PEMODELAN *DETERMINISTIC LINDENMAYER SYSTEM* (L-SYSTEMS) PADA PERTUMBUHAN BATANG TANAMANAN

SKRIPSI

OLEH
FADHILAH
NIM. 16610087

JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

PEMODELAN *DETERMINISTIC LINDENMAYER SYSTEM* (L-SYSTEMS) PADA PERTUMBUHAN BATANG TANAMANAN

SKRIPSI

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

Oleh
Fadhilah
NIM. 16610087

JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

PEMODELAN *DETERMINISTIC LINDENMAYER SYSTEM* (L-SYSTEMS) PADA PERTUMBUHAN BATANG TANAMANAN

SKRIPSI

Oleh
Fadhilah
NIM. 16610087

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal 16 November 2020

Pembimbing I,	Pembimbing II,
Juhari, M.Si	Muhammad Nafie Jauhari, M.Si
NIP. 19840209 20160801 1 005	NIP. 19870218 20160801 1 056

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika

Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP. 19650414 200312 1 001

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

PEMODELAN *DETERMINISTIC LINDENMAYER SYSTEM* (L-SYSTEMS) PADA PERTUMBUHAN BATANG TANAMANAN

SKRIPSI

Oleh
Fadhilah
NIM. 16610087

Telah Dipertahankan di Depan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)
Tanggal 01 Desember 2020

Penguji Utama	: Dr. Usman Pagalay, M.Si	....
Ketua Penguji	: Dr. Hairur Rahman, M.Si	....
Sekretaris Penguji	: Juhari, M.Si	....
Anggota Penguji	: Muhammad Nafie Jauhari, M.Si	....

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika

Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP. 19650414 200312 1 001

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Fadhilah
NIM	: 16610087
Jurusan	: Matematika
Fakultas	: Sains dan Teknologi
Judul Skripsi	: Pemodelan *Deterministic Lindenmayer (L-Systems)* Pada Pertumbuhan Batang Tanaman

menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan, atau pemikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan dan pemikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar rujukan. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 16 November 2020
Yang membuat pernyataan,

METERAI TEMPEL
6000 ENAM RIBU RUPIAH

Fadhilah
NIM. 16610087

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

MOTO

"Sesungguhnya Allah tidak akan merubah suatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri"

QS. Ar Ra'd ayat 11

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan untuk:

Bapak Muhammad Fatchur Rohman dan Ibu Azizah Badubbah, yang senantiasa mendo'akan, mendukung baik moril maupun materiil, memberi nasihat, semangat dan kasih sayang yang tak ternilai, serta kakak Umar Faruq dan adik Aulia Rahmah yang selalu memberi semangat kepada penulis, dan keluarga yang selalu memberi dukungan penuh.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji bagi Allah SWT. atas rahmat, taufik, serta hidayah-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan penyusunan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana dalam bidang matematika di Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapat bimbingan dan arahan dari beberapa pihak. Untuk itu ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya penulis sampaikan terutama kepada:

1. Prof. Dr. H. Abd. Haris, M.Ag, selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si, selaku dekan Fakultas Sains dan Teknilogi Universitas Islam Maulana Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Usman Pagalay, M.Si, selaku ketua Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Juhari, M.Si, selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan arahan, nasihat, motivasi dan berbagi pengalaman yang berharga bagi penulis.
5. Muhammad Nafie Jauhari, M.Si, selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan banyak arahan dan berbagi ilmunya kepada penulis.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

6. Seluruh dosen Universitas Islam Maulana Malik Ibrahim Malang khususnya para dosen di Jurusan Matematika yang telah memberi banyak pengalaman dan ilmu kepada penulis.
7. Bapak dan ibu serta saudara-saudara tercinta yang selalu memberikan doa, semangat dan motivasi kepada penulis sampai saat ini.
8. Sahabat-sahabat penulis, yang selalu memahami, membantu dan memberi dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
9. Seluruh teman-teman di Jurusan Matematika angkatan 2016, yang berjuang bersama-sama untuk meraih mimpi, terimakasih kenang-kenangan indah yang dirajut bersama dalam menggapai impian.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini baik moril maupun materiil.

Semoga Allah SWT. melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua. Akhirnya penulis berharap semoga dengan rahmat dan izin-Nya semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan pembaca. *Aamiin.*

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Malang, 16 November 2020

Penulis

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGAJUAN

HALAMAN PERSETUJUAN

HALAMAN PENGESAHAN

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

HALAMAN MOTO

HALAMAN PERSEMBAHAN

KATA PENGANTAR viii

DAFTAR ISI x

DAFTAR TABEL xii

DAFTAR GAMBAR xiii

ABSTRAK xiv

ABSTRACK xv

ملخص .... **xvi**

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Penelitian 4
1.6 Sistematika Penulisan 4

BAB II KAJIAN PUSTAKA 6

2.1 Pengertian *L-Systems* 6
2.2 Jenis-Jenis *L-Systems* 8
2.3 Rotasi Dimensi Dua 11
2.4 Penafsiran Grafis pada *L-systems* 13
2.5 Percabangan pada *L-Systems* 18
2.6 Parametrik *L-Systems* 19
2.7 Ketebalan Batang 20
2.8 Pemodelan Matematika 20
2.9 Kajian Keagamaan 21

BAB III METODE PENELITIAN 23

3.1 Data Penelitian 23
3.2 Langkah-Langkah Penelitian 23

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

BAB IV PEMBAHASAN **26**
4.1 Penafsiran Grafis *L-Systems* 26
4.1.1 Penafsiran Grafis *L-Systems* Secara Manual 26
4.1.2 Penafsiran Grafis *L-Systems* Secara Matematis 30
4.2 Ketebalan Batang 37
4.3 Hasil Pemodelan Lainnya 39
4.4 Pembahasan 45
4.5 Kajian Al-Qur'an tentang Percabangan Batang Tanaman 47

BAB V PENUTUP **49**
5.1 Kesimpulan 49
5.2 Saran 49

DAFTAR PUSTAKA **51**
LAMPIRAN

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Generasi L-Systems 8

Tabel 2.2 Generasi L-Systems Context-Sensitive........ 9

Tabel 2.3 Generasi Deterministic L-Systems 10

Tabel 2.4 Generasi Stohastic L-Systems........ 11

Tabel 2.5 Beberapa Generasi L-Systems........ 14

Tabel 2.6 Generasi Parametrik *L-Systems* 19

Tabel 4.1 Hasil Produksi *L-Systems* pada Maple........ 26

Tabel 4.2 Hasil Produksi *L-Systems* pada *L-Studio* 33

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rotasi Dimensi Dua 11
Gambar 2.2 Penafsiran Grafis dari L-Systems 2D 13
Gambar 2.3 Penamaan Titik Penafsiran Grafis 15
Gambar 2.4 Hubungan Koordinat Titik-Titik 16
Gambar 2.5 Penafsiran Grafis Percabangan *L-Systems* 18
Gambar 3.1 Flowchart langkah-langkah penelitian 24
Gambar 4.1 Hasil Iterasi Generasi Nol 27
Gambar 4.2 Hasil Iterasi Generasi Pertama 27
Gambar 4.3 Hasil Iterasi Generasi Kedua 28
Gambar 4.4 Hasil Iterasi Generasi Ketiga 28
Gambar 4.5 Penamaan Titik 29
Gambar 4.6 Model Tanaman Cemara 32
Gambar 4.7 Hasil Gambar dari Generasi Nol 34
Gambar 4.8 Hasil Gambar dari Generasi Pertama 35
Gambar 4.9 Hasil Gambar dari Generasi Kedua 35
Gambar 4.10 Aturan Produksi pada *L-Studio* 37
Gambar 4.11 Hasil Akhir Tanaman Cemara pada *L-Studio* 37
Gambar 4.12 Beberapa Hasil Iterasi Tanaman Lamtoro 40
Gambar 4.13 Perbandingan Tanaman Lamtoro Asli dengan Hasil Program 41
Gambar 4.14 Beberapa Hasil Iterasi Tanaman Trembesi 43
Gambar 4.15 Perbandingan Tanaman Trembesi Asli dengan Hasil Program 44

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

ABSTRAK

Fadhilah. 2020. **Pemodelan Deterministic Lindenmayer System (L-Systems) Pada Pertumbuhan Batang Tanaman**. Skripsi. Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Juhari, M.Si (II) Muhammad Nafie Jauhari M.Si.

Kata Kunci: *L-Systems*, *Deterministic Lindenmayer System, Maple, L-Studio*.

Lindermayer Systems atau sering disebut *L-Systems* adalah teknik penulisan kembali yang dilakukan secara berulang-ulang. Dimana ide penulisan kembali ini pada dasarnya digunakan untuk membangun suatu objek kompleks dari suatu objek sederhana. Membangun objek kompleks ini dengan cara mengganti secara bergantian bagian-bagian dari objek sederhana menggunakan seperangkat aturan penulisan kembali atau produksi. Pemodelan batang tanaman ini menggunakan metode *Deterministic Lindenmayer System* (L-Systems) yakni dalam bentuk dua dimensi. Penelitian dilakukan dalam enam tahap. Pertama, mengidentifikasi data. Kedua, menentukan besar sudut δ, sebaiknya dipilih besar sudut yang paling kecil. Ketiga, memilih huruf untuk menentukan aksioma awal dan menentukan panjang batang. Keempat, menentukan aturan produksi. Kelima, memasukkan banyaknya iterasi yang bertujuan untuk mengetahui hasil dari beberapa generasi. Keenam, memvisualisasikan pada program dari model tersebut. Program yang digunakan ada 2 program yakni *maple* dan *l-studio*. Dengan menambah ketebalan batang tanaman, hasil visualisasi model menjadi lebih nyata seperti tanaman asli.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

ABSTRACK

Fadhilah. 2020. **Deterministic Lindenmayer Systems Model of Plant Stem Growth.** Thesis. Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang. Advisors: (I) Juhari, M.Si. (II) Muhammad Nafie Jauhari, M.Si.

Keywords: *L-Systems*, *Deterministic Lindenmayer System*, *Maple*, *L-Studio.*

Lindenmayer Systems or often called L-systems is a rewriting technique that is done repeatetedly. Where there idea of rewriting is basically used to build a complex object from a simple object. Construct these complex object by alternately replacing parts of a simple object using a set of rewrite or production rules. This plant stem modeling uses the deterministic lindenmayer system (L-systems) method, which is ini two-dimensional form.the research was conducted in six stages. First, identify the data. Second, to determine the amount of the angle δ, you should choose the smallest angle. Third, choose the letter to determine the initial axiom and determine the length of the stem. Fourth, determine the production rules. Fifth, include the number of iterations that aim to determine the results of several generations. Sixth, visualizing the program of the model. There are two programs used, namely maple and L-studio. By the plant stems, the visualization of the model becomes more real like a real plant.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

ملخص

فضيلة. ٢٠٢٠. **نموذج أنظمة ليندنماير الحتمية لنمو جذع النبات**. بحث جامعي. شعبة الرياضيات، كلية العلوم و التكنولوجيا، بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف : (١) جوهاري الماجستير. (٢) محمد نافع جوهاري الماجستير.

الكلمات المفتاحية : *L-Systems*، *Deterministic Lindenmayer System*، *Maple*، *L-Studio*.

systems lindenmayer أو غالبًا ما تسمى l-systems هي تقنية إعادة كتابة تتم بشكل متكرر. حيث يتم استخدام فكرة إعادة الكتابة بشكل أساسي لبناء كائن معقد من كائن بسيط. قم ببناء هذه الكائنات المعقدة عن طريق استبدال أجزاء من كائن بسيط بالتناوب باستخدام مجموعة من قواعد إعادة الكتابة أو الإنتاج. نمذجةجذع هذا النبات باستخدم الطريقة deterministic lindenmayer systems أي في بعدين. تم إجراء البحث على ستة مراحل. أولاً ،تحديد البيانات. ثانيًا ، لتحديد مقدار زاوية دلتا , يجب اختيار أصغر زاوية. ثالثًا ، اختر الحرف لتحديد البديهية الأولية وتحديد طول الجذع. رابعًا، حدد قواعد الإنتاج. خامساً، قام بتضمين عدد التكرارات التي تهدف إلى تحديد نتائج عدة أجيال. سادسا ، تصور برنامج النموذج. هناك نوعان من البرامج المستخدمة, وهما maple و l-studio. من خلال زيادة سماكة سيقان النبات ، يصبح تصور النموذج أكثر واقعية مثل نباتات الحقيقية.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

L-Systems pertama kali diajukan oleh Aristid Lindenmayer, seorang ahli biologi asal Hungaria, pada tahun 1968. Pada dasarnya, cara kerja *L-Systems* adalah penulisan kembali yang dilakukan secara berulang-ulang yang sebenarnya merupakan formulasi matematis tentang pertumbuhan tanaman. Ide penulisan kembali ini pada dasarnya digunakan untuk membangun suatu objek kompleks dari suatu objek sederhana. Membangun objek kompleks ini dengan cara mengganti secara bergantian bagian-bagian dari objek sederhana menggunakan seperangkat aturan penulisan kembali atau produksi. Dengan *L-Systems* ini bentuk-bentuk pertumbuhan tanaman tersebut dapat dimodelkan dan divisualisasikan serta disimulasikan. Pemodelan dengan *L-Systems* tidak hanya pada pertumbuhan tanaman yang sederhana tetapi juga bisa digunakan pada pertumbuhan tanaman yang sangat kompleks (Wright, 1996).

Deterministic L-Systems memiliki ciri khusus yaitu semua struktur dan perkembangan tanaman yang dihasilkan adalah sama atau identik (Prunsinkiecz dan Lindenmayer, 1990). Sedangkan pada kenyataannya tidak ada tanaman yang berkembang dengan cara yang sama. Maka dari itu, diperlukan suatu metode untuk mendapatkan visualisasi yang lebih realistis dalam struktur tanaman yang dihasilkan, agar tidak terjadi kemonotonan dalam pemodelan tanaman. Metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah ini yaitu *Deterministic L-Systems*. *Deterministic L-Systems* merupakan *L-Systems* yang memiliki tepat satu

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

aturan produksi untuk setiap simbol. Hal ini berarti bahwa dengan menggunakan komponen L-Systems yang sama dapat menghasilkan model tanaman bervariasi.

Allah Swt berfirman dalam QS. Al-Qamar ayat 49:

Artinya: *"Sesungguhnya kami menciptakan segala sesuatu menurut ukuran" (QS. Al-Qamar: 49).*

Semua yang ada didalam ini ada ukurannya, ada hitungan-hitungannya, ada rumusnya, atau ada persamaannya. Ahli matematika atau fisika tidak membuat suatu rumus sedikitpun. Mereka hanya menemukan rumus atau persamaan. Rumus-rumus yang ada sekarang bukan diciptakan manusia, tetapi sudah disediakan. Manusia hanya menemukan dan menyimbolkan dalam bahasa matematika.

Pada masa-masa mutakhir ini, pemodelan-pemodelan matematika yang dilakukan manusia sebenarnya bukan membuat sesuatu yang baru. Pada hakikatnya, mereka hanya mencari persamaan-persamaan atau rumus-rumus yang berlaku pada suatu fenomena. Sungguh, segala sesuatu telah diciptakan dengan ukuran, perhitungan, rumus, atau persamaan tertentu yang sangat rapi dan teliti. Model matematika berupaya membaca fenomena fisis yang telah diciptakan Allah dalam bentuk simbol dan aturan matematis. Seperti pada penelitian ini yakni memodelkan pertumbuhan batang tanaman menggunakan *L-Systems.*

Beberapa peneliti sebelumnya menggunakan *L-Systems* pada fraktal antara lain Umami(2018) dengan judul fraktal i-fibonacci ganjil menggunakan *L-Systems*, Amalia(2018) dengan judul fraktal i-fibonacci genap menggunakan *L-Systems*, dan Rozida(2019) dengan judul variasi sudut belok menggunakan pemodelan *L-Systems*. Sedangkan pada geometri ada Urnianto(2010), dan yang

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

memodelkan batang tanaman dengan menggunakan *L-Systems* adalah Iswanto(2011), dan Muzammil(2006). Iswanto(2011) memodelkan pertumbuhan batang tanaman menggunakan *stochastic*(dimensi tiga), kelemahan pada penelitian ini adalah meskipun model tanaman yang dihasilkan melalui *stochastic L-Systems* sudah mendekati kenyataan, akan tetapi masih banyak terdapat permasalahan seperti belum bisa menghasilkan visualisasi segmen batang yang melengkung. Sedangkan Muzammil(2006) hanya memodelkan pertumbuhan batang tanaman secara umum menggunakan *L-System*. Keberhasilan penelitian yang dilakukan oleh Iswanto dan Muzammil ini masih menggunakan konsep dasar L-Systems yang sederhana dan hanya terbatas pada visualisasi dalam dimensi dua karena dipandang lebih mudah dibanding dengan visualisasi dalam dimensi tiga. Maka dari itu, pada penelitian kali ini akan diterapkan *L-System* dan konsep pengembangannya untuk memodelkan pertumbuhan batang tanaman dengan ketebalan batang yang berbeda-beda.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan di atas, maka rumusan masalah yang diambil adalah prosedur memodelkan batang tanaman menggunakan metode DOL dengan ketebalan batang yang berbeda.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian yang diambil yakni untuk memodelkan batang tanaman menggunakan DOL dengan ketebalan batang yang berbeda.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dengan memodelkan batang tanaman menggunakan DOL, maka dapat digunakan untuk memodelkan tanaman dengan mudah dan dapat melihat perbedaan ketebalan batang.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian ini terarah dan tidak menimbulkan kesalahan yang dimaksud, maka peneliti membatasi penelitian sebagai berikut:

1. Memodelkan tiga jenis tanaman dengan menggunakan metode *L-Systems* yang bersifat *deterministic*
2. Mengukur ketebalan batang tanaman pada satu batang yang diambil sampel

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dalam penelitian ini secara garis besarnya dibagi menjadi lima bab. Masing-masing sub-sub bab, yaitu:

Bab I Pendahuluan

Pada bab ini berisi tentang dasar-dasar untuk pembahasan pada bab selanjutnya, yaitu: latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

Bab II Kajian Pustaka

Pada bab ini membahas tentang kajian pustaka yang akan menjadi landasan masalah yang ada dalam pembahasan. Kajian pustaka

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

berisikan tentang pengertian *L-Systems* , jenis-jenis *L-Systems*, rotasi dimensi dua, penafsiran grafis pada *L-Systems*, percabangan pada *L-Systems*, parametrik *L-systems*, ketebalan batang, pemodelan matematika dan kajian keagamaan.

Bab III Metode Penelitian

Pada bab ini membahas tentang data penelitian dan langkah-langkah penelitian.

Bab IV Pembahasan

Pada bab ini akan menguraikan keseluruhan langkah-langkah yang disebutkan dalam metode penelitian.

Bab V Penutup

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan dan saran-saran guna pengembangan penelitian selanjutnya.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

BAB II
KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pengertian *L-Systems*

L-Systems merupakan suatu jenis sistem dinamik simbolik dengan sifat tambahan berupa penafsiran grafis perubahan sistem, misalnya pertumbuhan dan perkembangan tanaman, pembelahan sel, dan bentuk-bentuk fraktal. *L-Systems* dibuat dengan suatu aksioma seperti satu segmen garis dan satu atau lebih aturan produksi, yang merupakan pernyataan seperti mengganti satu segmen garis dengan satu putaran ke kiri, mengganti satu segmen garis dengan satu putaran ke kanan dan mengganti satu segmen garis dengan aturan lainnya (Dickau, 1996).

Lindermayer Systems atau sering disebut *L-Systems* adalah teknik penulisan kembali yang dilakukan secara berulang-ulang. Dimana ide penulisan kembali ini pada dasarnya digunakan untuk membangun suatu objek kompleks dari suatu objek sederhana. Membangun objek kompleks ini dengan cara mengganti secara bergantian bagian-bagian dari objek sederhana menggunakan seperangkat aturan penulisan kembali atau produksi (Prusinkiewicz dan Lindenmayer, 1990). Dalam konteks sederhana, *L-Systems* adalah aturan penulisan kembali yang digunakan untuk membangun suatu objek kompleks dari suatu objek sederhana.

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

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

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:

1. Huruf

Huruf yang 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.

2. 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 simbol dalam string.

3. 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-system* 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*.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Misal diberikan komponen *L-Systems* dengan $V = \{a, b\}, w = a, p_1: a \rightarrow b$ dan $p_2: b \rightarrow ba$. Hasil produksi dari *L-Systems* didefinisikan sebagai barisan $\{g_n\}$, $n = 1,2,3 \dots k$, dimana setiap generasi g_n adalah sebuah string dalam V^* yang berkembang dari generasi sebelumnya g_n−1 dengan menerapkan semua aturan produksi untuk masing-masing simbol g_n−1. Generasi pertama g_0 adalah aksioma w (Wright, 1996). Beberapa generasi selanjutnya dari sistem ini dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2.1 Generasi L-Systems

Generasi	Hasil Produksi
g_0	a
g_1	b
g_2	ba
g_3	bab
g_4	$babba$
g_5	$babbabab$
g_6	$babbababbabba$
g_7	$babbababbabbababbabab$

2.2 Jenis-Jenis *L-Systems*

Jenis-Jenis *L-Systems* yang pertama adalah berdasarkan penggunaan simbol. Jenis-jenis L-Systems ini dibagi menjadi dua yaitu *Context-free L-Systems* dan *Context-sensitive L-Systems*. Keduannya diuraikan sebagai berikut.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

1. *Context-free L-Systems*

Context-free L-Systems adalah *L-Systems* yang aturan produksinya hanya memperlihatkan pada suatu individu saja, bukan pada tetangga-tetangganya.

Contoh: komponen *L-Systems* dengan:

$$V = \{a, b\}; w = a; p_1: a \to b; p_2: b \to ba$$

Hasilnya dapat dilihat pada tabel 2.1

2. *Context-sensitive L-Systems*

Context-sensitive L-Systems adalah *L-Systems* yang aturan produksinya untuk suatu simbol berlaku jika dan hanya jika simbol tersebut memiliki tetangga tertentu.

Contoh: komponen *L-Systems* dengan:

$$V = \{a, b\}; w = aaa; p_1: a(> a) \to ab; p_2: a(> b) \to c; p_3: c \to \emptyset$$

Arti $a(> a) \to ab$ adalah jika a memiliki tetangga a disisi kanannya, maka a diproduksi menjadi ab. Hal yang sama dapat diartikan pada $a(> b) \to c$, yaitu jika a memiliki tetangga b di sisi kanannya, maka a diproduksi menjadi c. Hasil ditunjukkan sebagai berikut

Tabel 2.2 Generasi L-Systems context-sensitive

Generasi	Hasil Produksi
g_0	aaa
g_1	$ababa$
g_2	$cbcba$
g_3	bba

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

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.

3. *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	$babbabab$

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

4. *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*:

$V = \{a, b\}$

$w = ab$

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

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

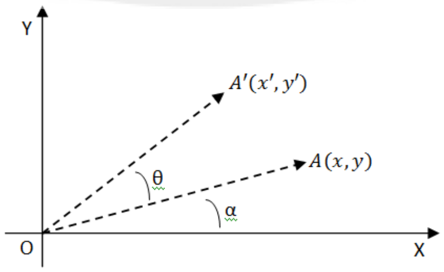
$p_3 : b \rightarrow ba : 0{,}25$ (setiap b diproduksi menjadi a dengan probabilitas 0,25)

Hasilnya ditunjuukan 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	$babaabbabbbabbaba$

2.3 Rotasi Dimensi Dua



Gambar 2.1 Rotasi Dimensi Dua

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Misalkan $A(x, y)$ sembarang titik pada bidang koordinat. Kemudian $A(x, y)$ dikenai rotasi yang berlawanan arah jarum jam dengan sudut sebesar θ, sehingga menjadi $A'(x', y')$. Misalkan besar sudut antara sumbu X positif dan $\overrightarrow{OA}$ adalah α. Maka penyelesaian dapat dilakukan secara vektor aljabar yaitu:

$$\overrightarrow{OA} = x_i + y_j$$

$$= |\overrightarrow{OA}|(\cos\alpha)i + |\overrightarrow{OA}|(\sin\alpha)j$$

$$= |\overrightarrow{OA}'|(\cos\alpha)i + |\overrightarrow{OA}'|(\sin\alpha)j$$

Di pihak lain didapatkan

$$|\overrightarrow{OA}'| = x'i + y'j$$

$$= |\overrightarrow{OA}'|\{\cos(\theta + \alpha)\}i + \left|\overrightarrow{OA}'\right|\{\sin(\theta + \alpha)\}j \qquad (2.1)$$

$$= \{\left(|\overrightarrow{OA}'|\cos\alpha\right)\cos\theta\}i - \{(|\overrightarrow{OA}'|\{\sin\alpha)\sin\theta\}i +$$

$$\{(|\overrightarrow{OA}'|\cos\alpha)\sin\theta\}j - \{(|\overrightarrow{OA}'|\sin\alpha)\cos\theta\}j \qquad (2.2)$$

Dari persamaan (2.1) dan (2.2) dilakukan subtitusi, sehingga

$$|\overrightarrow{OA}'| = (x\cos\theta - y\sin\theta)i + (x\sin\theta - y\cos\theta)j$$

Dengan demikian didapatkan

$$x' = x\cos\theta - y\sin\theta \qquad (2.3)$$

$$y' = x\sin\theta - y\cos\theta \qquad (2.4)$$

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Apabila (2.3) dan (2.4) diubah dalam bentuk matriks, maka didapatkan

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

2.4 Penafsiran Grafis pada *L-systems*

Pada *L-Systems* terdapat simbol-simbol yang dapat ditafsirkan secara grafis suatu satuan panjang h dan perputaran sudut δ, maka perintah-perintah dari simbol *L-Systems* adalah sebagai berikut:

F : menggambarkan ke depan satu satuan sepanjang h

f : bergerak ke depan satu satuan h tanpa menggambarkan garis

$+$: berputar berlawanan arah jarum jam dengan sudut δ

$-$: berputar searah jarum jam dengan sudut δ

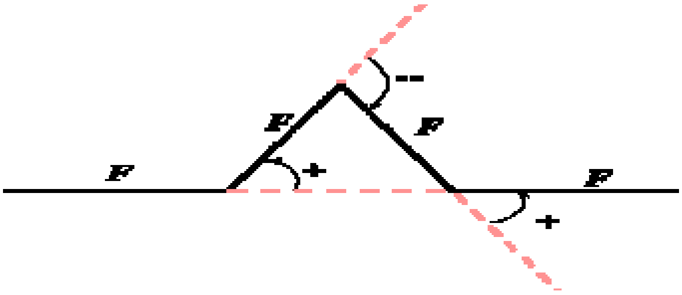
| : berputar 180

Penafsiran L-Systems secara grafis dapat diartikan menggambar secara grafis barisan generasi yang dihasilkan dari aksioma (w) dan aturan produksi (p) yang diberikan. Aksioma dan aturan produksi dengan $V = \{F, +, -\}, w = F$ dan $p: F \to F + F - -F + F$, maka dimulai dengan aksioma F akan diperoleh produksi generasi pertama g_1 dengan string:

$$F + F - -F + F$$

Jika diasumsikan bahwa satu satuan sudut δ adalah $\pi/_3$ radian, maka penafsiran grafis dari generasi pertama dapat dilihat pada :

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG



Gambar 2.2 Penafsiran Grafis dari L-Systems 2D

Untuk menafsirkannya pertama-tama mengerjakan perintah F dahulu yaitu menggambar garis ke depan satu satuan sepanjang h. Kemudian menjalankan perintah selanjutnya simbol $+$ yaitu memutar arahnya berlawanan arah jarum jam sebesar δ. Setelah itu dilanjutkan dengan menggambar F kembali sesuai arah yang ditentukan sebelumnya. Perintah simbol – digunakan untuk memutar arahnya searah jarum jam sebesar δ dan dilanjutkan menggambar F kembali. Kemudian dilanjutkan perintah simbol $+$ kembali dan dilanjutkan menggambar F sebesar dua satuan. Setelah itu, menjalankan perintah yang sama dan menggambarkan F kembali. Kemudian perintah yang terakhir yakni menggambar F sesuai dengan arah yang baru.

Penafsiran grafis ada dua yakni:

1. Penafsiran grafis secara manual

   Untuk membangun penafsiran grafis secara manual dimisalkan suatu *L-Systems* dengan komponen-komponennya adalah $V = \{F, -, +, [,]\}$, $w = F$ dan $p: F \rightarrow F[[-F][+F]]$. Beberapa generasi dari sistem ini dapat dilihat pada tabel berikut ini:

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

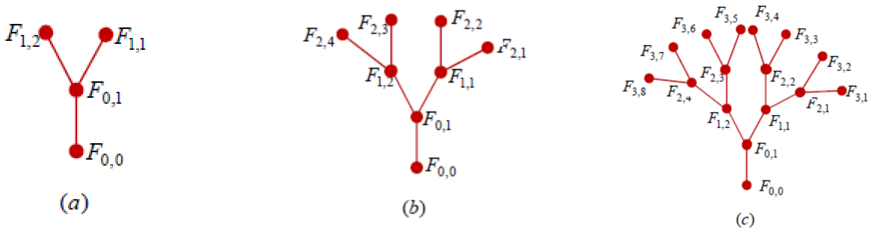
Tabel 2.5 Beberapa Generasi *L-Systems*

g_0	F
g_1	F[[-F][+F]]
g_2	F[[-F][+F]][[-F[[-F][+F]]][+F[[-F][+F]]]]
g_3	F[[-F][+F]][[-F[[-F][+F]]][+F[[-F][+F]]]][[-F[[-F][+F]][[-F[[-F][+F]]][+F[[-F][+F]]]]][+F[[-F][+F]][[-F[[-F][+F]]][+F[[-F][+F]]]]]]

2. Penafsiran grafis secara matematis

a. Penamaan titik

Pada gambar 2.3(a) terdapat empat titik yang membangun garis-garisnya dengan masing-masing titik diberi nama $F_{0,0}$, $F_{0,1}$, $F_{1,1}$, dan $F_{1,2}$ seperti terlihat pada gambar 2.3(a). Pada gambar 2.3(b) terdapat empat garis tambahan dari gambar 2.3(a) sehingga ada empat titik baru yaitu $F_{2,1}$, $F_{2,2}$, $F_{2,3}$, $F_{2,4}$ seperti terlihat pada gambar 2.3(b). Pada gambar 2.3(c) juga terdapat tambahan garis dari gambar 2.3(b) sehingga ada delapan titik baru yaitu $F_{3,1}$, $F_{3,2}$, $F_{3,3}$, $F_{3,4}$, $F_{3,5}$, $F_{3,6}$, $F_{3,7}$, $F_{3,8}$ seperti terlihat pada gambar 2.3(c). Maka dapat disimpulkan untuk generasi $n(g_n)$ terdapat tambahan titik sebanyak 2^n dari generasi $n-1(g_n-1)$.



Gambar 2.3 Penamaan Titik Penafsiran Grafis

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

b. Perumusan titik

Gambar 2.3(a) yang dibangun secara manual melalui penafsiran grafis dari g_1 dapat dianalogikan untuk membangun gambar 2.3(a) yang dibangun melalui titik-titiknya. Dengan mengasumsikan P_1 sebagai barisan titik-titik yang membangun Gambar 2.3(a), maka dapat ditulis:

$$P_1 = (F_{0,0}), (F_{0,1}), (F_{1,1}), (F_{0,1}), (F_{1,2}), (F_{0,1}) \quad (2.6)$$

Hal yang sama dapat dilakukan dalam membangun gambar 2.3(b) dan gambar 2.3(c) yang dibangun melalui titik-titiknya. Dengan mengasumsikan P_2 dan P_3 masing-masing sebagai barisan titik-titik yang membangun gambar 2.3(b) dan gambar 2.3(c), maka dapat diperoleh barisan titik-titik yang membangun penafsiran grafis secara umum, P_{n+1}, dengan mendefiniskan $(F_{n,i})$ dari P_n, $n = k$ dan $i = 2^n$, sebagai berikut:

$$(F_{n,i}) = (K_{n,i}), (F_{n+1,2i-1}), (K_{n,i}), (F_{n+1,2i}), (K_{n,i}) \quad (2.7)$$

c. Perumusan sudut

Misal titik A dan B masing-masing mempunyai koordinat (x_1, y_1) dan (x_2, y_2), garis OA membentuk sudut θ dengan sumbu x positif dan garis AB dibentuk dari perpanjangan garis OA yang diputar searah jarum jam membentuk sudut ϕ (gambar 2.3). Jika diasumsikan $d(O, A) = d(A, B) = r$, maka hubungan koordinat titik-titik ini adalah sebagai berikut:

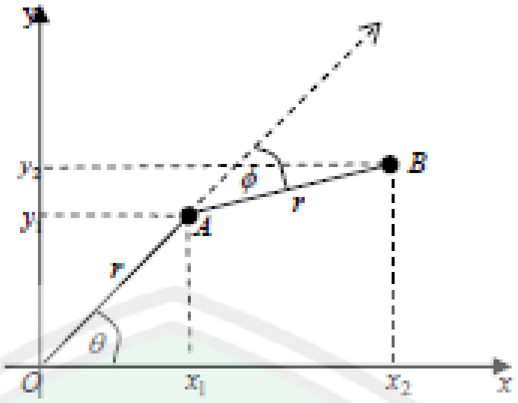
$$x_2 = x_1 + r\cos(\theta - \phi) \quad (2.8)$$

$$= r\cos(\theta) + r\cos(\theta - \phi)$$

$$y_2 = y_1 + r\sin(\theta - \phi) \quad (2.9)$$

$$= r\sin(\theta) + r\sin(\theta - \phi)$$

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG



Gambar 2.4 Hubungan koordinat titik-titik

Gambar 2.3 dibuat dengan asumsi $(K_{0,0}) = (0,0), A_{0,1} = \frac{\pi}{2}, X_{0,1} = h\cos(A_{0,1}), Y_{0,1} = h\sin(A_{0,1})$ dan $(F_{n,i}) = (X_{n,i}, Y_{n,i})$ untuk $n = 1,2,3, \dots k$ dan $i = 1,2,3, \dots, 2^n$, maka nilai-nilai dari $A_{n,i}, X_{n,i}$, dan $Y_{n,i}$ untuk $k = 3$ dapat ditulis secara umum:

$$A_{n,2i-1} = A_{n-1,i} + (-1)^{2i-1}\delta$$

$$A_{n,2i} = A_{n-1,i} + (-1)^{2i}\delta$$

$$X_{n,2i-1} = X_{n-1,i} + h\cos(A_{n,2i-1})$$

$$X_{n,2i} = X_{n-1,i} + h\cos(A_{n,2i})$$

$$Y_{n,2i-1} = Y_{n-1,i} + h\, sin(A_{n,2i-1})$$

$$Y_{n,2i} = Y_{n-1,i} + h\, sin(A_{n,2i}) \tag{2.10}$$

untuk $n = 1,2,3, \dots, k$ dan $i = 1,2,3, \dots, 2^{n-1}$

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

2.5 Percabangan pada *L-Systems*

Lindenmayer dalam Ochoa (1998) memperkenalkan suatu simbol untuk melambangkan percabangan menggunakan *string* dengan simbol “[” dan “]”. Perintah-perintah dari simbol ini adalah sebagai berikut:

[: menyimpan posisi saat ini dan bergerak sesuai perintah selanjutnya;

] : kembali ke posisi semula yang disimpan oleh simbol “[”

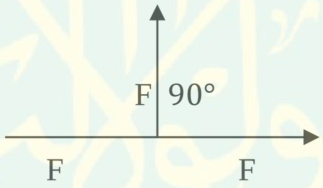
Di bawah ini merupakan contoh dari penggunaan simbol percabangan dengan komponen *L-System:*

$V : \{F, +, [,]; w : F; p : F \rightarrow F[+F]F; \delta : 90°$

Maka akan didapatkan generasi pertama g_1 dengan string:

$$F[+F]F$$

Sedangkan penafsiran grafisnya dapat dilihat pada sebagai berikut:



Gambar 2.5 Penafsiran grafis percabangan *L-Systems*

Untuk menafsirkan grafis gambar di atas pertama yakni menjalankan perintah F dengan menggambar segmen garis ke depan satu satuan sebesar h. simbol [digunakan untuk menyimpan posisi saat ini. Sedangkan simbol + digunakan untuk memutar berlawanan arah jarum jam sebesar $\delta = 90°$. Langkah selanjutnya yaitu menggambar F sesuai dengan arah yang telah ditentukan sebelumnya. Dilanjutkan dengan menjalankan perintah dari simbol] yaitu kembali ke posisi yang disimpan pada simbol [. Perintah terakhir yaitu

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

menggambar F sesuai dengan arah sebelumnya. Langkah-langkah tersebut dapat juga diterapkan untuk generasi yang lebih tinggi.

2.6 Parametrik *L-Systems*

Pada parametric L-Systems setiap simbol mempunyai nilai numerik yang disebut sebagai parameter. Sebagai contoh jika sebuah simbol A mempunyai parameter 5, secara sederhana dapat ditulis A(5). Akan tetapi jika ada beberapa parameter, penulisan parameternya dipisahkan oleh koma, seperti A(5,2,3,8). Sebuah produksi parametrik menentukan bagaimana parameter kanan tergantung pada parameter kiri. Sisi kiri memberi nama parameter, sedangkan sebelah kanan diberikan sebagai ekspresi.

Jika diberikan komponen L-Systems dengan $V = \{A, B\}$ dengan $w = A(1)$, dengan aturan produksi $p_1: A(x) \to A(x * 2)B(x)$ dan $p_2: B(x) \to B(x - 1)$, maka beberapa generasi dari sistem ini dapat dilihat pada tabel 2.4

Tabel 2.6 Generasi Parametrik L-Systems

Generasi	Hasil Generasi
g_0	A(1)
g_1	A(2)B(1)
g_2	A(4)B(2)B(0)
g_3	A(8)B(4)B(1)B(-1)
g_4	A(16)B(8)B(3)B(0)B(-2)
g_5	A(32)B(16)B(7)B(2)B(-1)B(-3)

Selain itu parametrik *L-Systems* ini sangat diperlukan dalam memodelkan ketebalan batang tanaman yang mendekati kenyataan. Dalam menuliskan

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

ketebalan batang dalam parametric *L-Systems* Hanan (1992) memberikan format penulisan $A(l, w)$, yang berarti menggambar segmen garis A sebesar satu satuan dengan panjang l dan diameter w.

2.7 Ketebalan Batang

Untuk menggambarkan ketebalan pada batang, peneliti mengacu kepada teori yang dikemukakan Honda yang menyatakan bahwa:

1. Segmen batang setiap pohon adalah lurus
2. Segmen induk menghasilkan dua segmen anak melalui satu proses percabangan
3. Panjang dari dua segmen anak disebut sebagai rasio tetap r_1 dan r_2, yang berhubungan dengan segmen induk.
4. Segmen anak bercabang membentuk sudut konstan a_1 dan a_2 yang berhubungan dengan segmen induk (A. Lindenmayer, 1990)

Selain itu, teori lain yang digunakan sebagai acuan dalam ketebalan batang adalah postulat Leonardo Da Vinci yang pada penelitiannya mengatakan bahwa "Semua cabang pohon di bagian percabangannya apabila disatukan, akand sama ketebalannya dengan batang di bawahnya". Hal tersebut memiliki arti bahwa setiap cabang induk dengan diameter w_1 akan membentuk dua cabang anak dengan diameter w_2. Postulat ini membentuk sebuah persamaan dimana $w_1^2 = w_2^2$ sehingga nilai untuk w_r sama dengan $\frac{w_2}{w_1} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0{,}707$ (A. Lindenmayer, 1990).

2.8 Pemodelan Matematika

Pemodelan matematika merupakan salah satu cara untuk mempresentasikan persoalan kompleks ke dalam bentuk matematika. Model

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

matematika merupakan abstraksi, penyederhanaan, dan kontruksi matematika terkait bagian dari kenyataan dan didesain untuk tujuan khusus. Dengan demikian, model matematika harus merepresentasikan situasi dari permasalahan yang diteliti.

Model matematika dapat berupa persamaan atau sistem persamaan. Model ini diharapkan dapat mempresentasi hal-hal penting dan mengabaikan hal-hal yang tidak esensial. Pemodelan matematika merupakan salah satu teknik untuk mempresentasikan suatu sistem yang kompleks ke dalam model matematika. Dengan kata lain, pemodelan matematika merupakan suatu sistem persaman yang dapat mempresentsikan suatu permasalahan kompleks yang sedang diamati. Dengan demikian, model matematika yang diformulasi harus mampu menjelaskan situasi kompleks yang sedang diamati (Ndii, 2018).

2.9 Kajian Keagamaan

Al-Qur'an berperan sebagai pedoman dan pembimbing manusia. Ayat-ayat di dalam Al-Qur'an menggambarkan alam raya dan seluruh isinya. Al-Qur'an menganjurkan manusia untuk mengamati alam raya melalui eksperimen dan menggunakan akal untuk memahami suatu fenomena. Seperti pertumbuhan tanaman, didalam Al-Qur'an dikaji dalam surat Al-Hijr ayat 19 yang berbunyi:

"Dan Kami telah menghamparkan bumi dan menjadikan padanya gunung-gunung dan Kami tumbuhkan padanya segala sesuatu menurut ukuran."

Menurut Tafsir Al-Misbah, bahwa Kami telah menciptakan dan menghamparkan bumi ini untuk kalian sehingga luas membentang dengan gunung-gunung yang kokoh. Kmai pun menumbuhkembangkan, dibumi ini,

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

aneka ragam tanaman untuk kelangsungan hidup kalian. Dan Kami telah menetapkan tiap-tiap tanaman itu memiliki masa pertumbuhan dan penuaian tertentu, sesuai dengan kuantitas dan kebutuhan kalian. Demikian juga, Kami tetap menentukan bentuknya sesuai dengan penciptaan dan habitatnya.

Ayat ini menegaskan satu fakta ilmiah yang baru ditemukan setelah dilakukannya penelitian terhadap berbagai tanaman. Dalam temuan itu didapatkan, sebagaimana ditengarai ayat ini, bahwa setiap kelompok tanaman masing-masing memiliki kesamaan dilihat dari sisi luarnya. Demikian pula dari sisi dalamnya, bagian-bagian tanaman dan sel-sel yang digunakan untuk pertumbuhan, memiliki kesamaan yang praktis tak berbeda. Meskipun antara satu jenis dengan lainnya dapat dibedakan. Tetapi semuanya tetap dapat diklasifikasikan dalam satu kelompok yang sama.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa gambar batang tumbuhan yang diperoleh dari hasil foto menggunakan kamera untuk melihat kejelasan objek, sehingga memudahkan peneliti untuk menunjukkan sifat dua demensi atau *deterministic L-Systems*. Dalam foto tersebut terdiri atas ukuran tinggi tanaman, sudut tanaman dan ketebalan batang tanaman.

3.2 Langkah-Langkah Penelitian

Langkah awal dilakukan untuk memodelkan tanaman menggunakan *deterministic L-System* adalah pengambilan gamabr objek yang dimodelkan yaitu berupa gambar dimensi dua. Setelah itu menentukan besar sudut dari setiap percabangan pada tumbuhan tersebut. Dalam menentukan besar sudut yang akan dimasukkan dalam komponen *L-Systems*, dipilih besar sudut percabangan yang paling kecil. Selanjutnya dapat dilakukan identifikasi komponen *L-Systems* yang membangunnya pada aturan produksinya. Adapun identifikasi yang dilakukan yaitu mengenai komponen-komponen dasar *L-Systems* yang meliputi pemilihan aksioma, huruf, dan aturan produksi. Setelah tahap tersebut selesai dilakukan, dapat dilanjutkan penafsiran grafisnya.

Untuk proses visualisasi model dilakukan dengan cara mengubah jumlah iterasi dan besar probabilitas. Perubahan jumlah iterasi bertujuan untuk mengetahui pertumbuhan tanaman beserta percabangannya untuk beberapa generasi. Sedangkan perubahan besarnya probabilitas bertujuan untuk mengetahui

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

kemungkinan hasil pemodelan tumbuhan yang lain (keragaman) dengan komposisi *L-Systems* harus dimasukkan kedalam program. Adapun tahapan yang dilakukan dalam memodelkan pertumbuhan batang tanaman antara lain:

1. Mengidentifikasi data
2. Menentukan besar sudut δ, sebaiknya dipilih besar sudut yang paling kecil
3. Memilih huruf untuk menentukan aksioma awal dan menentukan panjang batang
4. Menentukan aturan produksi
5. Memasukkan banyaknya iterasi yang bertujuan untuk mengetahui hasil dari beberapa generasi
6. Memvisualisasikan pada program dari model tersebut

Dengan menjalankan semua tahapan diatas, visualisasi model yang dibuat akan tampak hasilnya. Kemudian dari hasil tersebut ditinjau ulang apakah ada kekurangan atau sudah memenuhi kriteria model yang diinginkan sesuai dengan gambar objek yang diinginkan. Jika terdapat kekurangan dari model yang telah dihasilkan, maka semua langkah diatas diulangi sampai didapatkan model yang mirip dengan gambar objek yang diinginkan.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Berikut flowchart dari tahapan diatas, setelah sedikit diuraikan diatas dapat diringkas dengan menggunakan flowchart berikut.

Gambar 3.1 Flowchart langkah penelitian

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

BAB IV
PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas mengenai pemodelan, visualisasi serta simulasi pertumbuhan batang dengan menggunakan *deterministic L-Systems* sesuai dengan langkah yang diuraikan di bab sebelumnya yakni bab 3. Berikut ini merupakan beberapa tahap yang dilakukan dengan memodelkan pertumbuhan batang tanaman menggunakan deterministic *L-Systems.*

4.1 Penafsiran Grafis *L-Systems*

4.1.1 Penafsiran Grafis *L-Systems* Secara Manual

Menentukan komponen utama *L-Systems* sangat penting dilakukan untuk langkah awal membangun penafsiran grafis dari suatu model pertumbuhan batang tumbuhan. Pertama, penggunaan huruf yang akan digunakan agar aturan produksi yang terbentuk lebih sederhana sehingga lebih mudah dipahami. Huruf yang digunakan adalah huruf alphabet, pada penelitian ini digunakan huruf F sebagai aturan produksi. Huruf tersebut mempresentasikan makna yang sama yaitu menggambar maju dari satu segmen garis. Kedua, untuk menentukan aksioma yang digunakan harus menggunakan huruf yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya. Pada tahap ini adalah penentuan visualisasi awal, berupa segmen garis atau tunas tumbuhan. Ketiga, membuat aturan produksi yang dilakukan bersama dengan menentukan sudut percabangan. Hal ini untuk menentukan aturan produksi, sebagian dilakukan inisialisasi percabangan yang terdapat dalam objek. Setelah aturan produksi didapatkan, komponen terakhir yang harus ditentukan adalah faktor probabilitas. Penentuan faktor probabilitas dilakukan dengan cara menganalisisa presentase aturan produksi yang terjadi dalam tumbuhan.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Komponen *L-Systems* sebagai berikut:

$V = F, +, -, [,]$

$w = F$

$P_1 = F[[-F][+F]\Big[F\big[[-F][+F]F\big]\Big]]$

Pada komponen *L-Systems* di atas, aturan produksi pertama (P_1) adalah $P_1 = F\Big[[-F][+F]\Big[F\big[[-F][+F]F\big]\Big]\Big]$. Semakin banyak huruf F yang dipakai maka semakin tinggi tanaman yang akan dibuat. Berikut beberapa generasi lain dari *L-Systems* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.1 Hasil Produksi *L-Systems* pada Maple

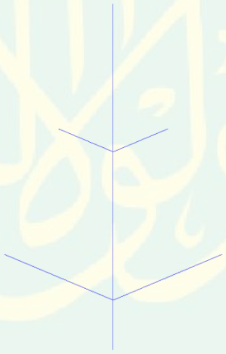
Generasi	Hasil Produksi
g_0	F
g_1	$F\Big[[-F][+F]\Big[F\big[[-F][+F]F\big]\Big]\Big]$
g_2	$F[[\Big[-F\Big[[-F][+F]F\big[[-F][+F]F\big]\Big]\Big]\Big[+F\Big[[+F][-F]F\big[[+F][-F]F\big]$ $F[\Big[-F\Big[[-F][+F]F\big[[-F][+F]F\big]\Big]\Big]\Big[+F\Big[[+F][-F]F\big[[+F][-F]F\big]\Big]$ $F[[-F][+F]F[[-F][+F]F]]]]]$

Pada tabel diatas, F merupakan hasil dari generasi nol (g_0) atau biasa disebut dengan aksioma. Huruf F ini menggambar satu satuan ke atas tegak. Berikut hasil gambar dari generasi nol (g_0) di bawah ini.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Gambar 4.1 Hasil iterasi generasi nol (g_0)

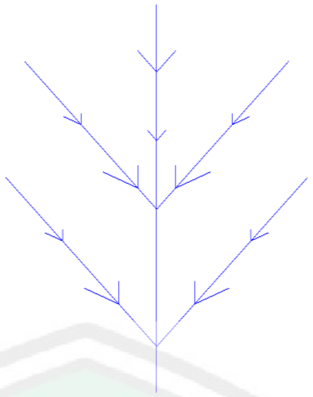
Pada generasi pertama (g_1), huruf F mulai membentuk cabang, yakni ke kanan dan ke kiri. Simbol $-F$ menunjukkan bahwa maju memutar searah jarum jam sebesar θ, dan simbol $+F$ menunjukkan bahwa maju berlawanan arah jarum jam sebesar θ. Berikut hasil gambar dari generasi pertama (g_1) di bawah ini.



Gambar 4.2 Hasil iterasi generasi pertama (g_1)

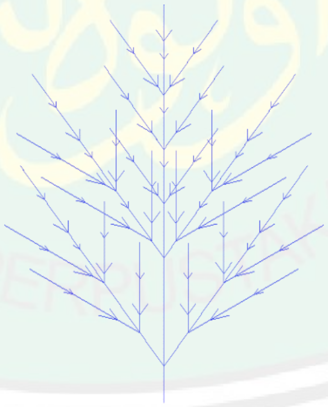
Pada generasi kedua (g_2), huruf F bertambah sehingga tanaman akan semakin tinggi dan bercabang. Dari cabang awal akan bercabang lagi begitupun seterusnya. Berikut hasil gambar dari generasi kedua (g_2) di bawah ini.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG



Gambar 4.3 Hasil iterasi generasi kedua (g_2)

Pada generasi kedua (g_2), dapat dilihat bahwa semakin bertambah generasi maka akan terbentuk menjadi batang tanaman yang diinginkan.. Dari batang utama yang mewakili F pada awal generasi menjadi bercabang-cabang. Hal ini akan membentuk batang tanaman yang nyata jika dilihat dari generasi dua menuju generasi tiga, empat dan berikutnya. Berikut hasil gambar dari generasi kedua (g_3) di bawah ini.



Gambar 4.4 Hasil iterasi generasi ketiga (g_3)

Pada generasi ketiga (g_3), hampir menyerupai tanaman cemara. Untuk memperoleh hasil yang diinginkan maka dilakukan hingga generasi keempat. Cabang tanaman akan menjadi lebih banyak dan lebih tinggi lagi dibandingkan generasi sebelumnya.

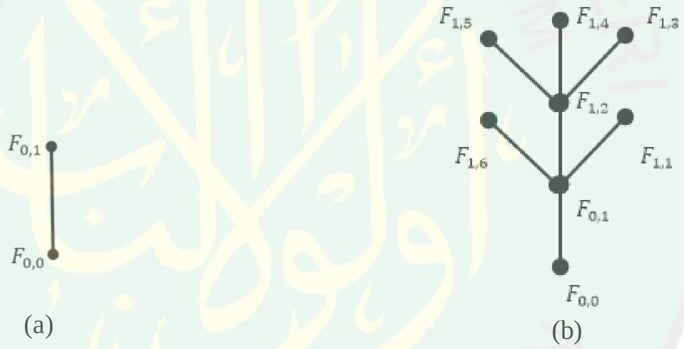
CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

4.1.2 Penafsiran Grafis *L-Systems* Secara Matematis

Penafsiran grafis secara matematis ada beberapa tahap, diantaranya penamaan titik, perumusan titik dan perumusan sudut. Berikut tahapan dari penafsiran grafis secara matematis.

1. Penamaan Titik

Pada gambar 4.5(a) terdapat dua titik yang membangun garis dengan masing-masing titik diberi nama $F_{0,0}$, $F_{0,1}$. Pada gambar 4.5(b) terdapat enam garis tambahan dari gambar 4.5(a) sehingga terdapat enam titik baru yaitu $F_{1,1}$, $F_{1,2}$, $F_{1,3}$, $F_{1,4}$, $F_{1,5}$, $F_{1,6}$. Dapat dilihat sebagai berikut penamaan titik disetiap maju satu satuan.



Gambar 4.5 Penamaan titik

2. Perumusan Titik

Gambar 4.5(b) diatas dibangun melalui penafsiran grafis dari g_1 yang dapat dihubungkan untuk membangun gambar 4.5(b) yang dibangun melalui titik-titiknya. Dengan mengasumsikan P_1 sebagai barisan titik-titik yang membangun gambar 4.5(b), maka dapat ditulis:

$$P_1 = (F_{0,0}), (F_{0,1}), (F_{1,1}), (F_{0,1}), (F_{1,2}), (F_{1,3}), (F_{1,2}), (F_{1,4}), (F_{1,2}),$$

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

$$(F_{1,5}),(F_{1,2}),(F_{0,1}),(F_{1,6}),(F_{0,1}) \quad (4.1)$$

3. Perumusan Sudut

Sudut cabang yang digunakan untuk tanaman cemara adalah $\delta = 36°$. Maka setiap percabangan kanan ataupun kiri adalah sama. Memodelkan penafsiran grafis secara matematis dengan asumsi $\delta = {}^{\pi}/_{5}$ sehingga didapatkan persamaan seperti berikut:

$$(F_{n,i}) = (K_{n,i}),(F_{n+1,6i-5}),(K_{n,i}),(F_{n+1,6i-4}),(F_{n+1,6i-3}),(K_{n+1,6i-4}),$$
$$(F_{n+1,6i-2}),(K_{n+1,6i-4}),(F_{n+1,6i-1}),(K_{n+1,6i-4}),(K_{n,i}),$$
$$(F_{n+1,6i}),(K_{n,i}) \quad (4.2)$$

Pada gambar 4.5 diatas dibuat dengan asumsi $(K_{0,0})$ = (0,0), $A_{0,1} = \pi/2$, $X_{0,1}$ = h cos($A_{0,1}$), $Y_{0,1}$ = h sin ($A_{0,1}$) dan $(F_{0,1}) = (X_{0,1}, Y_{0,1})$. Jika diberikan $X_{n,i} = h\cos(A_{n,i})$, $Y_{n,i} = h\sin(A_{n,i})$ dan $(F_{n,i}) = (X_{n,i}, Y_{n,i})$ untuk $n = k$ dan $i = 6^n$, maka nilai-nilai dari $A_{n,i}, X_{n,i}$, dan $Y_{n,i}$ untuk k=3 dapat ditulis secara umum:

$$A_{n,6i-5} = A_{n-1,i} + (-1)^{2i-1}\delta$$
$$A_{n,6i-4} = A_{n-1,i}$$
$$A_{n,6i-3} = A_{n,6i-4} + (-1)^{2i-1}\delta$$
$$A_{n,6i-2} = A_{n,6i-4}$$
$$A_{n,6i-1} = A_{n,6i-4} + (-1)^{2i}\delta$$
$$A_{n,6i} = A_{n-1,i} + (-1)^{2i}\delta$$
$$X_{n,6i-5} = X_{n-1,i} + \frac{h}{n}\cos(A_{n,6i-5})$$
$$X_{n,6i-4} = X_{n-1,i} + 3\frac{h}{n}\cos(A_{n,6i-4})$$

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

$$X_{n,6i-3} = X_{n,6i-4} + \frac{h}{2n}\cos(A_{n,6i-3})$$

$$X_{n,6i-2} = X_{n,6i-4} + 3\frac{h}{n}\cos(A_{n,6i-2})$$

$$X_{n,6i-1} = X_{n,6i-4} + \frac{h}{2n}\cos(A_{n,6i-1})$$

$$X_{n,6i} = X_{n-1,i} + \frac{h}{n}\cos(A_{n,6i})$$

$$Y_{n,6i-5} = Y_{n-1,i} + \frac{h}{n}\sin(A_{n,6i-5})$$

$$Y_{n,6i-4} = Y_{n-1,i} + 3\frac{h}{n}\sin(A_{n,6i-4})$$

$$Y_{n,6i-3} = Y_{n,6i-4} + \frac{h}{2n}\sin(A_{n,6i-3})$$

$$Y_{n,6i-2} = Y_{n,6i-4} + 3\frac{h}{n}\sin(A_{n,6i-2})$$

$$Y_{n,6i-1} = Y_{n,6i-4} + \frac{h}{2n}\sin(A_{n,6i-1})$$

$$Y_{n,6i} = Y_{n-1,i} + \frac{h}{n}\sin(A_{n,6i}) \qquad (4.3)$$

Untuk $n = 1,2,3,\dots,k$ dan $i = 1,2,3,\dots,6^{n-1}$.

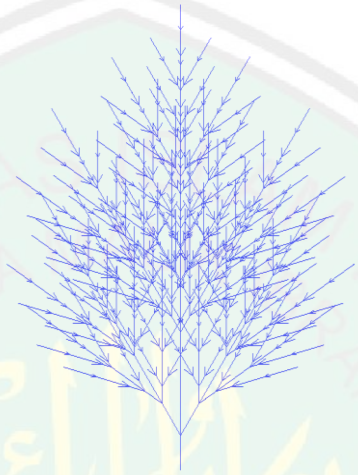
Pembuatan program menggunakan maple membutuhkan beberapa langkah, berikut langkah-langkahnya:

1. Memasukkan nilai k sebagai generasi, nilai δ sebagai sudut kemiringan cabang, dan nilai h sebagai panjang segmen garis;
2. Tetapkan nilai-nilai dari $A_{0,1} = \frac{\pi}{2}, X_{0,1=}\ h\cos(A_{0,1}), Y_{0,1=}\ h\sin(A_{0,1)},$ $(K_{0,1}) = (X_{0,1}, Y_{0,1})$ dan $P_0 = (K_{0,0}), (K_{0,1}), (F_{1,1}), (K_{0,1}), (F_{1,2}), (F_{1,3}),$ $(K_{1,2}), (F_{1,4}), (K_{1,2}), (F_{1,5}), (K_{1,2}), (K_{0,1}), (F_{1,6}), (K_{0,1});$
3. Iterasi n dari 1 sampai k dan lakukan, kemudian mengiterasikan i dari 1 sampai 6^{n-1} pada persamaan 4.3, selanjutnya mengiterasikan i dari 1 sampai 6^n pada $(K_{n,i}) = (X_{n,i}, Y_{n,i})$ dan mengiterasikan i dari 1 sampai 6^n pada persamaan 4.2;

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

4. Iterasi n dari 1 sampai k, iterasi i dari 1 sampai 6^k lakukan $(F_{n,i}) = (K_{n,i})$. Kerjakan $P_n = P_{n-1}$;

5. Plot P_k



Gambar 4.6 Model Tanaman Cemara

Hasil iterasi yang keempat (g_4) ini merupakan hasil iterasi terakhir yang digunakan untuk memodelkan tanaman cemara menggunakan program *Maple*. Model tersebut menyerupai tanaman cemara dalam bentuk dimensi dua dengan sudut kemiringan batang $\delta = 36°$. Meskipun belum menyerupai bentuk asli tanaman dengan tidak adanya ketebalan pada batang, tetapi dengan menggunakan program *Maple* lebih mudah untuk memodelkan dan sudah hampir menyerupai tanaman asli. Hasil pemodelan dari tanaman cemara ini mungkin kurang mendekati kesamaan dari bentuk asli di alam, karena pemodelan ini dalam bentuk gambar yakni dimensi dua sedangkan tanaman aslinya adalah dalam bentuk dimensi tiga.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Pembuatan program maple dengan komponen *L-Systems* yang lain dapat dilakukan dengan cara yang sama, yakni dengan mengganti langkah 2, langkah 3 dan langkah 4. Hal yang penting lainnya yang dimodifikasi dari pemodelan ini adalah penentuan nilai sudut δ dan panjang segmen garis h. Penentuan nilai sudut δ dapat disesuaikan dengan keadaan percabangan batang pada tanaman yang akan dimodelkan. Modifikasi panjang segmen garis h dapat dilakukan dengan mendefinisikan $h_n = \frac{h}{n}$ untuk $n = 1,2,3, \dots, k$.

Untuk memberi ketebalan pada batang tanaman dapat juga menggunakan program *L-Studio*. Pada *L-Studio* ini hasilnya menyerupai asli karena menyertakan ketabalan batang meskipun pada dua dimensi. Dari hasil model yang telah dibuat dapat diketahui bahwa dengan menggunakan program ini dapat dihasilkan lebih dari satu model pertumbuhan batang tanaman yang bervariasi dengan komponen *L-Systems* yang sama. Sehingga dengan program *L-Studio* ini dapat memenuhi pernyataan bahwa tidak ada tanaman yang tumbuh dengan proses percabangan yang sama. Penggunaan komponen *L-Systems* pada huruf F diganti dengan dua huruf yakni M, N. Komponen lain pada *L-Systems* tetap seperti yang sebelumnya.

$V = \{F, M, N, +, -, [,]\}$

$w = M$

$p_1 = M \rightarrow N\big[[+M][-M]\big]N[+M]N[-M]N[+M][-M]NNNM$

$p_2 = N \rightarrow NN$

Pada komponen *L-Systems* di atas, aturan produksi pertama (P_1) memetakan M menjadi $N\big[[+M][-M]\big]N[+M]N[-M]N[+M][-M]NNNM$. Kemudian pada aturan produksi kedua (P_2), N dipetakaan menjadi NN. Aturan produksi pertama menginterpretasikan percabangan batang tanaman. Sedangkan

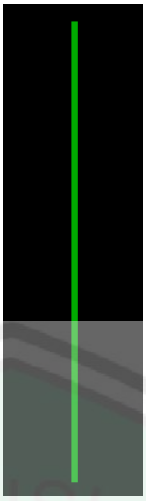
CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

aturan produksi kedua menginterpretasikan panjang batang tanaman yang berbeda setiap generasinya. Meskipun huruf F tidak terdapat pada aturan produksi, akan tetapi dalam *L-Systems* akan secara otomatis memetakan huruf F ke dalam dirinya sendiri. Berikut generasi dari *L-Systems.*

Tabel 4.2 Hasil Produksi *L-Systems* pada *L-Studio*

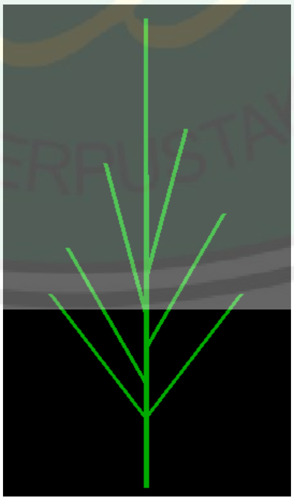
Generasi	Hasil Produksi
g_0	M
g_1	$N[[+M][-M]]N[+M]N[-M]N[+M][-M]NNNM$
g_2	$NN\left[\begin{matrix}[+N[[+M][-M]]N[+M]N[-M]N[+M][-M]NNNM] \\ [-N[[+M][-M]]N[+M]N[-M]N[+M][-M]NNNM]\end{matrix}\right]NN$ $[+N[[+M][-M]]N[+M]N[-M]N[+M][-M]NNNM]$ $NN[-N[[+M][-M]]N[+M]N[-M]N[+M][-M]NNNM]$ $NN[+N[[+M][-M]]N[+M]N[-M]N[+M][-M]NNNM]$ $[-N[[+M][-M]]N[+M]N[-M]N[+M][-M]NNNM]$ $NNNNNNN[N[+M][-M]]N[+M]N[-M]N[+M][-M]NNNM$

Pada tabel di atas, huruf M merupakan hasil dari generasi nol (g_0) atau biasa disebut dengan aksioma. Huruf M ini hanya membentuk garis tegak lurus maju satu satuan ke depan. Huruf ini juga menjadi batang utama pada tanaman. Berikut hasil gambar dari generasi nol (g_0).



Gambar 4.7 Hasil Gambar dari Generasi Nol (g_0)

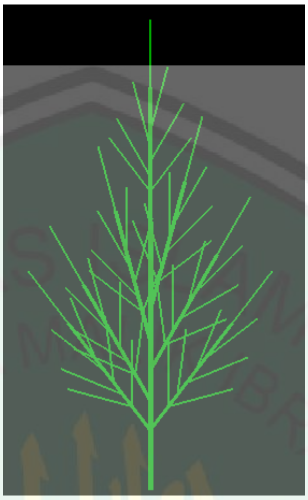
Selanjutnya pada generasi pertama (g_1), huruf M akan membentuk cabang dengan mengikuti sudut θ memutar jarum jam atau berlawana arah jarum jam. Pada "$-M$" akan maju satu satuan dengan memutar serah jarum jam sebesar θ sedangkan "$+M$" akan maju satu satuan dengan berlawanan arah jarum jam sebesar θ. Huruf N membentuk batang yang tetap tidak bercabang lagi, atau bisa disebut batang utama. Berikut hasil grafis dari generasi pertama (g_1).



Gambar 4.8 Hasil Iterasi Generasi Pertama (g_1) pada *L-Studio*

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Pada generasi kedua (g_2) hasil menunjukkan tanaman lebih tinggi dan membentuk cabang lagi. Semakin banyak generasi yang digunakan maka semakin banyak cabang pada tanaman tersebut. Berikut hasil gambar dari generasi g_2.



Gambar 4.9 Hasil Iterasi Generasi Kedua (g_2) pada *L-Studio*

4.2 Ketebalan Batang

Pada pertumbuhan tanaman untuk memperoleh hasil yang maksimal dibutuhkanketebalan batang, agar menyerupai bentuk asli tanaman tersebut. Untuk memberi ketebalan batang tanaman pada dimensi dua yakni menggunakan program *L-Studio*. Dengan menggambarkan batang tanaman mulai awal pertumbuhan tebal lalu menuju ke cabang demi cabang akan semakin tipis. Begitu pula ke atas batang tanaman akan semakin tinggi namun semakin menipis. Berikut beberapa aturan produksi pada tanaman cemara.

$w = M(12,10)$

$$p_1: M(l,w) \rightarrow !\,(w * 0.5)NN \begin{bmatrix} [+(37.5)M(l * r_1, w * w_r)] \\ [-(37.5)M(l * r_1, w * w_r)] \end{bmatrix}$$

$$N[+(30)M(l * r_1, w * w_r)]N[-(30)M(l * r_1, w * w_r)]N$$

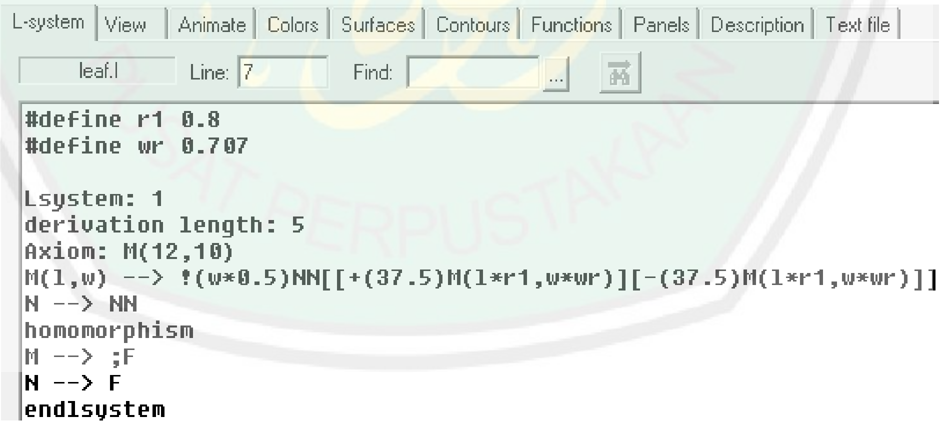
$$[+(15)M(l * M(l * r_1, w * w_r)]M[-(15)M(l * M(l * r_1, w * w_r)]$$

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

$$NNNM(l * M(l * r_1, w * w_r)$$

$$p_2 = N \rightarrow NN$$

Pada aturan produksi di atas, $!(w)$ adalah ketebalan batang tanaman yang nilainya sebesar $w_r = 0{,}707$. $M(l, w)$ akan membentuk batang utama dengan (l) sebagai panjang tanaman dan (w) sebagai tebal, kemudian dimasukkan nilai panjang dan lebar yaitu $M(12{,}10)$. Huruf N menggambarkan batang utama pada tanaman. Untuk cabang dilambangkan dengan huruf M, dengan "+" berputar berlawanan arah jarum jam dan "-" berputar searah jarum jam. Cabang pertama menggunakan sudut θ 37,5 ke kanan dan ke kiri. Cabang kedua menggunakan sudut θ 30 sama seperti sebelumnya ke kanan dan ke kiri. Dan cabang yang terakhir menggunakan θ 15. Sehingga semakin bercabang tanaman ini semakin kecil sudut yang digunakan. Rasio panjang batang dari induk batang terhadap percabangan batang yakni $r_1 = 0{,}8$. Ketebalan batangnya mengikuti postulat Da Vinci dimana ketebalan batang anak memiliki nilai 0,707 dari batang induknya.

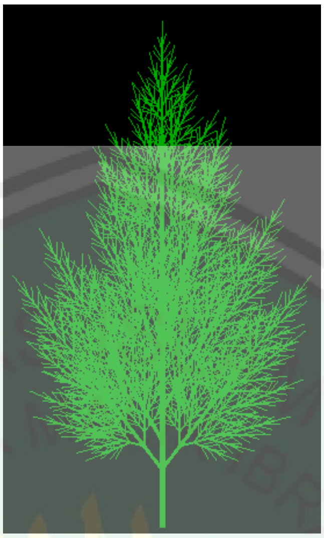


Gambar 4.10 Aturan Produksi pada *L-Studio*

Iterasi yang dilakukan pada program L-Studio sebanyak 5 kali, pada program ditulis dengan derivation length. Pada bagian akhir skrip adalah homomorphism. Bagian ini mendefinisikan simbol-simbol pada aturan produksi

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

menjadi huruf F. Huruf M, N menjadi huruf F. Hasil Visualisasi tanaman cemara pada program *L-Studio* dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 4.11 Hasil akhir Tanaman Cemara pada *L-Studio*

4.3 Hasil Pemodelan Lainnya

Untuk pemodelan pada tanaman lainnya, dapat menggunakan langkah-langkah seperti sebelumnya. Dimulai dari mengidentifikasi data, menentukan besar sudut δ, memilih huruf, menentukan aturan produksi, memasukkan banyaknya iterasi, memvisualisasikan pada program. Langkah selanjutnya yaitu memasukkan semua komponen *L-Systems* yang didapat ke dalam program. Berikut komponen-komponen *L-Systems* yang membentuk beberapa tanaman beserta hasil pemodelannya.

1. Tanaman Lamtoro

Komponen-komponen *L-Systems* yang membentuk yakni:

$V = \{r_1, w_r, l, w, M, N, F, +, -, [,]$

$w = M(6,10)$

Jumlah generasi = 8

$r_1 = 0.8$

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

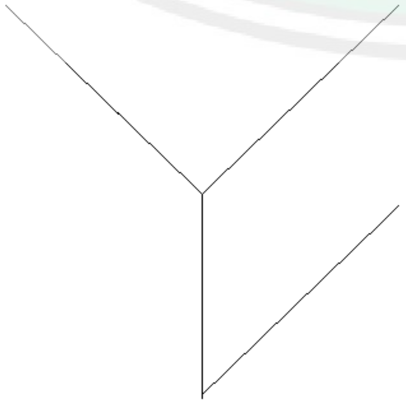
$w_r = 0,707$

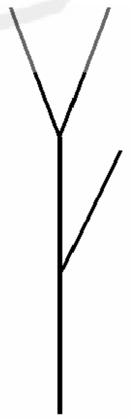
$$p_1: M(l,w): \to !(w*0.5)N\begin{bmatrix}[-(25)M(l*r_1, w*w_r)]N\\ [-(20)M(l*r_1, w*w_r)]\\ [+(20)M(l*r_1, w*w_r)]\end{bmatrix}$$

$p_2: N \to NN$

Pada tanaman lamtoro ini menggunakan 7 kali aksioma dengan ketebalan yang berbeda. Aksioma yang digunakan yakni $M(6,10)$, dengan panjang pada batang 6 dan ketebalannya 10. Pada panjang batang nilainya akan semakin menurun dari tingkatan awal, sebagaimana panjang batang tanaman semakin ke atas akan semakin tereduksi. Ketebalan batang tanaman utamanya tetap dari setiap tingkatan. Nilai N menjadi nilai batang utama dan tetap menjadi yang paling tebal. Ketebalan cabang batang akan semakin mengecil pada setiap tingkatannya sesuai dengan postulat dari Leonardo Da Vinci $w_r = 0,707$.

Dengan menggunakan program *L-Studio* didapatkan visualisasi tanaman dengan ketebalan yang mendekati kenyataan. Pada program ini menggunakan 8 iterasi. Apabila menggunakan program *Maple* hanya berbentuk dimensi dua tanpa ketebalan. Pada program ini menggunakan 5 iterasi untuk memperoleh hasil yang dinginkan. Berikut hasil visualisasi dari kedua program.





CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Gambar 4.12 Beberapa Hasil Iterasi Tanaman Lamtoro

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan program *L-Studio* tanaman akan terlihat seperti nyata. Semakin banyak iterasi yang dipakai maka semakin banyak percabangan yang terlihat pada setiap tingkarannya. Iterasi yang digunakan pada kedua program diatas berbeda yakni, *maple* menggunakan 5 iterasi sedangkan *L-Studio* menggunakan 8 iterasi. Pada kedua program menggunakan model *L-Systems* yang sama, hanya saja huruf F diganti dengan dua huruf yakni huruf M dan N.

Gambar 4.13 Perbandingan Tanaman Lamtoro Asli dengan Hasil Program

2. Tanaman Trembesi

Komponen-komponen *L-Systems* yang membentuk yakni:

$V = \{r_1, w_r, l, w, M, N, F, +, -, [,]$

$w = M(1,6)$

Jumlah generasi = 6

$r_1 = 0.3$

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

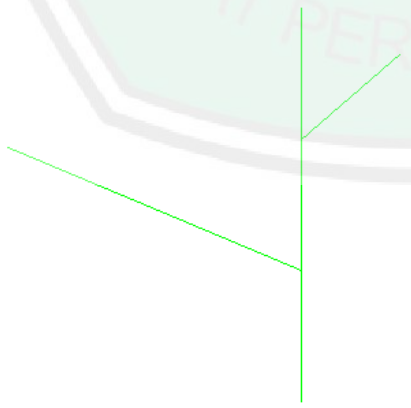
$w_r = 0{,}707$

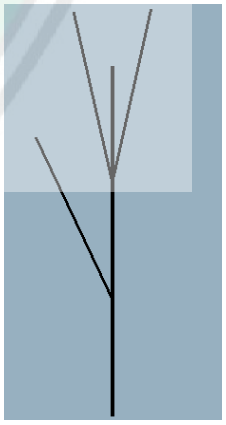
$$p_1 : M(l,w) : \rightarrow !(w * 0.6)N \left[\begin{matrix} [+(20)M(l * r_1, w * w_r)]N \\ \left[\begin{matrix} [-(10)M(l * r_1, w * w_r)] \\ [+(10)M(l * r_1, w * w_r)]N \end{matrix} \right] \end{matrix} \right]$$

$p_2 : N \rightarrow NN$

Pada komponen *L-Systems* di atas hampir sama dengan tanaman sebelumnya. Menggunakan sudut percabangan δ_1 yang bernilai $\frac{\pi}{9}$ dan δ_2 yang bernilai $\frac{\pi}{18}$, karena bentuk percabangan yang kedua lebih kecil. Aksioma yang digunakan adalah $M(1{,}6)$ dengan panjang batang bernilai 1 dan tebal bernilai 6. Tebal pada batang tanaman akan tereduksi dengan menggunakan $w_r = 0{,}707$ sesuai postulat Leonardo Da Vinci.

Dengan menggunakan program *L-Studio* didapatkan visualisasi tanaman dengan ketebalan yang mendekati asli. Pada program ini menggunakan 6 iterasi. Apabila menggunakan program *Maple* hanya berbentuk dimensi dua tanpa ketebalan. Pada program ini menggunkan 4 iterasi untuk memperoleh hasil yang diinginkan. Berikut hasil visualisiasi dari kedua program.





CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Gambar 4.14 Beberapa Hasil Iterasi Tanaman Trembesi

Pada hasil gambar di atas, dapat dilihat bahwa dengan menggunakan program *L-Systems* tanaman akan terlihat seperti nyata. Semakin banyak iterasi

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

yang dipakai maka semakin banyak percabangan yang terlihat pada setiap tingkatannya. Iterasi yang digunakan pada kedua program diatas berbeda yakni, pada program *Maple* menggunakan 4 iterasi sedangkan pada program *L-Studio* menggunkan 6 iterasi. Kedua program menggunakan model *L-Systems* yang sama, hanya saja huruf F diganti dengan dua huruf yakni huruf M dan N.

Gambar 4.15 Perbandingan Tanaman Trembesi Asli dengan Hasil Program

4.4 Pembahasan

Metode *deterministic lindenmayer system* adalah metode paling mudah dan ringkas dalam pemodelan batang tanaman dalam bentuk dua dimensi dibandingkan dengan metode *stochastic lindenmayer system* dalam bentuk tiga dimensi. Pada permasalahan ini menggunakan metode deterministic lindenmayer systems dengan ketebalan. Sehingga tanaman akan menyerupai asli dengan ditambahkan ketebalan. Langkah awal yang penting dilakukan adalah penentuan komponen-komponen utama *L-Systems*, seperti penentuan huruf yang akan digunakan pada aturan produksi dan huruf yang digunakan yakni huruf kapital A sampai Z. Digunakan huruf M dan N sebagai aturan produksi untuk

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

menggambarkan garis maju satu satuan ke depan. Selain itu, penggunaan aturan produksi ada simbol-simbol seperti $(+, -, /, \backslash)$.

Pada pemodelan batang tanaman ini divisualisasikan dalam dua dimensi menggunakan ketebalan batang yang berbeda. Maka hasil visualisasi hanya dapat dilihat dari satu sisi saja, yakni sisi depan. Apabila diputar akan menjadi garis lurus biasa tidak ada gambar yang ditampilkan. Dari sisi depan dapat dilihat perbedaan tebal pada batang utama dengan cabang-cabang batang yang lainnya.

Iterasi yang digunakan sebaiknya kurang dari 20 karena program akan berjalan lambat dalam memvisualisasikan. Selain itu, hasil yang diperoleh tidak menyerupai gambar asli tanaman karena terlalu banyak banyak cabang yang terbentuk sehingga hasilnya tampak lebih besar dan lebih lebat pada percabangannya dibandingkan dengan hasil gambar asli tanaman. Tanaman yang digunakan ada tiga, yakni tanaman cemara dengan 5 iterasi, tanaman lamtoro dengan 8 iterasi dan pada tanaman trembesi dengan 6 iterasi. Dari ketiga tanaman tersebut sudah menyerupai tanaman aslinya.

Penggunaan program ini sangat membantu dalam proses visualisasi batang tanaman, baik dalam menentukan aturan produksi maupun penggunaan iterasi atau perulangannya. Pada program *maple* didapatkan hasil visualisasi dalam bentuk dua dimensi tanpa ada ketebalan. Artinya, tanaman yang dihasilkan pada program tersebut hanya berbentuk garis yang sama tanpa ada ketebalan pada tiap batangnya. Sedangkan pada program *l-studio* didapatkan hasil visualisasi dalam bentuk dua dimensi akan tetapi yang membedakan dari program ini hasil visualisasinya terdapat ketebalan batang. Dengan menggunakan program ini

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

hasilnya menyerupai tanaman asli meskipun hanya dapat dilihat dari satu sisi dikarenakan dua dimensi.

4.5 Kajian Al-Qur'an tentang Percabangan Batang Tanaman

Percabangan batang tanaman pada penelitian ini menggunakan ukuran. Ukuran untuk mengukur sudut, panjang dan ketebalan. Sudah menjadi satu komponen untuk bisa menentukan percabangan batang, sebagaimana firman Allah dalam Al-Qur'an surat Al-Qamar ayat 49:

Artinya: *"Sesungguhnya kami menciptakan segala sesuatu menurut ukuran" (QS. Al-Qamar: 49).*

Di dalam ayat di atas dijelaskan bahwa semua yang ada didalam ini ada ukurannya, ada hitungan-hitungannya, ada rumusnya, atau ada persamaannya. Ahli matematika atau fisika tidak membuat suatu rumus sedikitpun. Mereka hanya menemukan rumus atau persamaan. Rumus-rumus yang ada sekarang bukan diciptakan manusia, tetapi sudah disediakan. Manusia hanya menemukan dan menyimbolkan dalam bahasa matematika.

Pada masa-masa mutakhir ini, pemodelan-pemodelan matematika yang dilakukan manusia sebenarnya bukan membuat sesuatu yang baru. Pada hakikatnya, mereka hanya mencari persamaan-persamaan atau rumus-rumus yang berlaku pada suatu fenomena. Sungguh, segala sesuatu telah diciptakan dengan ukuran, perhitungan, rumus, atau persamaan tertentu yang sangat rapi dan teliti. Model matematika berupaya membaca fenomena fisis yang telah diciptakan Allah dalam bentuk simbol dan aturan matematis. Seperti pada penelitian ini yakni memodelkan pertumbuhan batang tanaman menggunakan *L-Systems*.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Tanaman diciptakan dengan adanya percabangan pada batang. Meskipun hanya satu atau dua, tanaman pasti mempunyai percabangan pada batang. Allah menciptakan tanaman dengan beraneka ragam bentuk dan jenis. Setiap tanaman memiliki ukuran masing-masing dan tidak ada yang sama, karena setiap pertumbuhan tanaman satu dengan yang lain berbeda. Maka, diperlukan adanya ukuran. Hal ini diperkuat dengan firman Allah pada Al-Qur'an Surat AL-Hijr ayat 19:

"Dan Kami telah menghamparkan bumi dan menjadikan padanya gunung-gunung dan Kami tumbuhkan padanya segala sesuatu menurut ukuran."

Menurut Tafsir Al-Misbah, bahwa Kami telah menciptakan dan menghamparkan bumi ini untuk kalian sehingga luas membentang dengan gunung-gunung yang kokoh. Kmai pun menumbuhkembangkan, dibumi ini, aneka ragam tanaman untuk kelangsungan hidup kalian. Dan Kami telah menetapkan tiap-tiap tanaman itu memiliki masa pertumbuhan dan penuaian tertentu, sesuai dengan kuantitas dan kebutuhan kalian. Demikian juga, Kami tetap menentukan bentuknya sesuai dengan penciptaan dan habitatnya.

Ayat ini menegaskan satu fakta ilmiah yang baru ditemukan setelah dilakukannya penelitian terhadap berbagai tanaman. Dalam temuan itu didapatkan, sebagaimana ditengarai ayat ini, bahwa setiap kelompok tanaman masing-masing memiliki kesamaan dilihat dari sisi luarnya. Demikian pula dari sisi dalamnya, bagian-bagian tanaman dan sel-sel yang digunakan untuk pertumbuhan, memiliki kesamaan yang praktis tak berbeda. Meskipun antara satu jenis dengan lainnya dapat dibedakan. Tetapi semuanya tetap dapat diklasifikasikan dalam satu kelompok yang sama.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa memodelkan batang tanaman menggunakan metode *deterministic lindenmayer systems* dapat dihasilkan visualisasi model yang menyerupai tanaman asli pada gambar atau foto. Dengan menambahkan ketebalan batang yang berbeda pada setiap batang maka tanaman akan semakin terlihat nyata. Jumlah iterasi untuk setiap tanaman berbeda tergantung tanaman yang akan dimodelkan. Masing-masing model mempresentasikan satu macam pertumbuhan batang tanaman. Hasil yang diperoleh dari dua program sedikit berbeda dikarenakan pada program *maple* panjang satu satuan maju sama semua jadi kurang menyerupai, sedangkan pada program *l-studio* hasil yang didapatkan menyerupai hasil pada gambar atau foto tanaman asli dan panjang satu satuan maju menyesuaikan ketinggian tanaman tersebut. Pemodelan batang tanaman menggunakan metode *deterministic lindenmayer system* dipengaruhi oleh panjang batang, sudut percabangan, dan ketebalan batang.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh, maka untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pemodelan batang tanaman menggunakan metode *deterministic lindenmayer systems* yang lebih menyerupai tanaman asli dengan ketebalan yang berbeda. Peniliti juga menyarankan untuk penelitian selanjutnya menggunakan program yang lebih mudah dan dapat

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

memvisualisasikan lebih baik lagi, dikarenakan hasil visualisasi segmen batang belum bisa melengkung seperti tanaman aslinya. Pemodelan batang tanaman ditambahi dengan pemodelan daun akan terlihat semakin nyata tumbuhan tersebut.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

DAFTAR PUSTAKA

Abdusysyakir. 2007. Ketika Kyai Mengejar Matematika. Malang: UIN Malang.

Amalia, D. A. R. 2018. *Kajian Fraktal i-Fibonacci Word dengan Menggunakan L-Systems*. Skripsi. Jember: Universitas Jember.

Dickau, R. M. 1996. Two-Dimensional L-Systems.

Iswanto, C.H. 2011. *Penerapan Stochastic L-Systems pada Pemodelan Pertumbuhan Batang Tanaman*. Jember: Universitas Jember.

Muzammil, M. 2006. *Pemodelan Pertumbuhan Batang Tanaman Menggunakan L-Systems*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Universitas Jember.

Ochoa, G. 1998. An Introduction to Lindenmayer Systems.

Prusinkiewicz, P. and Lindenmayer, A. 1990. *The Algorithmic Beauty of Plants*. New York: Springer-Verlag.

Rosida. 2019. *Variasi Sudut Belok pada Fraktal i-Fibonacci Word dengan menggunakan L-Systems*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Univertas Jember.

Shihab, M.Q. 2002. *Tafsir Al Misbah*. Jakarta: Lentera Hati.

Soebari.1995. *Geometri Analit*. Malang: FMIPA IKIP Malang.

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

Urnianto, Liv Dwi. 2010. *Konstruksi Motif Ornamen dengan Dasar Poligon Menggunakan L-System*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Universitas Jember.

Wright, D. J. 1996. *Dynamical Systems and Fractals Lecture*.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

LAMPIRAN

1. Tanaman cemara menggunakan program *maple*

```
> restart;with(plots):
> Lsistem:=proc(d,h,k)
  local a,n,i,P;global F,K,A,X,Y;
  a:=Pi/2;
  A[0,1]:=a;
  X[0,1]:=h*cos(a);
  Y[0,1]:=h*sin(a);
  K[0,1]:=X[0,1],Y[0,1];
  P[0]:=[0,0],[K[0,1]],F[1,1],[K[0,1]],F[1,2],F[1,3],[K[1,2]],F[1,4],
  [K[1,2]],F[1,5],[K[1,2]],[K[0,1]],F[1,6],[K[0,1]];
  for n from 1 to k do
    for i from 1 to 6^(n-1) do
      A[n,6*i-5]:=A[n-1,i]+(-1)^(2*i-1)*d;
      A[n,6*i-4]:=A[n-1,i];
      A[n,6*i-3]:=A[n,6*i-4]+(-1)^(2*i-1)*d;
      A[n,6*i-2]:=A[n,6*i-4];
      A[n,6*i-1]:=A[n,6*i-4]+(-1)^(2*i)*d;
      A[n,6*i]:=A[n-1,i]+(-1)^(2*i)*d;
      X[n,6*i-5]:=X[n-1,i]+h/n*cos(A[n,6*i-5]);
      X[n,6*i-4]:=X[n-1,i]+3*h/n*cos(A[n,6*i-4]);
      X[n,6*i-3]:=X[n,6*i-4]+h/(2*n)*cos(A[n,6*i-3]);
      X[n,6*i-2]:=X[n,6*i-4]+3*h/n*cos(A[n,6*i-2]);
      X[n,6*i-1]:=X[n,6*i-4]+h/(2*n)*cos(A[n,6*i-1]);
      X[n,6*i]:=X[n-1,i]+h/n*cos(A[n,6*i]);
      Y[n,6*i-5]:=Y[n-1,i]+h/n*sin(A[n,6*i-5]);
      Y[n,6*i-4]:=Y[n-1,i]+3*h/n*sin(A[n,6*i-4]);
      Y[n,6*i-3]:=Y[n,6*i-4]+h/(2*n)*sin(A[n,6*i-3]);
      Y[n,6*i-2]:=Y[n,6*i-4]+3*h/n*sin(A[n,6*i-2]);
      Y[n,6*i-1]:=Y[n,6*i-4]+h/(2*n)*sin(A[n,6*i-1]);
      Y[n,6*i]:=Y[n-1,i]+h/n*sin(A[n,6*i]);
    end do;
    for i from 1 to 6^(n) do
          K[n,i]:=X[n,i],Y[n,i];
    end do;
    for i from 1 to 6^(n) do
  F[n,i]:=[K[n,i]],F[n+1,6*i-5],[K[n,i]],F[n+1,6*i-4],F[n+1,6*i-3],
  [K[n+1,6*i-4]],F[n+1,6*i-2],[K[n+1,6*i-4]],F[n+1,6*i-1],[K[n+1,6*i-4]],
  [K[n,i]],F[n+1,6*i],[K[n,i]];
    end do;
    P[n]:=P[n-1];
  end do;
  for n from k to k do
    for i from 1 to 6^(k) do
      F[n,i]:=[K[n,i]];
    end do;
    P[n]:=P[n-1];
  end do;
  end proc:
> Lsistem(Pi/8,1,4):
  plot([Lsistem(Pi/8,1,4)],color=blue);
```

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

2. Tanaman lamtoro menggunakan program *maple*

```
> restart;with(plots):

> Lsistem:=proc(d,h,k)
  local a,n,i,P;global F,K,A,X,Y;
  a:=Pi/2;
  A[0,1]:=a;
  X[0,1]:=h/50*cos(a);
  Y[0,1]:=h/50*sin(a);
  K[0,1]:=X[0,1],Y[0,1];
  P[0]:=[0,0],[K[0,1]],F[1,1],[K[0,1]],F[1,2],F[1,3],[K[1,2]],F[1,4],[K[1,2]],[K[0,1]];
  for n from 1 to k do
    for i from 1 to 4^(n-1) do
      A[n,4*i-3]:=A[n-1,i]+(-1)^(2*i-1)*d;
      A[n,4*i-2]:=A[n-1,i];
      A[n,4*i-1]:=A[n,4*i-2]+(-1)^(2*i)*d;
      A[n,4*i]:=A[n,4*i-2]+(-1)^(2*i-1)*d;
      X[n,4*i-3]:=X[n-1,i]+h/n*cos(A[n,4*i-3]);
      X[n,4*i-2]:=X[n-1,i]+h/n*cos(A[n,4*i-2]);
      X[n,4*i-1]:=X[n,4*i-2]+h/n*cos(A[n,4*i-1]);
      X[n,4*i]:=X[n,4*i-2]+h/n*cos(A[n,4*i]);
      Y[n,4*i-2]:=Y[n-1,i]+h/n*sin(A[n,4*i-2]);
      Y[n,4*i-1]:=Y[n,4*i-2]+h/n*sin(A[n,4*i-1]);
      Y[n,4*i]:=Y[n,4*i-2]+h/n*sin(A[n,4*i]);
    end do;
    for i from 1 to 4^(n) do
          K[n,i]:=X[n,i],Y[n,i];
    end do;
    for i from 1 to 4^(n) do
  F[n,i]:=[K[n,i]],F[n+1,4*i-3],[K[n,i]],F[n+1,4*i-2],F[n+1,4*i-1],[K[n+1,4*i-2]],
  F[n+1,4*i],[K[n+1,4*i-2]],[K[n,i]];
    end do;
    P[n]:=P[n-1];
  end do;
  for n from k to k do
    for i from 1 to 4^(k) do
      F[n,i]:=[K[n,i]];
    end do;
    P[n]:=P[n-1];
  end do;
  end proc:

> Lsistem(Pi/9,1,5):
  plot([Lsistem(Pi/9,1,5)],color=green);
```

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

3. Tanaman trembesi menggunakan program *maple*

```
> restart;with(plots):

> Lsistem:=proc(d,h,k)
  local a,n,i,P;global F,K,A,X,Y;
  a:=Pi/2;
  A[0,1]:=a;
  X[0,1]:=h*cos(a);
  Y[0,1]:=h*sin(a);
  K[0,1]:=X[0,1],Y[0,1];
  P[0]:=[0,0],[K[0,1]],F[1,1],[K[0,1]],F[1,2],F[1,3],[K[1,2]],
  F[1,4],[K[1,2]],[K[0,1]];
  for n from 1 to k do
    for i from 1 to 4^(n-1) do
      A[n,4*i-3]:=A[n-1,i]+(-1)^(2*i)*d;
      A[n,4*i-2]:=A[n-1,i];
      A[n,4*i-1]:=A[n,4*i-2]+(-1)^(2*i-1)*d/2;
      A[n,4*i]:=A[n,4*i-2];
      X[n,4*i-3]:=X[n-1,i]+h/n*cos(A[n,4*i-3]);
      X[n,4*i-2]:=X[n-1,i]+h/n*cos(A[n,4*i-2]);
      X[n,4*i-1]:=X[n,4*i-2]+h/n/1.5*cos(A[n,4*i-1]);
      X[n,4*i]:=X[n,4*i-2]+h/n*cos(A[n,4*i]);
     Y[n,4*i-3]:=Y[n-1,i]+h/n*sin(A[n,4*i-3]);
     Y[n,4*i-2]:=Y[n-1,i]+h/n*sin(A[n,4*i-2]);
     Y[n,4*i-1]:=Y[n,4*i-2]+h/n/1.5*sin(A[n,4*i-1]);
     Y[n,4*i]:=Y[n,4*i-2]+h/n*sin(A[n,4*i]);
   end do;
   for i from 1 to 4^(n) do
         K[n,i]:=X[n,i],Y[n,i];
   end do;
   for i from 1 to 4^(n) do
 F[n,i]:=[K[n,i]],F[n+1,4*i-3],[K[n,i]],F[n+1,4*i-2],F[n+1,4*i-1],
 [K[n+1,4*i-2]],F[n+1,4*i],[K[n+1,4*i-2]],[K[n,i]];
   end do;
   P[n]:=P[n-1];
 end do;
 for n from k to k do
   for i from 1 to 4^(k) do
     F[n,i]:=[K[n,i]];
   end do;
   P[n]:=P[n-1];
 end do;
 end proc:

> Lsistem(Pi/9,1,4):
  plot([Lsistem(Pi/9,1,4)],color=green);
```

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

4. Tanaman cemara menggunakan program *l-studio*

```
#define r1 0.8
#define wr 0.707

Lsystem: 1
derivation length: 5
Axiom: M(12,10)
M(l,w) --> !(w*0.5)NN[[+(37.5)M(l*r1,w*wr)][-(37.5)M(l*r1,w*wr)]]N[+(30)M(l*r1,w*wr)]
N[-(30)M(l*r1,w*wr)]N[+(15)M(l*r1,w*wr)]N[-(15)M(l*r1,w*wr)]NNNM(l*r1,w*wr)
N --> NN
homomorphism
M --> ;F
N --> F
endlsystem
```

5. Tanaman lamtoro menggunakan program *l-studio*

```
#define r1 0.8
#define wr 0.707

Lsystem: 1
derivation length: 8
Axiom: M(6,10)
M(l,w) --> !(w*0.5)N[[-(25)M(l*r1,w*wr)]N[-(20)M(l*r1,w*wr)][+(20)M(l*r1,w*wr)]]
N --> NN
homomorphism
M --> ;F
N --> F
endlsystem
```

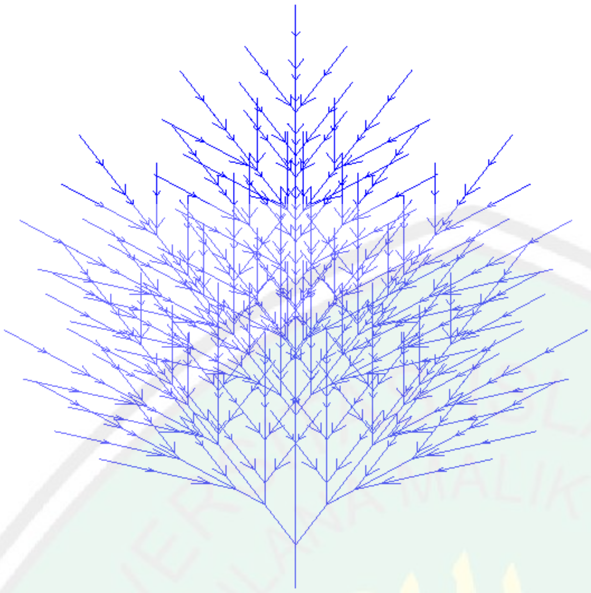
6. Tanaman trembesi menggunakan program *l-studio*

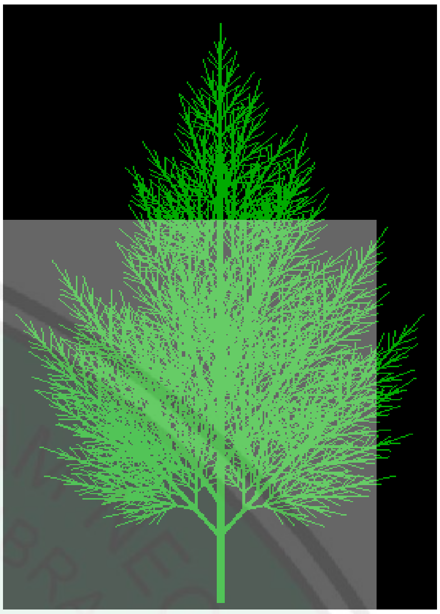
```
#define r1 0.3
#define wr 0.707

Lsystem: 1
derivation length:6
Axiom: M(1,6)
M(l,w) --> !(w*0.6)N[[+(20)M(l*r1,w*wr)]N[[-(10)M(l*r1,w*wr)][+(10)M(l*r1,w*wr)]N]]
N --> NN
homomorphism
M --> ;F
N --> F
endlsystem
```

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Hasil perbandingan tanaman cemara menggunakan program *maple* dan *l-studio*



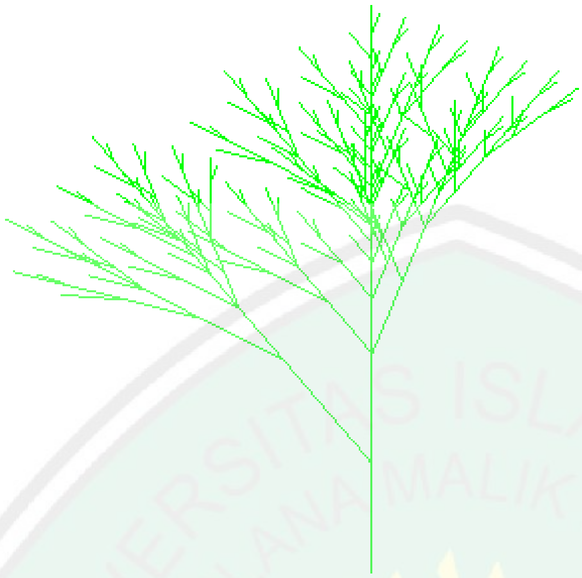


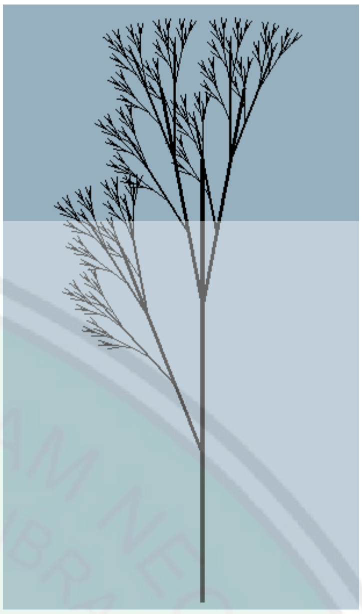
CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Hasil perbandingan tanaman lamtoro menggunakan program *maple* dan *l-studio*

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Hasil perbandingan tanaman trembesi menggunakan program *maple* dan *l-studio*





CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

RIWAYAT HIDUP

Fadhilah, lahir di Kota Gresik pada tanggal 1 Maret 1997, biasa dipanggil Lala. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Muhammad Facthur Rahman dan Azizah Badubbah. Pendidikan pertama di TK Batik (2002-2003), kemudian melanjutkan pendidikan dasar di MI Asmaiyah (2008-2009). Pada tahun 2009 penulis melanjukan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 4 Gresik dan diselesaikan pada tahun 2012. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Nahdlatul Ulama 1 Gresik dan menamatkan pendidikan tersebut pada tahun 2015. Selanjutnya pada 2016 penulis menempuh pendidikan berikutnya di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang pada jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

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

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Fadhilah
NIM : 16610087
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi / Matematika
Judul Skripsi : Pemodelan Deterministic Lindenmayer Systems (L-Systems) Pada Batang Tanaman
Pembimbing I : Juhari, M.Si
Pembimbing II : M. Nafie Jauhari, M.Si

No.	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	5 November 2019	Setor dan Konsultasi Judul	1.
2.	21 November 2019	ACC Judul dan Konsultasi Bab I	2.
3.	10 Februari 2020	Revisi Bab I dan Setor Bab II	3.
4.	25 Februari 2020	Revisi Bab II	4.
5.	24 April 2020	ACC Bab I dan Bab II	5.
6.	27 April 2020	Setor Bab III	6.
7.	27 April 2020	Setor Kajian Agama	7.
8.	29 April 2020	ACC Bab III	8.
9.	1 Mei 2020	ACC Kajian Agama	9.
10.	1 Mei 2020	Setor Bab IV	10.
11.	29 September 2020	Revisi Bab IV	11.
12.	2 Oktober 2020	ACC Bab III dan Revisi Bab IV	12.
13.	9 Oktober 2020	Revisi Bab IV dan Setor Bab V	13.
14.	13 Oktober 2020	Revisi Kajian Agama	14.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

15.	21 Oktober 2020	ACC Bab IV, Bab V	15.
16.	26 Oktober 2020	ACC Kajian Agama	16.
17.	3 Desember 2020	Bimbingan Pasca Sidang	17.
18.	2 Desember 2020	Bimbingan Pasca Sidang	18.
19.	30 Desember 2020	ACC Abstrak	19.
20.	31 Desember 2020	ACC Keseluruhan	20.

Malang, 31 Desember 2020
Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika

Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP. 19650414 200312 1 001

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG