbesar maupun diperkecil dengan skala tak terhingga akan terlihat seperti tidak akan pernah habis. Contoh *infinite detail* adalah segitiga Sierpinski, apabila diperbesar maupun diperkecil dengan generasi yang tak terhingga akan tetap memiliki kesamaan dengan bentuk sebelumnya (Santosa, 1994).

Karakteristik lain dari suatu objek fraktal adalah parameter matematika yang disebut dimensi fraktal. Pada umumnya diketahui bahwa dalam geometri Euclid, angka dimensi berupa bilangan bulat, yaitu garis (1 dimensi), bidang (2 dimensi), dan ruang (3 dimensi). Tidak seperti dimensi dalam geometri Euclid tersebut, dimensi fraktal pada umumnya dinyatakan dengan bilangan pecahan yang terletak diantara dua dimensi objek geometri (Peitgen, 1988). Mandelbrot (1983), Cherbit (1990) dan Falconer (1990), telah mengkaji dimensi fraktal dengan menggunakan dimensi Hausdorff. Dimensi Hausdorff merupakan salah satu pengukuran untuk menghitung dimensi objek tak beraturan yang memiliki dimensi tidak selalu berupa bilangan bulat.

2.2 Fraktal *Fibonacci Word*

Barisan Fibonacci diperkenalkan pertama kali oleh Leonardo Fibonacci pada tahun 1202. Barisan ini didefinisikan secara rekursif sebagai:

$$F_n = F_{n-1} + F_{n-2}, \text{ untuk } n \geq 3 \quad (2.1)$$

dengan $F_1 = 1$ dan $F_2 = 1$

Suku pertama dari barisan Fibonacci ini adalah 1, suku kedua juga 1, kemudian untuk suku ketiga dan suku-suku selanjutnya ditentukan dengan menjumlahkan dua suku terakhir sebelumnya sehingga diperoleh barisan bilangan dengan pola di bawah ini:

$$1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, \dots$$

Barisan *Fibonacci Word* adalah suatu barisan khusus yang dibentuk dari himpunan bilangan biner (0, 1) yang memiliki definisi secara rekursif sebagai berikut:

$$\begin{aligned} f_1 &= 1 \\ f_2 &= 0 \\ f_n &= f_{n-1} f_{n-2}, \text{ untuk } n \geq 3 \end{aligned} \quad (2.2)$$

Berikut ini adalah barisan *Fibonacci Word* berturut-turut:

$$\begin{aligned} f_1 &= 1 \\ f_2 &= 0 \\ f_3 &= 01 \\ f_4 &= 010 \\ f_5 &= 01001 \\ f_6 &= 01001010 \\ f_7 &= 0100101001001 \end{aligned}$$

Fungsi f_n di atas dapat dikatakan sebagai gabungan dari dua suku sebelumnya.

(Dumaine, 2009)

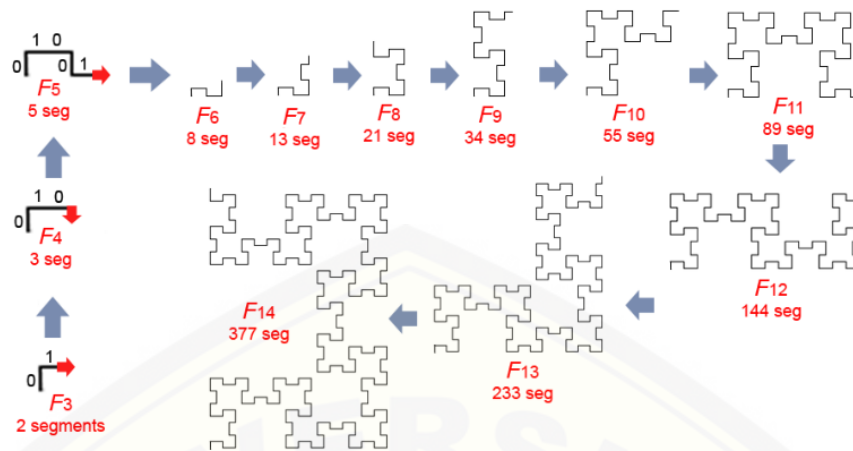
Fraktal *Fibonacci Word* adalah sebuah kurva fraktal yang dibangun melalui aturan penggambaran sederhana dan menarik berdasarkan pada barisan *Fibonacci Word* dan memiliki sifat *self-similarity*. Barisan *Fibonacci Word* dapat dikonstruksi menjadi suatu kurva menggunakan aturan penggambaran garis yang

mengikuti gerak dari simbol barisan *Fibonacci Word*. Kurva ini kemudian dikenal dengan istilah fraktal *Fibonacci Word*.

Aturan konstruksi fraktal *Fibonacci Word* dari simbol barisan *Fibonacci Word* dapat dilakukan dengan cara mengambil barisan *Fibonacci Word* digit ke- n , selanjutnya gambar suatu segmen garis. Secara umum aturan tersebut adalah apabila digitnya 0, maka gambarkan segmen garis dan setelahnya berbelok ke kanan atau ke kiri (sebesar 90^0), yaitu berbelok ke kanan jika digit 0 terletak pada suku ganjil atau n ganjil dan berbelok ke kiri jika digit 0 terletak pada suku genap atau n genap. Apabila digitnya adalah 1, maka gambarkan segmen garis dan setelahnya tidak berbelok. Aturan konstruksi ini disebut aturan penggambaran ganjil-genap. Garis pertama pada aturan penggambaran ganjil-genap, dapat digambar dengan cara berikut:

1. Jika digit pertama adalah 0, maka gambar garis vertikal dan belok kanan.
2. Jika digit kedua adalah 1, maka gambar garis horizontal.
3. Jika digit ketiga adalah 0, maka lanjutkan menggambar garis horizontal dan belok kanan.
4. Jika digit keempat adalah 0, maka gambar garis vertikal dan belok kiri. Kemudian dilanjutkan secara induktif untuk digit selanjutnya (Dumaine, 2009).

Konstruksi fraktal *Fibonacci Word* menggunakan aturan penggambaran ganjil-genap dapat dilihat pada Gambar 2.1. Pada Gambar 2.1 menunjukkan pembangunan kurva fraktal, ketika aturan penggambaran ganjil-genap diterapkan pada f_3 hingga f_{14} . Untuk selanjutnya kurva fraktal dan barisan Fibonacci Word masing-masing dinotasikan dengan \mathcal{F}_n dan f_n . Berdasarkan Gambar 2.1, terdapat *self-similarities* antara kurva \mathcal{F}_{11} dan \mathcal{F}_8 . Hal ini menunjukkan sifat dari fraktal *Fibonacci Word* dengan kurva \mathcal{F}_n memiliki kemiripan dengan \mathcal{F}_{n-3} . Jumlah segmen garis pada \mathcal{F}_n sama dengan suku ke- n dari barisan *Fibonacci* (F_n). Dengan demikian dapat pula diambil kesimpulan bahwa banyaknya digit pada barisan *Fibonacci Word* (f_n) sama dengan F_n .



Gambar 2.1 Konstruksi fraktal *Fibonacci Word* (Sumber: Dumaine, 2009)

Selain menggunakan aturan penggambaran ganjil-genap, konstruksi fraktal *Fibonacci Word* dapat dilakukan dengan beberapa cara lainnya yaitu, aturan konstruksi dengan melibatkan *golden ratio*, penggabungan kurva-kurva, *Lindenmayer Systems (L-Systems)*, dengan metode penghapusan menggunakan persegi putih pada persegi panjang hitam, dengan mengubah arah putaran, dengan membalik aturan untuk 0 dan 1, konstruksi menggunakan pemetaan yang berbeda dan dengan Rauzy ruler dan lain-lain (Dumaine, 2009).

Pemodelan konstruksi fraktal *Fibonacci Word* yang digunakan Dumaine (2009) adalah dengan menggunakan aturan penulisan kembali garis dari metode *DOL-Systems* dan huruf yang digunakan adalah *L, R, K* dan *Q*. Berikut ini adalah aturan produksi yang digunakan oleh Dumaine (2009).

$$L(x) \rightarrow +R(x) - L(x)K\left(\frac{x}{1 + \sqrt{2}}\right)L(x) - R(x)$$

$$R(x) \rightarrow -L(x) + R(x)Q\left(\frac{x}{1 + \sqrt{2}}\right)R(x) + L(x)$$

$$K(x) \rightarrow L(x)$$

$$Q(x) \rightarrow R(x) \tag{2.3}$$

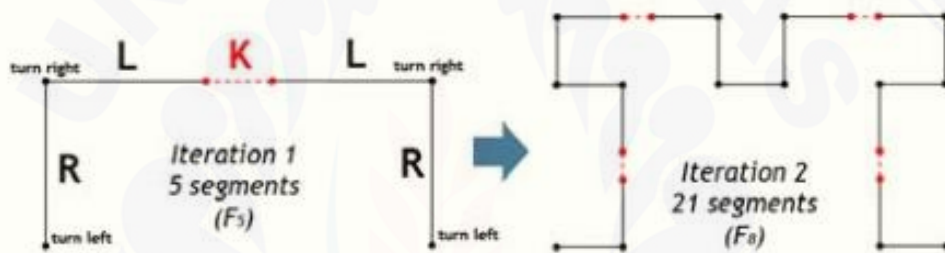
Simbol-simbol aturan produksi tersebut mempunyai perintah-perintah sebagai berikut.

- + : belok ke kiri sebesar 90°,
- : belok ke kanan sebesar 90°,

- $L(x)$: gambar segmen garis dengan panjang x , L memungkinkan pembangunan kurva ke kiri pada tahap iterasi selanjutnya,
- $R(x)$: gambar segmen garis dengan panjang x , R memungkinkan pembangunan kurva ke kanan pada tahap iterasi selanjutnya,
- $K(x)$: gambar segmen garis dengan panjang x , K menunda pembangunan L pada satu tahap iterasi,
- $Q(x)$: gambar segmen garis dengan panjang x , Q menunda pembangunan R pada satu tahap iterasi,

dengan panjang K dan Q adalah panjang segmen x dibagi dengan $1 + \sqrt{2}$.

Interpretasi grafik aturan produksi di atas dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Interpretasi L -Systems dalam membangun fraktal *Fibonacci Word* (Sumber: Dumaine, 2009)

2.3 Fraktal i -Fibonacci Word

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

$$F_0^{[i]} = 0$$

$$F_1^{[i]} = i$$

$$F_n^{[i]} = F_{n-1}^{[i]} + F_{n-2}^{[i]}, \text{ untuk } n \geq 2 \text{ dan } i \geq 1 \quad (2.4)$$

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 berikut ini.

Tabel 2.1 Barisan (n,i) -Fibonacci

| $F_n^{[i]}$ \ 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 | 117 |
| $F_n^{[6]}$ | 1 | 6 | 7 | 13 | 20 | 33 | 53 | 86 | 139 |

Barisan (n,i) -Fibonacci Word adalah sebuah barisan khusus yang terbentuk dari bilangan biner (0, 1) dengan dua parameter, yaitu n dan i . Barisan ini didefinisikan secara rekursif sebagai:

$$\begin{aligned}
 f_0^{[i]} &= 0 \\
 f_1^{[i]} &= 0^{i-1}1 \\
 f_n^{[i]} &= f_{n-1}^{[i]} f_{n-2}^{[i]}, \text{ untuk } n \geq 2 \text{ dan } i \geq 1
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

dengan n menunjukkan suku ke- n dan i menunjukkan generalisasi dari barisan (n,i) -Fibonacci Word. Operasi 0^{i-1} bukan merupakan operasi aljabar, tetapi menunjukkan bahwa digit 0 pada barisan tersebut akan diulang sebanyak $i - 1$. Misalnya pada, $f_1^{[i]} = 0^{i-1}1$ untuk $i = 6$ maka $f_1^{[6]} = 0^{6-1}1 = 0^51 = 000001$.

Berikut ini adalah barisan (n,i) -Fibonacci Word untuk $i = 2$ berturut-turut:

$$\begin{aligned}
 f_0^{[2]} &= 0 \\
 f_1^{[2]} &= 01 \\
 f_2^{[2]} &= 010 \\
 f_3^{[2]} &= 01001 \\
 f_4^{[2]} &= 01001010
 \end{aligned}$$

$$f_5^{[2]} = 0100101001001$$

$$f_6^{[2]} = 010010100100101001010$$

$$f_7^{[2]} = 0100101001001010010100100101001001$$

$$f_8^{[2]} = 01001010010010100101001001010010010100100101001010$$

Sedangkan barisan tak terbatas dari $f_n^{[i]}$ dirumuskan dengan:

$$\mathbf{f}^{[i]} = \lim_{n \rightarrow \infty} \mathbf{f}_n^{[i]} \quad (2.6)$$

Barisan ini dikenal sebagai *i-Fibonacci Word*.

Berikut adalah barisan *i-Fibonacci Word* untuk $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ berturut-turut:

$$\mathbf{f}^{[1]} = 1011010110110...$$

$$\mathbf{f}^{[2]} = 010010100100101001010...$$

$$\mathbf{f}^{[3]} = 00100010010001000100100010010...$$

$$\mathbf{f}^{[4]} = 0001000010001000010000100010000100010...$$

$$\mathbf{f}^{[5]} = 000010000010000100000100000100001000001000010...$$

$$\mathbf{f}^{[6]} = 0000010000001000001000000100000010000010000001...$$

Barisan *i-Fibonacci Word* dan (n, i) -*Fibonacci Word* memiliki karakteristik sebagai berikut.

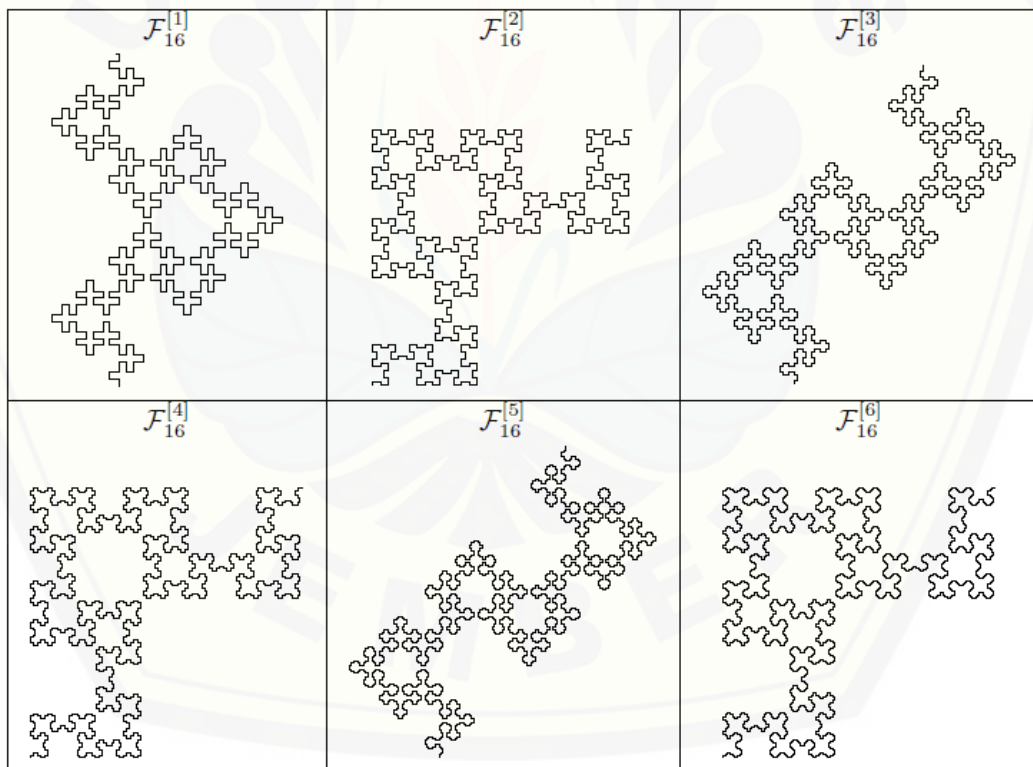
- Pada barisan *i-Fibonacci Word* tidak ditemukan digit 1 sebanyak dua kali berturut-turut (11), untuk $i \geq 2$
- Jika ab adalah dua simbol terakhir dari $f_n^{[i]}$, maka untuk $n \geq 1$ dan $i \geq 2$, $ab = 10$ untuk n genap dan $ab = 01$ untuk n ganjil.
- Jika $\Phi: \{0, 1\}^* \rightarrow \{0, 1\}^*$ adalah pemetaan dengan fungsi Φ menghapus dua simbol terakhir dari $f_n^{[i]}$ untuk $n \geq 2$, maka $\Phi(f_n^{[i]})$ adalah *palindrome* untuk semua $n \geq 2$. *Palindrome* adalah bilangan simetris yang memiliki makna jika digit-digitnya dibalik akan tetap menghasilkan bilangan yang sama atau dengan kata lain jika dibaca dari sebelah kanan maupun kiri akan memiliki urutan digit yang sama.
- Untuk $n \geq 6$, $f_n^{[i]} = f_{n-3}^{[i]} f_{n-3}^{[i]} l_{n-6}^{[i]} l_{n-3}^{[i]} l_{n-3}^{[i]}$, dengan $l_{n-3}^{[i]} = \Phi(f_n^{[i]}) ba$

Aturan penggambaran ganjil-genap juga dapat diaplikasikan pada barisan (n,i) -Fibonacci Word $(f_n^{[i]})$ untuk membentuk sebuah kurva. Kurva yang dihasilkan merupakan fraktal i -Fibonacci Word dan dinotasikan sebagai $\mathcal{F}_n^{[i]}$. Sehingga dapat dikatakan bahwa fraktal i -Fibonacci Word merupakan hasil dari pengaplikasian aturan penggambaran ganjil-genap terhadap barisan (n,i) -Fibonacci Word $(f_n^{[i]})$. Fraktal i -Fibonacci Word didefinisikan sebagai:

$$\mathcal{F}^{[i]} = \lim_{n \rightarrow \infty} \mathcal{F}_n^{[i]} \quad (2.7)$$

Berikut ini akan ditunjukkan beberapa contoh kurva $\mathcal{F}_{16}^{[i]}$ untuk $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Kurva $\mathcal{F}_{16}^{[i]}$ untuk $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$
(Sumber: Amalia, 2018)



Fraktal i -Fibonacci Word dan kurva $\mathcal{F}_n^{[i]}$ memiliki karakteristik sebagai berikut.

- a. Fraktal i -Fibonacci Word hanya tersusun dari segmen garis dengan panjang 1 atau 2

- b. Kurva $\mathcal{F}_n^{[i]}$ memiliki kesamaan dengan kurva $\mathcal{F}_{n-3}^{[i]}$ dalam hal bentuk kurva.
- c. Kurva $\mathcal{F}_n^{[i]}$ tersusun dari lima kurva:

$$\mathcal{F}_n^{[i]} = \mathcal{F}_{n-3}^{[i]} \mathcal{F}_{n-3}^{[i]} \mathcal{F}_{n-6}^{[i]} \mathcal{F}_{n-3}^{\prime[i]} \mathcal{F}_{n-3}^{\prime[i]}$$

dengan $\mathcal{F}_n^{\prime[i]}$ adalah hasil dari mengaplikasikan aturan garis ganjil-genap pada $l_n^{[i]}$ dengan $l_n^{[i]} = \Phi(f_n^{[i]})$ pada barisan (n, i) -Fibonacci Word.

- d. Kurva $\mathcal{F}_n^{[i]}$ bersifat simetris. Berdasarkan tabel 2.2 dapat dilihat bahwa untuk generasi genap dan generasi 1 memiliki simetri lipat, sedangkan generasi ganjil memiliki simetri putar.
- e. Faktor skala antara $\mathcal{F}_n^{[i]}$ dan $\mathcal{F}_{n-3}^{[i]}$ adalah $1 + \sqrt{2}$.

(Ramirez & Rubiano, 2014)

2.4 Lindenmayer Systems (L-Systems)

Aristid Lindenmayer, seorang ahli biologi, pada tahun 1968 memperkenalkan *Lindenmayer Systems* atau *L-Systems* sebagai dasar teori aksiomatik. *L-Systems* merupakan suatu sistem dinamik simbolik dengan sifat tambahan berupa penafsiran grafis perubahan sistem (Wright, 1996). Prinsip dasar dari *L-Systems* adalah sebuah sistem penulisan kembali, yaitu teknik pembangunan objek yang kompleks dari pengulangan bagian objek yang sederhana dengan menggunakan suatu aturan penulisan kembali yang dilakukan secara rekursif. Objek kompleks ini dibangun dengan cara mengganti bagian-bagian dari objek sederhana secara bergantian menggunakan seperangkat aturan penulisan kembali atau produksi (Ochoa, 1998).

L-Systems terdiri dari beberapa komponen utama, diantaranya adalah:

- a. Huruf

Huruf adalah himpunan berhingga V yang memuat simbol-simbol formal yang dapat diubah. Misalnya dalam bentuk huruf seperti a, b, c, d, e dan seterusnya. Setiap simbol huruf tersebut memiliki definisi yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan penelitian.

b. Aksioma

Aksioma (inisiator) adalah sebuah *string* w dari simbol-simbol pada V . Himpunan *string* dari V dinotasikan V^* . Dengan kata lain, aksioma juga dapat didefinisikan sebagai nilai awal dari sebuah aturan produksi *L-Systems*. Jika diberikan $V = \{a, b, c\}$, maka beberapa contoh himpunan *string* yang dapat dibentuk yaitu $V^* = \{a, b, cb, bc, bac, cba, aabca, caabbbc\}$. Panjang dari suatu *string* w , dinotasikan dengan $|w|$ yang berarti jumlah simbol dalam *string*.

c. Produksi

Produksi adalah aturan penulisan kembali suatu pemetaan simbol $a \in V$ ke *string* $w \in V^*$ yang harus dilakukan jika suatu simbol digunakan. Pemetaan tersebut dapat dinotasikan:

$$p: V \rightarrow V^*$$

$$p: a \rightarrow w$$

Jika terdapat suatu *L-Systems* yang memuat simbol $a \in V$ dan tidak memiliki aturan produksi, maka hal tersebut dapat diasumsikan bahwa simbol tersebut dipetakan ke dirinya sendiri sehingga a merupakan konstanta *L-Systems* (Wright, 1996).

Jika dilihat berdasarkan jumlah aturan produksi untuk satu simbolnya, jenis-jenis *L-Systems* dapat dibagi menjadi dua, yaitu *Deterministic L-Systems* dan *Stochastic L-Systems*. Berikut ini diberikan penjelasan untuk masing-masing jenis *L-Systems* tersebut.

a. *Deterministic L-Systems*

Deterministic L-Systems adalah *L-Systems* yang memiliki tepat satu produksi untuk setiap simbol. Suatu *Deterministic L-Systems* pada umumnya disebut dengan *DOL-Systems*.

Contoh: komponen *L-Systems* dengan *Deterministic L-Systems* adalah sebagai berikut:

$$V = \{a, b\}$$

$$w = a$$

$$p_1: a \rightarrow b$$

$$p_2: b \rightarrow ba$$

Hasilnya ditunjukkan dalam Tabel 2.3 sebagai berikut.

Tabel 2.3 Generasi *Deterministic L-Systems*

| Generasi | Hasil Produksi |
|----------|----------------|
| g_0 | a |
| g_1 | b |
| g_2 | ba |
| g_3 | bab |
| g_4 | $babba$ |
| g_5 | $babbabab$ |

b. *Stochastic L-Systems*

Stochastic L-Systems adalah *L-Systems* yang memiliki lebih dari satu aturan produksi untuk satu simbol tertentu dan memerlukan kriteria tertentu untuk menentukan kapan aturan suatu produksi diterapkan (probabilitas).

Contoh: komponen *L-Systems* dengan *Stochastic L-Systems*:

$$V = \{a, b\}$$

$$w = ab$$

$$p_1: a \rightarrow b : 0,35 \quad (\text{setiap } a \text{ diproduksi menjadi } b \text{ dengan probabilitas } 0,35)$$

$$p_2: a \rightarrow ab : 0,4 \quad (\text{setiap } a \text{ diproduksi menjadi } a \text{ dengan probabilitas } 0,4)$$

$$p_3: b \rightarrow ba : 0,25 \quad (\text{setiap } b \text{ diproduksi menjadi } a \text{ dengan probabilitas } 0,25)$$

Hasilnya ditunjukkan dalam Tabel 2.4 sebagai berikut.

Tabel 2.4 Generasi *Stochastic L-Systems*

| Generasi | Hasil Produksi |
|----------|--------------------|
| g_0 | ab |
| g_1 | $abba$ |
| g_2 | $abbabaa$ |
| g_3 | $bbabaababb$ |
| g_4 | $babaabbabbabbaba$ |

2.5 Aturan Produksi Fraktal *i-Fibonacci Word*

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, aturan produksi untuk fraktal *i-Fibonacci Word* dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu untuk fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi *i* genap dan fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi *i* ganjil. Berikut penjelasan untuk masing-masing aturan produksi tersebut.

2.5.1. Aturan Produksi Fraktal *i-Fibonacci Word* Generalisasi *i* Genap

Skripsi yang berjudul Kajian Fraktal *i-Fibonacci Word* dengan Menggunakan *L-Systems*, Amalia (2018) telah menuliskan sebuah aturan produksi untuk menggambarkan fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi *i* genap. Berdasarkan definisi barisan *i-Fibonacci Word* dan mengacu pada komponen fraktal *Fibonacci Word* yang telah dimodelkan sebelumnya oleh Dumaine (2009), maka komponen-komponen *L-Systems* yakni huruf (V), aksioma (w) dan produksi (p) pada fraktal *i-Fibonacci Word* untuk generalisasi *i* genap adalah sebagai berikut:

$$V = \left\{ L(x), R(x), K(x), Q(x), K\left(\frac{x}{1+\sqrt{2}}\right), Q\left(\frac{x}{1+\sqrt{2}}\right), F(x), +, - \right\},$$

$$w = L(x),$$

$$p_1: L(x) \rightarrow +R(x)\left[\prod_{n=1}^{i-2} \alpha_n F(x)\right] - L(x)K\left(\frac{x}{1+\sqrt{2}}\right)L(x)\left[\prod_{n=1}^{i-2} \alpha_n F(x)\right] - R(x)$$

dengan α_n adalah tanda “-“ (*minus*) untuk n ganjil dan α_n adalah tanda “+“ (*plus*) untuk n genap,

$$p_2: R(x) \rightarrow +L(x)\left[\prod_{n=1}^{i-2} \beta_n F(x)\right] + R(x)Q\left(\frac{x}{1+\sqrt{2}}\right)R(x)\left[\prod_{n=1}^{i-2} \beta_n F(x)\right] + L(x)$$

dengan β_n adalah tanda “+“ (*plus*) untuk n ganjil dan β_n adalah tanda “-“ (*minus*) untuk n genap,

$$p_3: K(x) \rightarrow L(x),$$

$$p_4: Q(x) \rightarrow R(x),$$

$$p_5: F(x) \rightarrow \emptyset,$$

dengan aturan produksi $\left[\prod_{n=1}^{i-2} \alpha_n F(x)\right]$ pada $L(x)$ dan $\left[\prod_{n=1}^{i-2} \beta_n F(x)\right]$ pada $R(x)$ bukan merupakan operasi perkalian, melainkan operasi pengulangan untuk masing-masing simbol $\alpha_n F(x)$ dan $\beta_n F(x)$.

Adapun contoh untuk $i = 4$, yaitu sebagai berikut:

$$L(x) \rightarrow +R(x) [\prod_{n=1}^{4-2} \alpha_n F(x)] - L(x) K \left(\frac{x}{1+\sqrt{2}} \right) L(x) [\prod_{n=1}^{4-2} \alpha_n F(x)] - R(x) =$$

$$L(x) \rightarrow +R(x) [\prod_{n=1}^2 \alpha_n F(x)] - L(x) K \left(\frac{x}{1+\sqrt{2}} \right) L(x) [\prod_{n=1}^2 \alpha_n F(x)] - R(x) =$$

$$L(x) \rightarrow +R(x) - F(x) + F(x) - L(x) K \left(\frac{x}{1+\sqrt{2}} \right) L(x) - F(x) + F(x) - R(x).$$

Aturan produksi: $F(x) \rightarrow \emptyset$ memiliki makna bahwa simbol $F(x)$ tidak diproduksi menjadi apapun. Simbol $+$ (*plus*) adalah perintah memutar arah garis berlawanan arah jarum jam sebesar $\theta = \frac{\pi}{2}$ atau belok ke kiri. Sedangkan simbol $-$ (*minus*) adalah perintah memutar arah garis searah jarum jam sebesar $\theta = \frac{\pi}{2}$ atau belok ke kanan.

2.5.2. Aturan Produksi Fraktal *i-Fibonacci Word* Generalisasi *i* Ganjil

Pada skripsi yang berjudul Kajian Fraktal *i-Fibonacci Word* Generalisasi Ganjil dengan Menggunakan *L-Systems*, Umami (2018) telah menuliskan aturan produksi untuk menggambarkan fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi *i* ganjil. Berbeda dengan aturan yang digunakan oleh Amalia (2018), simbol huruf yang digunakan lebih banyak dan juga terdapat variasi sudut belok di dalam programnya. Berdasarkan definisi barisan *i-Fibonacci Word* dan mengacu pada komponen fraktal *Fibonacci Word* yang telah dimodelkan oleh Dumaine (2009), maka komponen-komponen *L-Systems* yakni huruf (V), aksioma (w) dan produksi (p) pada fraktal *i-Fibonacci Word* untuk generalisasi *i* ganjil dibagi menjadi dua yaitu disaat $i = 1$ dan i ganjil adalah sebagai berikut:

A. Aturan Produksi Fraktal *i-Fibonacci Word* $i = 1$

Aturan produksi yang dipakai untuk membangun fraktal *i-Fibonacci Word* dengan $i = 1$ sedikit berbeda dengan i ganjil lainnya. Hal tersebut dikarenakan perbedaan pola pada barisan *i-Fibonacci Word* antara $i = 1$ dengan i ganjil lainnya. Pada barisan *i-Fibonacci Word* dengan $i = 1$ ($f^{[1]} = 1011010110110\dots$) mempunyai pola yang bertolak belakang dengan i ganjil lainnya, yaitu pada $i = 1$ tidak ada digit 0 yang muncul secara berurutan. Oleh karena itu, ada perbedaan pada aturan produksi serta aksioma yang digunakan. Notasi, aksioma, serta aturan

produksi yang digunakan untuk penggambaran fraktal *i-Fibonacci Word* dengan $i = 1$ adalah sebagai berikut:

$$V = \{A, L, O, P, R, S, T, U, +, -\}$$

$$w = T$$

$$p_1: T \rightarrow LAA - SA - OAA + LAA - SA$$

$$p_2: L \rightarrow LAA - SA - OAA + LAA - SA - PAA$$

$$p_3: O \rightarrow UAA + RA + TAA - UAA + RA$$

$$p_4: P \rightarrow PAA + RA + TAA - UAA + RA + LAA$$

$$p_5: R \rightarrow - - SA - OAA$$

$$p_6: S \rightarrow + + RA + TAA$$

$$p_7: U \rightarrow UAA + RA + TAA - UAA + RA + LAA$$

$$p_8: A \rightarrow \emptyset$$

Penggambaran fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi pertama ini terdapat 10 notasi, yaitu $V = \{A, L, O, P, R, S, T, U, +, -\}$. Makna dari notasi A, T, L, O, P, R, S dan U adalah menggambarkan sebuah garis sepanjang l satuan. Notasi $+$ (*plus*) dan $-$ (*minus*) masing-masing memiliki makna memutar segmen garis berlawanan dan searah jarum jam sebesar 90° . Dalam aturan produksi ini, notasi $A \rightarrow \emptyset$ berarti A tidak diproduksi menjadi apapun pada generasi berikutnya.

B. Aturan Produksi Fraktal *i-Fibonacci Word* i Ganjil

Perbedaan pola yang menyebabkan panjang tiap segmen antara $i = 1$ dan i ganjil lainnya berbeda, berakibat pada aturan produksi yang dipakai untuk membangun fraktal-fraktal tersebut. Jika pada $i = 1$ semua notasi selalu diikuti dengan notasi A , maka untuk i ganjil kecuali satu, tidak semua notasi diikuti dengan notasi A . Berikut notasi, aksioma dan aturan produksi yang digunakan adalah:

$$V = \{A, L, O, P, Q, R, S, T, U, +, -\}$$

$$w = Q$$

$$p_1: T \rightarrow LA - SA - O + L \prod_{n=1}^{i-3} \alpha_n A - SA \prod_{n=1}^{i-3} \alpha_n A$$

$$p_2: L \rightarrow LA - SA - O + L \prod_{n=1}^{i-3} \alpha_n A - SA - P \prod_{n=1}^{i-3} \alpha_n A$$

$$p_3: O \rightarrow UA + RA + T - U \prod_{n=1}^{i-3} \beta_n A + RA \prod_{n=1}^{i-3} \beta_n A$$

$$p_4: P \rightarrow PA + RA + T - U \prod_{n=1}^{i-3} \beta_n A + RA + L \prod_{n=1}^{i-3} \alpha_n A$$

$$p_5: Q \rightarrow +A + T - U \prod_{n=1}^{i-3} \beta_n A + RA \prod_{n=1}^{i-3} \beta_n A$$

$$p_6: R \rightarrow - - SA - OA \prod_{n=1}^{i-3} \beta_n A$$

$$p_7: S \rightarrow + + RA + TA \prod_{n=1}^{i-3} \beta_n A$$

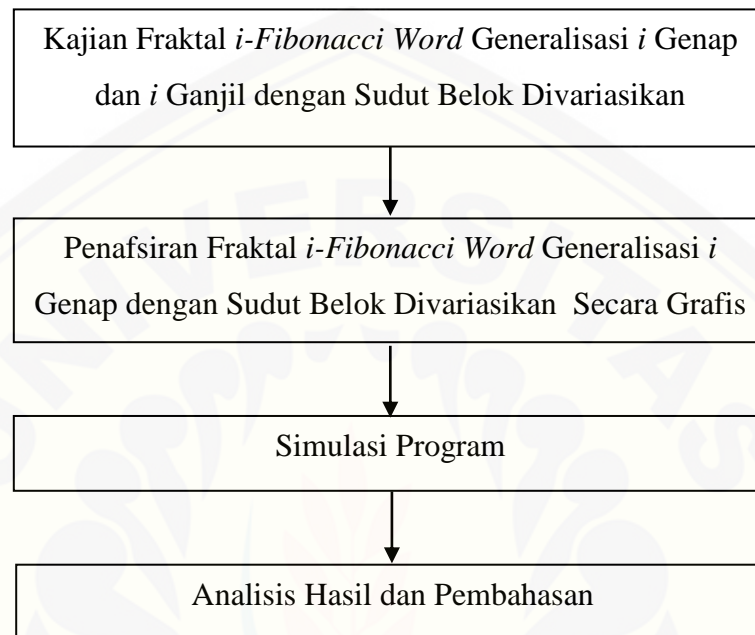
$$p_8: U \rightarrow UAA + RA + TA - UA \prod_{n=1}^{i-3} \beta_n A + RA + LA \prod_{n=1}^{i-3} \alpha_n A$$

$$p_9: A \rightarrow \emptyset$$

Notasi yang digunakan untuk menggambarkan fraktal *i-Fibonacci Word* dengan i ganjil ada sebanyak 11 notasi, yaitu $V = \{A, L, O, P, Q, R, S, T, U, +, -\}$. Makna dari notasi A, L, O, P, Q, R, S, T dan U adalah menggambarkan segmen garis sepanjang l . Simbol $\prod_{n=1}^{i-3}$ berarti pengulangan untuk masing-masing $\alpha_n A$ dan $\beta_n A$. α_n adalah $-$ (*minus*) untuk n ganjil dan $+$ (*plus*) untuk n genap, sedangkan β_n adalah $-$ (*minus*) untuk n genap dan $+$ (*plus*) untuk n ganjil.

BAB 3. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini secara skematik dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema metode penelitian

Dari skema pada Gambar 3.1, langkah-langkah penelitian dapat diuraikan sebagai berikut:

3.1 Kajian Fraktal *i-Fibonacci Word* Generalisasi *i* Genap dan *i* Ganjil dengan Sudut Belok Divariasikan

Langkah pertama pada penelitian ini adalah pengkajian fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi *i* genap dengan sudut belok divariasikan secara matematis. Kemudian dibandingkan dengan kajian fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi *i* ganjil dengan sudut belok divariasikan yang telah dilakukan sebelumnya oleh Umami (2018) secara matematis. Selanjutnya akan ditentukan aksioma dan beberapa aturan produksi untuk membentuk fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi *i* genap dengan sudut belok divariasikan. Aturan produksi akan diperoleh berdasarkan bentuk dari fraktal maupun barisan *i-Fibonacci Word* tersebut.

3.2 Penafsiran Fraktal *i-Fibonacci Word* Generalisasi *i* Genap dengan Sudut Belok Divariasikan Secara Grafis

Hasil Generasi *L-Systems* fraktal *i-Fibonacci word* generalisasi *i* genap dengan sudut belok divariasikan pada langkah sebelumnya, kemudian digambar secara grafis sesuai komponen-komponen aturan produksi yang telah didapatkan sebelumnya. Langkah ini dilakukan dengan cara menggambar secara grafis aturan produksi yang telah didapat saat menafsirkan fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi *i* genap dengan sudut belok divariasikan secara matematis. Adapun nantinya akan digambar fraktal *i-Fibonacci Word* saat $i = 2, 4, 6$ dan 8 dan interval sudut yang akan digunakan adalah $20^{\circ}, 40^{\circ}, 60^{\circ}, 80^{\circ}, 100^{\circ}, 120^{\circ}, 140^{\circ}$ dan 160° .

3.3 Simulasi Program

Langkah ke-tiga yaitu pembuatan program visualisasi fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi *i* genap dengan sudut belok divariasikan. Algoritma program penerapan *L-Systems* dalam membangun fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi *i* genap dengan sudut belok divariasikan diuraikan sebagai berikut:

- Menentukan aksioma dan aturan produksi sesuai dengan persamaan 2.3.
- Menentukan nilai i , generasi, dan sudut belok fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi *i* genap yang akan divisualisasi sebagai input.
- Menggambar fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi *i* genap dengan sudut divariasikan berdasarkan ketentuan pada langkah-langkah sebelumnya.

3.4 Analisis Hasil dan Pembahasan

Hasil yang diperoleh dari pembuatan program adalah visualisasi dari fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi *i* genap dengan sudut belok divariasikan dengan menggunakan aturan produksi yang didapat sebelumnya. Selain itu, juga akan didapat perbandingan karakteristik dari fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi *i* genap dengan sudut belok divariasikan saat $i = 2, 4, 6$ dan 8 dan saat interval sudut yang adalah $20^{\circ}, 40^{\circ}, 60^{\circ}, 80^{\circ}, 100^{\circ}, 120^{\circ}, 140^{\circ}$ dan 160° . Selanjutnya akan dilakukan perbandingan antara fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi *i* genap

dan fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi i ganjil yang sebelumnya telah dilakukan pada penelitian Umami (2018) dengan sudut belok divariasikan sehingga diperoleh karakteristik hubungan maupun pola-pola yang terbentuk diantara keduanya.



BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

- a. Besarnya sudut belok berpengaruh terhadap bentuk fraktal, yaitu kurva fraktal akan diregangkan seiring berkurangnya besar sudut. Semakin besar sudut belok yang digunakan pada fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi i genap maka akan semakin bertumpang-tindih pula antara segmen yang satu dengan segmen yang lain pada kurva fraktal.
- b. Berdasarkan penyajian *L-Systems* dapat disimpulkan bahwa fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi i ganjil dan i genap dengan sudut yang divariasikan memiliki kesamaan dalam hal kecenderungan kemiringan bentuk fraktal, yaitu untuk generasi ganjil cenderung miring ke arah kiri, sedangkan untuk generasi genap akan cenderung miring ke arah kanan. Perbedaan yang terdapat pada fraktal *i-Fibonacci Word* generalisasi i ganjil dan i genap dengan sudut belok yang divariasikan hanya terletak pada bentuk kurva fraktalnya saja.

5.2 Saran

Visualisasi fraktal *i-Fibonacci Word* baik untuk generalisasi i ganjil maupun i genap menghasilkan pola yang menarik, yakni untuk generasi genap dan generasi ganjil memiliki arah pembentukan kurva yang berbeda dan selalu terjaga untuk iterasi-iterasi selanjutnya. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya sebaiknya diberikan penjelasan secara analitik/matematis terkait hal tersebut.

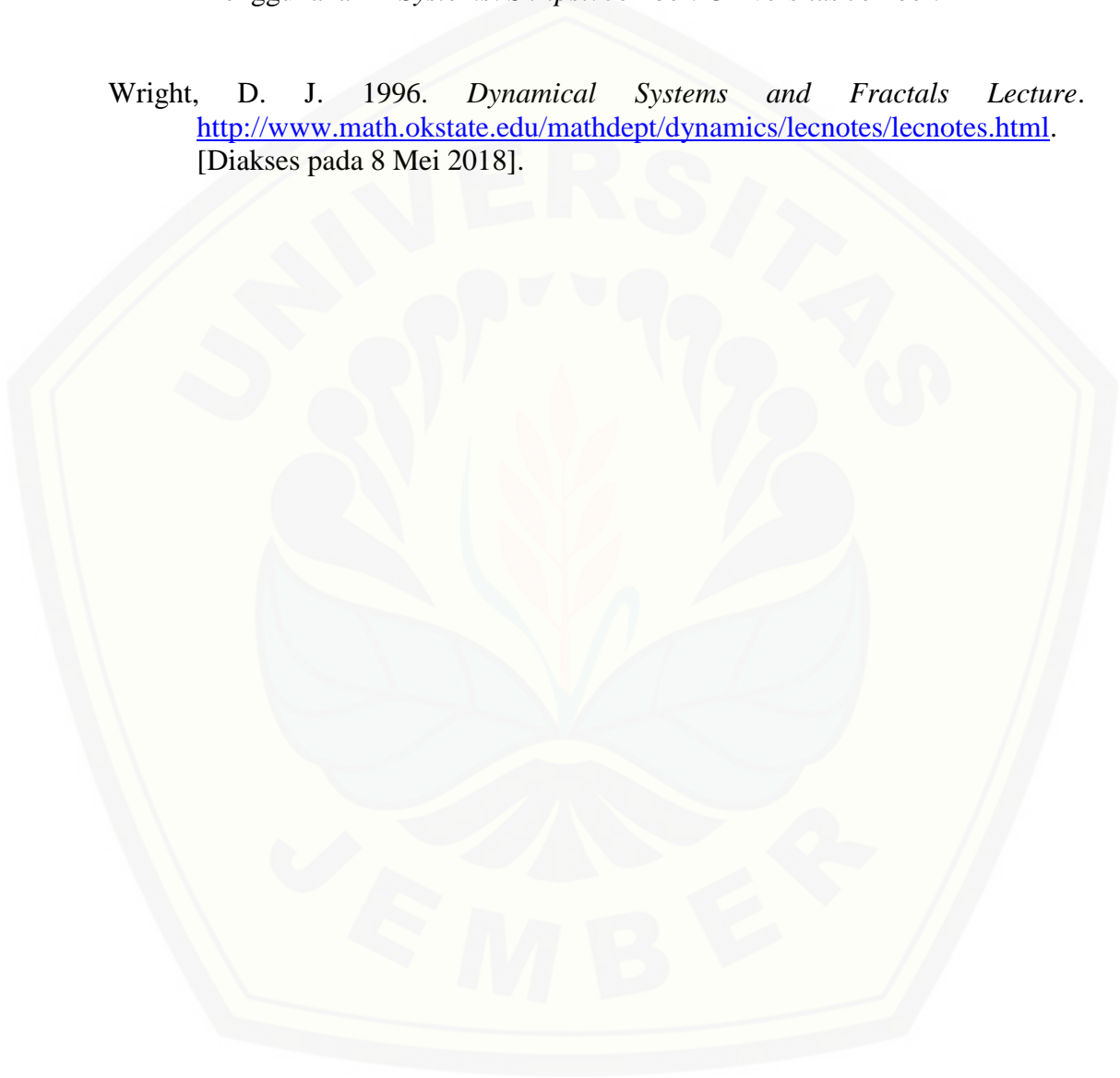
DAFTAR PUSTAKA

- Alyagustin, R. D. Kusbudiono, dan K. D Purnomo. 2015. Variasi Fraktal *Fibonacci Word*. *Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika*. ISBN 978-602-73403-0-5: 14 November 2015. Jurusan Pendidikan Matematika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta: 335-340.
- Amalia, D. A. R. 2018. Kajian Fraktal *i-Fibonacci Word* dengan Menggunakan *L-Systems*. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Cherbit, G. 1990. *Fractals: Non-integral Dimensions and Applications*. England: Wiley and Sons Ltd.
- Dumaine, A. M. 2009. The *Fibonacci Word Fractal*. https://hal.archivesouvertes.fr/file/index/docid/367972/filename/The_Fibonacci_word_fractal.pdf. [Diakses pada 2 Februari 2018].
- Falconer, K. 1990. *Fractal Geometry (Mathematical Foundation and Applications)*. New York: John Wiley and Sons Ltd.
- Liyani, N. 2018. Kajian Morfisme untuk Variasi Kurva *Dense Fibonacci Word*. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Mandelbrot, B. B. 1983. *The Fractal Geometry of Nature*. New York: W. H. Freeman and Company.
- Ochoa, G. 1998. *An Introduction to Lindenmayer Systems*. <https://ldc.usb.ve/~gabro/lsys/lsys.html>. [Diakses pada 8 Mei 2018].
- Peitgen, H. O. dan D. Soupe. 1988. *The Science of Fractal Images*. New York: Springer-Verlag.
- Ramirez, J. L. dan G. N. Rubiano. 2014. *Properties and Generalizations of the Fibonacci Word Fractal*. *Mathematica Journal*. 16(1): 1-25.

Santosa, P. I. 1994. *Grafika Komputer dan Antarmuka Grafis Teknik Penyusunan Program Aplikasi Berbasis Grafis yang Profesional*. Yogyakarta: Andi Offset.

Umami, R. 2018. *Kajian Fraktal i -Fibonacci Word Generalisasi Ganjil dengan Menggunakan L -Systems*. Skripsi. Jember: Universitas Jember.

Wright, D. J. 1996. *Dynamical Systems and Fractals Lecture*. <http://www.math.okstate.edu/mathdept/dynamics/lecnotes/lecnotes.html>. [Diakses pada 8 Mei 2018].



LAMPIRAN

Lampiran 4.1 Script Program

4.4.1. Script Program Fraktal *i-Fibonacci Word* Generalisasi *i* GanjilScript Program untuk $n = 1$

```

n='T';
iterasi=str2num(get(handles.edit5,'string'));
delta=str2num(get(handles.edit4,'string'));
xT=0;
yT=0;
T=['+LCC','-SC','-OCC','+LCC','-SC'];
L=['+LCC','-SC','-OCC','+LCC','-SC','-PCC'];
O=['-UCC','+RC','+TCC','-UCC','+RC'];
P=['-PCC','+RC','+TCC','-UCC','+RC','+LCC'];
R=['--','-SC','-OCC'];
S=['++','+RC','+TCC'];
U=['-UCC','+RC','+TCC','-UCC','+RC','+LCC'];
C=[];
for k=1:iterasi
q=1;
for i=1:length(n)
if n(i)=='L'
if k~= 1
if n(i-1)=='+' || n(i-1)=='-'
if i~=3
j(q:length(L)+q-1)=[n(i-1),L(2:length(L))];
else
j(q:length(L)+q-1)=L;
end
else
j(q:length(L)+q-1)=L;
end
else
j(q:length(L)+q-1)=L;
end
end
q=length(j)+1;
elseif n(i)=='T'
if k~= 1
if n(i-1)=='+' || n(i-1)=='-'
if i~=3
j(q:length(T)+q-1)=[n(i-1),T(2:length(T))];
else
j(q:length(T)+q-1)=T;
end
else
j(q:length(T)+q-1)=T;
end
else
j(q:length(T)+q-1)=T;
end
end
q=length(j)+1;
elseif n(i)=='C'

```



```
if k~= 1
if n(i-1)=='+' || n(i-1)=='-'
if i~=3
j(q:length(C)+q-1)=[n(i-1),C(2:length(C))];
else
j(q:length(C)+q-1)=C;
end
else
j(q:length(C)+q-1)=C;
end
else
j(q:length(C)+q-1)=C;
end
q=length(j)+1;
elseif n(i)=='O'
if k~= 1
if n(i-1)=='+' || n(i-1)=='-'
if i~=3
j(q:length(O)+q-1)=[n(i-1),O(2:length(O))];
else
j(q:length(O)+q-1)=O;
end
else
j(q:length(O)+q-1)=O;
end
else
j(q:length(O)+q-1)=O;
end
q=length(j)+1;
elseif n(i)=='P'
if k~= 1
if n(i-1)=='+' || n(i-1)=='-'
if i~=3
j(q:length(P)+q-1)=[n(i-1),P(2:length(P))];
else
j(q:length(P)+q-1)=P;
end
else
j(q:length(P)+q-1)=P;
end
else
j(q:length(P)+q-1)=P;
end
q=length(j)+1;
elseif n(i)=='R'
if k~= 1
if n(i-1)=='+' || n(i-1)=='-'
if i~=3
j(q:length(R)+q-1)=[n(i-1),R(2:length(R))];
else
j(q:length(R)+q-1)=R;
end
else
j(q:length(R)+q-1)=R;
end
else
```

```

j(q:length(R)+q-1)=R;
end
q=length(j)+1;
elseif n(i)=='S'
if k~= 1
if n(i-1)=='+' || n(i-1)=='-'
if i~=3
j(q:length(S)+q-1)=[n(i-1),S(2:length(S))];
else
j(q:length(S)+q-1)=S;
end
else
j(q:length(S)+q-1)=S;
end
else
j(q:length(S)+q-1)=S;
end
q=length(j)+1;
elseif n(i)=='U'
if k~= 1
if n(i-1)=='+' || n(i-1)=='-'
if i~=3
j(q:length(U)+q-1)=[n(i-1),U(2:length(U))];
else
j(q:length(U)+q-1)=U;
end
else
j(q:length(U)+q-1)=U;
end
else
j(q:length(U)+q-1)=U;
end
q=length(j)+1;
end
end
aT=pi/2;
ind=0;

for i=1:length(j)
cmdt=j(i);
switch cmdt
case '+'
aT=aT+delta;
case '-'
aT=aT-delta;
otherwise
ind=ind+1;
xTbar(ind)=xT(ind)+cos(aT);
yTbar(ind)=yT(ind)+sin(aT);
xT(ind+1)=xTbar(ind);
yT(ind+1)=yTbar(ind);
end
end
end

```

```

n=j;
j='';
disp(['generasi ke' num2str(k)]);
disp(n);
disp('');
plot(xT,yT);
axis off
end

l=0;o=0;p=0;r=0;s=0;t=0;u=0;c=0;
for i=1:length(n)
if n(i)=='L'
l=l+1;
elseif n(i)=='O'
o=o+1;
elseif n(i)=='C'
c=c+1;
elseif n(i)=='P'
p=p+1;
elseif n(i)=='R'
r=r+1;
elseif n(i)=='S'
s=s+1;
elseif n(i)=='T'
t=t+1;
elseif n(i)=='U'
u=u+1;
end
end
t=l+o+p+r+s+t+u+c;
disp(['jumlah segmen = ' num2str(t)]);
set(handles.text11,'string',t);
pl=0; mn=0;
to=t-c-1;
disp(['jumlah belokan = ' num2str(to)]);
set(handles.text10,'string',to);
tx=abs(max(xT)-min(xT))
set(handles.text13,'string',tx);
ty=abs(max(yT)-min(yT))
set(handles.text16,'string',ty);

```

Script Program untuk ganjil

```

n='Q';
gen=str2num(get(handles.edit1,'string'));
iterasi=str2num(get(handles.edit3,'string'));
delta=str2num(get(handles.edit2,'string'));
xT=0
yT=0
a='-A+A';
b='+A-A';
for i=1:(gen-3)/2
AA(4*i-3:4*i)=a;
BB(4*i-3:4*i)=b;
end
if gen==3

```

```

AA=''; BB='';
end
T=['+L', '-SC', '-O', '+L', AA, '-SC', AA]
L=['+L', '-SC', '-O', '+L', AA, '-SC', '-P', BB]
O=['-U', '+RC', '+T', '-U', BB, '+RC', BB]
P=['-P', '+RC', '+T', '-U', BB, '+RC', '+L', AA]
Q=['+D', '+T', '-U', BB, '+RC', BB, ]
R=['--', '-SC', '-O', BB]
S=['++', '+RC', '+T', AA]
U=['-U', '+RC', '+T', '-U', BB, '+RC', '+L', AA]
C=[]
D=[]
m=n;
for k=1:iterasi
q=1;
for i=1:length(n)
if n(i)=='Q'
if k~=1
if n(i-1)=='+' || n(i-1)=='-'
if i~=3
j(q:length(Q)+q-1)=[n(i-1),Q(2:length(Q))];
else
j(q:length(Q)+q-1)=Q;
end
else
j(q:length(Q)+q-1)=Q;
end
else
j(q:length(Q)+q-1)=Q;
end
q=length(j)+1;
elseif n(i)=='L'
if k~= 1
if n(i-1)=='+' || n(i-1)=='-'
if i~=3
j(q:length(L)+q-1)=[n(i-1),L(2:length(L))];
else
j(q:length(L)+q-1)=L;
end
else
j(q:length(L)+q-1)=L;
end
else
j(q:length(L)+q-1)=L;
end
q=length(j)+1;
elseif n(i)=='C'
if k~= 1
if n(i-1)=='+' || n(i-1)=='-'
if i~=3
j(q:length(C)+q-1)=[n(i-1),C(2:length(C))];
else
j(q:length(C)+q-1)=C;
end
else
j(q:length(C)+q-1)=C;

```

```
end
else
j(q:length(C)+q-1)=C;
end
q=length(j)+1;
elseif n(i)=='T'
if k~= 1
if n(i-1)=='+' || n(i-1)=='-'
if i~=3
j(q:length(T)+q-1)=[n(i-1),T(2:length(T))];
else
j(q:length(T)+q-1)=T;
end
else
j(q:length(T)+q-1)=T;
end
else
j(q:length(T)+q-1)=T;
end
end
q=length(j)+1;
elseif n(i)=='O'
if k~= 1
if n(i-1)=='+' || n(i-1)=='-'
if i~=3
j(q:length(O)+q-1)=[n(i-1),O(2:length(O))];
else
j(q:length(O)+q-1)=O;
end
else
j(q:length(O)+q-1)=O;
end
else
j(q:length(O)+q-1)=O;
end
end
q=length(j)+1;
elseif n(i)=='P'
if k~= 1
if n(i-1)=='+' || n(i-1)=='-'
if i~=3
j(q:length(P)+q-1)=[n(i-1),P(2:length(P))];
else
j(q:length(P)+q-1)=P;
end
else
j(q:length(P)+q-1)=P;
end
else
j(q:length(P)+q-1)=P;
end
end
q=length(j)+1;
elseif n(i)=='R'
if k~= 1
if n(i-1)=='+' || n(i-1)=='-'
if i~=3
j(q:length(R)+q-1)=[n(i-1),R(2:length(R))];
else
```

```
j (q:length(R)+q-1)=R;
end
else
j (q:length(R)+q-1)=R;
end
else
j (q:length(R)+q-1)=R;
end
q=length(j)+1;
elseif n(i)=='S'
if k~= 1
if n(i-1)=='+' || n(i-1)=='-'
if i~=3
j (q:length(S)+q-1)=[n(i-1),S(2:length(S))];
else
j (q:length(S)+q-1)=S;
end
else
j (q:length(S)+q-1)=S;
end
else
j (q:length(S)+q-1)=S;
end
q=length(j)+1;
elseif n(i)=='D'
if k~= 1
if n(i-1)=='+' || n(i-1)=='-'
if i~=3
j (q:length(D)+q-1)=[n(i-1),D(2:length(D))];
else
j (q:length(D)+q-1)=D;
end
else
j (q:length(D)+q-1)=D;
end
else
j (q:length(D)+q-1)=D;
end
q=length(j)+1;
elseif n(i)=='U'
if k~= 1
if n(i-1)=='+' || n(i-1)=='-'
if i~=3
j (q:length(U)+q-1)=[n(i-1),U(2:length(U))];
else
j (q:length(U)+q-1)=U;
end
else
j (q:length(U)+q-1)=U;
end
else
j (q:length(U)+q-1)=U;
end
q=length(j)+1;
end
end
```



```
aT=pi/2;
ind=0;

for i=1:length(j)
    cmdt=j(i);
    switch cmdt
        case '+'
            aT=aT+delta;
        case '-'
            aT=aT-delta;
        otherwise
            ind=ind+1;
            xTbar(ind)=xT(ind)+cos(aT);
            yTbar(ind)=yT(ind)+sin(aT);
            xT(ind+1)=xTbar(ind);
            yT(ind+1)=yTbar(ind);
    end
end

n=j;
j='';
disp(['generasi ke' num2str(k)]);
disp(n);
disp(' ');
plot(xT,yT);
axis off
end
l=0;o=0;p=0;q=0;r=0;s=0;t=0;u=0;a=0;b=0;c=0;d=0;
for i=1:length(n)
    if n(i)=='L'
        l=l+1;
    elseif n(i)=='O'
        o=o+1;
    elseif n(i)=='D'
        d=d+1;
    elseif n(i)=='P'
        p=p+1;
    elseif n(i)=='C'
        c=c+1;
    elseif n(i)=='B'
        b=b+1;
    elseif n(i)=='Q'
        q=q+1;
    elseif n(i)=='R'
        r=r+1;
    elseif n(i)=='S'
        s=s+1;
    elseif n(i)=='T'
        t=t+1;
    elseif n(i)=='U'
        u=u+1;
    elseif n(i)=='A'
        a=a+1;
    end
end
```

```

end
t=1+o+p+q+r+s+t+u+a+b+c+d;
disp(['jumlah segmen = ' num2str(t)]);
set(handles.text11,'string',t);
pl=0; mn=0;
to=t-c-1;
disp(['jumlah belokan = ' num2str(to)]);
set(handles.text10,'string',to);
tx=abs(max(xT)-min(xT))
set(handles.text13,'string',tx);
ty=abs(max(yT)-min(yT))
set(handles.text16,'string',ty);

```

4.4.2. Script Program Fraktal *i-Fibonacci Word* Generalisasi *i* Genap

```

n='L';
gen=str2num(get(handles.generalisasi,'string'))
delta=str2num(get(handles.sudut,'string'))
iterasi=str2num(get(handles.iterasi,'string'))
xT=0
yT=0
a='-F+F';
b='+F-F';
for i=1:(gen/2)-1
RF(4*i-3:4*i)=a;
FF(4*i-3:4*i)=b;
end
if gen==2
RF='';FF='';
end
L=['+R',RF,'-LKL',RF,'-R'];
R=['-L',FF,'+RQR',FF,'+L'];
K='+L';
Q='-R';
m=n;
for k=1:iterasi
q=1;
for i=1:length(n)
if n(i)=='L'
if k~= 1
if n(i-1)=='+' || n(i-1)=='-'
if i~=2
j(q:length(L)+q-1)=[n(i-1),L(2:length(L))];
else
j(q:length(L)+q-1)=L;
end
else
j(q:length(L)+q-1)=L;
end
else
j(q:length(L)+q-1)=L;
end
end
q=length(j)+1;

```

```

elseif n(i)=='R'
if k~= 1
if n(i-1)=='+' || n(i-1)=='-'
if i~=2
j(q:length(R)+q-1)=[n(i-1),R(2:length(R))];
else
j(q:length(R)+q-1)=R;
end
else
j(q:length(R)+q-1)=R;
end
else
j(q:length(R)+q-1)=R;
end
q=length(j)+1;
elseif n(i)=='K'
j(q:length(K)+q-1)=K;
q=length(j)+1;
elseif n(i)=='Q'
j(q:length(Q)+q-1)=Q;
q=length(j)+1;
end
end

%Besar sudut belok
aT=pi/2;
ind=0;
for i=1:length(j)
cmdt=j(i);
switch cmdt
case '+'
aT=aT+delta;
case '-'
aT=aT-delta;
otherwise
ind=ind+1;
xTbar(ind)=xT(ind)+cos(aT);
yTbar(ind)=yT(ind)+sin(aT);
xT(ind+1)=xTbar(ind);
yT(ind+1)=yTbar(ind);
end
end

n=j;
j='';
disp(['generasi ke' num2str(k)]);
disp(n);
disp(' ');
plot(xT,yT);%untuk plot fraktal
axis off
end
l=0;r=0;k=0;q=0;f=0;
for i=1:length(n)
if n(i)=='L'
l=l+1;
elseif n(i)=='R'

```

```
r=r+1;
elseif n(i)=='K'
k=k+1;
elseif n(i)=='Q'
q=q+1;
elseif n(i)=='F'
f=f+1;
end
end
t=1+r+k+q+f;
disp(['jumlah segmen = ' num2str(t)]);
set(handles.text12,'string',t);
pl=0; mn=0;
for i=1:length(n)
if n(i)=='+'
pl=pl+1;
elseif n(i)=='-'
mn=mn+1;
end
end
to=pl+mn-1;
disp(['jumlah belokan = ' num2str(to)]);
set(handles.text11,'string',to);
for i=1:length(n)
if n(i)=='F';
n(i)='L';
end
end
% Panjang Segmen
tx=abs(max(xT)-min(xT))
set(handles.text3,'string',tx);
ty=abs(max(yT)-min(yT))
set(handles.text5,'string',ty);
```