



**PENERAPAN *STOCHASTIC L-SYSTEM* PADA PEMODELAN  
PERTUMBUHAN BATANG TANAMAN**

**ARTIKEL ILMIAH**

oleh

**Chandra Hadi Iswanto  
NIM 061810101083**

**JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2011**



**PENERAPAN *STOCHASTIC L-SYSTEM* PADA PEMODELAN  
PERTUMBUHAN BATANG TANAMAN**

**ARTIKEL ILMIAH**

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

oleh

**Chandra Hadi Iswanto**  
**NIM 061810101083**

**JURUSAN MATEMATIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS JEMBER**  
**2011**

## **PENGESAHAN**

Artikel ini diterima oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Jember

### Dosen Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Drs. Moh. Hasan, M.Sc., Ph.D.  
NIP 196404041988021001

Drs. Rusli Hidayat, M.Sc.  
NIP 196610121993031001

**PENERAPAN STOCHASTIC L-SYSTEMS PADA PEMODELAN  
PERTUMBUHAN BATANG TANAMAN**

***THE APPLICATION OF STOCHASTIC L-SYSTEMS IN MODELLING  
THE STEM GROWTH OF PLANTS***

Chandra Hadi Iswanto<sup>1</sup>, Mohamad Hasan<sup>2</sup>, Rusli Hidayat<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Mahasiswa Jurusan Matematika FMIPA Universitas Jember*

<sup>2</sup>*Staf Pengajar Jurusan Matematika FMIPA Universitas Jember*

**ABSTRAK**

Lindenmayer systems (*L-systems*) adalah bentuk formal dari penulisan kembali yang dilakukan secara berulang-ulang, digunakan untuk menggambar fraktal dan untuk memodelkan dan mensimulasikan tanaman. Skripsi ini memaparkan parametrik *stochastic L-systems* yang dimanfaatkan untuk memprediksi beberapa kemungkinan model tanaman yang terbentuk dari foto objek asli, selain itu skripsi ini berfokus pada simulasi dan visualisasi gambar tiga dimensi batang tanaman dengan mengikutsertakan ketebalan batang. Sebelum melakukan hal tersebut, langkah awal yang dilakukan yaitu membangun model tanaman seperti penentuan sudut, pemilihan huruf, dan pembuatan aturan produksi. Hasil dari skripsi ini berupa visualisasi pertumbuhan batang tanaman.

**Kata kunci** : *L-Systems*, dimensi tiga

**ABSTRACT**

*Lindenmayer systems (L-systems) is a formal form of rewriting repeatedly, in which it is used for describing fractals, modeling and simulating the plants. This thesis presented parametric Stochastic L-systems that used to predict some probability of plants modelled from the original images, besides that this thesis focused on visualize and simulate 3 dimensional images of plant include of the stem thickness. The first steps is make plants model such as determining the angle, next determining the letters, and making the product rule. The result of this thesis is in the form of the visualisation of stem growth.*

**Key words**: *L-Systems, three-dimensional*

## PENDAHULUAN

Pemanfaatan ilmu matematika untuk menyelesaikan suatu permasalahan dalam kehidupan sehari-hari berkembang begitu pesat. Ilmu komputasi merupakan ilmu yang digunakan untuk menerapkan teori matematika ke dalam aplikasi komputer. Salah satu penerapannya yaitu pemodelan morfologi tanaman dengan menggunakan *Lindenmayer systems* atau disingkat *L-systems*.

Sudah banyak peneliti yang telah menggunakan teori *L-systems* ini baik dalam dimensi dua maupun dalam dimensi tiga untuk memodelkan suatu objek tanaman. Muzammil (2006) memodelkan pertumbuhan batang tanaman menggunakan *DOL-systems* atau jenis *L-systems* yang tidak melihat faktor ketetanggaan. Model pertumbuhan batang tanaman yang didapat hanya divisualisasikan dalam bentuk dimensi dua dan bentuk pertumbuhan batangnya hanya berupa segmen garis. Sedangkan Amir (2009) memodelkan pertumbuhan batang tanaman menggunakan *context sensitive L-systems*. Bentuk pertumbuhan dan visualisasi pertumbuhan batang tanamannya hanya berupa segmen garis dalam dimensi dua.

Penelitian yang dilakukan oleh Santoso merupakan pengembangan dari penelitian yang dilakukan oleh Muzammil (2006). Pengembangan yang dilakukan oleh Santoso terletak pada visualisasi model tanamannya yang dimodelkan dalam dimensi tiga. Sedangkan Swandana (2010) melakukan penelitian untuk mendapatkan model tanaman tembakau yang mendekati kenyataan. Sedangkan jenis *L-systems* yang digunakan juga sama dengan peneliti-peneliti sebelumnya yaitu menggunakan *deterministic L-systems*.

*Deterministic L-systems* memiliki ciri khusus yaitu semua struktur dan perkembangan tanaman yang dihasilkan adalah sama atau identik (Prusinkiewicz 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.

Metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah ini yaitu *stochastic L-systems*.

Permasalahan yang akan dibahas adalah bagaimana memodelkan pertumbuhan batang tanaman menggunakan *stochastic L-systems* dalam dimensi tiga. Untuk pertumbuhan batang tanamannya, pemodelan ini mengikutsertakan ukuran ketebalan batang.

Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat model pertumbuhan batang tanaman dimensi tiga menggunakan *stochastic L-systems* dan memvisualisasikan simulasi pertumbuhannya.

Manfaat yang diperoleh dari penulisan skripsi ini adalah mendapatkan visualisasi pertumbuhan batang tanaman yang mendekati realita dengan menggunakan metode *stochastic L-systems* dalam dimensi tiga. Sehingga nantinya dapat digunakan untuk memprediksi beberapa model pertumbuhan tanaman dengan komponen *L-system* yang sama. Selain itu dengan memanfaatkan *software* dalam visualisasinya diharapkan dapat mempermudah dalam melakukan simulasi pertumbuhan batang tanaman.

## TINJAUAN PUSTAKA

### **Pengertian *L-Systems***

*Lindenmayer 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.

Dalam *deterministic L-systems* terdapat beberapa komponen utama yaitu huruf, aksioma, produksi. Berikut ini penjelasan dari komponen-komponen tersebut.

a. Huruf

Huruf adalah himpunan hingga  $V$  dari simbol-simbol formal, misalnya dalam bentuk  $a, b, c$ , dan seterusnya, atau mungkin beberapa huruf (*character*) lainnya.

b. Aksioma

Aksioma (*inisiator*) adalah suatu *string*  $w$  dari simbol-simbol pada  $V$ . Himpunan *string* dari  $V$  dinotasikan  $V^*$ . Jika diberikan  $V = \{a, b, c\}$ , maka beberapa contoh *string* yang dapat dibuat yaitu :  $a, b, ac, ba, acb, baac$ , dan seterusnya. Panjang  $|w|$  dari suatu *string*  $w$  adalah jumlah simbol dalam string.

c. Produksi

Produksi (aturan penulisan kembali) adalah suatu pemetaan simbol  $a \in V$  ke *string*  $w \in V^*$ . 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* (Wright, 1996).

### Jenis-jenis *L-Systems*

Dilihat dari jumlah aturan produksi untuk satu simbol, *L-systems* dibagi menjadi dua: *deterministic* dan *stochastic*. *Deterministic L-systems* adalah jenis *L-systems* yang hanya ada satu aturan produksi untuk satu simbol. Sedangkan *stochastic L-systems* adalah jenis *L-systems* yang menggunakan lebih dari satu aturan produksi untuk satu simbol tertentu, misalnya  $a \rightarrow w_1$  dan  $a \rightarrow w_2$ . Pada *stochastic L-Systems* diperlukan suatu kriteria untuk menentukan kapan suatu aturan produksi diterapkan. Dari jenis-jenis *L-Systems* tersebut, kemudian dikenal *L-Systems context-free deterministic* yang disingkat *DOL-Systems* (Wright, 1996).

Dilihat dari penggunaan simbol untuk aturan produksinya, *L-Systems* dibagi menjadi dua: *context-free* (bebas konteks) dan *context-sensitive* (sensitif konteks). *Context-free* adalah jenis *L-systems* yang aturan produksinya hanya memperhatikan

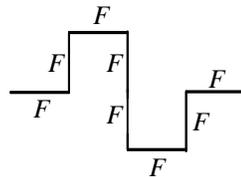
satu simbol individu, dan bukan dari tetangga-tetangganya. Sedangkan *context-sensitive* adalah jenis *L-systems* yang aturan produksinya berlaku pada suatu simbol tertentu hanya jika simbol tersebut memiliki tetangga.

### Penafsiran Grafis pada *L-Systems*

Setelah menyusun barisan generasi yang dihasilkan dari aksioma dan aturan produksi yang diberikan, langkah selanjutnya yang perlu dilakukan yaitu menafsirkan secara grafis. Adapun simbol-simbol yang umum digunakan, yaitu :

- $F$  : menggambar ke depan satu satuan sepanjang  $d$ ;
- $f$  : bergerak ke depan satu satuan  $d$  tanpa menggambar garis;
- $+$  : berputar berlawanan arah jarum jam dengan sudut  $\delta$ ;
- $-$  : berputar searah jarum jam dengan sudut  $\delta$ ;
- $|$  : berputar  $180^\circ$ .

Misalkan diberikan aksioma dan aturan produksi dengan  $V = \{F, +, -\}$ ,  $w = F+F+F+F$ , dan  $p : F \rightarrow F+F-F-FF+F+F-F$ . Penafsiran grafis dari *string* aturan produksi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini dengan asumsi sudut  $\delta$  adalah  $\pi/2$  radian.



Gambar 1 Penafsiran grafis dari *L-systems*

### Percabangan pada *L-Systems*

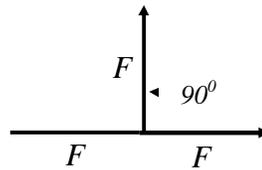
Lindenmayer memperkenalkan suatu notasi untuk melambangkan percabangan menggunakan *string* dengan simbol “[” dan “]”. Perintah-perintah dari simbol ini adalah sebagai berikut:

- [ : menyimpan posisi saat ini dan bergerak sesuai perintah selanjutnya
- ] : kembali ke posisi semula yang disimpan oleh simbol “[”

contoh dari penggunaan simbol percabangan dengan komponen *L-system*:  
 $V = \{F, +, [, ]\}$ ,  $w = F$  dan  $p: F \rightarrow F[+F]F$ , maka akan didapatkan generasi pertama  $g_1$  dengan *string*:

$$F[+F]F$$

Jika diasumsikan bahwa satu satuan sudut  $\delta$  adalah  $\pi/5$  radian, maka penafsiran grafisnya dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2 Penafsiran grafis percabangan *L-systems*

### ***L-Systems* Dimensi Tiga**

Untuk menafsirkan *L-systems* secara grafis dalam dimensi tiga diperlukan sesuatu yang lebih kompleks yaitu dengan menggunakan matriks rotasi  $3 \times 3$ . Dan untuk menentukan perputarannya bisa menggunakan persamaan di bawah ini.

$$\begin{bmatrix} \vec{X}' & \vec{Y}' & \vec{Z}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vec{X} & \vec{Y} & \vec{Z} \end{bmatrix} \mathbf{R}$$

dimana  $\mathbf{R}$  adalah matriks rotasi. Untuk memutar sudut  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\delta$  pada vektor  $\vec{X}$ ,  $\vec{Y}$ ,  $\vec{Z}$  dapat digunakan rotasi matriks standard.

$$\mathbf{R}(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \delta & -\sin \delta \\ 0 & \sin \delta & \cos \delta \end{bmatrix} \quad \mathbf{R}(\beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \quad \mathbf{R}(\delta) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

### **Parametrik *L-systems***

Pada parametrik *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:  $w : A(1)$ ;  $p_1 : A(x) \rightarrow A(x*2)B(x)$ ;  $p_2 : B(x) \rightarrow B(x-1)$ , maka didapatkan generasi pertama dengan *string*  $A(2)B(1)$

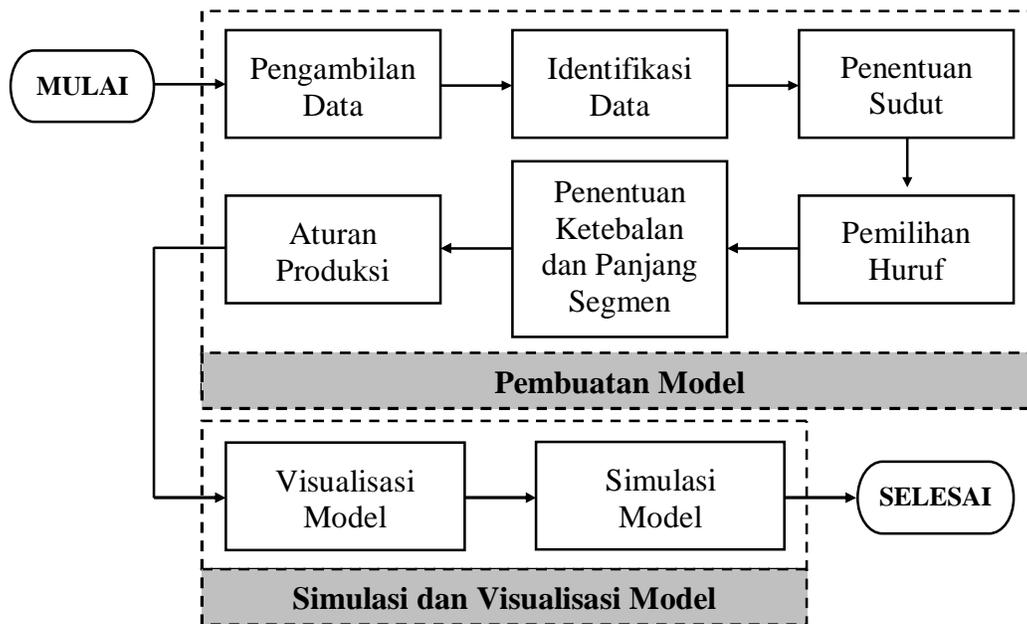
## METODE PENELITIAN

### Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah beberapa foto tumbuhan dengan cabang yang terlihat jelas. Karena pemodelan yang dilakukan dalam dimensi tiga, maka foto objek yang diambil hanya dari dua sisi (sisi depan dan samping). Hal ini dilakukan karena peneliti menganggap foto objek dari dua sisi sudah mencakup dari empat sisi.

### Langkah-Langkah Penyelesaian

Langkah pertama yang dilakukan untuk memodelkan tanaman menggunakan *Stochastic L-systems* adalah pengambilan gambar objek yang dimodelkan yaitu berupa gambar dimensi dua. Karena pemodelan penelitian ini dilakukan dalam ruang dimensi tiga, maka foto objek diambil dari dua sisi. Setelah dilakukan pengambilan gambar objek yang dimodelkan, langkah selanjutnya yaitu 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. Setelah itu 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. Secara garis besar langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas pengambilan data, analisis data, pembuatan model, simulasi model dan visualisasi model dengan menggunakan *open source* yang berbasis bahasa pemrograman Microsoft Visual C++.



Gambar 3 Skema langkah-langkah penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mendapatkan model pertumbuhan batang tanaman dengan menggunakan *stochastic L-systems* langkah awal yang dilakukan yaitu mendapatkan model tersebut dengan menggunakan *deterministic L-systems*.

### Membangun Penafsiran Grafis *L-system* Secara Manual

Identifikasi dan penentuan komponen *L-systems* sangat penting dilakukan sebagai langkah awal untuk membangun penafsiran grafis dari suatu model pertumbuhan batang tanaman. Diantaranya penggunaan huruf yang akan digunakan dalam aturan produksi, penentuan aksioma yang digunakan, dan pembuatan aturan produksi. Setelah dilakukan penafsiran grafis, langkah penting selanjutnya yaitu penamaan titik. Hal ini dilakukan untuk mempermudah peneliti dalam mendefinisikan urutan langkah untuk membangun penafsiran grafis secara manual. Sehingga peneliti dapat mengetahui titik-titik yang membangun garis-garisnya pada tiap generasinya. Seperti yang sudah diungkapkan pada subbab sebelumnya bahwa tiap segmen garis merepresentasikan sebuah segmen garis yang memiliki dua titik

yang membanggunya. Begitu juga dengan huruf  $A$  pada contoh  $L$ -systems di atas, masing-masing titik diberi nama  $F_{0,0}$  dan  $F_{0,1}$ .

Langkah-langkah yang dilakukan untuk mendapatkan visualisasi yang mendekati kenyataan diantaranya dengan cara memasukkan nilai probabilitas ataupun dalam mengikutsertakan ketebalan batang dalam memodelkan tanaman. Untuk mencapai hal tersebut peneliti menggunakan parametrik  $L$ -systems. Dengan adanya parametrik  $L$ -systems ini, peneliti juga dengan mudah untuk memasukkan sudut percabangan yang diinginkan tanpa harus menulis beberapa simbol yang sama. Misal jika terdapat komponen  $L$ -systems dengan sudut percabangan  $\delta = 10^\circ$  maka penulisan string “+++++ $F$ ” memiliki makna berbelok ke kiri sebesar  $50^\circ$  dan dilanjutkan menggambar  $F$ . Sedangkan dalam parametrik  $L$ -systems hanya cukup ditulis “+(50) $F$ ”. Berikut ini adalah simbol-simbol yang digunakan dalam parametric  $L$ -systems.

- $F(l)$  : Menggambar ke depan sebesar  $l$  satuan, untuk  $l > 0$ .
- $+(a)$  : Berputar ke kiri dengan matriks rotasi  $R(\alpha)$  sebesar  $a$  derajat.
- $-(a)$  : Berputar ke kanan dengan matriks rotasi  $R(\alpha)$  sebesar  $a$  derajat
- $\&(a)$  : Berputar ke kiri dengan matriks rotasi  $R(\beta)$  sebesar  $a$  derajat
- $\wedge(a)$  : Berputar ke kanan dengan matriks rotasi  $R(\beta)$  sebesar  $a$  derajat
- $/ (a)$  : Berputar ke kiri dengan matriks rotasi  $R(\delta)$  sebesar  $a$  derajat
- $\backslash (a)$  : Berputar ke kanan dengan matriks rotasi  $R(\delta)$  sebesar  $a$  derajat
- $!(x)$  : Menentukan ketebalan garis sebesar  $x$

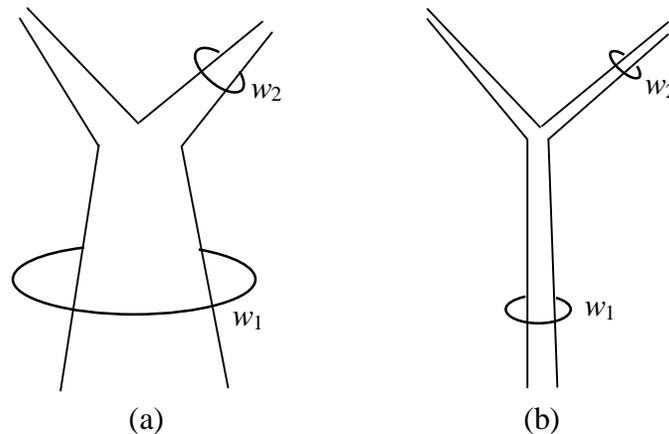
Untuk menggambarkan ketebalan batang, peneliti mengacu pada observasi yang dilakukan oleh Leonardo Da Vinci yang mengungkapkan bahwa “Semua cabang pohon di setiap bagian puncaknya bila disatukan akan sama dengan ketebalan pada batang di bawahnya”. Hal ini mengandung makna bahwa cabang induk dengan diameter  $w_1$  membentuk dua cabang anak dengan diameter sebesar  $w_2$ , postulat ini menghasilkan persamaan  $w_1^2 = 2w_2^2$ , yang memberikan nilai untuk  $w_r$  sama dengan  $w_2/w_1 = 1/\sqrt{2} = 0,707$  (Prusinkiewicz dan Lindenmayer, 1990).

Setelah mendapatkan aturan produksi dengan menggunakan *Parametric DOL L-systems*, langkah yang dilakukan berikutnya yaitu memasukkan faktor probabilitas

ke dalam aturan produksi tersebut apabila terdapat sebuah huruf yang diproduksi menjadi beberapa *string* yang berbeda. Untuk melakukan perintah tersebut dalam program, peneliti membuat program yang bertipe Boolean. Hal ini bertujuan apabila pengguna (*user*) memasukkan karakter yang salah maka program tidak dapat berjalan. Nilai probabilitas didapat dengan cara memperkirakan aturan produksi/percabangan mana yang sering muncul dalam objek tanaman.

### Simulasi dan Visualisasi

Untuk mendapatkan hasil akhir pemodelan pertumbuhan batang tanaman dimensi tiga yang mendekati kenyataan, dilakukan beberapa simulasi. Simulasi yang dilakukan antara lain menentukan nilai panjang dan ketebalan yang dimasukkan sebagai aksioma batang yang sesuai dengan objek. Apabila nilai-nilai tersebut tidak sesuai maka hasil visualisasi yang didapat tampak gemuk atau kurus. Gambar 4.8 di bawah ini memberikan ilustrasi dari penjelasan di atas.



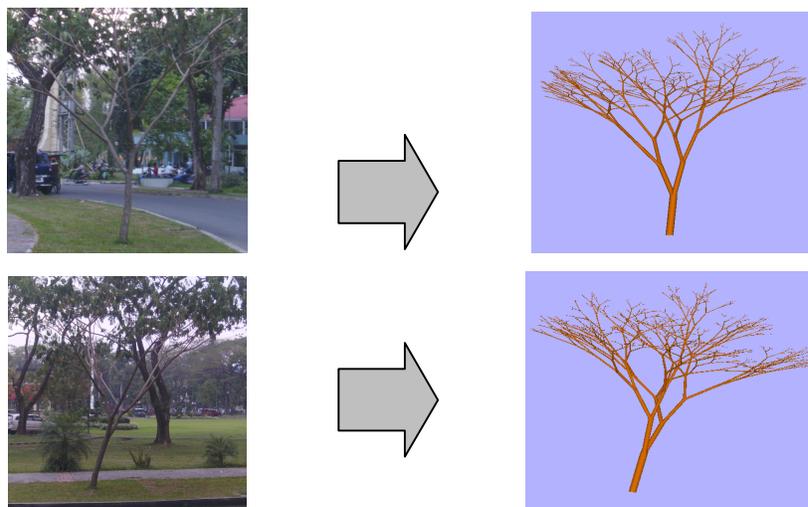
- (a) Ilustrasi input ketebalan batang yang terlalu besar;
- (b) Ilustrasi input ketebalan batang yang terlalu kecil

Gambar 4 Perbandingan input nilai panjang dan ketebalan batang tanaman

Dari gambar di atas dapat dijelaskan bahwa batang tanaman sebelah kiri memiliki nilai ketebalan batang yang terlalu besar atau nilai panjang batang yang terlalu kecil, sehingga visualisasi yang didapatkan tampak pohon sangat gemuk. Sedangkan batang tanaman sebelah kanan memiliki nilai ketebalan batang yang terlalu kecil atau nilai panjang batang yang terlalu besar, sehingga visualisasi yang didapatkan tampak

pohon sangat kurus. Untuk mengatasi masalah tersebut peneliti menetapkan jumlah iterasi yang digunakan yang sesuai dengan gambar objek yang didapatkan.

Kemudian simulasi lain yang dilakukan yaitu dengan cara mengubah iterasi. Langkah ini bertujuan untuk mengetahui apakah bentuk pertumbuhan cabang batang sudah sesuai dengan data yang didapatkan. Akan tetapi langkah ini tidak cocok dilakukan untuk mendapatkan nilai panjang dan ketebalan batang. Karena pada tiap iterasi batang akan tumbuh semakin tinggi, sedangkan ketebalan yang diinputkan memiliki nilai tetap. Gambar 4.10 merupakan perbandingan gambar pohon A asli dengan visualisasi *L-systems* dimensi tiga.



Gambar 5 Perbandingan pertumbuhan batang pohon Trembesi asli dengan visualisasi *L-systems* dalam dimensi tiga

Simulasi terakhir yang dilakukan yaitu penentuan nilai probabilitas yang digunakan dalam aturan produksi. Sebelum menentukan nilai probabilitas, peneliti memperkirakan percabangan/aturan produksi yang mana saja yang sering muncul dalam objek. Dari beberapa aturan produksi yang sering muncul tersebut, huruf yang berfungsi sebagai *predecessor* diganti menjadi huruf yang sama. Kemudian diberi nilai probabilitas sesuai dengan tingkat seringnya muncul dalam objek.

### Hasil Pemodelan

Setelah melakukan identifikasi komponen utama *L-systems*, penafsiran grafis *L-systems*, penamaan titik, menentukan *parametric DOL-systems*, menentukan nilai

*stochastic L-systems*, dan simulasi, langkah selanjutnya yaitu memasukkan semua komponen *L-system* yang didapat ke dalam program. Berikut ini adalah komponen-komponen *L-systems* yang membentuk beberapa tanaman beserta hasil pemodelannya.

a). Pohon Trembesi

Komponen-komponen *L-systems*-nya:

$$V = \{r_1, r_2, w_r, l, w, A, C, S, F, *, +, -, /, \backslash, >=, !, (, ), [, ]\}$$

$$\text{Aksioma } w = A(1,80)$$

Jumlah generasi : 10

$$r_1 = 0.9$$

$$r_2 = 0.6$$

$$w_r = 0.707$$

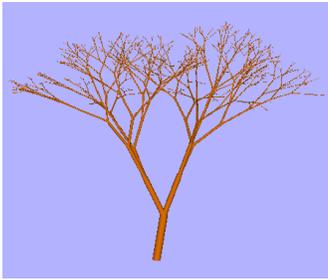
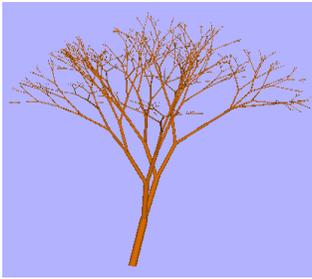
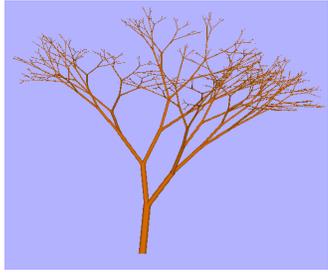
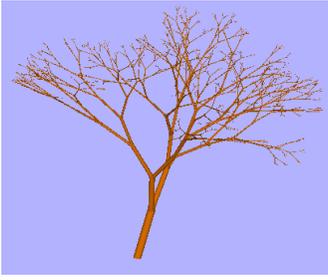
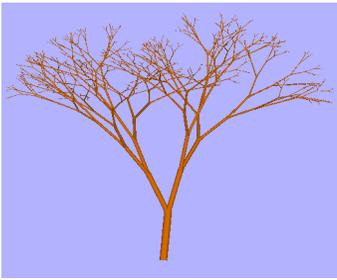
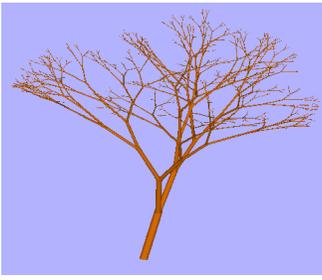
$$p_1 : A(l, w) : (l >= 0.0) \rightarrow (0.4) ! (w * 0.01) SF(l) [+ (30) / (90) A(l * r_2, w * w_r)] [- (10) \backslash (90) A(l * r_1, w * w_r)]$$

$$p_2 : A(l, w) : (l >= 0.0) \rightarrow (0.6) ! (w * 0.01) SF(l) [- (30) \$ C(l * r_2, w * w_r)] [+ (10) C(l * r_1, w * w_r)]$$

$$p_3 : C(l, w) \rightarrow ! (w * 0.01) SF(l) [+ (30) \$ A(l * r_2, w * w_r)] [- (30) A(l * r_1, w * w_r)]$$

$$p_4 : S \rightarrow SF$$

Dari keempat aturan produksi yang dibuat, hanya aturan produksi pertama dan kedua yang diberi nilai probabilitas. Aturan produksi pertama diberi nilai probabilitas sebesar 0.4 sedangkan aturan produksi kedua diberi nilai probabilitas sebesar 0.6. Hal ini berarti bahwa setiap kali ditemukan huruf A, kemungkinan 40% aturan produksi pertama akan digunakan dan 60% aturan produksi kedua yang digunakan. Pemberian nilai probabilitas aturan produksi yang kedua lebih besar daripada aturan produksi pertama. Hal ini berdasarkan pada pengamatan yang dilakukan oleh peneliti yang menilai bahwa percabangan yang terbentuk dari aturan produksi kedua tersebut cenderung lebih sering muncul dalam foto objek daripada percabangan yang terbentuk dari aturan produksi pertama. Jumlah iterasi yang digunakan yaitu sebanyak 10 iterasi karena pada iterasi ke sepuluh visualisasi gambar yang dihasilkan sudah menyerupai objek asli.

Gambar Pohon Trembesi Asli dari Sudut Pandang Berbeda		
		
Visualisasi Model <i>Stochastic L-systems</i> Dimensi Tiga		
	A	b
1		
2		
3		

( $a_1$ ) Hasil *running* ke-1 dengan putaran  $0^\circ$ ; ( $b_1$ ) Hasil *running* ke-1 dengan putaran  $90^\circ$ ;  
 ( $a_2$ ) Hasil *running* ke-2 dengan putaran  $0^\circ$ ; ( $b_2$ ) Hasil *running* ke-2 dengan putaran  $90^\circ$ ;  
 ( $a_3$ ) Hasil *running* ke-3 dengan putaran  $0^\circ$ ; ( $b_3$ ) Hasil *running* ke-3 dengan putaran  $90^\circ$ ;

Gambar 6 Parametrik *stochastic L-systems* dimensi tiga pada pohon Trembesi

## **Pembahasan**

Karena tanaman dalam pemodelan ini divisualisasikan dalam dimensi tiga maka hasil visualisasi ditampilkan dari dua sisi, yaitu sisi depan (putaran  $0^\circ$ ) dan sisi samping (putaran  $90^\circ$ ). Peneliti menilai bahwa hanya dengan memvisualisasikan dari dua sisi saja sudah cukup karena jika visualisasi dari depan (putaran  $0^\circ$ ) sudah menyerupai foto aslinya maka secara otomatis jika dilihat dari sisi belakang juga menyerupai foto aslinya. Demikian juga jika visualisasi dari sisi samping (putaran  $90^\circ$ ) sudah menyerupai foto aslinya maka secara otomatis jika dilihat dari sisi samping yang lain (putaran  $270^\circ$ ) juga menyerupai foto aslinya.

Setelah hasil visualisasi yang didapatkan sudah menyerupai objek yang didapat, langkah selanjutnya adalah pengubahan *deterministic L-systems* menjadi *stochastic L-systems*. Nilai probabilitas hanya diberikan pada huruf (*predecessor*) yang sama. Besar nilai probabilitas yang diberikan berdasarkan perkiraan sering munculnya suatu aturan produksi dalam foto objek yang didapatkan, sehingga ada kemungkinan akan terjadi perbedaan dalam pemberian nilai probabilitas antara peneliti dengan orang lain yang menggunakan *stochastic L-systems* ini.

Pemodelan pertumbuhan batang tanaman menggunakan parametrik *deterministic L-systems* dapat menghasilkan visualisasi yang menyerupai foto objek asli. Sedangkan dengan menggunakan *stochastic L-systems* dapat memprediksi kemungkinan-kemungkinan model yang terbentuk dari foto objek asli. Dari Gambar 6 dapat diketahui bahwa visualisasi model 6 (1) berbeda dengan model 6 (2) dan model 6 (3). Hal ini dikarenakan untuk memodelkan Gambar 6 terdapat beberapa aturan produksi yang memiliki huruf (*predecessor*) yang sama yaitu A. Sehingga setiap ditemukan huruf A maka akan diacak dengan probabilitas aturan produksi pertama 40% dan aturan produksi kedua 60%.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Jumlah iterasi untuk setiap pohon berbeda karena tergantung pada kompleksitas percabangan yang ada pada pohon.
- b. Dengan menggunakan *deterministic L-systems*, dapat dihasilkan visualisasi model yang menyerupai foto asli. Sedangkan *stochastic L-systems* dapat memprediksi kemungkinan-kemungkinan model yang terbentuk dari foto asli tanaman.

### Saran

Meskipun model tanaman yang dihasilkan melalui *Stochastic L-systems* sudah mendekati kenyataan, akan tetapi masih banyak terdapat permasalahan bagi pembaca yang ingin menyempurnakan pemodelan pertumbuhan batang tanaman menggunakan parametrik *Stochastic L-systems* ini.

Permasalahan tersebut antara lain:

- a. Pemodelan tanaman masih berupa batang tanaman dan tidak terdapat daun agar tanaman lebih terlihat nyata;
- b. Belum bisa menghasilkan visualisasi segmen batang yang melengkung seperti pada tanaman Bonsai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amir, F. 2009. *Penerapan Sensitive L-Systems Pada Pemodelan Pertumbuhan Batang Tanaman*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Fakultas MIPA Universitas Jember
- Dickau, R.M. 1996. *Two-Dimensional L-Systems*.  
<http://mathforum.org/advanced/robertd/lsys2d.html> [20 Pebruari 2011]
- Hanan, J.S. 1992. *Parametric L-Systems and Their Application to The Modelling and Visualization of Plants*. Disertasi. Regina: Computer Science University of Regina.