

**PENERAPAN STOCHASTIC L-SYSTEMS
PADA PEMODELAN PERTUMBUHAN AKAR TANAMAN
(APPLICATION OF STOCHASTIC L-SYSTEMS IN MODELING OF
THE ROOT GROWTH OF PLANTS)**

Lukman Hariadi, Mohamad Hasan, Rusli Hidayat
Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember (UNEJ)
Jln. Kalimantan 37, Jember 68121
E-mail: hasan.fmipa@unej.ac.id

Abstrak

L-systems telah banyak diaplikasikan untuk memodelkan pertumbuhan batang dan daun tanaman serta desain motif dan batik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan model pertumbuhan akar tanaman dan menganalisis efek dari parameter probabilitas dalam memodelkan pertumbuhan akar tanaman. Langkah-langkah untuk memodelkan akar tanaman yaitu membangun model, membuat program, dan simulasi. Hasil dari penelitian ini bahwa pertumbuhan akar tanaman menggunakan *Stochastic L-systems* dapat menghasilkan akar tanaman yang bervariasi hanya dengan satu komponen aturan produksi *L-systems*.

Kata Kunci: *L-systems*, pertumbuhan akar, probabilitas, dimensi tiga.

Abstract

L-systems has been widely applicated to modeling the growth of root and leaf, and also to designing motif and batik. The purpose of this research are to get root growth of plant models and to analyze the effect of probability factor parameter in modeling the root growth of plant. The step to modeling a plant root are constructing model, creating programs and simulating. The result of this research is that the root growth of plants implemented with Stochastics *L-systems* can generate variations of plant root models by using only one production rule of component *L-systems*.

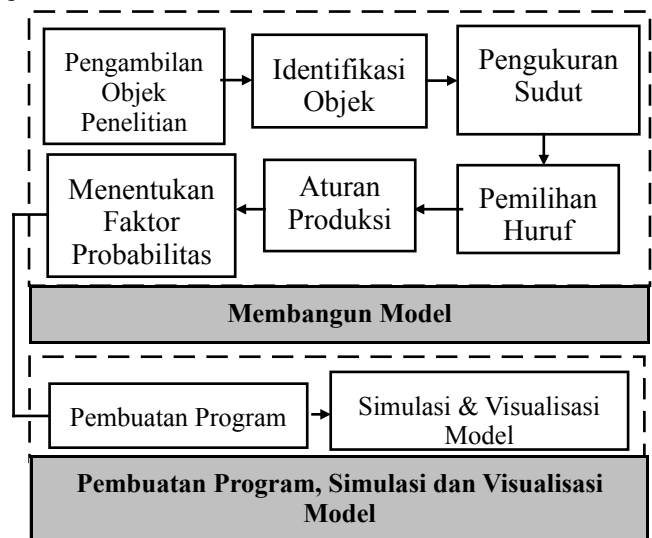
Keywords: *L-systems*, probability, root growth, three-dimensional.

PENDAHULUAN

L-systems pertama kali diperkenalkan oleh *Aristid Lindenmayer* digunakan untuk menampilkan perkembangan organisme multiseluler pada tingkat individu sel, yang kemudian berkembang pada simulasi pertumbuhan tanaman. Dasar dari *L-systems* adalah penulisan kembali secara berulang-ulang dengan menggunakan aturan penulisan kembali atau produksi [1]. Pada rujukan [2] telah memodelkan pertumbuhan akar tanaman dalam dimensi dua menggunakan *Context Free Deterministic (D0L-systems)*. Kelemahannya adalah struktur dan perkembangan akar tanaman yang dihasilkan adalah sama atau identik, yang pada kehidupan nyata bentuk akar tanaman lebih terlihat dalam bentuk dimensi tiga dan bentuknya juga berbeda-beda meskipun akar tersebut merupakan akar tanaman yang jenisnya sama [1]. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dikaji penerapan *Stochastic L-systems* pada pemodelan pertumbuhan akar tanaman. Permasalahannya adalah bagaimana memodelkan pertumbuhan akar tanaman menggunakan *Stochastic L-systems* yang divisualisasikan dalam bentuk dimensi tiga. Tujuannya adalah untuk mendapatkan model pertumbuhan akar tanaman yang bervariasi menggunakan *Stochastic L-systems*.

METODE PENELITIAN

Langkah-langkah penyelesaian untuk memodelkan akar tanaman menggunakan *Stochastic L-systems* dapat dilihat pada skema berikut ini:



Gambar 1. Skema langkah penyelesaian penelitian

HASIL PENELITIAN

Akar tanaman yang dimodelkan dalam penelitian ini meliputi: akar jagung, padi, palm, tomat, terong, dan cabai. Berikut ini adalah komponen-komponen *L-systems* yang membentuk akar jagung beserta hasil pemodelannya.:

$$V = \{A, B, C, F, G, H, I, J, S, +, -, /, \setminus, \wedge, \&, [,]\}$$









$$\alpha, \beta, \delta = 10^\circ$$

$$w = A$$

$$p_1 : A \rightarrow S[\wedge B[\wedge H-H][\&H//++H][////\wedge---H^H]][\wedge B[\wedge H-H][\&\&\&---H//++H][////\wedge---H+H]][////\wedge B[\wedge H-H][\&H//++H][\&H//++H][////\wedge+H+H]][////\wedge B[\wedge H-H][\&H//++H][\&H+H]][////\wedge B[\wedge H-H][\&H+++H//---H][////\wedge---H+H]][////\wedge B[\wedge H-H][\&H//---H][\&\&\&C][\&\&\&C[\wedge H-H][\&H-H//++H][////\wedge---H+H]][////\wedge\&\&\&L[\wedge H-H][++++H//++H][////\wedge---H+H]][////\wedge\&\&\&C[\wedge H-H][\wedge+++H//++H][////\wedge---H+H]][////\wedge\&\&\&C[\wedge H-H][\&H-H//\wedge H][////\wedge---H+H]]A$$

- $p_2 : S \rightarrow GS$
- $p_3 : B \rightarrow \wedge I \& J [\wedge H] [////\wedge H] [////\wedge H] [////\wedge H] \& H, 0.4$
- $p_4 : B \rightarrow \wedge I \& J [\wedge H] [////\wedge H] [////\wedge H] [////\wedge H] \& H \& H - \& H, 0.3$
- $p_5 : B \rightarrow \wedge I \& J [\wedge H] [////\wedge H] [////\wedge H] [////\wedge H] \& H \& H - - - // H, 0.3$
- $p_6 : C \rightarrow \& \& \& I \wedge J [\wedge H] [////\wedge H] [////\wedge H] [////\wedge H] \wedge H, 0.4$
- $p_7 : C \rightarrow \& \& \& I \wedge J [\wedge H] [////\wedge H] [////\wedge H] [////\wedge H] \wedge H + + + H - H, 0.3$
- $p_8 : C \rightarrow \& \& \& I \wedge J [\wedge H] [////\wedge H] [////\wedge H] [////\wedge H] \wedge H + + H - - - \& \& \& H, 0.3$
- $p_9 : G \rightarrow G$
- $p_{10} : H \rightarrow \emptyset$
- $p_{11} : I \rightarrow I$
- $p_{12} : J \rightarrow \emptyset$
- $p_{13} : F \rightarrow F$

Hasil visualisasi dari komponen *L-systems* pada iterasi keempat dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini. Gambar 3(a) merupakan visualisasi model dengan putaran 0°. Sedangkan gambar 3(b) merupakan visualisasi model dengan putaran 90°.

Akar Jagung dari Sudut Pandang Berbeda		
		
Visualisasi Model Stochastic L-systems 3D		
	a	b
1		
2		
3		

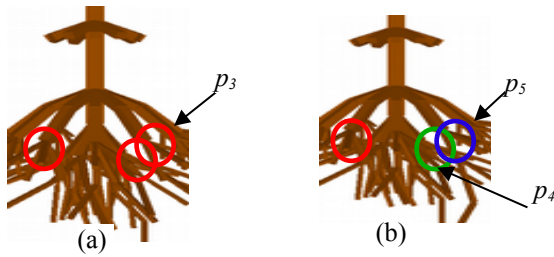
(a₁) Hasil *running* ke-1 dengan putaran 0°; (b₁) Hasil *running* ke-1 dengan putaran 90°;
 (a₂) Hasil *running* ke-2 dengan putaran 0°; (b₂) Hasil *running* ke-2 dengan putaran 90°;
 (a₃) Hasil *running* ke-3 dengan putaran 0°; (b₃) Hasil *running* ke-3 dengan putaran 90°;

Gambar 2. Stochastic *L-systems* 3D akar jagung

Pada komponen *L-system* akar jagung, aturan produksi yang diberi nilai probabilitas adalah aturan produksi ketiga, keempat, kelima, keenam, ketujuh dan kedelapan. Aturan produksi ketiga dan keenam diberi nilai probabilitas sebesar 0.4, aturan produksi keempat dan ketujuh diberi nilai probabilitas sebesar 0.3, sedangkan aturan produksi kelima dan kedelapan diberi nilai probabilitas sebesar 0.3. Pemberian nilai probabilitas aturan produksi ketiga dan keenam lebih besar karena berdasarkan pengamatan, bahwa percabangan yang terbentuk dari aturan produksi tersebut cenderung lebih sering muncul dalam foto objek dari pada percabangan yang terbentuk dari pada percabangan yang lainnya.

Pemberian nilai probabilitas yang terlalu ekstrim besar (probabilitas >95%) dan ekstrim kecil (probabilitas <5%) berdampak pada tingkat variasi model akar jagung yang dihasilkan. Misalkan pada komponen *L-systems* akar jagung diatas, pada p_3 dan p_6 diberi nilai probabilitas sebesar 0.98, sedangkan pada p_4 , p_5 , p_7 , dan p_8 masing-masing diberi nilai

probabilitas sebesar 0.01. Berikut ini visualisasi akar jagung hasil pemberian nilai probabilitas yang ekstrim:



(a) Model Akar Jagung dengan Nilai Probabilitas $p_3, p_6 = 0.98$, dan $p_4, p_5, p_7, p_8 = 0.01$;

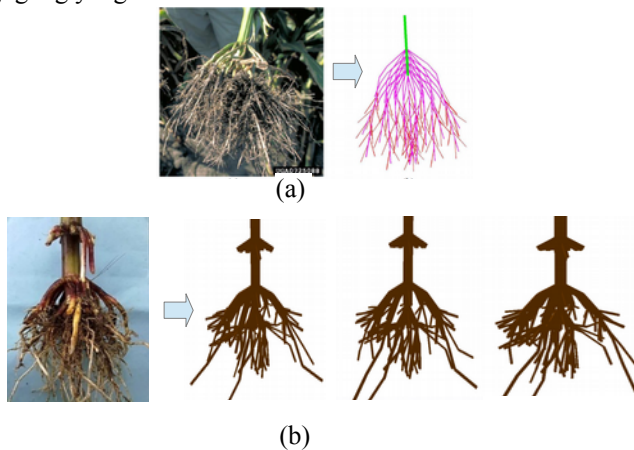
(b) Model Akar Jagung dengan Nilai Probabilitas $p_3, p_6 = 0.4$, dan $p_4, p_5, p_7, p_8 = 0.3$;

Gambar 3. Akar jagung hasil simulasi nilai probabilitas

Setelah program di *running* berulang kali, model akar jagung yang diberi nilai probabilitas ekstrim cenderung menghasilkan model akar jagung yang tetap. Hal ini dapat ditunjukkan dari Gambar 3(a), bahwa percabangan akar pendek saja (aturan produksi p_3) yang sering muncul, sedangkan pada Gambar 3(b) percabangan yang muncul lebih bervariasi, terdapat percabangan pendek (p_3) dan percabangan yang akarnya menjulur panjang ke bawah (p_4 dan p_5).

PEMBAHASAN

Pemodelan pertumbuhan akar tanaman pada penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian Yudianto[2]. Pada penelitian [2], dalam memodelkan pertumbuhan akar masih menggunakan ruang lingkup dimensi dua dan *L-systems* yang digunakan yaitu *Deterministic L-systems*, sedangkan pada penelitian ini sudah menggunakan ruang lingkup dimensi tiga dan *L-systems* yang digunakan yaitu *Stochastic L-systems*. Berikut ini perbedaan hasil visualisasi akar jagung yang dimodelkan :



(a) Hasil Visualisasi Akar Jagung Menggunakan *Deterministic L-systems*;

(b) Hasil Visualisasi Akar Jagung Menggunakan *Stochastic L-systems*;

Gambar 4. Perbandingan visualisasi akar jagung

Dari Gambar 4 dapat disimpulkan bahwa hasil visualisasi akar jagung menggunakan *Deterministic L-systems* hanya menghasilkan satu model akar tanaman sedangkan hasil visualisasi dengan menggunakan *Stochastic L-systems* dapat menghasilkan variasi model akar tanaman. Selain itu, visualisasi akar pada dimensi dua hanya dapat dilihat dari satu sisi saja sedangkan pada dimensi tiga, visualisasi akar pada program dapat dirotasikan, sehingga akar tanaman dapat dilihat dari berbagai sisi.

Pada pemodelan akar tanaman menggunakan *Stochastic L-systems* terdapat satu parameter yang menentukan tingkat variasi model yang dihasilkan, yaitu faktor probabilitas. Besar nilai probabilitas yang diberikan pada aturan produksi berdasarkan pada perkiraan sering munculnya suatu aturan produksi dalam foto objek yang didapatkan. Pemberian nilai probabilitas yang terlalu ekstrim besar (probabilitas >95%) dan ekstrim kecil (probabilitas <5%) akan menyebabkan model akar yang dihasilkan tidak bervariasi atau cenderung tetap, meskipun dilakukan *running* program berulang kali. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3(a).

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan bahwa pemodelan pertumbuhan akar tanaman menggunakan *Stochastic L-systems* dapat menghasilkan akar tanaman yang bervariasi hanya dengan satu komponen aturan produksi *L-systems*, sehingga dapat menghilangkan kemonotonan yang terdapat dalam *Deterministic L-systems*. Efek parameter faktor probabilitas yaitu menentukan tingkat variasi model yang dihasilkan. Pemberian nilai probabilitas yang terlalu ekstrim besar (probabilitas >95%) dan ekstrim kecil (probabilitas <5%) akan menyebabkan model akar yang dihasilkan tidak bervariasi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis L.H. mengucapkan terima kasih kepada Kosala Dwidja Purnomo, S.Si., M.Si. dan Agustina Pradjaningsih, SSi, Msi yang telah memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan penelitian ini.

Daftar Rujukan

- [1] P. Prusinkiewicz, and A. Lindenmayer, *The Algorithmic Beauty of Plants*. New York: Springer-Verlag (1990).
- [2] Yudianto, "Penerapan L-systems pada pemodelan pertumbuhan akar tanaman" Skripsi, Jember: Fakultas MIPA Universitas Jember., belum dipublikasikan.
- [3] D. J. Wright. (2009, August 12). *Dynamical systems and fractals lecture* [Online]. Available: <http://www.math.okstate.edu/mathdept/dynamics/lectures>
- [4] H. W. Chen. (2011, Mar 14). *L-System plant geometry generator* [Online]. Available: <http://www.nbb.cornell.edu/neurobio/land/OldStudentProjects/cs490-94to95/hwchen/>
- [5] K. A. Erstad, *L-Systems, Twinning Plants, Lisp: Modeling of Twinning Plants using Environmentally Sensitive L-Systems, and an Extensible for L-Systems in Common Lisp*. Bergen: Departement of Informatis, University of Bergen (2002).
- [6] P. Kaufman, *Plants: Their Biology and Importance*. New York: Harper and Row Publishers (1989).