



**PEMODELAN PERTUMBUHAN BATANG TANAMAN DALAM  
DIMENSI TIGA MENGGUNAKAN *L-SYSTEMS***

**SKRIPSI**

Oleh  
**Santoso**  
**NIM 021810101105**

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

2010





**PEMODELAN PERTUMBUHAN BATANG TANAMAN DALAM  
DIMENSI TIGA 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  
**Santoso**  
**NIM 021810101105**

**JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2010**

## RINGKASAN

**Pemodelan Pertumbuhan Batang Tanaman Dalam Dimensi Tiga Menggunakan *L-Systems***; Santoso, 021810101105; 2010; 33 halaman; Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

*Lindenmayer Systems* disingkat *L-systems* adalah penulisan kembali yang dilakukan secara berulang-ulang. Ide penulisan kembali ini pada dasarnya digunakan untuk membangun suatu objek kompleks dari suatu objek sederhana. *L-systems* sendiri sudah banyak diterapkan oleh para peneliti dalam memodelkan suatu objek tanaman. Salah satunya adalah pemodelan pertumbuhan batang tanaman menggunakan *L-systems* (Muzammil, 2006). Keberhasilan penelitian yang dilakukan oleh Muzammil ini masih menggunakan konsep dasar *L-systems* yang sederhana dan hanya terbatas pada visualisasi dalam dimensi dua. Maka dari itu, tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah membuat model pertumbuhan batang tanaman dalam dimensi tiga menggunakan *L-systems* dan mensimulasikannya.

Pemodelan pertumbuhan batang tanaman pada penelitian ini dilakukan dalam empat tahap. Pertama, persiapan yaitu menentukan objek yang akan dijadikan bahan penelitian. Kedua, membuat model dari objek tanaman secara manual dan membangun hasil penafsiran grafis beberapa generasi dari model. Ketiga, memodelkan penafsiran grafis secara matematis melalui titik-titiknya serta menentukan besar sudut-sudutnya. Keempat, membuat program untuk visualisasi dan simulasi dengan bantuan *software Microsoft Visual Studio 2003 (Visual C++)*.

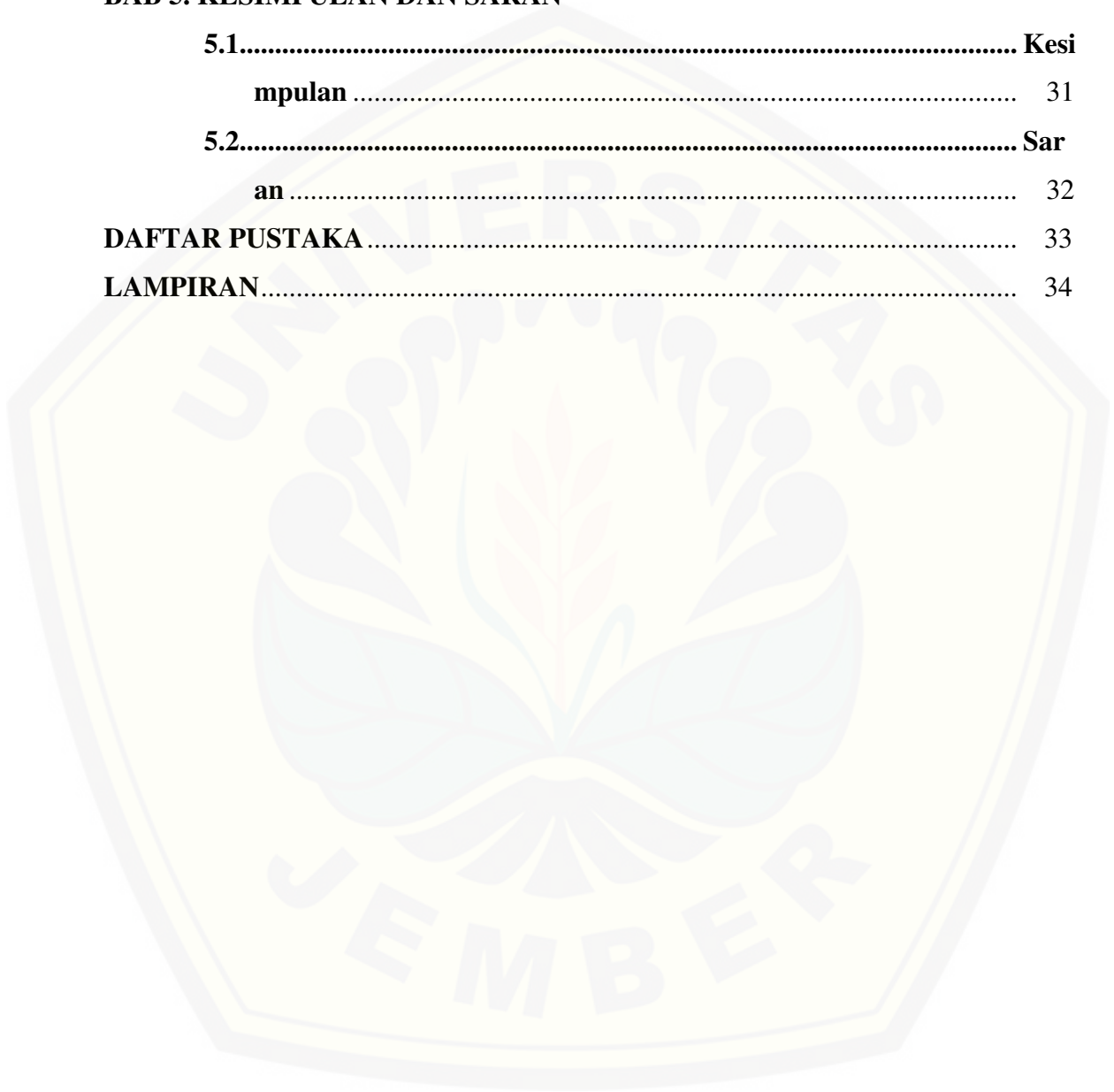
Hasil penelitian ini berupa beberapa model pertumbuhan batang tanaman dalam dimensi tiga dengan masing-masing model mempresentasikan jenis-jenis tanaman yang berbeda. Hasil program dapat memvisualisasikan model pertumbuhan batang tanaman dari sudut pandang yang berbeda.

DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b>	
<b>1.1</b> .....	<b>Lat</b>
<b>ar Belakang</b> .....	1
<b>1.2</b> .....	<b>Ru</b>
<b>musan Masalah</b> .....	2
<b>1.3</b> .....	<b>Tuj</b>
<b>uan</b> .....	2
<b>1.4</b> .....	<b>Ma</b>
<b>nfaat</b> .....	2
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
<b>2.1</b> .....	<b>Sist</b>
<b>em Koordinat Dimensi Tiga</b> .....	3
2.1.1 Sistem Koordinat Cartesius .....	3

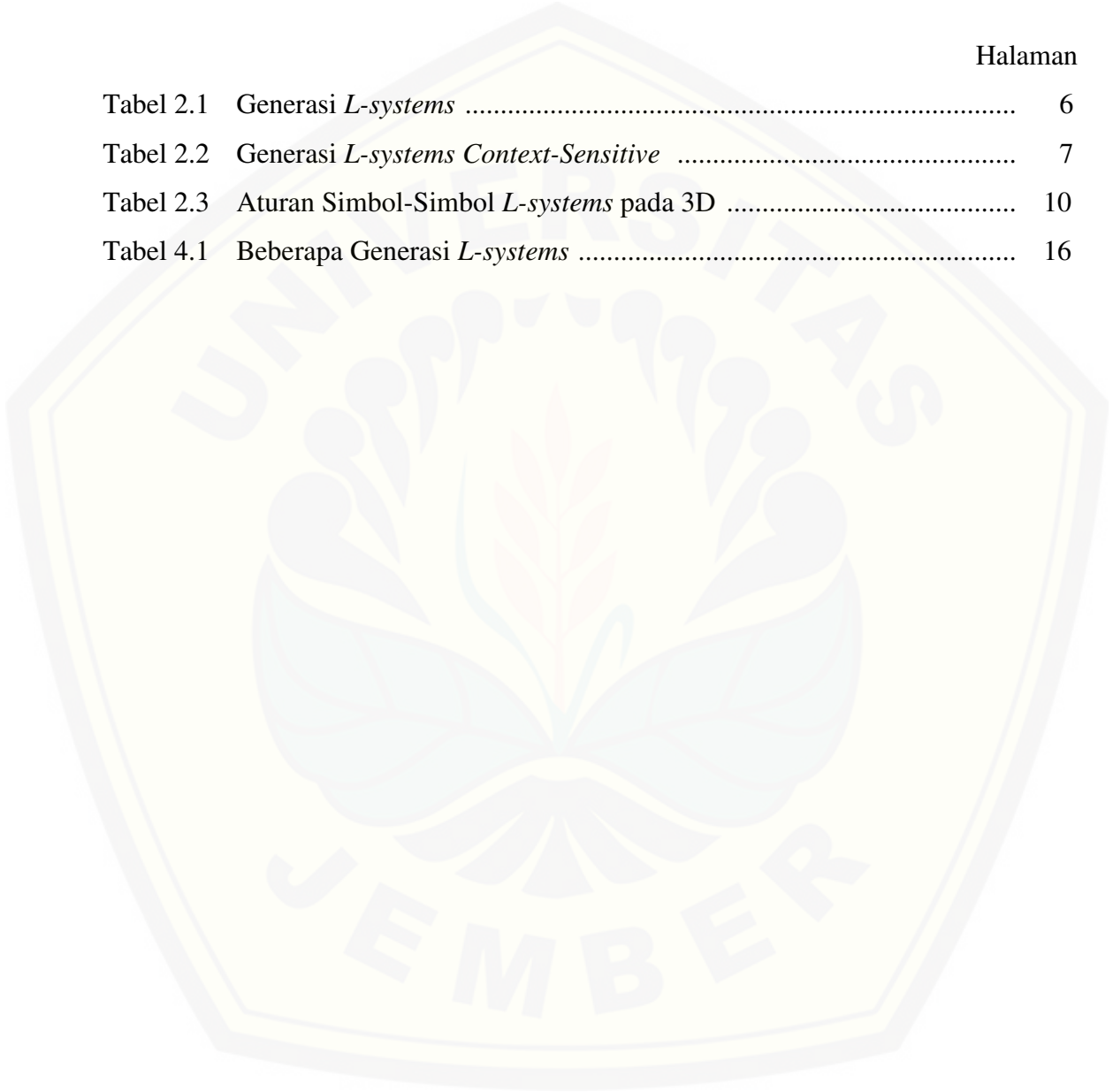
2.1.2	Sistem Koordinat Bola .....	4
2.1.3	Hubungan Koordinat Bola dengan Koordinat Cartesius .....	4
<b>2.2.</b>	<b>..... L-</b>	
	<b>systems Dimensi Tiga .....</b>	<b>5</b>
2.2.1	Definisi Dasar .....	5
2.2.2	Jenis-Jenis <i>L-systems</i> .....	6
2.2.3	Penafsiran Grafis pada <i>L-systems</i> .....	8
2.2.4	Percabangan pada <i>L-systems</i> .....	10
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b>		
<b>3.1.</b>	<b>..... Dat</b>	
	<b>a Penelitian .....</b>	<b>12</b>
<b>3.2.</b>	<b>..... Tah</b>	
	<b>apan/Langkah-Langkah Penelitian .....</b>	<b>12</b>
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
<b>4.1.</b>	<b>..... Hasi</b>	
	<b>l Penelitian .....</b>	<b>15</b>
4.1.1	Persiapan .....	15
4.1.2	Membangun Penafsiran Grafis Secara Manual .....	16
4.1.3	Memodelkan Penafsiran Grafis Secara Matematis .....	17
	a. ....	Pena
	maan Titik .....	17
	b. ....	Peru
	musan Titik .....	17
	c. ....	Peru
	musan Sudut .....	18
4.1.4	Pembuatan Program .....	22
<b>4.2.</b>	<b>..... Hasi</b>	
	<b>l Pemodelan Tanaman Lain di Alam .....</b>	<b>23</b>

4.3.....	<b>Pem</b>
<b>bahasan</b> .....	29
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1.....	<b>Kesi</b>
<b>mpulan</b> .....	31
5.2.....	<b>Sar</b>
<b>an</b> .....	32
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	33
<b>LAMPIRAN</b> .....	34



**DAFTAR TABEL**

	Halaman
Tabel 2.1 Generasi <i>L-systems</i> .....	6
Tabel 2.2 Generasi <i>L-systems Context-Sensitive</i> .....	7
Tabel 2.3 Aturan Simbol-Simbol <i>L-systems</i> pada 3D .....	10
Tabel 4.1 Beberapa Generasi <i>L-systems</i> .....	16





DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Sistem Koordinat Cartesius 3D .....	3
Gambar 2.2 Sistem Koordinat Bola 3D.....	4
Gambar 2.3 Hubungan Koordinat Cartesius dengan Koordinat Bola.....	5
Gambar 2.4 Penafsiran Grafis dari L-systems 2D.....	8
Gambar 2.5 Perintah Simbol pada L-systems 3D .....	9
Gambar 2.6 Percabangan pada <i>L-systems</i> 3D .....	11
Gambar 3.1 .....	Bata
ng tanaman kamboja yang akan dimodelkan .....	12
Gambar 3.2.....	Bag
an Penelitian .....	13
Gambar 4.1 Model Pohon Kamboja Dan Pembesarannya .....	16
Gambar 4.2 Penafsiran Grafis Secara Manual .....	17
Gambar 4.3 Penamaan Titik .....	17
Gambar 4.4 Hubungan Koordinat Cartesius dengan Koordinat Bola.....	19
Gambar 4.5 Pengukuran Sudut Pada Pohon Kamboja Dari Dua Sisi .....	20
Gambar 4.6 Pohon Kamboja Dan Model Batang Pohon Kamboja.....	23
Gambar 4.7 Pohon Trembesi Dan Pembesarannya.....	24
Gambar 4.8 Pohon Trembesi Dan Model Batang Pohon Trembesi.....	26
Gambar 4.9 Pohon Kamboja Dan Model Batang Pohon Kamboja.....	27
Gambar 4.10 Pohon Sawo Hias Dan Model Batang Pohon Sawo Hias.....	28

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
Lampiran A. KOMPONEN <i>L-SYSTEMS</i> DAN <i>LISTING</i> PROGRAM UNTUK POHON KAMBOJA.....	34
Lampiran B. KOMPONEN <i>L-SYSTEMS</i> DAN <i>LISTING</i> PROGRAM UNTUK POHON TREMBESI.....	46
Lampiran C. KOMPONEN <i>L-SYSTEMS</i> DAN <i>LISTING</i> PROGRAM UNTUK POHON SAWO HIAS.....	53

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Peranan ilmu matematika semakin luas berkembang seiring dengan berkembangnya teknologi komputer yang dapat diaplikasikan dalam bidang pertanian sebagai sarana visualisasi dan simulasi dalam mempelajari pola pertumbuhan tanaman. Hal ini didukung dengan perkembangan ilmu Biologi dan ilmu Matematika yang melahirkan teori *Lindenmayer Systems* disingkat *L-systems*.

*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).

*L-systems* sendiri sudah banyak diterapkan oleh para peneliti dalam memodelkan suatu objek tanaman. Salah satunya adalah pemodelan pertumbuhan batang tanaman menggunakan *L-systems* (Muzammil, 2006). Model pertumbuhan batang tanaman yang dihasilkan masih dalam dimensi dua serta tanpa mempertimbangkan faktor-faktor luarnya. Sedangkan penelitian tentang penerapan *sensitive L-systems* pada pemodelan pertumbuhan batang tanaman (Amir, 2009) mengikutsertakan faktor luar yang mempengaruhi pertumbuhan yakni pemangkasan

dahan. Keberhasilan penelitian yang dilakukan oleh Muzammil dan Amir 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. Di sisi lain, pertumbuhan batang tanaman kenyataannya dalam lingkup dimensi tiga. Maka dari itu, pada tugas akhir ini akan diterapkan *L-systems* dan konsep pengembangannya untuk memodelkan dan memvisualisasikan serta mensimulasikan pertumbuhan batang tanaman dalam dimensi tiga.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah bagaimana memodelkan pertumbuhan batang tanaman menggunakan *L-systems*, memvisualisasikan, dan mensimulasikan model tersebut dalam dimensi tiga. Pemodelan ini hanya menggunakan segmen garis dan model yang dibuat ini hanya untuk pertumbuhan batang tanpa mengikutsertakan ukuran besar batang dan pertumbuhan daunnya.

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah membuat model batang tanaman dalam dimensi tiga dengan *L-systems*, kemudian membuat program dari model tersebut untuk memvisualisasikan dan mensimulasikan model pertumbuhan batang tanaman dalam dimensi tiga.

## 1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk mempermudah visualisasi dan simulasi pertumbuhan batang tanaman dalam dimensi tiga dengan *L-systems*. Pemodelan ini menggunakan *software* komputer sehingga dapat berguna dalam ilmu biologi dan ilmu pertanian khususnya dalam memodelkan pertumbuhan tanaman.

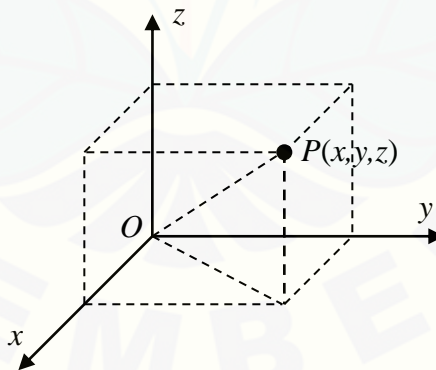
## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sistem Koordinat Dimensi Tiga

Sistem koordinat adalah suatu cara atau metode untuk menentukan letak suatu titik. Ada beberapa macam sistem koordinat diantaranya: Sistem Koordinat Cartesius, Sistem Koordinat Kutub, Sistem Koordinat Tabung, dan Sistem Koordinat Bola. Pada bagian ini hanya akan dibicarakan Sistem Koordinat Cartesius dan Sistem Koordinat Bola dalam dimensi tiga.

#### 2.1.1 Sistem Koordinat Cartesius

Sistem Koordinat Cartesius dimensi tiga (3D), pada prinsipnya sama dengan sistem koordinat kartesian dimensi dua (2D), hanya menambahkan satu sumbu lagi yaitu sumbu  $z$ , yang ketiganya saling tegak lurus, seperti yang terlihat pada gambar 2.1 di bawah ini :

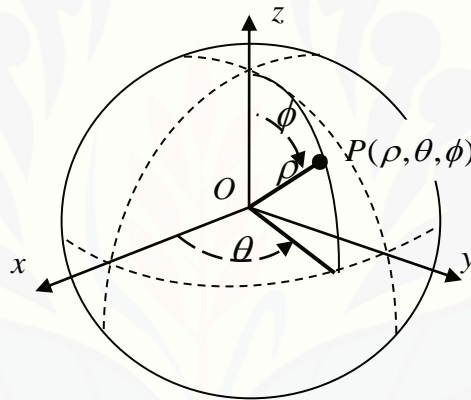


Gambar 2.1 Sistem Koordinat Cartesius 3D

Pada Gambar 2.1, Titik O merupakan titik pusat dari ketiga sumbu koordinat  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ . Sedangkan titik  $P$  didefinisikan dengan  $P(x, y, z)$ ,  $OP$  adalah jarak titik  $P$  ke pusat  $O$  (Handoko, 2004).

### 2.1.2 Sistem Koordinat Bola

Handoko (2004) menjelaskan posisi suatu titik dalam ruang, selain didefinisikan dengan sistem koordinat cartesius, juga dapat didefinisikan dalam sistem koordinat bola dalam dimensi tiga (prinsip dasarnya sama dengan koordinat polar dalam 2D, yaitu sudut dan jarak). Pada Gambar 2.2, koordinat dari titik  $P$  didefinisikan dengan nilai  $P(\rho, \theta, \phi)$ . Jarak titik  $P$  ke pusat  $O$  sama dengan  $\rho$ . Jika titik  $P$  diproyeksikan ke sumbu  $z$ , maka sudut antara garis  $OP$  dengan sumbu  $z$  adalah  $(\phi)$ . Selanjutnya sudut antara proyeksi  $OP$  pada bidang  $xy$  dengan sumbu  $x$  adalah  $(\theta)$ .



Gambar 2.2 Sistem Koordinat Bola 3D

### 2.1.3 Hubungan Koordinat Bola Dengan Koordinat Cartesius

Koordinat Cartesius 3 dimensi  $(x, y, z)$  pada Gambar 2.1 dapat diubah menjadi Koordinat Bola 3 dimensi  $(\rho, \theta, \phi)$  seperti pada Gambar 2.3. Titik  $P$  masih tetap menyatakan titik yang sama dengan titik  $P$  pada Gambar 2.1. Maka hubungan antara Koordinat Cartesius dengan Koordinat Bola dinyatakan dalam transformasi koordinat berikut :

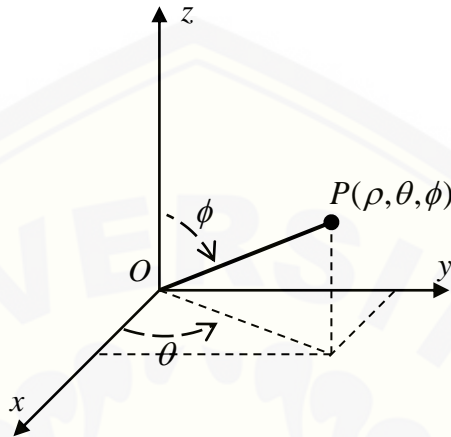
$$x = \rho \cos \theta \sin \phi \quad (2.1)$$

$$y = \rho \sin \theta \sin \phi \quad (2.2)$$

$$z = \rho \cos \phi \quad (2.3)$$



dimana, disyaratkan untuk besar nilai dimensi sudut  $\rho \geq 0$ ,  $0 \leq \theta < 2\pi$ , dan  $0 \leq \phi < \pi$ .



Gambar 2.3 Hubungan Koordinat Cartesius dengan Koordinat Bola

## 2.2 *L-Systems* Dimensi Tiga

### 2.2.1 Definisi Dasar

*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).

Menurut Wright (1996) beberapa komponen utama dari *L-systems* diantaranya huruf, aksioma, dan produksi. Huruf adalah sebuah himpunan berhingga simbol-simbol formal  $V$ , misalnya dalam bentuk  $a, b, c$ , dan seterusnya, atau mungkin beberapa karakter huruf lainnya. Komponen kedua adalah aksioma (juga disebut *initiator*) merupakan suatu *string*  $w$  simbol-simbol pada  $V$ . Himpunan *string* dari  $V$  dinotasikan  $V^*$ . Jika diberikan  $V = \{ a, b, c \}$ , maka beberapa contoh *string* yang dapat dibentuk yaitu:  $a, b, cb, aabca, caab, bbc$ , dan seterusnya. Panjang  $|w|$  dari suatu

*string*  $w$  adalah jumlah simbol dalam *string*. Komponen terakhir yaitu produksi (aturan penulisan kembali) adalah suatu pemetaan simbol  $a \in V$  ke *string*  $w \in V^*$ . Ini diberi label dan ditulis dengan notasi:  $p: a \rightarrow w$ . Jika suatu simbol  $a \in V$  tidak memiliki aturan produksi, maka dapat diasumsikan bahwa simbol tersebut dipetakan pada dirinya sendiri sehingga  $a$  menjadi konstanta *L-systems*.

Misal diberikakan 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*

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

### 2.2.2 Jenis-jenis *L-systems*

Dilihat dari simbol untuk aturan produksinya, *L-systems* dibagi menjadi dua yaitu : *context-free* (bebas kontek) dan *context-sensitive* (sensitif kontek). *L-systems*



merupakan suatu *context-free* jika aturan produksinya hanya memperhatikan satu simbol individu, dan bukan dari tetangga-tetangganya. Sedangkan *L-systems* merupakan suatu *context-sensitive* jika aturan produksinya berlaku pada suatu simbol tertentu hanya jika simbol tersebut memiliki tetangga. Contoh dari *L-systems* dengan *context-free* dapat dilihat pada tabel 2.1.

Berikut ini adalah contoh dari *L-systems* dengan *context-sensitive*. Misal diberikan aksioma dan aturan produksi dengan  $V = \{a,b,c\}$ ,  $w = bbb$ ,  $p_1 : b(>a) \rightarrow c$ ,  $p_2 : b(>b) \rightarrow ba$ ,  $p_3 : c \rightarrow \emptyset$ . Jika  $b$  memiliki tetangga  $a$  di sisi kanannya ( $b(>a)$ ), maka  $b$  diproduksi menjadi  $c$ . Hal yang sama dapat diartikan pada  $b(>b)$ , yaitu jika  $b$  memiliki tetangga  $b$  di sisi kanannya, maka  $b$  diproduksi menjadi  $ba$ . Hasil produksi dari  $c$  adalah himpunan kosong ( $\emptyset$ ). Sehingga hasil produksi beberapa generasi selanjutnya dari sistem dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2.2 Generasi *L-systems context-sensitive*

$g_0$	$bbb$
$g_1$	$babab$
$g_2$	$cacab$
$g_3$	$aab$

Dilihat dari jumlah aturan produksi untuk satu simbol, maka *L-systems* juga dibagi menjadi dua bagian yaitu *L-systems deterministic* dan *L-systems stochastic*. *L-systems deterministic* adalah *L-systems* yang hanya ada satu aturan produksi untuk satu simbol dan barisan generasi  $g_n$  didefinisikan sebagai elemen  $V^*$ . Sedangkan *L-systems stochastic* adalah *L-systems* yang menggunakan lebih dari satu aturan produksi untuk satu simbol tertentu, misalnya  $a \rightarrow w_1$  dan  $a \rightarrow w_2$ . Pada *L-systems stochastic* diperlukan suatu kriteria untuk menentukan kapan suatu aturan produksi ditetapkan. Dari jenis-jenis *L-systems* tersebut, kemudian dikenal *L-systems context-*

*free deterministic* yang disingkat dengan *DOL-systems* (Wright, 1996). Contoh dari *DOL-systems* juga dapat dilihat pada Tabel 2.1.

### 2.2.3 Penafsiran Grafis pada *L-systems*

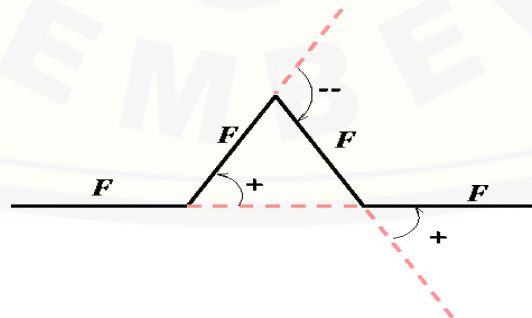
Pada *L-systems* dimensi dua terdapat simbol-simbol yang dapat ditafsirkan secara grafis. Jika diasumsikan suatu satuan panjang  $h$  dan perputaran sudut  $\delta$ , maka perintah dari simbol-simbol pada *L-systems* 2D adalah sebagai berikut:

- $F$  : menggambar ke depan satu satuan sepanjang  $h$  ;
- $G$  : bergerak ke depan satu satuan sepanjang  $h$  tanpa harus menggambar ;
- $+$  : berputar berlawanan arah jarum jam dengan sudut  $\delta$  ;
- $-$  : berputar searah jarum jam dengan sudut  $\delta$  ; dan
- $|$  : berputar 180 derajat atau berbalik arah

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

$$F +F - F+F$$

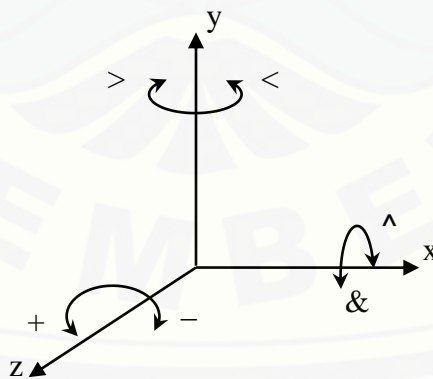
Jika diasumsikan bahwa satu satuan sudut  $\delta$  adalah  $\pi/3$  radian, maka penafsiran grafis dari generasi pertama dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2.4 Penafsiran Grafis dari *L-systems* 2D

Penafsiran grafis ini mula-mula mengerjakan perintah  $F$  yaitu menggambar garis ke depan satu satuan sepanjang  $h$ . Perintah simbol  $+$  untuk memutar arahnya berlawanan arah jarum jam sebesar  $\delta$ . Perintah berikutnya menggambar  $F$  kembali sesuai arah yang telah ditentukan sebelumnya. Pada perintah simbol  $-$  untuk memutar kembali arahnya searah jarum jam sebanyak dua kali sebesar  $\delta$ . Kemudian menggambar  $F$  kembali sesuai dengan arah yang baru. Perintah simbol  $+$  untuk memutar kembali arahnya berlawanan arah jarum jam sebesar  $\delta$ . Perintah terakhir menggambar  $F$  kembali sesuai dengan arah yang baru. Hal yang sama dapat dilakukan untuk menafsirkan grafis dari generasi selanjutnya.

Lain halnya dengan penafsiran grafis  $L$ -systems dimensi tiga. Pada  $L$ -systems 3D dapat dicapai dengan mengganti properti sudut yang digunakan dalam  $L$ -systems 2D dengan satu set rotasi untuk setiap sumbu yang dikenal dengan *Turtle Geometry* (McManus, 2003). Pada  $L$ -systems dimensi tiga terdapat 7 perintah simbol yang dapat ditafsirkan secara grafis. Jika diasumsikan suatu satuan panjang  $h$ , sudut rotasi  $\theta$ , sudut kemiringan  $\phi$  dan arah ke atas ditetapkan sumbu  $y$ , maka perintah-perintah dari simbol-simbol pada  $L$ -systems dimensi tiga dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2.5 Perintah Simbol pada  $L$ -systems 3D

Untuk penjelasan dari perintah simbol-simbol Gambar 2.5 dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.3 Aturan Simbol-Simbol *L-systems* pada 3D

Simbol	Keterangan
$F$	menggambar ke depan satu satuan sepanjang $h$
$G$	bergerak ke depan satu satuan sepanjang $h$ tanpa harus menggambar
$+$	berputar ke kanan dengan sudut $\phi$ terhadap sumbu $z$ ( $-\phi$ )
$-$	berputar ke kiri dengan sudut $\phi$ terhadap sumbu $z$ ( $+\phi$ )
$\&$	berputar ke kanan dengan sudut $\phi$ terhadap sumbu $x$ ( $-\phi$ )
$\wedge$	berputar ke kiri dengan sudut $\phi$ terhadap sumbu $x$ ( $+\phi$ )
$>$	berputar ke kanan dengan sudut $\theta$ terhadap sumbu $y$ ( $+\theta$ )
$<$	berputar ke kiri dengan sudut $\theta$ terhadap sumbu $y$ ( $-\theta$ )
$ $	berputar 180 derajat atau berbalik arah

#### 2.2.4 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:

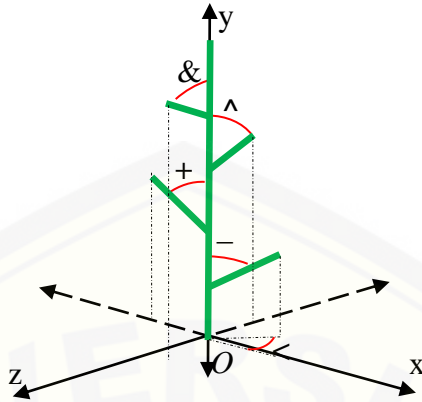
[ : menyimpan posisi saat ini dan bergerak sesuai perintah selanjutnya ;

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

Contoh *string* percabangan, jika diberikan aksioma dan aturan produksi dengan  $V = \{ F, +, -, \wedge, \&, <, [, ] \}$ ,  $w = F$ , dan  $p : F \rightarrow F[-<F]F[+ F]F[\wedge F]F[\&F]F$  maka dimulai dengan aksioma  $F$  akan diperoleh produksi generasi pertama  $g_1$  dengan *string*:

$$F[-<F]F[+ F]F[\wedge F]F[\&F]F$$

Jika diasumsikan bahwa satu satuan sudut rotasi  $\theta$  dan sudut kemiringan cabang  $\phi$  adalah  $\pi / 3$  radian, maka penafsiran grafis generasi pertama dapat dilihat pada gambar berikut ini:

Gambar 2.6 Percabangan pada *L-systems* 3D

Penafsiran grafis percabangan pada *L-systems* ini mula-mula menggambar perintah  $F$  sepanjang  $h$  yang diawali dari titik pusat  $O(0,0,0)$ . Perintah simbol  $[$  digunakan untuk menyimpan posisi saat ini. Perintah simbol  $-$  untuk berputar ke kiri dengan sudut  $\phi$  terhadap sumbu  $z$ , kemudian perintah simbol  $<$  digunakan untuk berputar ke kiri sebesar  $\theta$  terhadap sumbu  $y$ . Selanjutnya menggambar  $F$  kembali sesuai arah yang telah ditentukan sebelumnya. Pada perintah simbol  $]$  digunakan untuk kembali ke posisi yang disimpan pada simbol  $[$ . Kemudian menggambar  $F$  kembali sepanjang  $h$  dari posisi sebelum perintah simbol  $[$ . Pada perintah simbol  $[$  yang berikutnya digunakan untuk menyimpan posisi saat ini sebelum perintah selanjutnya. Kemudian perintah simbol  $+$  digunakan untuk berputar ke kanan dengan sudut  $\phi$ , lalu menggambar  $F$  kembali sesuai dengan arah yang telah ditentukan. Pada perintah simbol  $]$  digunakan untuk kembali ke posisi sebelum perintah  $[$ . Hal serupa dapat dilakukan sesuai pada perintah simbol  $^$  dan  $\&$  dengan menyesuaikan arah pergerakan aturan simbol yang sudah dijelaskan pada aturan *turtle geometry* serta penafsiran grafis percabangannya, kemudian diikuti dengan menggambar perintah  $F$  kembali sesuai dengan arah yang telah ditentukan pada masing-masing simbol dan seterusnya hingga pada perintah simbol yang terakhir. Penafsiran grafis percabangan pada *L-systems* juga dapat dilakukan untuk generasi yang lebih tinggi.



## BAB 3. METODE PENELITIAN

Pada bagian ini akan dijelaskan secara sistematis mengenai metode yang akan dilakukan dalam memodelkan pertumbuhan batang tanaman dalam dimensi tiga menggunakan *L-systems*, meliputi data penelitian serta tahapan/langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan.

### 3.1 Data Penelitian

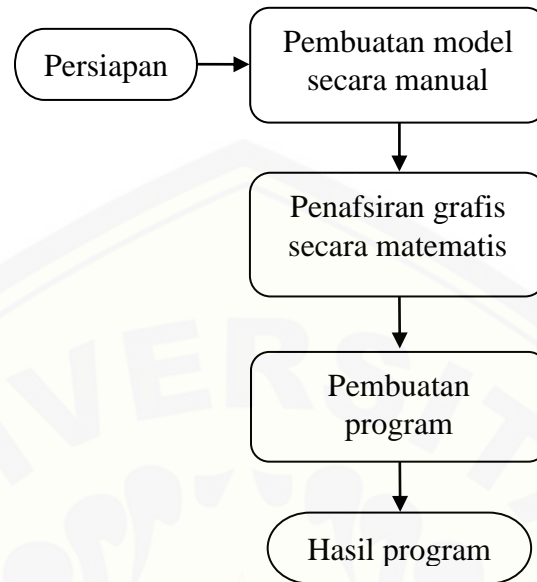
Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data yang berupa foto beberapa tanaman yang diperoleh dari hasil foto menggunakan kamera digital diantaranya foto tanaman kamboja, sawo hias dan tanaman trembesi. Tanaman tersebut terdiri atas beragam ukuran, baik yang berukuran besar ataupun tanaman yang berukuran sedang. Berikut ini salah satu gambar tanaman kamboja yang akan dimodelkan sesuai dengan bentuk batang tanaman aslinya:



Gambar 3.1 Batang tanaman kamboja yang akan dimodelkan

### 3.2 Tahapan/Langkah-Langkah Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan untuk memodelkan pertumbuhan batang tanaman dijelaskan oleh diagram alir pada Gambar 3.2 di bawah ini:



Gambar 3.2 Bagan Penelitian

Adapun penjelasan masing-masing tahapan/langkah-langkah penelitian sebagai berikut:

#### 1. Persiapan

Persiapan yang dilakukan adalah menentukan objek yang akan dijadikan bahan penelitian dalam memodelkan pertumbuhan batang tanaman dalam dimensi tiga dengan mengambil foto atau gambar dari batang tanaman yang akan dimodelkan.

#### 2. Pembuatan model secara manual

Pembuatan model dilakukan secara manual dengan menentukan komponen-komponen *L-systems* seperti huruf, aksioma dan aturan produksi dari model batang tanaman serta membangun hasil penafsiran grafis beberapa generasi dari model tersebut secara manual.

#### 3. Penafsiran grafis secara matematis

Setelah model diperoleh, langkah selanjutnya adalah memodelkan penafsiran grafis tersebut secara matematis serta menentukan titik-titik dan sudut-sudut dari model yang dibuat dengan menggunakan teori *L-systems*, *Turtle Geometry* dan teori-teori lain yang mendukung.

#### 4. Pembuatan program

Pembuatan program untuk simulasi berdasarkan data yang dimiliki menggunakan algoritma penafsiran grafis pada *L-systems*. Adapun langkah-langkah dari algoritma penafsiran grafis pada *L-systems* adalah sebagai berikut:

- a. menentukan nilai generasi ( $k$ ), sudut rotasi ( $\theta$ ) dan sudut kemiringan cabang ( $\phi$ ) serta panjang segmen garis ( $h$ ) yang diinginkan.
- b. menentukan nilai awal  $X_{awal}$ ,  $Y_{awal}$ ,  $Z_{awal}$  yang merupakan titik awal  $F_{0,0}$ .
- c. menentukan sudut awal ( $\theta_{0,0} = \theta_{0,1}$ ) dan ( $\phi_{0,0} = \phi_{0,1}$ ) kemudian masukkan nilai dari sudut awal ( $\theta_{0,1}$ ) dan ( $\phi_{0,1}$ ) untuk mendapatkan titik ( $F_{0,1}$ ).
- d. mengiterasikan  $i$  untuk  $i = 1, 2, 3, \dots, k$ ; sehingga mendapatkan nilai sudut selanjutnya ( $\theta_i$  dan  $\phi_i$ ) dan diteruskan untuk mendapatkan nilai titik selanjutnya ( $F_i$ ).
- e. memasukkan  $F_{0,1}$  pada aturan produksi ( $P$ ), dan hasilnya disebut  $P_1$ , kemudian masukkan  $F_i$  pada aturan produksi  $P_{i-1}$  untuk mendapatkan  $P_i$ ; dan
- f. menggambarkan garis per-generasi ( $P_k$ ).

#### 5. Hasil program

Setelah hasil program diperoleh, selanjutnya hasil tersebut divisualisasikan dan disimulasikan dalam dimensi tiga dengan bantuan *software Microsoft Visual Studio 2003 (Visual C++)*.