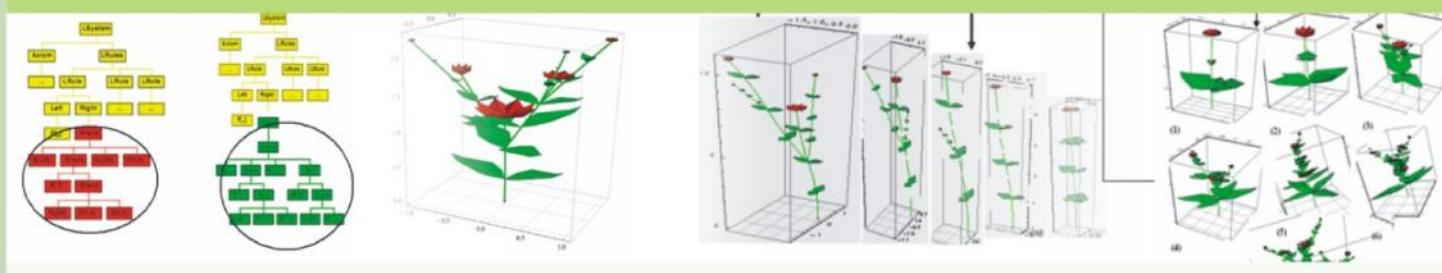


INTEGRATION OF
ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS INTO
GENETIC L-SYSTEM PROGRAMMING BASED
PLANT MODELING ENVIRONMENT
WITH MATHEMATICA

ILUSTRASI PEMODELAN PERTUMBUHAN TANAMAN



Kementerian Agama Republik Indonesia
Direktorat Jenderal Pendidikan Islam
Direktorat Pendidikan Tinggi Islam



Penerbit & Percetakan

MILIK KEMENTERIAN AGAMA RI
TIDAK DIPERJUAL BELIKAN

**Integration of Artificial Neural Networks
into Genetic L-System Programming
Based Plant Modeling Environment
With Mathematica**



Kementerian Agama Republik Indonesia
Direktorat Jenderal Pendidikan Islam
Direktorat Pendidikan Tinggi Islam

Judul

Integration of Artificial Neural Networks into
Genetic L-System Programming Based Plant
Modeling Environment With Mathematica

Cetakan Ke-1, Desember 2012
viii+209 hlm, 16 x 24 cm
ISBN 979-495-628-7

Pengarah
Prof. Dr. Nur Syam, M.Si

Penanggung Jawab
Prof. Dr. Dede Rosyada, MA
Prof. Dr. Phil. H. Kamaruddin Amin, MA

Penulis
Suhartono, S.Si, M.Kom

Editor
Totok Chamidy, S.T, M.Kom

Desain Cover & Layout
Ainul Yaqin, S.Si, M.Kom
Agung Teguh Wibowo, S.Kom

Diterbitkan oleh
Kementerian Agama Republik Indonesia
Direktorat Jenderal Pendidikan Islam
Direktorat Pendidikan Tinggi Islam
Jl. Lapangan Banteng Barat 3-4 Jakarta Pusat

K A T A P E N G A N T A R

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia dan anugerah hingga penulisan buku penelitian ini dapat diselesaikan. Tak lupa, salam dan shalawat kepada Nabi Muhammad shalallahu alaihi wassalam.

Sangatlah pantas pada kesempatan ini penulis memberikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Segenap pimpinan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Maulana Malik Ibrahim Malang: Bapak Prof Dr Sutiman B Sumitro (Dekan Fakultas Sains dan Teknologi), Bapak Dr Agus Mulyono (Pembantu Dekan Akademik Fakultas Sains dan Teknologi).
2. Prof. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng, Ph.D. , Mochamad Hariadi, S.T, M.Sc, Ph.D. dan Ali Mahmudi B.Eng Phd dari beliau, penulis memperoleh banyak dorongan semangat dan nasehat.
3. Istri tercinta Ari Asri Vita. S.P, dan anak tercinta Athaula Dawam Wisesa atas doa dan dukungan.
4. Direktur Pendidikan Tinggi Islam Kemenag RI yang telah memberikan bantuan publikasi ilmiah ilmiah PTAI (PNS) tahun anggaran 2012
5. Seluruh dosen Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang Malang.
6. Seluruh dosen Jurusan Teknik Informatika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang Malang.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu selama melakukan kegiatan penulisan buku

penelitian ini. Semoga Allah SWT membala kebaikan dan memberi rahmat anda semua.

Sebagai penutup kata pengantar, penulis mengharapkan buku ini ikut menjadi setetes air di tengah samudera pemikiran pemodelan pertumbuhan tanaman.

Penulis sepenuhnya insyaf akan ketidak sempurnaan di sana-sini. Oleh karena itu, kritik dan saran dari pembaca tentu sangat berharga bagi penulis demi perbaikan di masa yang akan datang.

Malang, 7 Desember 2012

Penulis

Daftar isi

Kata pengantar	iii
Daftar isi	v
1. Pendahuluan	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Perumusan masalah	7
1.3 Batasan masalah	7
1.4 Tujuan dan manfaat	8
1.5 Susunan Penulis	8
1.6 Peta Jalan Penelitian	10
2. Tinjauan pustaka	15
2.1 Pemodelan Pertumbuhan Tanaman	15
2.1.1 Metoda <i>L-System</i>	20
2.1.1.1 <i>Rewriting System</i>	20
2.1.1.2 <i>DOL-System</i>	21
2.1.1.3 <i>Bracketed L-System</i>	23
2.1.1.4 <i>Context Sensitive L-System</i>	25
2.1.1.5 Representasi Grafik	26
2.1.2 Metoda <i>Genetic L-System Programming</i>	27
2.1.2.1 Struktur Metoda <i>L-System</i>	28
2.1.2.1.1 Pengkodean	31
2.1.2.1.2 Operator Genetik	32
2.1.2.1.3 Seleksi	32
2.1.2.1.4 Crossover	33
2.1.2.1.5 Mutasi	35
2.2 Tanaman kembang kertas (<i>Zinnia elegans</i>)	36
2.2.1 Klasifikasi tanaman bunga kertas	36
2.2.2 Botani	38
2.2.3 Persyaratan tumbuh	38
2.2.4 Pembungaan	39
2.2.5 Penanaman	39
2.2.6 Pemeliharaan	40
2.2.6.1 Pemupukan	40

2.2.6.1.1	Peranan Pupuk Kandang	41
2.2.6.1.2	Peranan Pupuk NPK	42
2.2.7	Fungsi Pertumbuhan	43
2.2.8	Struktur Percabangan Tanaman <i>Zinnia</i>	45
3. Model tanaman <i>zinnia elegans</i> dengan metoda <i>L-System</i>		47
3.1	Bahan dan Alat	49
3.2	Pengamatan	49
3.3	Struktur model tanaman <i>zinnia elegans</i>	50
3.4	Koleksi data tanaman <i>zinnia elegans</i>	52
3.5	Desain L-System tanaman <i>zinnia elegans</i>	54
3.6	Model Kualitatif	57
3.7	Model Kuantitatif	60
3.8	Visualisasi Model Kualitatif	66
3.9	Fitness	71
3.7	Evaluasi model	71
4. Model tanaman <i>zinnia</i> dengan metoda <i>Genetic L-System Programming</i>		73
4.1	Struktur model tanaman <i>zinnia elegans</i> dengan metoda <i>Genetic L-System Programming</i>	74
4.2	Model tanaman <i>zinnia</i>	75
4.3	<i>Expression generation</i>	77
4.3.1	Hasil <i>Expression generation</i>	83
4.4	Fitness	83
4.5	Variasi nilai operator	84
4.6	Hasil dan visualisasi model tanaman <i>zinnia</i>	86
4.7	Evaluasi model	96
5. Pendekatan artificial intelligent pada Pertumbuhan tanaman <i>zinnia</i> pengaruh pemberian pupuk		97
5.1	Data percobaan	97
5.2	Pengamatan	99
5.3	<i>Artificial Neural Network</i>	102
5.3.1	Struktur model pendekatan <i>artificial neural</i>	

network pada pertumbuhan tanaman zinnia	104	
5.3.2 Hasil eksperiment	106	
5.3.3 Evaluasi model	107	
5.4 <i>Fuzzy System</i>	108	
5.4.1 Struktur model pendekatan <i>fuzzy system</i>	109	
5.4.2 Himpunan <i>fuzzy</i> pupuk inorganic	111	
5.4.3 Himpunan <i>fuzzy</i> pupuk organik	113	
5.4.4 Himpunan <i>fuzzy</i> tinggi batang	115	
5.4.5 Himpunan <i>fuzzy</i> panjang daun	117	
5.4.6 Himpunan <i>fuzzy</i> lebar daun	119	
5.4.7 Himpunan <i>fuzzy</i> diameter bunga	121	
5.4.8 Himpunan <i>fuzzy</i> pertumbuhan batang	123	
5.4.9 Himpunan <i>fuzzy</i> pertumbuhan daun	125	
5.4.10 Himpunan <i>fuzzy</i> pertumbuhan bunga	127	
5.4.11 Mesin <i>Inference</i>	129	
5.4.12 Fungsi implikasi	130	
5.4.13 Komposisi aturan	131	
5.4.14 <i>Defuzzifier</i>	133	
5.4.15 Hasil eksperimen <i>fuzzy mamdani</i>	134	
5.4.16 Evaluasi model	135	
6. Integrasi <i>fuzzy mamdani</i> dan <i>Genetic L-System Programming</i> untuk pemodelan tanaman <i>zinnia</i> terhadap pengaruh pemberian pupuk		139
6.1 Struktur model	140	
6.2 Karakteristik model tanaman <i>zinnia</i>	142	
6.3 Identifikasi pertumbuhan tanaman	144	
6.4 Integrasi <i>fuzzy mamdani</i> dan <i>Genetic L-System Programming</i> untuk pemodelan tanaman <i>zinnia</i> terhadap pengaruh pemberian pupuk		145
6.5 Visualisasi model	146	
6.6 Evaluasi model	151	
7. Kesimpulan dan saran		153
7.1. Kesimpulan	153	
7.2. Saran-saran	154	

Daftar Pustaka 155

Lampiran A. Koleksi data tanaman <i>Zinnia</i> dari lapangan	167
Lampiran B Visualisasi Model Tanaman <i>Zinnia</i> hasil proses metoda <i>Genetic L-System Programming</i> generasi 0	175
Lampiran C Visualisasi Model Tanaman <i>Zinnia</i> hasil proses metoda <i>Genetic L-System Programming</i> generasi 1	179
Lampiran D Visualisasi Model Tanaman <i>Zinnia</i> hasil proses metoda <i>Genetic L-System Programming</i> generasi 2	183
Lampiran E Visualisasi Model Tanaman <i>Zinnia</i> hasil proses metoda <i>Genetic L-System Programming</i> generasi 3	187
Lampiran F Visualisasi Model Tanaman <i>Zinnia</i> hasil proses metoda <i>Genetic L-System Programming</i> generasi 4	191
Lampiran G Visualisasi Model Tanaman <i>Zinnia</i> hasil proses metoda <i>Genetic L-System Programming</i> generasi 5	195
Lampiran H Visualisasi Model Tanaman <i>Zinnia</i> hasil proses metoda <i>Genetic L-System Programming</i> generasi 6	199
Lampiran I Visualisasi Model Tanaman <i>Zinnia</i> hasil proses metoda <i>Genetic L-System Programming</i> untuk generasi 6 individu ke 10	203
Lampiran J Visualisasi Model Tanaman <i>Zinnia</i> hasil proses metoda <i>Genetic L-System Programming</i> untuk generasi 6 individu ke 10	207
Indeks	209

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Pertumbuhan tanaman dapat dinyatakan sebagai perkembangan, secara morfologi pertumbuhan tanaman adalah pertambahan organ-organ tanaman, dimana bentuk dari pertumbuhan tanaman dapat dinyatakan sebagai tinggi tanaman, panjang batang, diameter batang, lebar daun, panjang daun dan diameter bunga (Gardner, 1985)

Pertumbuhan tanaman varietas *zinnia* dipengaruhi oleh faktor tanaman varietas *zinnia* itu sendiri dan faktor lingkungan. Pentingnya faktor tanaman varietas *zinnia* diperlihatkan dengan meningkatnya hasil yang berasal dari penggunaan tanaman varietas *zinnia* yang unggul. Pertumbuhan pada beberapa varietas tanaman menampakkan perbedaan respon terhadap pemberian pupuk dengan kata lain ekspresi potensial genetik dapat terlihat pada pemberian variasi komposisi pupuk (Atif Riaz, dkk, 2008).

Aristid Lindenmayer menjelaskan teori pertumbuhan sel *anabaena catenula* menggunakan sistem penulisan berulang (*rewriting system*) dan dilakukan secara paralel yang dinyatakan menggunakan aturan gramatikal yang disebut sebagai metoda *L-System* (Prusinkiewics.P, dkk, 1990). Kemudian metoda *L-System* banyak diterapkan untuk pemodelan berbagai jenis tanaman (Prusinkiewics. P, dkk, 2003; Pachepsky. L.B, dkk, 2004; Hirafuji. M, 1991; Somporn.C.A, 2004; Suhartono, dkk, 2011). Pengembangan metoda *L-System* untuk mendapatkan beberapa pemodelan pertumbuhan tanaman yang diinginkan dengan menggunakan metoda *Genetic L-System Programming* (Jacob. C, 1995).

Pengembangan metoda *L-System* untuk menggambarkan pertumbuhan tanaman berdasarkan karakteristik lingkungan menjadi pemodelan pertumbuhan tanaman secara realistik telah banyak dilakukan oleh para peneliti di bidang pemodelan pertumbuhan tanaman, antara lain adalah: a) (Hirafuji, 1991; Eric, dkk, 2007; Micikevicius, dkk, 2007) mengusulkan metoda pendekatan sistem *artificial life* dalam mempelajari proses alami sistem hidup pertumbuhan tanaman secara biologis, bersifat komplek dan dipengaruhi oleh karakteristik lingkungan yang sulit didekati dengan persamaan matematika dan *geometric* konvensional. b) (Sievänen, dkk, 2000, Karwowski.R, dkk, 2006,) mengusulkan metoda menggabungkan struktur tanaman dengan proses fisiologi yang dipengaruhi oleh lingkungan, dikenal sebagai model *Functional Structural Models* (FSPM). c) (Suyantohadi.A, 2010) mengusulkan metoda pendekatan sistem kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) untuk pemodelan pertumbuhan tanaman dengan menggunakan metoda *artificial neural network*, metoda *genetic algorithm* dan metoda *L-System*.

Pemodelan pertumbuhan tanaman dengan menggunakan metoda *L-System* berguna untuk memodelkan tanaman dalam virtual. Pertumbuhan tanaman ini telah disinggung dalam al-Quran banyak ayat, salah satunya adalah surat An Nahl ayat 11.

يُنِيبُ لَكُمْ بِهِ الْزَّرْعَ وَالْزَّيْتُونَ وَالنَّخِيلَ وَالْأَعْنَابَ وَمِنْ
كُلِّ الْثَّمَرَاتِ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ



11. Dia menumbuhkan bagi kamu dengan air hujan itu tanam-tanaman; zaitun, korma, anggur dan segala macam buah-buahan. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar ada tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang memikirkan.

(Surat An Nahl ayat 11)

Menurut tafsir Departemen Agama dari surat An Nahl : 11 menyatakan bahwa karena hujan itu pulalah Allah SWT menumbuhkan tanam-tanaman yang buahnya dapat memenuhi kebutuhan hidup mereka dari jenis rumput rumputan, manusia dapat memperoleh bahan makanan dan zaitun mereka dapat memperoleh rempah-rempah, dan dari kurma dan anggur mereka dapat memperoleh buah-buahan sebagai penambah lezatnya makanan mereka, kemudian disebut pula segala macam buah-buahan, agar manusia dapat mengetahui kekuasaan Nya yang tidak terbatas, yaitu dari air yang sama Allah SWT berkuasa menumbuhkan tanam-tanaman yang beraneka ragam dan mengeluarkan buah-buahan yang beraneka ragam bentuk, warna dan rasanya. Segala macam tumbuh-tumbuhan yang menghasilkan bahan pemenuhan kebutuhan hidup mereka, adalah nikmat yang diberikan oleh Allah dan sekaligus sebagai bukti keesaan Tuhan bagi orang yang mengingkari Nya. Pada akhir ayat Allah SWT menandaskan bahwa segala macam nikmat yang diturunkan baik secara langsung ataupun tidak langsung adalah merupakan bukti-bukti kebenaran bahwa sesungguhnya tidak ada Tuhan kecuali Allah. Bukti-bukti itu dapat diketahui oleh orang-orang yang memperhatikan dan memikirkan tanda-tanda kekuasaan Tuhan serta memikirkan hukum-hukum yang berlaku di dalamnya. Bukti-bukti kekuasaan Tuhan yang terdapat di kolong langit ini cukup memberikan kepuasan pada orang yang benar-benar memperhatikan kekuasaan Nya dan cukup kuat untuk mempercayai keesaan Nya, misalnya orang yang memperhatikan biji-bijian, baik biji tunggal ataupun yang berkeping dua, yang terletak di permukaan tanah yang

dibasahi oleh embun, lama kelamaan merekahlah biji itu dan keluarlah akarnya menembus permukaan bumi, kemudian tumbuh batang dan dedaunan terus berkembang menjadi besar berbunga dan berbuah. Satu hal yang menarik perhatian ialah biji-bijian yang hampir sama menghasilkan tumbuh-tumbuhan yang beraneka ragam dan menghasilkan buah-buahan yang bermacam-macam bentuk warna dan rasanya. Orang yang demikian tentunya akan melihat bahwa pencipta dari segala macam tumbuh-tumbuhan itu ialah Zat Yang Maha Sempurna yang tidak bisa disaingi oleh zat-zat yang lain. Dialah yang berhak diperturban dan berhak disembah.

Itulah penjelasan tafsir ayat di atas, dibawakan untuk membantu memahami makna yang terkandung di dalamnya. Maka jelaslah bahwa Allah SWT menyuruh manusia untuk memikirkan kekuasaan Allah SWT dan tanda-tanda kekuasaan Allah SWT yang diantaranya yang disebutkan pada ayat di atas berupa tanaman-tanaman pertanian. Sungguh dalam pertanian banyak tanda-tanda kebesaran Allah, perhatikanlah dan renungkanlah betapa kuasanya Allah SWT yang telah menumbuhkan tanaman dari dalam tanah dari berupa benih, mengembangkan dan menumbuhkannya hingga akhirnya menjadi tanaman yang bisa dipanen. Apalagi kalau direnungi lagi proses tersebut secara lebih mendalam, bagaimana proses yang terjadi di dalamnya, reaksi-reaksi kimia yang berlangsung di dalamnya maka makin menunjukkan kepada tanda-tanda kekuasaan Allah. Perhatikanlah bagaimana tanaman itu tumbuh, berbuah dan bagaimana rasanya?

Seandainya tanpa kekuasaan, pengaturan dan limpahan rizki dari Allah maka tidaklah tanaman itu akan tumbuh dan berkembang, karena tanaman itu tidak mempunyai kekuasaan atas dirinya sendiri kecuali dari kekuasaan Allah, sehingga sebenarnya tidaklah tanaman itu tumbuh dan berkembang sendiri. Sebagaimana dalam firman Allah dalam surat Yunus ayat 31 yang berbunyi :

قُلْ مَنْ يَرْزُقُكُمْ مِنَ السَّمَاءِ وَالْأَرْضِ أَمْ يَمْلِكُ السَّمَاءَ
وَالْأَبْصَرَ وَمَنْ تُخْرِجُ الْحَيَّ مِنَ الْمَيِّتِ وَتُخْرِجُ الْمَيِّتَ
مِنَ الْحَيَّ وَمَنْ يُدِيرُ الْأَمْرَ فَسَيَقُولُونَ اللَّهُ فَقُلْ أَفَلَا
تَتَّقُونَ

31. Katakanlah: "Siapakah yang memberi rezki kepadamu dari langit dan bumi, atau siapakah yang Kuasa (menciptakan) pendengaran dan penglihatan, dan siapakah yang mengeluarkan yang hidup dari yang mati dan mengeluarkan yang mati dari yang hidup[689] dan siapakah yang mengatur segala urusan?" Maka mereka akan menjawab: "Allah". Maka Katakanlah "Mangapa kamu tidak bertakwa kepada-Nya)?"

[689] sebagian Mufassirin memberi misal untuk ayat Ini dengan mengeluarkan anak ayam dari telur, dan telur dari ayam. dan dapat juga diartikan bahwa pergiliran kekuasaan diantara bangsa-bangsa dan timbul tenggelamnya sesuatu umat adalah menurut hukum Allah.

(Surat Yunus ayat 31)

Sesungguhnya Allah tidaklah dalam mengatur pertumbuhan itu dengan sembarangan, tetapi mempunyai suatu ukuran tertentu atau mempunyai sistem tertentu dalam menumbuhkan tanaman tersebut. Sebagaimana firman Allah pada surat Al Qamar ayat 19:

إِنَّا أَرْسَلْنَا عَلَيْهِمْ رِتْهًا صَرِّصَارًا فِي يَوْمٍ خَسِيرٍ مُّسْتَمِرٍ

19. Sesungguhnya kami Telah menghembuskan kepada mereka angin yang sangat kencang pada hari nahas yang terus menerus,

(Surat. Al Qamar Ayat 19)

Dalam penciptaan itu ukuran-ukuran atau sistem pembentuk pertumbuhan tanaman itu manusia tidak mengetahuinya, tetapi manusia hanya bisa mempelajari bagaimana faktor-faktor pertumbuhan itu, apa saja yang diperlukan dalam pertumbuhan serta dimana saja tanaman itu bisa tumbuh. Semua faktor-faktor yang mendukung dalam pertumbuhan itu merupakan suatu sistem yang rapi yang mana manusia tidak mampu untuk menciptakannya, akan tetapi manusia hanya bisa memodelkan semua sistem itu dalam bentuk simulasi.

Pada penelitian ini dilakukan untuk mengintegrasikan sistem dinamis ke sintak grammer dengan menggunakan integrasi metoda *Artificial Intelligent* dan metoda *Genetic L-System Programming* pada pengaruh pemberian variasi komposisi pupuk kompos dan NPK.

Ada empat tahapan utama pada penelitian ini, yakni membuat pemodelan pertumbuhan tanaman dengan metoda *L-System*, membuat beberapa pemodelan pertumbuhan tanaman dengan metoda *Genetic L-System Programming*, mengidentifikasi pertumbuhan tanaman dengan metoda *Artificial Intelligent* yaitu *Artificial Neural Network* dan *Fuzzy Mamdani* kemudian mengintegrasikan metoda *Artificial Intelligent* dengan metoda *Genetic L-System Programming*.

Data pertumbuhan yang dipakai adalah tanaman *zinnia*, penanaman dilakukan dengan polibag sejumlah 21 kelompok

tanaman, setiap kelompok terdapat 3 tanaman *zinnia*, 1 kelompok data sebagai pemodelan pertumbuhan tanaman dengan metoda *L-System* dan metoda *Genetic L-System Programming*, 15 kelompok data sebagai model dinamis dengan metoda *Artificial Intelligent* dan 5 kelompok data sebagai komparasi. Proses pengambilan data dilakukan dengan merujuk pada pedoman pengambilan data pada penelitian (Sompon.C.A, dkk, 2004)

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Buku penelitian ini akan menjelaskan tentang : 1). Pendekatan dalam studi pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pengaruh faktor lingkungan yang selama ini didekati dengan fungsi persamaan matematika berdasarkan pengujian data lapangan lebih bersifat kuantitatif terhadap data percobaan di lapangan. 2). Bagaimana membuat pemodelan pertumbuhan tanaman varietas *zinnia* dengan metoda *L-System*. 3). Bagaimana membuat beberapa pemodelan pertumbuhan tanaman varietas *zinnia* dengan metoda *Genetic L-System Programming*. 4). Bagaimana mengidentifikasi pertumbuhan tanaman varietas *zinnia* berdasarkan pengaruh pemberian pupuk dengan menggunakan metoda *Artificial Intelligent* yang terdiri dari *artificial neural network* dan *fuzzy madani*. 5). Bagaimana membuat pemodelan pertumbuhan tanaman yang bersifat dinamis pada varietas *zinnia* dengan mengintegrasikan metoda *Artificial Intelligent* dan metoda *Genetic L-System Programming*.

1.3 BATASAN MASALAH

Pada buku penelitian ini akan diberikan batasan sebagai berikut : 1). Menggunakan morfologi pertumbuhan tanaman *zinnia*, 2). Pengaruh pertumbuhan tanaman *zinnia* berdasarkan pemberian variasi komposisi pupuk kompos dan NPK, sedangkan faktor lingkungan lain yaitu suhu,

kelembaban dan intensitas cahaya adalah sebagai data pendukung.

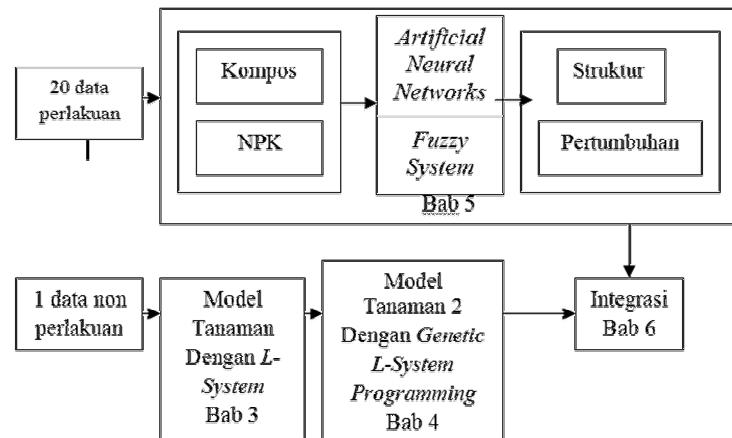
1.4 TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Diharapkan buku penelitian ini dapat memberikan : 1).Memudahkan membuat pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*, 2).Memudahkan mengidentifikasi pertumbuhan tanaman *zinnia* berdasarkan pengaruh pemberian pupuk kompos dan NPK, 3).Memudahkan membuat pemodelan pertumbuhan tanaman yang bersifat dinamis varietas *zinnia* berdasarkan pengaruh pemberian pupuk kompos dan NPK.

1.5 SUSUNAN PENULISAN

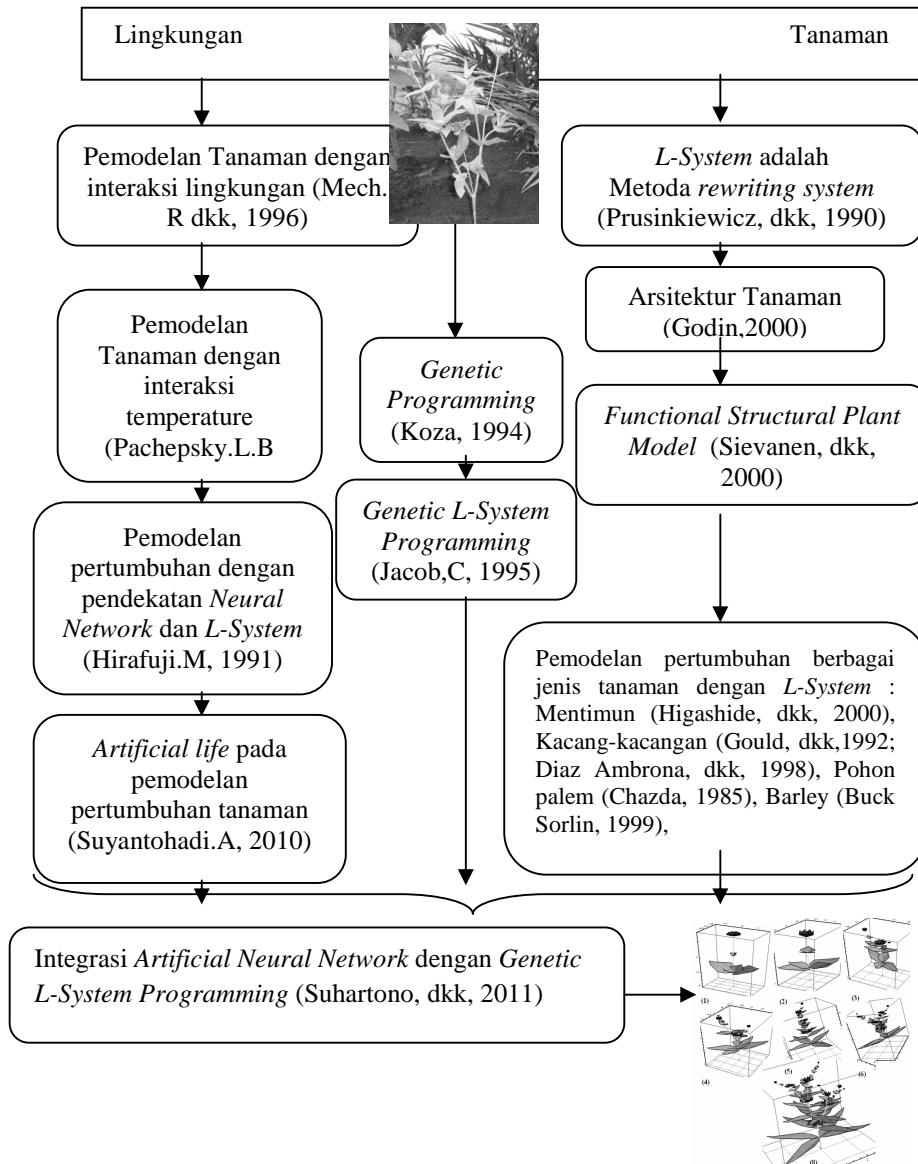
Penulisan penelitian ini terdiri dari tujuh bab. Bab 1 adalah sebuah pendahuluan, dijelaskan tentang latar belakang, rumusan dan batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, kontribusi penelitian, susunan penulisan dan peta jalan penelitian. Kajian yang terkait dengan topik penelitian dijelaskan pada Bab 2 yang terdiri dari teori tanaman zinnia; teori metoda *L-System*, *Rewriting System Deterministic, context free L-System (DOL-System)*, *Bracketed L-System* ; Pemodelan Pertumbuhan Tanaman Bunga, Bab 3 diuraikan tentang membuat pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *L-System*. Membuat beberapa pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *Genetic L-System Programming* dan diusulkan sebuah model pertumbuhan tanaman *zinnia* yang terbaik dijelaskan pada Bab 4. Bagaimana mengidentifikasi pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pemberian variasi komposisi pupuk dengan metoda *Artifical Neural Networks* dan metoda *Fuzzy System* dijelaskan pada Bab 5. Bab 6 diusulkan sebuah model integrasi metoda *Artifical Intelligent* dan metoda *Genetic L-System Programming* terhadap pengaruh pemberian variasi

komposisi pupuk kompos dan NPK. Akhirnya Bab 7 adalah kesimpulan penelitian dan saran untuk peneliti selanjutnya. Diagram metoda penyusunan integrasi metoda *artificial intelligent* dan metoda *Genetic L-System Programming* pada pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pengaruh pemberian variasi komposisi pupuk kompos dan NPK dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Metoda penyusunan integrasi metoda *Artificial Intelligent* dan metoda *Genetic L-System Programming* pada pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pengaruh pemberian variasi komposisi pupuk kompos dan NPK

1.6 PETA JALAN PENELITIAN



Gambar 1.2 Peta Jalan Penelitian

Gambar 1.2 menunjukkan peta jalan penelitian yang telah ditulis untuk dapat mewujudkan visi "Integrasi metoda *Artificial Neural Networks* dan metoda *Genetic L-System Programming* untuk pemodelan pertumbuhan tanaman zinnia pada interferensi pemberian pupuk". Pendekatan tentang arsitektur tanaman telah dapat dikategorikan sebagai pemodelan pertumbuhan tanaman (Godin,2000). Arsitektur tanaman dapat direpresentasikan dalam bentuk grafika 3D ke dalam global, modular dan muti skala (Godin,2000).

Arsitektur tanaman dalam representasi global adalah tanaman sebagai keseluruhan, tetapi faktanya bahwa tanaman mempunyai organ yang berbeda. Representasi global menurut Godin dapat dibedakan menjadi dua representasi global geometri yaitu pada bentuk nyata dari objek utama pada tanaman, contoh tanaman bunga terdiri dari bunga digambarkan sebagai elips, batang sebagai silinder dan daun sebagai segi empat. Representasi lainnya adalah representasi global fungsi di mana representasi yang berhubungan dengan fungsi tertentu, seperti fungsi pengangkutan karbon pada tanaman atau fungsi yang mewakili resistensi untuk mengangkut air.

Sedangkan untuk representasi modular tanaman didekomposisi menjadi modul yang berbasis organ atau terdiri dari subdivisi spasial. Dimana tanaman dapat terdiri dari pengulangan modul dapat dicontohkan modul daun, batang, tunas, dll. Representasi multiskala tanaman dapat dijelaskan dalam bentuk level hirarki, dimana jumlah data dapat dikurangi karena tidak memerlukan informasi tentang posisi masing-masing organ individu dan geometri. (Sillion,1995) menggunakan representasi multi skala untuk menghitung radiositas dalam kanopi pohon, sedangkan untuk merepresentasikan geometri pada pohon telah digunakan oleh (Zeide,1991), sedangkan untuk pemrograman berorientasi obyek telah terbukti dapat diimplementasikan dalam deskripsi struktur tanaman pada berbagai skala (Salminen, dkk, 1994). Tanaman sebagai

model arsitektur dapat menggunakan hukum empiris untuk mensimulasikan grafika 3D pada pertumbuhan struktur tanaman. Pada model ini tidak memasukkan efek fisiologi tanaman dan kondisi lingkungan di struktur morfogenesis.

Functional Structural Models (FSPM) (Sievänen, dkk, 2000) menggabungkan kuantifikasi 3D struktur tanaman dengan proses fisiologi. Struktural dan proses fungsional dapat terintegrasi dalam satu model atau dipisahkan dengan operasi secara paralel, mengintegrasikan model arsitektur dan fungsional, dikenal sebagai model mekanistik. Dengan bantuan komputer, kombinasi perhitungan struktur tanaman dan

simulasi proses fisiologis yang rumit dapat dilakukan dalam satu model. Dimana FSPM dapat menghasilkan tanaman lengkap, dengan semua struktur dan fungsi, dalam animasi komputer yang dapat disebut '*Virtual Plant*' (Room, dkk, 1996).

The Algorithmic Beauty of Plants (Prusinkiewicz, dkk, 1990) fokus kepada algoritma pertumbuhan tanaman dengan menggunakan metoda *L-System*. *L-System* (*Lindenmayer System*) adalah dikembangkan oleh Aristed Lindenmayer yaitu seorang botani pada tahun 1960 (Lindenmayer, 1968). Metoda *L-System* adalah metoda pemodelan pertumbuhan tanaman dan struktur yang berasal dari tata bahasa formal untuk menghasilkan string. Algoritma ini menghasilkan output secara grafik yang dapat ditampilkan oleh mesin render 3D. Pada pengembangannya metoda *L-System* dapat dibuat pemodelan pertumbuhan tanaman terhadap pengaruh lingkungan, seperti kelembaban, angin, dan sinar matahari. Pemodelan pertumbuhan tanaman adalah modular dan deskriptif untuk *closed L-System*, dan mekanistik untuk *opened L-System*.

Pemodelan pertumbuhan tanaman yang telah dibuat dengan metoda *L-System* adalah untuk tanaman mentimun (Higashide, dkk, 2000), kacang-kacangan (Gould, dkk, 1992;

Diaz Ambrona, dkk, 1998), pohon palem (Chazda, 1985), barley (Buck Sorlin, 1999), bunga matahari (Prusinkiewicz, dkk, 1990), kapas (Room, dkk, 1996), semanggi (Gautier, dkk, 2000) dan sorghum (Kaitaniemi, dkk, 2000). Metoda *L-System* juga diterapkan untuk menggambarkan proses tertentu, seperti arsitektur akar (Shibusawa, 1992), penyakit tanaman (Wilson, dkk, 1998), dan herbivora serangga (Room, dkk, 1996).

Untuk pengembangan pemodelan pertumbuhan tanaman dengan proses evolusi, yaitu variasi model tanaman digunakan metoda *Genetic Programming* (Koza, 1989 ;Koza, 1990; Koza, 1992; Koza, 1994 ;Koza, dkk, 1999), pada metoda *Genetic Programming* terdapat skema reproduksi yang sama dengan metoda *Genetic Algoritma*. *Fitness* adalah bentuk pemilihan dengan melakukan *filtering* pada satu set pada program komputer di *genom*. Program komputer yang mewakili algoritma dengan solusi terbaik akan dipilih untuk generasi berikutnya. Variasi pada program komputer di *genom* akan dihasilkan dari modifikasi ekspresi melalui proses mutasi dan rekombinasi. Genom dari *L-System* yang diwakili oleh ekspresi simbolik, dapat dilakukan evolusi pada struktur *genotype* yaitu seleksi dan variasi yang dikatakan sebagai metoda *Genetic L-System Programming* (Jacob, C, 1995).

Pengembangan metoda *L-System* dalam pemodelan pertumbuhan tanaman berdasarkan interaksi lingkungan dinyatakan bahwa organ adalah unit terkecil yang memiliki koordinat x, y dan z, dan berisi informasi, misalnya keberadaan organ, informasi ini akan dibaca oleh *Apiks*, dan dalam pertumbuhan tanaman *Apiks* akan menghindari tabrakan dengan *Apiks* tanaman lain (Mech. R dkk, 1996), interaksi lingkungan terhadap temperatute (Pachepsky.L.B dkk, 2004), berikutnya interaksi lingkungan terhadap penyerapan air oleh akar (Diggle, 1988) dalam model 3D *Rootmap*. Kemudian pengembangan pemodelan pertumbuhan tanaman dengan pendekatan dengan metoda *Neural Network* dan metoda *L-System* (Hirafuji.M, 1991),

untuk pendekatan intelligence pada pertumbuhan tanaman kedelai (Atris,S.H, 2010), sedangkan untuk pemodelan pertumbuhan tanaman dengan pendekatan metoda *Genetic Programming* dan *L-System* (Suhartono, dkk, 2009), visualisasi pertumbuhan tanaman dengan metoda *Hybrid Genetic L-System* (Suhartono, dkk, 2010), pemodelan pertumbuhan tanaman dengan integrasi *fuzzy system* dengan *Genetic L-System Programming* (Suhartono, dkk, 2011), pemodelan pertumbuhan tanaman dengan integrasi *Artificial Neural Network* dengan *Genetic L-System Programming* (Suhartono, dkk, 2011), pemodelan pertumbuhan tanaman dengan integrasi *fuzzy system* dengan *Functional Structural Plant Model* (Suhartono, dkk, 2012).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan kajian terkait yang diterapkan pada integrasi metoda *Artifical Intelligent* dan metoda *Genetic L-System Programming* berdasarkan pemberian variasi komposisi pupuk kompos dan NPK pada tanaman *zinnia*. Ada banyak penelitian yang menggunakan metoda *Genetic L-System Programming* untuk mensimulasikan dan memvisualisasikan pemodelan pertumbuhan tanaman. Bab ini terdiri dari tiga bagian, yang pertama kajian yang terkait dengan metoda *Genetic L-System Programming*, yang kedua kajian yang terkait dengan tanaman *zinnia* dan yang terakhir kajian yang terkait dengan pemodelan pertumbuhan tanaman.

2.1 PEMODELAN PERTUMBUHAN TANAMAN

Pertumbuhan berasal dari kata tumbuh jadi pengertian pertumbuhan harus dilihat dari pengertian kata tumbuh. Pengertian kata tumbuh menurut Kamus Bahasa Indonesia adalah 1) timbul (hidup) dan bertambah besar atau sempurna, 2) sedang berkembang (menjadi besar, sempurna, dan sebagainya), 3) timbul; terbit; terjadi (sesuatu). Jadi pengertian pertumbuhan adalah hal (keadaan) tumbuh; perkembangan (kemajuan dan sebagainya) yang berarti keadaan/hal bertambah besar atau sempurna. (pusatbahasa.diknas.go.id, 2009).

Selain itu dalam Al Qur'an kata pertumbuhan juga disinggung dalam surat Al An'am ayat 99 yang berbunyi :

وَهُوَ اللَّهُ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجَنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ
شَيْءٍ فَأَخْرَجَنَا مِنْهُ حَضِيرًا خُجُورًا حَبَّا مُتَرَاكِبًا وَمِنَ النَّخْلِ

مِنْ طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَائِيَّةٌ وَجَنَّتٌ مِنْ أَعْنَابٍ وَالرَّيْتُونَ وَالرُّمَانَ
 مُشْتَبِّهًا وَغَيْرُ مُتَشَبِّهٍ أَنْظُرُوا إِلَيْ شَرْهٍ إِذَا أَثْمَرَ وَيَنْعِهٌ إِنَّ فِي
 ذَلِكُمْ لَا يَسْتِرُ لِقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ ﴿١١﴾

99. Dan dialah yang menurunkan air hujan dari langit, lalu kami tumbuhkan dengan air itu segala macam tumbuh-tumbuhan. Maka kami keluarkan dari tumbuh-tumbuhan itu tanaman yang menghijau. kami keluarkan dari tanaman yang menghijau itu butir yang banyak; dan dari mayang korma mengurai tangkai-tangkai yang menjulai, dan kebun-kebun anggur, dan (Kami keluarkan pula) zaitun dan delima yang serupa dan yang tidak serupa. perhatikanlah buahnya di waktu pohonnya berbuah dan (perhatikan pulalah) kematangannya. Sesungguhnya pada yang demikian itu ada tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi orang-orang yang beriman.

(Surat Al An'am ayat 99)

Sedangkan tafsir dari Departemen Agama yaitu sesudah itu Allah SWT. menjelaskan kejadian hal-hal yang menjadi kebutuhan manusia sehari-hari, agar mereka secara mudah dapat memahami kekuasaan, kebijaksanaan, serta pengetahuan Allah SWT yang menjelaskan bahwa Allah lah yang menurunkan hujan dari langit, yang menyebabkan tumbuhnya berbagai jenis tumbuh-tumbuhan yang terdiri dari berbagai ragam bentuk, macam dan rasa. seperti firman Allah:

وَفِي الْأَرْضِ قِطْعٌ مُتَجَوِّرٌ وَجَنَّتٌ مِنْ أَعْنَابٍ وَرَزْعٌ
 وَخَنِيلٌ صِنْوَانٌ وَغَيْرُ صِنْوَانٍ يُسْقَى بِمَاءٍ وَاحِدٍ وَنُفَضِّلُ بَعْضُهَا

عَلَىٰ بَعْضٍ فِي الْأَكْلِ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ



4. Dan di bumi Ini terdapat bagian-bagian yang berdampingan, dan kebun-kebun anggur, tanaman-tanaman dan pohon korma yang bercabang dan yang tidak bercabang, disirami dengan air yang sama. kami melebihkan sebahagian tanam-tanaman itu atas sebahagian yang lain tentang rasanya. Sesungguhnya pada yang demikian itu terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang berfikir.

(Surat Ar Ra'd ayat 4)

Disebutkan hujan turun dari langit adalah menurut kebiasaan mereka. "Sama" atau langit digunakan untuk apa saja yang berada di atas: sedang yang dimaksud dengan sama' dalam ayat ini ialah "sahab" yang berarti awan.

Allah menjelaskan bahwa air itu sebagai sebab bagi tumbuhnya segala macam tumbuh-tumbuhan yang beraneka ragam bentuk jenis dan rasanya supaya manusia dapat mengetahui betapa kekuasaan Allah mengatur kehidupan tumbuh-tumbuhan itu. Manusia yang suka memperhatikan siklus peredaran air akan dapat mengetahui betapa tingginya hukum-hukum Allah. Hukum Nya berlaku secara tetap dan berlangsung terus tanpa henti-hentinya, sampai tiba saat yang telah ditentukan.

Kemudian disebutkan pula perincian dari tumbuh-tumbuhan yang beraneka ragam itu; di antaranya ialah rerumputan yang tumbuh berumpun-rumpun sehingga kelihatan menghijau. Tumbuh-tumbuhan jenis ini mengeluarkan buah yang berbentuk butiran-butiran kecil yang terhimpun dalam sebuah tangkai seperti gandum, syair dan padi. Jenis yang lain dari tumbuh-tumbuhan itu ialah

pohon palem yang mengeluarkan buah yang terhimpun dalam sebuah tandan yang menjulai rendah sehingga mudah dipetik. Jenis yang lain lagi dan jenis tumbuh-tumbuhan yang beraneka ragam itu ialah anggur, zaitun, dan delima. Ketika jenis buah-buahan ini disebutkan secara beruntun, karena masing-masing ada yang mempunyai persamaan dan perbedaan, sifat, bentuk dan rasanya, sehingga ada yang berwarna kehitam-hitaman dan ada pula yang berwarna kehijau-hijauan; ada yang berdaun agak lebar, dan ada pula yang berdaun agak kecil; begitu pula ada yang rasanya manis dan ada yang asam. Kesemuanya itu adalah untuk menunjukkan kekuasaan Allah yang menciptakan tumbuh-tumbuhan yang beraneka ragam itu. Allah SWT memerintahkan kepada manusia agar memperhatikan tumbuh tumbuhan yang beraneka ragam itu pada saat berbuah bagaimana buah-buahan itu tersembul dan batang atau rantingnya, kemudian merekah sebagai bunga, setelah nampak buahnya, akhirnya menjadi buah yang sempurna (matang).

Pada akhir ayat ini Allah SWT. menegaskan bahwa dalam proses kejadian pembuahan itu terdapat tanda-tanda kekuasaan Allah yang sangat teliti pengurusannya serta tinggi ilmu Nya. Tanda-tanda kekuasaan Allah itu menjadi bukti bagi orang yang beriman, dari ayat-ayat ini dapat dipahami bahwa perhatian manusia pada segala macam tumbuh-tumbuhan hanya terbatas pada keadaan lahir sebagai bukti adanya kekuasaan Allah, tidak sampai mengungkap rahasia dari kekuasaan Allah terhadap penciptaan tumbuh-tumbuhan itu. Hal ini dapat diketahui dari kenyataan, bahwa kekuasaan Nya adalah menjadi bukti wujud Nya bagi orang yang beriman.

Perkembangan penelitian pemodelan pertumbuhan tanaman dimulai saat Aristid Lindenmayer memperkenalkan teori pertumbuhan *cell anabaena catenula* dengan menggunakan *rewriting string* telah diidentifikasi sebagai metoda *Lindenmayer System (L-System)* (Prusinkiewics.P, dkk, 1990). Kemudian

diperbaiki dan dirancang menjadi pemodelan pertumbuhan secara realistik pada tanaman tinggi (Prusinkiewics.P, dkk, 2003). Penerapan metoda *L-System* telah ditingkatkan sebagai alat pemodelan pada berbagai jenis tanaman (Pachepsky.L.B, dkk, 2004).

Metoda *L-System* yang disebut teori *rewriting string* adalah pola aturan (grammar) yang dijumpai pada tanaman yang bersifat sebagai pola yang memiliki kesamaan dan berulang. Sintak terhadap pertumbuhan tanaman dalam metoda *L-System* akan dinotasikan dan disusun dalam kaidah aturan (*rules*) pertumbuhan tanaman. Pada kondisi sesungguhnya tanaman yang mengalami pertumbuhan akan diawali dari bibit, kemudian pertumbuhan tanaman dilanjutkan dengan tumbuhnya tunas muda yang dinotasikan sebagai *axiom* pada metoda *L-System*. Aturan reproduksi tanaman diberikan pada tahap tunas muda yang tumbuh dan berkembang, kemudian disusul oleh batang yang kemudian diikuti oleh daun muda, kesemuanya berkembang secara paralel, terakhir adalah bunga. Pengembangan pemodelan pertumbuhan tanaman untuk mendapatkan variasi model pertumbuhan yang sesuai dengan keinginan dengan memodifikasi sintak pada pertumbuhan tanaman pada metoda *L-System* dilakukan dengan metoda *Genetic L-System Programming*.

Piranti lunak untuk memodelkan pertumbuhan tanaman, pertama piranti lunak *L-Studio* (Karwowski.R dkk, 2006) merupakan perangkat lunak pemodelan pertumbuhan tanaman yang dikembangkan di Universitas Calgary tahun 1999 bersifat komersial. Bahasa yang dikembangkan adalah bahasa C++ yang ditambahkan format *L-System* dengan notasi format bahasa L+C. Piranti lunak *Plant VR* (Somporn.C.A dkk, 2004) merupakan piranti lunak pertumbuhan tanaman untuk *parametric L-System* sebagai contoh untuk tanaman kedelai, bahasa pemrograman yang dikembangkan adalah bahasa Pascal. Piranti lunak *Mathematica* dengan aplikasi *kLSystems* dan *Evolvica* (Jacob.C, 1995) merupakan piranti lunak pemodelan pertumbuhan

tanaman dan evolusi pemodelan pertumbuhan tanaman sebagai contoh untuk tanaman bunga *lychnis coronaria*.

2.1.1 METODA *L-SYSTEM*

Metoda Lindenmayer Sistem (*L-System*) adalah aturan formal yang disusun sebagai gramatika dalam bentuk axioma, dimana simbol-simbol yang digunakan merepresentasikan pertumbuhan tanaman, terjadi pergantian simbol secara paralel dan simultan pada masing-masing tahap. Disini perbedaan penting gramatika Chomsky dan *L-System* terletak pada hal produksi. Di gramatika Chomsky produksi dipakai sebagai urutan (sequentiallly) sedangkan pada gramatika *L-System* produksi dipakai sebagai paralel dan simultan untuk mengganti komponen. Ini akibat dari refleksi motivasi biologi, dimana produksi adalah pertumbuhan, deferensiasi sel dan morfogenesis.

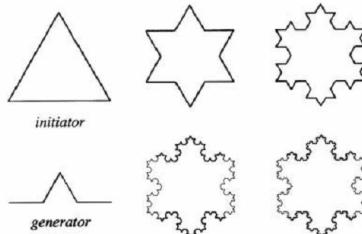
2.1.1.1 *REWRITING SYSTEM*

Konsep utama dari Lindenmayer Sistem adalah penulisan berulang. Penulisan berulang adalah teknik untuk mendefinisikan objek secara kompleks dengan cara mengganti bagian dari objek dengan cara *rewriting rule* atau *production* (Prusinkiewics.P, dkk, 1990). Contoh dari objek grafika yang didefinisikan secara aturan *rewriting rule* adalah *snowflake curve*, pada tahun 1905 oleh von koch (Prusinkiewics.P, dkk, 1990). Proses dari *rewriting rule* terdapat dua bagian pembentukan yaitu *initiator* dan *generator*. Dimana menerapkan *generator* pada *initiator*, kemudian menerapkan *generator* pada hasil yang terakhir, dan seterusnya. Dimana menerapkan *generator* pada *initiator*, kemudian menerapkan *generator* pada hasil yang terakhir,

dan seterusnya. Jika digunakan  sebagai *initiator* dan  sebagai *generator* setelah satu iterasi didapat



, dimana mengganti setiap baris dengan generator, dapat di lihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Konstruksi dari kurva snowflake

(Prusinkiewics.P, dkk, 1990)

2.1.1.2 ***DETERMINISTIC AND CONTEXT FREE L-SYSTEM (DOL-SYSTEM)***

D0L-System (artinya D0: *deterministik* dengan tidak ada konteks) adalah tipe paling sederhana dari metoda *L-System*. Secara formal suatu *D0L-System* adalah $L=(\Sigma, \alpha, P, T)$, mampu mengkode struktur geometri, terdiri dari bagian seperti berikut:

1. Σ adalah alphabet dimana $\Sigma=(\delta_1, \dots, \delta_n)$, setiap simbol alphabet mewakili unit morfologi seperti *sprout, stalk, leaf, bloom*
2. α adalah string awal, disebut sebagai aksioma
3. $P=(p_1, \dots, p_n)$, a set of *productions or rewrite rules*
4. T adalah interpretasi grafik untuk menggambarkan objek seperti titik, garis, polygon, translasi.

Dengan menggunakan metoda *L-System* pada $L=(\Sigma, \alpha, P, T)$ menghasilkan urutan sintak, dapat dicontohkan metoda *DOL-System* sebagai berikut :

$$\Sigma = \{ a, b, c, d, e \}$$

$$\omega = abc$$

$$P_1 \quad a \rightarrow bc$$

$$P_2 \quad c \rightarrow ae$$

dapat dihasilkan urutan string sebagai berikut:

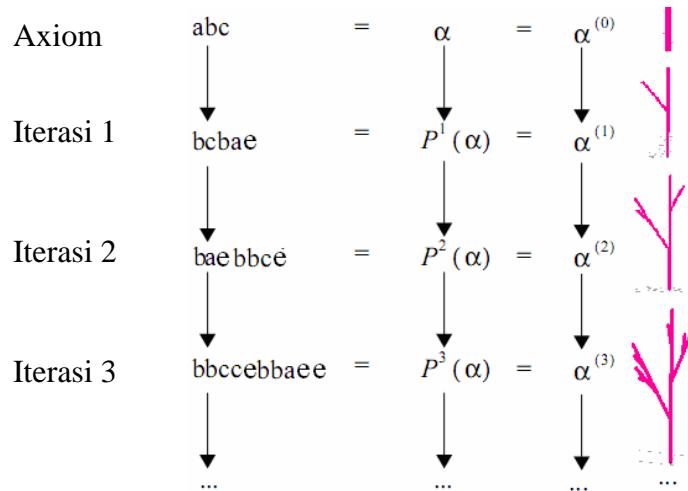
Axiom : abc

Iterasi 1 : bcbae

Iterasi 2 : baebbce

Iterasi 3 : bbccebbbaee

Maka dapat di ilustrasikan aturan *rewriting* dengan sintaks dan tata bahasa seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses *Rewriting* dengan *DOL-System* dan interpretasi geometri untuk axiom abc dan produksi $a \rightarrow bc$ dan $c \rightarrow ae$.

(Prusinkiewics.P, dkk, 1990)

2.1.1.3 **BRACKETED L-SYSTEM**

Untuk menjelaskan percabangan pada tanaman menggunakan *string* [] (Lindenmayer. A, 1968), untuk *string* [adalah menentukan awal dan *string*] adalah menentukan ujung pada akhir cabang yang dimaksudkan, dapat diilustrasikan struktur percabangan sederhana (Prusinkiewics.P dkk, 1990)

Axiom : A

$A \rightarrow I [A] [A] I A$

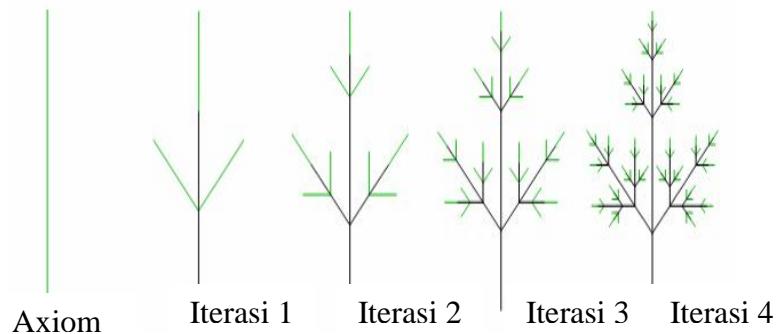
$I \rightarrow II$

dapat dihasilkan urutan *string* sebagai berikut:

Axiom : A

Iterasi 1	: I [A] [A] I A
Iterasi 2	: II [I [A] [A] I A] [I [A] [A] I A] III [A] [A] I A
Iterasi 3	: II II [I [I [A] [A] I A] [I [A] [A] I A] II I [A] [A] I A] [II [I [A] [A] I A] [I [A] [A] I A] II I [A] [A] I A] II II II [I [A] [A] I A] [I [A] [A] I A] II I [A] II I [A] I A

Simbol A adalah *Apex* dan simbol I adalah *Internode*, maka visualisasi dari percabangan tanaman sederhana adalah kedua *string* dapat direpresentasikan sebagai garis lurus dari satuan panjang berbeda warna. *String* A adalah *Apex* yaitu garis berwarna hijau, dan *string* I adalah *Internode* yaitu garis berwarna hitam, kemudian string [] adalah percabangan seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Struktur percabangan yang dihasilkan oleh Axiom A , produksi $A \rightarrow I[A][A]IA$ dan produksi $I \rightarrow II$ (Prusinkiewics.P, dkk, 1990)

2.1.1.4 **CONTEXT SENSITIVE L-SYSTEM**

Pada aturan model *Context Sensitive L-System* terdapat dua aturan produksi yang digunakan, pertama untuk aturan produksi 2L-System adalah terdapat dua produksi untuk satu *context*, contoh terdapat sintak $a_1 < a > a_r \rightarrow x$ maka sintak a dapat memproduksi huruf x jika dan hanya jika kondisi a adalah diantara a_1 dan a_r , sedangkan untuk aturan produksi 1L-System hanya satu produksi untuk satu *context*, contoh $a_1 < a \rightarrow x$, yaitu huruf a dapat memproduksi huruf x jika kondisi a adalah setelah a_1 atau contoh $a > a_r \rightarrow x$ maka sintak a dapat memproduksi huruf x jika kondisi a adalah setelah a_r .

Axiom : baaaaaaaaa

Produksi 1 : $b < a \rightarrow b$

Produksi 2 : $b \rightarrow a$

dapat dihasilkan urutan string sebagai berikut:

Axiom : baaaaaaaaa

Iterasi 1 : abaaaaaaaa

Iterasi 2 : aabaaaaaaaa

Iterasi 3 : aaabaaaaaaaa

Iterasi 4 : aaaabaaaaaaaa

dapat dilihat pada Gambar 2.4.

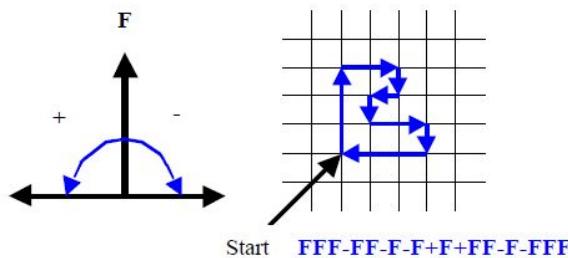
$$\begin{aligned}\omega &: baaaaaaaaa \\ p_1 &: b < a \rightarrow b \\ p_2 &: b \rightarrow a\end{aligned}$$

*baaaaaaaaaa
abaaaaaaaa
aabaaaaaaaa
aaabaaaaaaaa
aaaabaaaaaaaa
...*

Gambar 2.4 Contoh dari aturan produksi dari *Context Sensitive L-System* (Prusinkiewics.P, dkk, 1990)

2.1.1.5 REPRESENTASI GRAFIK TERHADAP HURUF DALAM METODA *L*-SYSTEM

Metoda *L-System* merupakan aturan formal yang disusun sebagai grammar yang dikarakteristikkan dalam bentuk axioma, dan simbol-simbol alphabet yang digunakan sebagai representasi pertumbuhan bagian tanaman secara parallel dan simultan yang disebut sebagai grafik *turtle*, yang dapat bergerak pada berbagai arah, kearah depan, kearah kanan maupun kearah kiri, dapat dicontohkan terdapat 3 simbol yaitu F, + dan -, diamana untuk simbol F menyatakan sebuah panjang bagian tanaman yang bergerak pada berbagai arah, arah pergerakan dengan arah putaran jam dinyatakan sebagai simbol + dan arah sebaliknya sebagai simbol -. Gambar arah pergerakan dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Grafik Arah Pergerakkan

(Prusinkiewics.P, dkk, 1990)

2.1.2 METODA *GENETIC L-SYSTEM PROGRAMMING*

Metoda *Genetic L-System Programming* (Jacob.C, 1995) adalah pendekatan metoda *Genetik Programming* (Koza, J.R., 1993) pada metoda *L-System* untuk pemodelan pertumbuhan tanaman, metoda ini menggunakan blok bangunan pada grammar dan sintak pada metoda *L-System* untuk mendapatkan pemodelan pertumbuhan tanaman yang baru. Dimana mendefenisikan metoda *Genetic L-System Programming* berdasarkan pada mekanisme seleksi alam dan genetik alam.

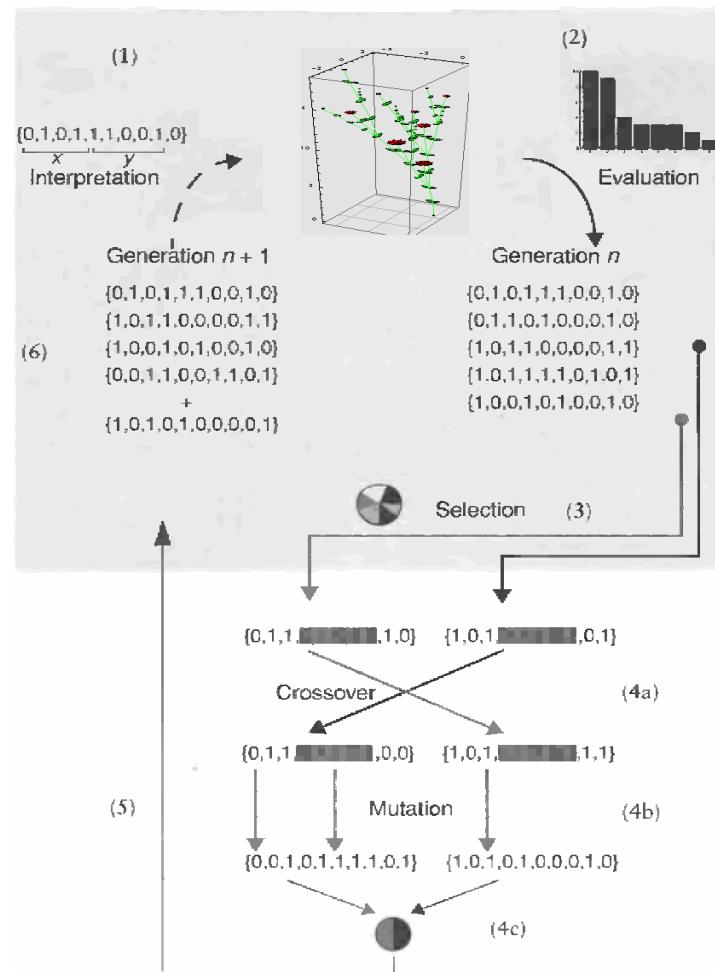
Metoda *Genetic L-System Programming* adalah metoda yang berusaha menerapkan pemahaman mengenai evolusi alamiah pada pemodelan pertumbuhan tanaman dengan metoda *L-System*. Pendekatan yang diambil oleh metoda ini adalah dengan menggabungkan secara acak berbagai pilihan pemodelan pertumbuhan tanaman terbaik di dalam suatu kumpulan untuk mendapatkan generasi solusi terbaik berikutnya yaitu pada suatu kondisi yang memaksimalkan kecocokannya atau lazim disebut fitness.

Generasi ini akan merepresentasikan perbaikan-perbaikan pada populasi awalnya. Dengan melakukan proses ini secara berulang, metoda ini diharapkan dapat mensimulasikan proses evolusi.

Pada akhirnya, akan didapatkan pemodelan pertumbuhan tanaman yang paling tepat bagi permasalahan pemodelan pertumbuhan tanaman yang dihadapi. Untuk menggunakan metoda *Genetic L-System Programming*, solusi permasalahan direpresentasikan sebagai khromosom. Tiga aspek yang penting untuk penggunaan metoda *Genetic L-System Programming* yaitu defenisi fungsi fitness, defenisi dan implementasi representasi genetik, defenisi dan implementasi operasi genetik. Jika ketiga aspek di atas telah didefinisikan, metoda *Genetic L-System Programming* akan bekerja dengan baik.

2.1.2.1 STRUKTUR METODA *GENETIC L-SYSTEM PROGRAMMING*

Metoda *Genetic L-System Programming* memberikan suatu pilihan bagi penentuan nilai parameter dengan meniru cara reproduksi genetik, pembentukan kromosom baru serta seleksi alami seperti yang terjadi pada makhluk hidup. Metoda *Genetic L-System Programming* secara umum dapat diilustrasikan dalam diagram alir berikut ini seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Diagram alir mendapatkan pemodelan pertumbuhan tanaman zinnia baru dari generasi n ke generasi $n+1$ dengan metoda *Genetic L-System Programming*

Variabel dan parameter yang digunakan pada metoda *Genetic L-System Programming* adalah:

1. Fungsi fitness (fungsi tujuan) yang dimiliki oleh masing-masing individu untuk menentukan tingkat kesesuaian individu tersebut dengan kriteria yang ingin dicapai.
2. Populasi jumlah individu yang dilibatkan pada setiap generasi.
3. Probabilitas terjadinya persilangan (crossover) pada suatu generasi.
4. Probabilitas terjadinya mutasi pada setiap individu.
5. Jumlah generasi yang akan dibentuk yang menentukan lama penerapan metoda *Genetic L-System Programming*.

Secara umum struktur dari metoda *Genetic L-System Programming* dapat mendefenisikan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membangkitkan populasi awal

Populasi awal ini dibangkitkan secara random sehingga didapatkan pemodelan pertumbuhan tanaman awal. Populasi itu sendiri terdiri atas sejumlah kromosom yang merepresentasikan pemodelan pertumbuhan tanaman yang diinginkan.

2. Membentuk generasi baru

Untuk membentuk generasi baru, digunakan operator reproduksi/ seleksi, crossover dan mutasi. Proses ini dilakukan berulang-ulang sehingga didapatkan jumlah kromosom yang cukup untuk

membentuk generasi baru dimana generasi baru ini merupakan representasi dari pemodelan pertumbuhan tanaman baru. Generasi baru ini dikenal dengan istilah anak (*offspring*).

3. Evaluasi Pemodelan Pertumbuhan Tanaman

Pada tiap generasi, kromosom akan melalui proses evaluasi dengan menggunakan alat ukur yang dinamakan fitness. Nilai fitness suatu kromosom menggambarkan kualitas kromosom dalam populasi tersebut. Proses ini akan mengevaluasi setiap populasi dengan menghitung nilai fitness setiap kromosom dan mengevaluasinya sampai terpenuhi kriteria berhenti. Bila kriteria berhenti belum terpenuhi maka akan dibentuk lagi generasi baru dengan mengulangi langkah 2. Beberapa kriteria berhenti sering digunakan antara lain: berhenti pada generasi tertentu, berhenti setelah dalam beberapa generasi berturut-turut didapatkan nilai fitness tertinggi tidak berubah, berhenti dalam n generasi tidak didapatkan nilai fitness yang lebih tinggi. Untuk mengetahui pencapaian nilai fitness tertinggi pada penelitian ini pada tanaman bunga menggunakan nilai fitness yang didefinisikan oleh (Jacob.C, 1995) yaitu nilai jumlah bunga dari setiap individu dipakai untuk mengevaluasi pemodelan pertumbuhan tanaman, dengan rumus 2.1.

$$\text{Fitness}_i = \text{Bunga}$$

2.1.2.1.1 PENGKODEAN

Pengkodean adalah suatu teknik untuk menyatakan populasi awal sebagai calon pemodelan pertumbuhan tanaman ke dalam suatu kromosom sebagai suatu kunci pokok persoalan pemodelan pertumbuhan tanaman ketika menggunakan metoda *Genetic L-System Programming*. Pada

penelitian ini menggunakan pengkodean biner yaitu cara pengkodean yang paling umum digunakan. Keuntungan pengkodean ini adalah sederhana untuk diciptakan dan mudah dimanipulasi. Pengkodean biner memberikan banyak kemungkinan untuk kromosom walaupun dengan jumlah nilai-nilai yang mungkin terjadi pada suatu gen yang sedikit (0 dan 1). Pada penelitian ini menggunakan pengkodean memakai metode L-System dengan ekspresi simbolik, Boer dan Kuiper mengenalkan sistem *rewriting* parallel berdasarkan Algoritma Genetika (Boer, dkk, 1992).

2.1.2.1.2 OPERATOR GENETIK

Metoda *Genetic L-System Programming* merupakan proses pencarian yang heuristik dan acak sehingga penekanan pemilihan operator yang digunakan sangat menentukan keberhasilan metoda *Genetic L-System Programming* dalam menemukan masalah pemodelan pertumbuhan tanaman. Operator genetik yang digunakan setelah proses evaluasi tahap pertama membentuk populasi baru dari generasi sekarang. Operator-operator tersebut adalah operator seleksi, crossover dan mutasi.

2.1.2.1.3 SELEKSI

Seleksi bertujuan memberikan kesempatan reproduksi yang lebih besar bagi anggota populasi yang paling fit. Langkah pertama dalam seleksi ini adalah pencarian nilai fitness. Masing-masing individu dalam suatu wadah seleksi akan menerima probabilitas reproduksi yang tergantung pada nilai objektif dirinya sendiri terhadap nilai objektif dari semua individu dalam wadah seleksi tersebut. Nilai fitness inilah yang nantinya akan digunakan pada tahap seleksi berikutnya.

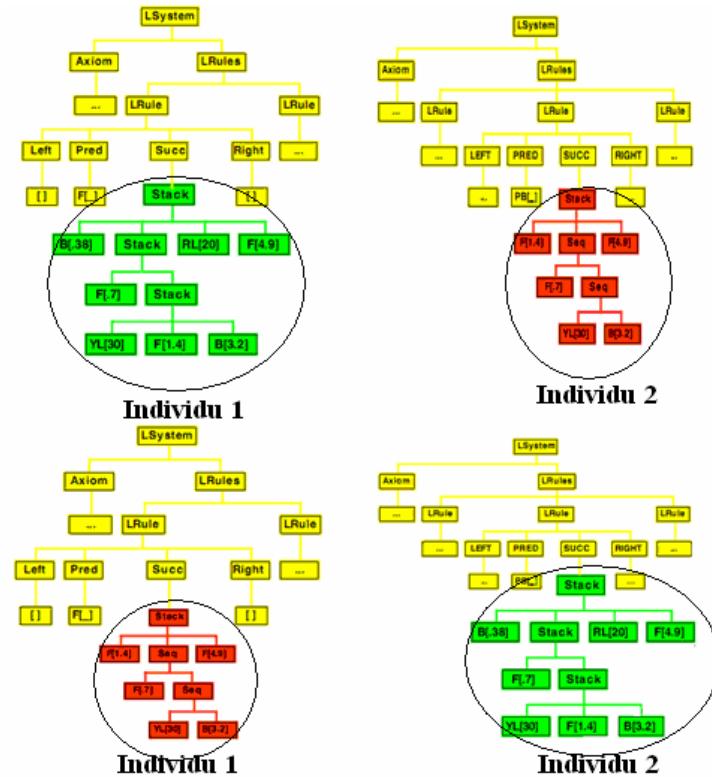
Kemampuan metoda *Genetic L-System Programming* untuk memproduksi kromosom yang lebih baik secara progresif tergantung pada penekanan selektif (*selective pressure*) yang diterapkan ke populasi. Penekanan selektif pada penelitian ini dengan cara membuat lebih banyak kromosom anak yang dipelihara dalam populasi dan memilih hanya kromosom-kromosom terbaik bagi generasi berikut. Walaupun orang tua dipilih secara acak, metode ini akan terus menghasilkan kromosom yang lebih baik berhubungan dengan penekanan selektif yang diterapkan pada individu anak tersebut.

Metoda untuk memilih kromosom pada penelitian ini digunakan seleksi roda rolet (*roulette wheel selection*). Pada seleksi ini, orang tua dipilih berdasarkan fitness mereka. Lebih baik kualitas suatu kromosom, lebih besar peluangnya untuk terpilih. Probabilitas suatu individu terpilih untuk crossover sebanding dengan fitness-nya. Cara penyeleksian ini merupakan peniruan dari permainan roda rolet.

2.1.2.1.4 Crossover

Crossover (perkawinan silang) bertujuan menambah keanekaragaman string dalam populasi dengan penyilangan antar-string yang diperoleh dari sebelumnya. Untuk melakukan proses *crossover* pada metoda *Genetic L-System Programming*, dapat dicontohkan proses pertama adalah dilakukan seleksi dua individu pada suatu generasi pemodelan pertumbuhan tanaman dengan melakukan proses *fitness*, kemudian pada dua individu terpilih tersebut tersebut dilakukan seleksi subekspresi dengan proses probabilistik dipilih sub ekspresi STACK sebagai individu 1 dan individu 2, kemudian dilakukan proses *delete* yaitu menghilangkan subekspresi STACK pada kedua individu. Kemudian dilakukan perpindahan sub ekspresi STACK pada individu 1 diganti dengan sub ekspresi STACK pada individu 2 menjadi ekspresi individu 1 yang baru, berikutnya sub ekspresi STACK pada individu 2 diganti dengan subekspresi STACK

pada individu 1 menjadi ekspresi individu 2 yang baru dapat dilihat pada gambar 2.7.

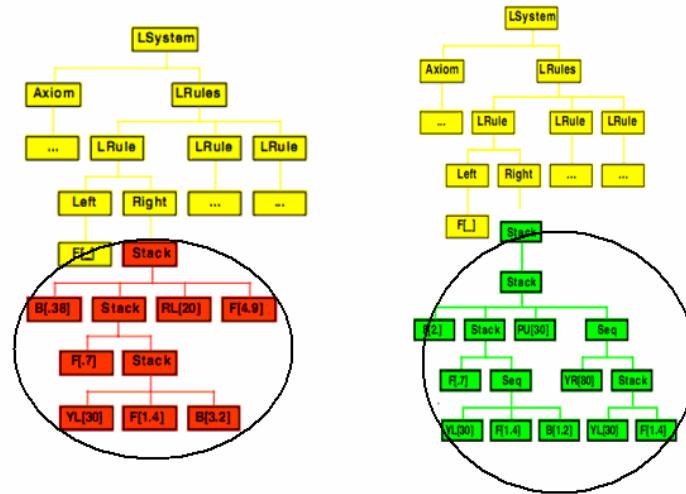


Gambar 2.7 Aturan rekombinasi dalam dua ekspresi simbolik pemodelan pertumbuhan tanaman

2.1.2.1.5 MUTASI

Mutasi merupakan proses mengubah nilai dari satu atau beberapa gen dalam suatu kromosom. Operasi crossover yang dilakukan pada kromosom dengan tujuan untuk memperoleh kromosom-kromosom baru sebagai kandidat pemodelan pertumbuhan tanaman pada generasi mendatang dengan fitness yang lebih baik, dan lama-kelamaan menuju solusi optimum yang diinginkan.

Untuk melakukan proses *crossover* pada metoda *Genetic L-System Programming*, dapat dicontohkan proses pertama adalah dilakukan seleksi individu pada tanaman dengan proses *fitness*, kemudian pada individu tersebut ditentukan seleksi sub ekspresi dengan proses probabilistik dipilih sub ekspresi RIGHT, kemudian dilakukan proses dengan operator *delete* yaitu menghilangkan sub ekspresi RIGHT. Kemudian dilakukan penambahan sub ekspresi pada RIGHT dengan sub ekspresi lain menjadi ekspresi baru dengan individu baru seperti pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Aturan mutasi dalam satu ekspresi simbolik pemodelan pertumbuhan tanaman

1.7 TANAMAN ZINNIA

1.7.1 KLASIFIKASI TANAMAN ZINNIA

Zinnia elegans yang lebih dikenal sebagai kembang kertas memiliki susunan klasifikasi sebagai berikut :

Kingdom : *Plantae*
Divisio : *Tracheophyta*
Klas : *Angiospermae*
Subklas : *Dicotyledons*
Ordo : *Asterales*
Famili : *Asteraceae / Compositae*
Genus : *Zinnia*
Species : *Zinnia elegans Jacq*

Tanaman Kembang Kertas atau *Zinnia Elegans* merupakan salah satu jenis tanaman hias yang telah lama dikenal dan banyak disukai masyarakat serta mempunyai nilai ekonomi yang tinggi (Lydia Kristi dkk , 1998). Disamping memiliki keindahan karena keragaman bentuk dan warnanya. bunga *zinnia elegans* juga memiliki kesegaran yang relatif lama dan mudah dirangkai. Keunggulan lain yang dimiliki adalah bahwa pembungaan dan panennya dapat diatur menurut kebutuhan pasar. Dengan banyaknya keindahan dan kelebihan tanaman ini Allah SWT berfirman dalam surat Ar Ra'd ayat 4.

وَفِي الْأَرْضِ قِطْعٌ مُّتَجَوِّرٌ وَجَنَّتٌ مِّنْ أَعْنَبٍ وَرَزْعٌ
 وَخَنِيلٌ صِنْوَانٌ وَغَيْرُ صِنْوَانٍ يُسْقَى بِمَاءٍ وَاحِدٍ وَنَفْضَلٌ بَعْضُهَا
 عَلَى بَعْضٍ فِي الْأَكْلِ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ



4. Dan di bumi Ini terdapat bagian-bagian yang berdampingan, dan kebun-kebun anggur, tanaman-tanaman dan pohon korma yang bercabang dan yang tidak bercabang, disirami dengan air yang sama. kami melebihkan sebahagian tanam-tanaman itu atas sebahagian yang lain tentang rasanya. Sesungguhnya pada yang demikian itu terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang berfikir.

(Surat Ar Ra'd Ayat 4)

Dari Surat Ar Ra'd ayat 4, dapat disimpulkan bahwa Allah SWT menjelaskan air merupakan sebab bagi tumbuhnya segala macam tumbuh-tumbuhan yang beraneka ragam bentuk jenis dan kelebihanya masing-masing. Ini semua adalah tanda-tanda kebesaran Allah SWT supaya manusia dapat mengetahui betapa besar kekuasaan Allah SWT mengatur kehidupan tanaman-tanaman itu. Manusia yang suka memperhatikan siklus peredaran air akan dapat mengetahui betapa tingginya hukum-hukum Allah. Hukum Nya berlaku secara tetap dan berlangsung terus tanpa henti-hentinya, sampai tiba saat yang telah ditentukan.

Kemudian disebutkan pula perincian dari tumbuh-tumbuhan yang beraneka ragam itu di antaranya ialah rerumputan yang tumbuh berumpun-rumpun sehingga kelihatan menghijau. Jenis yang lain dari tumbuh-tumbuhan itu ialah pohon palem yang mengeluarkan buah yang terhimpun dalam sebuah tandan yang menjulai rendah

sehingga mudah dipetik. Jenis yang lain lagi dan jenis tumbuh-tumbuhan yang beraneka ragam itu ialah anggur, zaitun, dan delima. Jenis buah-buahan ini disebutkan secara beruntun karena masing-masing ada yang mempunyai persamaan dan perbedaan, sifat, bentuk dan rasanya, sehingga ada yang berwarna kehitam-hitaman dan ada pula yang berwarna kehijau-hijauan. Ada yang berdaun agak lebar, dan ada pula yang berdaun agak kecil, begitu pula ada yang rasanya manis dan ada yang asam. Kesemuanya itu adalah untuk menunjukkan agar manusia memperhatikan tumbuh tumbuhan yang beraneka ragam itu. Pada saat berbuah bagaimana buah-buahan itu tersembul dan batang atau rantingnya, kemudian mereka sebagai bunga, setelah nampak buahnya, akhirnya menjadi buah yang sempurna (matang).

1.7.2 BOTANI TANAMAN *ZINNIA*

Jenis bunga ini berasal dari Mexico (Auman,1980) dan berkembang pesat di Amerika Barat dan Selatan (Stimart, dkk, 1987). *Zinnia* merupakan tanaman setahun yang tumbuh secara tegak mencapai ketinggian 1 m. Dalam 1 tangkai bunga terdapat sebuah bunga majemuk yang berdiameter sampai 10 cm. Mahkota bunga terdiri dari bunga tabung (disk floret) dan bunga pita (ray floret). Disk floret berwarna jingga kekuningan atau coklat keunguan, sedangkan ray floret memiliki warna yang sangat bervariasi (Auman, 1980). Menurut (Beckett, 1984) berpendapat bahwa bunga *Zinnia* berwarna merah, merah muda, keunguan, jingga, kekuningan, sampai putih. Ketinggian tanaman 60 cm atau lebih, dengan panjang daun 7-13 cm.

1.7.3 PERSYARATAN TUMBUH

Zinnia berkembang biak melalui biji, dan akan berkecambah dalam waktu satu minggu pada suhu 21°C (Auman, 1980). Agar pertumbuhannya optimum benih

yang dikecambahkan sebaiknya berjarak 4-5 cm antar tanaman, atau disemai masing-masing dalam pot berdiameter 5 cm. Jika benih sudah berkecambah 4-5 hari kemudian segera dipindahkan. Tujuan pemindahan adalah untuk menghindari kerusakan akar (Beckett, 1984). Menurut (Nicholson, 1979) *Zinnia* membutuhkan keadaan tanah yang kaya humus, matahari penuh dan terhindar dari gangguan angin kencang selama pertumbuhannya. Auman (1980) berpendapat bahwa pemberian air lebih banyak dilakukan setelah transplanting (pemindahan ke lapang) sampai terbentuknya pucuk baru dan berkembangnya akar secara sempurna. Keasaman air yang sesuai bagi pertumbuhan *Zinnia* berkisar antara 5,5-7,0. Kelembaban merupakan salah satu faktor penting yang dapat mempercepat proses pembelahan sel dan pembentukan jaringan. Oleh karena itu tanaman harus cukup tersedia air. Semakin rendah turgiditas jaringan maka tingkat pembelahan sel akan menurun dan pertumbuhan tanaman menjadi lambat (Laurie, dkk, 1958).

1.7.4 PEMBUNGAAN

Zinnia merupakan jenis tanaman yang saat pembungaan tidak serempak (Armitage, dkk , 1981). Suhu 15-18 °C paling cocok untuk inisiasi kuncup bunga, khususnya untuk beberapa jenis tanaman berhari pendek, seperti *Zinnia*. Suhu yang terlalu tinggi menyebabkan warna bunga memudar karena terganggunya pembentukan pigmen warna atau menyebabkan terjadinya gangguan dalam pembentukan formasi bunga (Laurie, dkk , 1958).

1.7.5 PENANAMAN

Setelah daun pertama muncul, yaitu saat 10 hari setelah semai, bibit segera dipindahkan ke dalam kantong plastik. Tiap kantong berisi media tanaman yang

terdiri dari tanah dan kompos dan satu tanaman. Tanaman segera disiram air secukupnya dan diberi label sesuai dengan perlakuan yang akan diberikan.

1.7.6 PEMELIHARAAN

Pemeliharaan yang dilakukan meliputi penyiraman, pemupukan, penyirangan gulma dan pemberantasan hama penyakit. Penyiraman dilakukan dua hari sekali sebanyak ± 200 ml/tanaman. Pengendalian gulma dilakukan secara manual hanya bila diperlukan. Serangan hama dan penyakit diatasi dengan penyemprotan insektisida dan akarisida Meothrin 50 EC, serta fungisida Dithane M-45.

2.2.6.1 PEMUPUKAN

Pupuk adalah suatu bahan yang disediakan dengan maksud dapat digunakan untuk memberikan unsur hara secara langsung atau tidak langsung kepada tanaman. Pemupukan yang tepat akan sangat bergantung pada tingkat kesuburan, kultivar dan hasil yang ingin dicapai. Jumlah hara yang diambil oleh tanaman akan memberikan gambaran tentang jumlah pupuk yang harus diberikan. Diantara masalah kesuburan tanah, ketersediaan unsur hara nitrogen, fosfor dan kalium dalam tanah sering menjadi kendala dalam peningkatan hasil pada tanaman *zinnia* baik kualitas maupun kuantitas. Berdasarkan proses terjadinya, pupuk dibedakan atas pupuk organik dan pupuk inorganik.

Dengan tanah yang subur, maka tanaman akan tumbuh dengan baik karena memperoleh unsur hara yang dibutuhkannya. Hal ini termaktub dalam firman Allah Swt. Surat Al-A'raaf ayat 58 berikut:

وَالْبَلْدُ الْطَّيِّبُ تَخْرُجُ نَبَاتُهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ وَالَّذِي حَبَّتْ لَا
تَخْرُجُ إِلَّا نِكَدًا كَذَلِكَ نُصَرِّفُ الْأَيَتِ لِقَوْمٍ يَشْكُرُونَ

58. Dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur dengan seizin Allah; dan tanah yang tidak subur, tanaman-tanamannya Hanya tumbuh merana. Demikianlah kami mengulangi tanda-tanda kebesaran (kami) bagi orang-orang yang bersyukur.

(Surat. Al-A'raaf ayat 58)

2.2.6.1.1 PERANAN PUPUK KANDANG

Pupuk organik dibedakan atas pupuk hijau, pupuk kandang dan pupuk kompos (Engelstad, 1977). Pupuk kandang menyediakan dasar untuk pengelolaan kesuburan tanah. Pupuk kandang dianggap sebagai sumber hara utama sejak peradaban awal. Ketersediaan unsur hara yang diberikan dalam bentuk pupuk kandang bervariasi, tergantung pada faktor seperti sumber dan komposisi pupuk kandang, metoda dan waktu aplikasi serta tipe tanah dan iklim (Engelstad, 1977).

Karakteristik pupuk organik mempunyai populasi mikroba yang lebih tinggi sehingga penambahan bahan organik kedalam tanah akan meningkatkan aktivitas mikroba dalam tanah. Perbaikan kondisi fisik dan peningkatan aktivitas mikroba dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi, bahan organik dalam tanah merupakan sumber N dan sumber penting lainnya yaitu S dan P, walaupun sifatnya immobile yaitu lama untuk diserap tanaman namun kandungan unsur haranya rendah (Widjaya. Adi, 1992).

Pada penelitian ini pupuk organik yang dipakai adalah pupuk kompos, kompos adalah pupuk organik dari hasil pelapukan jaringan atau bahan-bahan tanaman atau limbah organik pengolahan pabrik dan sampah organik yang sengaja dibuat manusia. Tingkat kandungan hara kompos sangat ditentukan oleh bahan dasar, cara pengomposan, dan cara penyimpanan (Musnamar, 2004). Kompos berperan sebagai materi humus pengikat kelembaban, bila dicampur dengan

tanah maka kompos akan menambah bahan organik sehingga dapat meningkatkan sifat fisik tanah, meningkatkan infiltrasi air, meningkatkan aerasi tanah, menurunkan erosi, dan menyediakan hara bagi tanaman (Poerwanto, 2003). Pupuk kompos dicampur dengan tanah sebagai media tanam, komposisi pupuk kompos dan tanah yang baik untuk pertumbuhan tanaman *zinnia* adalah (1: 2) , berdasarkan volume (v/v) (Eneng Susilawati, 2007).

2.2.6.1.2 PERANAN PUPUK NPK

Salah satu faktor yang penting dalam pertumbuhan tanaman *zinnia* adalah penggunaan pupuk inorganik, keuntungan dari pupuk inorganik adalah dapat diberikan pada tanaman dalam jumlah yang sesuai dan dapat diberikan pada saat yang tepat sesuai dengan kebutuhan.

Pupuk Urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ merupakan pupuk inorganik yang dapat memberikan kontribusi N yang cukup besar (46%) untuk dapat diserap oleh tanaman. N dalam urea harus diubah dulu menjadi ammonium dengan bantuan enzim tanah urease (Sanjaya, 1995), Sifatnya antara lain higroskopis, mudah larut dalam air. Agar pupuk N tidak menguap maka pupuk urea sebaliknya diberikan dalam lubang dekat dengan tanaman (Siswandon, 1991).

Unsur Fosfor (P) didalam tanah bersifat immobile dan P yang diserap tanaman umumnya rendah. Oleh karena itu, penggunaan pupuk P secara terus menerus pada setiap musim tanam dikhawatirkan menyebabkan akumulasi P dalam tanah (Hilman, dkk, 1999).

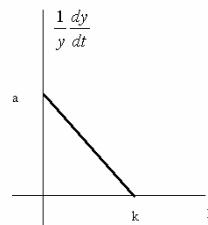
Pupuk KCL sebagai pemasok unsur kalium (K) juga dapat meningkatkan ketahanan tanaman dalam kekeringan. Secara fisiologi K mempunyai fungsi mengatur pergerakan stomata dan hal-hal yang berhubungan dengan cairan sel, apabila kandungan K tinggi mengakibatkan transpirasi berkurang (Noggle, dkk, 1986; Wuryaningsih, 1995).

Pemupukan N,P dan K dapat meningkatkan jumlah unsur hara di dalam tanah yang diperlukan tanah yang dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman (Sudjatoro, 1997). Dosis pemupukan NPK pada tanaman *zinnia* yang menunjukkan efek pertumbuhan tanaman *zinnia* yang baik adalah $30 + 20 + 20$ NPK g/m² (Qazi , dkk, 2005), untuk dosis pemupukan pada tanaman sistem polybag sebanyak 2 g/polybag (Eneng Susilawati, 2007).

2.2.7 FUNGSI PERTUMBUHAN

Menurut (Anggorodi,1994; Gardner,dkk, 1991; Chapman dan Meyer,1949; Spurr,1952; Husch,1963; Prodan,1968; Assmann,1970) pertumbuhan biasanya dimulai perlahan-lahan kemudian mulai berlangsung lebih cepat dan akhirnya perlahan-lahan lagi atau sama sekali berhenti sehingga membentuk kurva pertumbuhan yang berbentuk sigmoid, mirip huruf S.

Laju pertumbuhan adalah pertumbuhan komponen tanaman pada masa tertentu akan mendekati keseimbangan, yang dapat digambarkan bentuk grafik adalah mendekati nilai konstan, jika laju pertumbuhan dirumuskan $\frac{1}{y} \frac{dy}{dt}$ maka pada saat $y=0$ didapat nilai a (dimana a adalah konstan), kemudian laju pertumbuhan ini menurun secara linier dan bernilai 0 saat $y=k$, dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Grafik pertumbuhan logistik

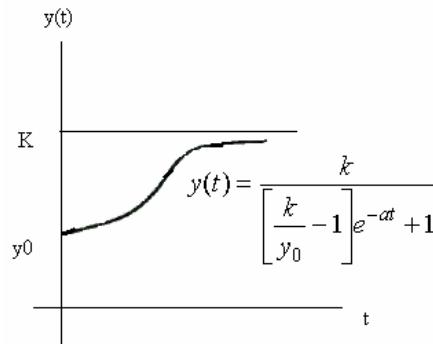
Laju pertumbuhan dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{dy}{dt} = ay(1 - \frac{y}{k})$$

Jika ditambahkan syarat awal dari pertumbuhan yaitu $y(0)=y_0$, maka diperoleh solusi persamaan diferensial dari persamaan menjadi

$$y(t) = \frac{k}{\left[\frac{k}{y_0} - 1 \right] e^{-at} + 1}$$

Untuk $a>0$ berlaku $\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = k$ sehingga bentuk grafik mempunyai asimtot mendatar $y(t)=k$ seperti pada gambar 2.10.

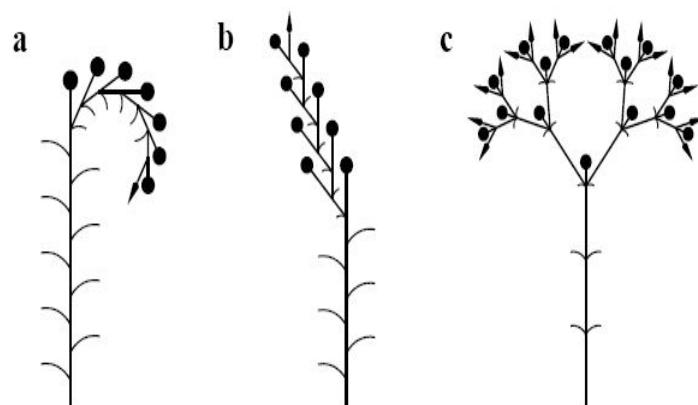


Gambar 2.10 Grafik sigmoid

2.2.8 STRUKTUR PERCABANGAN TANAMAN ZINNIA

Pada pemodelan tanaman struktur bunga, secara umum tanaman bunga adalah termasuk tanaman yang menjelaskan struktur percabangan, studi pemodelan pertumbuhan tanaman bunga dengan metoda *L-System* telah dikembangkan oleh (Frijters.D, 1978 ; Frijters.D ,dkk , 1974; Frijters. D, dkk, 1976; Janssen.J.M, dkk, 1987; Lindenmayer.A, 1984). Klasifikasi tanaman bunga dapat dibagi menjadi 3 (Muller-Doblies.D, 1987) yaitu *monopodial inflorescences*, *sympodial inflorescences* dan *polypodial inflorescences*.

Pada klasifikasi tanaman bunga *sympodial inflorescences* dibagi menjadi tiga yaitu *simple cymes*, *double cymes*, *Cymes* dan *thyrsus*. Pada penelitian ini menjelaskan pemodelan untuk klasifikasi tanaman *sympodial inflorescences* klasifikasi *double cymes* karena tanaman *zinnia* termasuk dalam klasifikasi ini dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Klasifikasi *sympodial inflorescences* pada struktur percabangan tanaman bunga (a) *simple cymes* bentuk spiral (b) *simple cymes* bentuk zigzag (c) *double cymes*

Dalam pertumbuhan tanaman bunga pada klasifikasi ini, pucuk dari sumbu utama akan menjadi bunga, setelah beberapa cabang telah dimulai, kemudian dua tunas muncul pada ketiak daun pada order ke dua sebelum daun terakhir dekat dengan bunga.

BAB III

PEMODELAN PERTUMBUHAN TANAMAN ZINNIA DENGAN METODA *L*-SYSTEM

Random modification of productions gives little insight into the relationship between L-systems and the figures they generate. However, we often wish to construct an L-system which captures a given structure or sequence of structures representing a developmental process. (Prusinkiewicz and Lindenmayer, 1990, pp. 11)

Perkembangan penelitian pemodelan pertumbuhan tanaman dimulai saat Aristid Lindenmayer memperkenalkan teori pertumbuhan *cell anabaena catenula* dengan menggunakan *rewriting string* telah diidentifikasi sebagai metoda *Lindenmayer System (L-System)* (Prusinkiewics.P, dkk, 1990). Pengembangan metoda *L-System* untuk menggambarkan pertumbuhan tanaman berdasarkan karakteristik lingkungan dalam desain pemodelan (Mech.R, dkk, 1996). Kemudian diperbaiki dan dirancang menjadi pemodelan realistik pada tanaman tinggi (Prusinkiewics.P, dkk, 2003). Metoda *L-System* telah ditingkatkan sebagai alat pemodelan pada berbagai jenis tanaman (Pachepsky.L.B, dkk, 2004).

Dalam penelitian ini, dipakai tanaman *zinnia* sebagai contoh tanaman, urutan pertumbuhan dari tunas, daun dan bunga tanaman *zinnia* termasuk satu klasifikasi pada pemodelan pertumbuhan tanaman struktur bunga *Lychnis Coronaria* (Jacob.C, 2001; Robinson. D.F, 1986; Prusinkiewics.P, dkk, 1990). Dari pemodelan pertumbuhan tanaman bunga *Lychnis Coronaria* ini kemudian dikembangkan dan dibuat pemodelan pertumbuhan yang cocok dengan pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang diteliti.

Metoda *L-System* bekerja berdasarkan pola aturan (grammar) yang dijumpai pada tanaman yang bersifat sebagai

pola yang memiliki kesamaan dan berulang. Sintak terhadap pertumbuhan tanaman dalam *L-System* akan dinotasikan dan disusun dalam kaidah aturan (*rules*) pertumbuhan tanaman.

Pada kondisi sesungguhnya tanaman yang mengalami pertumbuhan akan diawali dari bibit, kemudian pertumbuhan tanaman dilanjutkan dengan tumbuhnya tunas muda yang dinotasikan sebagai *axiom* pada metoda *L-System*. Aturan reproduksi tanaman diberikan pada tahap tunas muda yang tumbuh dan berkembang, kemudian disusul oleh batang yang kemudian diikuti oleh daun muda, kesemuanya berkembang secara paralel, terakhir adalah bunga.

Kemudian untuk membangun *L-System* pada proses pertumbuhan tanaman secara khusus telah di lakukan. Pengembangan pemodelan pertumbuhan dan modifikasi struktur pada metoda *L-System* dilakukan dengan metoda *Genetic L-System Programming*. Metoda ini menjelaskan tentang evolusi pada metoda *L-System*.

Pada penelitian ini akan dihasilkan model integrasi *Fuzzy Mamdani* dan *Genetic L-System Programming* pada tanaman *zinnia* sesuai dengan kondisi lingkungan pertumbuhan. Tanaman yang digunakan adalah tanaman *zinnia*, dan lingkungan yang mempengaruhi adalah variasi pemberian pupuk organik (NPK) dan inorganik (pupuk kompos).

Visualisasi dan pertumbuhan pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* pada penelitian ini menggunakan pemrograman *Mathematica* pada Sistem Operasi *Windows*. Output grafika pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* berbentuk 3D dan visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* secara virtual.

3.1 BAHAN DAN ALAT

Data pertumbuhan tanaman *zinnia* pada pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *L-System* dilakukan dengan percobaan dilahan polibag, media tanaman terdiri dari tanah dan kompos dengan komposisi (2:1), berdasarkan volume (v/v), penanaman dilakukan sejumlah 3 tanaman *zinnia* dengan penyiraman dilakukan 2 hari sekali sebanyak \pm 200 ml/tanaman, pemupukan dengan pupuk NPK dilakukan pada minggu ke-2 setelah tanam sebanyak 2 g/polybag. Untuk strawflower diberikan pupuk Gandasil B 1 g/liter setiap minggu pada saat mulai muncul kuncup bunga. Proses pemodelan dan visualisasi pertumbuhan tanaman *zinnia* dilakukan di Laboratorium Multimedia dan Jaringan Ruang B201, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS).

Sedangkan faktor-faktor lingkungan yang meliputi suhu dan kelembaban lingkungan, intensitas cahaya, dan faktor lingkungan lain dalam penelitian ini lebih bersifat sebagai data pendukung terhadap pengamatan pertumbuhan tanaman *zinnia*.

Hardware peralatan yang digunakan Personal Komputer dengan spesifikasi standar Processor Intel Pentium Dual CPU 2,8 GHZ, RAM 768 Mbyte, *Hard drive* 30GB, Kartu Grafis NVIDIA GeForce 8400GS. Software yang digunakan adalah Sistem Operasi *Windows* dan *Mathematica*.

3.2 PENGAMATAN

Parameter variable pengamatan pertumbuhan tanaman *zinnia* meliputi :

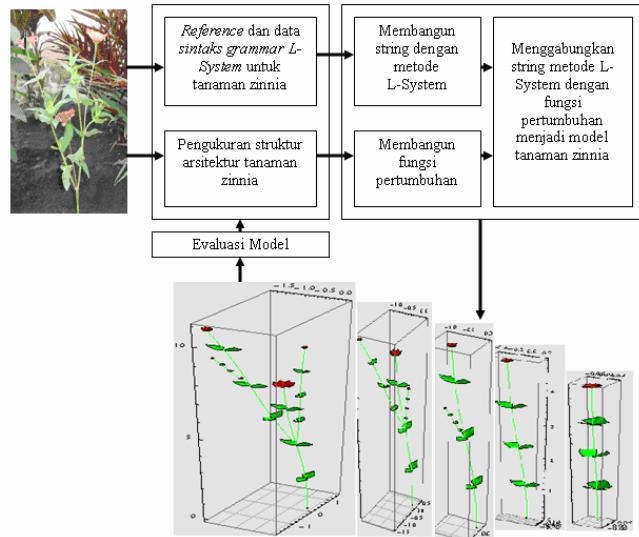
1. Variabel pengamatan analisis tanaman pada tanaman sampel meliputi panjang batang tanaman, diameter batang, panjang daun, lebar daun, diameter bunga.

2. Variabel pengamatan analisis lingkungan yang meliputi temperatur, cuaca, kelembaban udara, intensitas cahaya.

Pengukuran dilakukan pengamatan hingga hari yang ke 25 dengan interval pengamatan selama 5 hari terhadap indikator pertumbuhan struktur pemodelan pertumbuhan tanaman meliputi panjang batang tanaman, diameter batang, tinggi daun, lebar daun, diameter bunga, tinggi tanaman. Pada usia ke 25 sudah terdapat bunga dan kuncup bunga pada setiap cabang yang menunjukkan karakteristik tanaman *zinnia* sudah tercapai. Data pengamatan pada Lampiran A.

3.3 STRUKTUR PEMODELAN PERTUMBUHAN TANAMAN *ZINNIA* DENGAN METODA *L-SYSTEM*

Data bilogi tanaman didapat dari pengamatan pertumbuhan tanaman *zinnia* pada Lampiran A untuk membangun pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*. Diagram alir untuk pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dan visualisasi pertumbuhan tanaman *zinnia* dapat dilihat pada gambar 3.1.

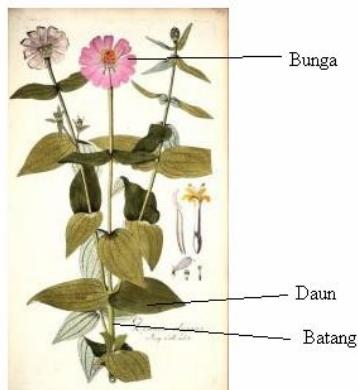


Gambar 3.1 Diagram dari pemodelan pertumbuhan dan visualisasi tanaman *zinnia* dengan metoda *L-System*

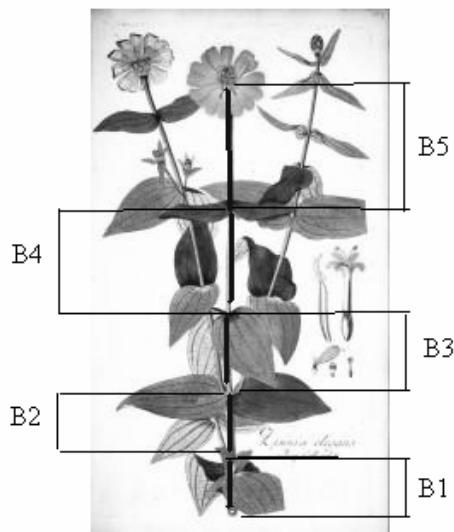
Gambar 3.1 menjelaskan tentang prototipe dari pemodelan pertumbuhan tanaman dan visualisasi tanaman *zinnia* menggunakan metoda *L-System*, yaitu menggabungkan model matematika dengan data bilogi dari struktur arsitektur tanaman *zinnia*. Metoda *L-System* digunakan untuk model kualitatif yang dibangun untuk merepresentasikan bangunan dan topologi bagi tanaman *zinnia*. Diagram ini memiliki enam blok, (1) mendefinisikan model kualitatif yang dibangun dari pengamatan pertumbuhan tanaman *zinnia* dalam siklus hidup tanaman *zinnia*, (2) mengukur karakteristik tanaman *zinnia* yang dikumpulkan dari data tanaman dilapangan, (3) mengubah data pengamatan lapangan menjadi fungsi pertumbuhan tanaman pada setiap struktur tanaman *zinnia*, (4) mendefinisikan model kuantitatif yaitu menggabungkan model kualitatif dan fungsi pertumbuhan tanaman, (5) memvisualisasikan model kuantitatif, dan (6) mengevaluasi model kuantitatif.

3.4 KOLEKSI DATA TANAMAN *ZINNIA ELEGANS*

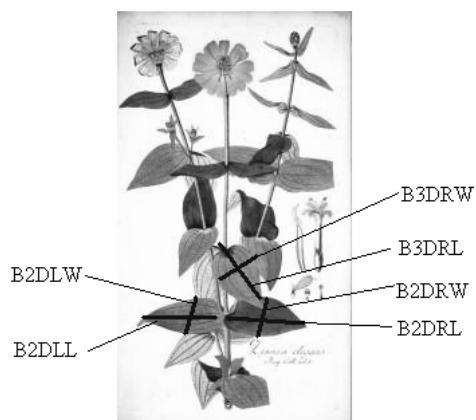
Data masing-masing komponen struktur tanaman *zinnia* dikumpulkan dari pengamatan di lapangan. Komponen struktur tanaman *zinnia* terdiri dari panjang batang, diameter batang, panjang daun, diameter daun dan diameter bunga sesuai dengan siklus hidupnya. Data lapangan diperoleh tiap hari dari 3 tanaman *zinnia* selama 25 hari. Data lapangan akan digunakan untuk mendekati struktur dan fungsi pertumbuhan dari setiap komponen tanaman *zinnia*. Data komponen dan ukuran dikumpulkan secara manual dengan menggunakan penggaris dan busur derajad. Fisiologi tanaman *zinnia* ditunjukkan pada gambar 3.2. Struktur panjang batang ditunjukkan pada gambar 3.3, struktur diameter batang ditunjukkan pada gambar 3.3, struktur diameter daun dan panjang daun ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.2 Fisiologi Tanaman *Zinnia*



Gambar 3.3 Data Batang Tanaman *Zinnia*



Gambar 3.4 Data Daun Tanaman *Zinnia*

Gambar 3.4 adalah menjelaskan tentang cara pengukuran daun, untuk memulai dari daun pada batang

terbawah dengan nomor 1 terdapat daun pada posisi kanan dengan nomor kode B1DRL untuk panjang daun sedangkan untuk diameter adalah B1DRW, kemudian untuk sebelah kanan adalah nomor B1DLL untuk panjang daun sedangkan untuk diameter adalah B1DLW kemudian dilanjutkan ke batang ke atas dengan nomor 2. Deskripsi simbol dari daun dapat dijelaskan sebagai berikut :

BiDLL adalah panjang daun sebelah kiri pada batang i.

BiDLW adalah diameter daun sebelah kiri pada batang i.

BiDRL adalah panjang daun sebelah kanan pada batang i.

BiDRW adalah diameter daun sebelah kanan pada batang i.

3.5 DESAIN *L-SYSTEM* UNTUK TANAMAN *ZINNIA*.

Desain *L-System* untuk tanaman *zinnia* dalam penelitian ini berdasar pada pertumbuhan tanaman berbunga, dengan penekanan pada struktur dari pertumbuhan (Robinson, 1986). Simbol yang digunakan untuk mewakili struktur arsitektur tanaman *zinnia* dapat dilihat pada tabel 3.1.

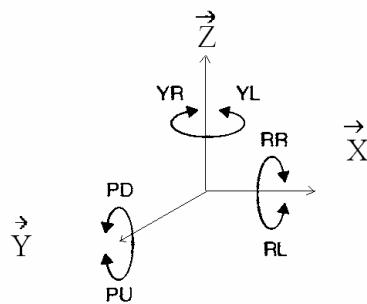
Tabel 3.1 Simbol yang digunakan untuk pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *L-System*

Sintak Notasi	Deskripsi
ii	<i>To generate the plant stalk</i>
1	<i>To generate the plant leaf</i>
m	<i>To generate the plant bloom</i>
FO[s]	<i>Advances the turtle by a step size of s in the direction and draws a line depending on the current color and line thickness settings.</i>
PU(α)	<i>The turtle is tilted up around its transverse axis y by an angle of a degree.</i>
PD(α)	<i>The turtle is tilted down around its transverse axis y by an angle of a degree.</i>
RR(α)	<i>The turtle is rotated right (clockwise) around its longitudinal axis x by an angle of a degrees.</i>
RL(α)	<i>The turtle is rotated left (clockwise) around its longitudinal axis x by an angle of a degrees.</i>
YR(α)	<i>The turtle is rotated right (clockwise) around its vertical axis Z by an angle of a degree.</i>
YL(α)	<i>The turtle is rotated left (counterclockwise) around its vertical axis Z by an angle of a degree.</i>
[<i>Push the current state of the turtle onto a pushdown stack to create a new branch</i>
]	<i>Pop a state from the stack and make it the current state of the turtle to close the branch</i>

Untuk merepresentasikan dalam membangun pemodelan pertumbuhan tanaman dan pola pertumbuhan tanaman dengan metoda *L-System*, dapat dimulai dengan merepresentasikan struktur tanaman. Tanaman *zinnia* pada penelitian ini dipakai tanaman *zinnia* lokal dimana terdapat 3 struktur model geometri yaitu batang (*stalk*), daun (*leaf*) dan bunga (*bloom*) dapat dilihat pada gambar 3.2 tentang morfologi tanaman *zinnia*.

Struktur pemodelan pertumbuhan tanaman untuk batang, daun dan bunga di notasikan ke dalam sintak yang berbeda, representasi sintak f menggambarkan batang dengan garis yang bergerak maju, representasi sintak l menggambarkan grafik untuk objek daun dan representasi sintak m menggambarkan grafik untuk objek bunga.

Kemudian dengan memakai grafik *turtle* gambar 3.5, arah pertumbuhan cabang, daun dan bunga baru, untuk notasi sintak simbol PU direpresentasikan arah mengambar yang secara memutar keatas sesuai sumbu y ,untuk notasi sintak simbol PD direpresentasikan arah menggambarkan kebawah sesuai sumbu z, untuk notasi sintak simbol RR yang dinyatakan arah mengambar secara memutar kekanan arah sumbu x. Penambahan cabang baru tanaman diperlukan notasi sintak [yang diletakkan didepan notasi sintak arah percabangan dan notasi sintak] diletakkan di akhir notasi pada arah percabangan yang diharapkan seperti dapat dilihat pada gamabar 3.5.



Gambar 3.5 Ilustrasi dari *turtle* untuk grafik 3D

3.6 MODEL KUALITATIF

Proses pemodelan dimulai dengan menggunakan model kualitatif. Dimana mengambil data dari pertumbuhan tanaman dan melakukan pengamatan, pengamatan ini akan mengetahui topologi dan urutan pertumbuhan (Prusinkiewicz, dkk, 1990) dari modul pada arsitektur tanaman *zinnia*. Kemudian dilanjutkan pada pembedaan pada komponen utama (Godin,2000) dari tanaman *zinnia* dan tahap berikutnya mengidentifikasi dari perkembangan komponen utama, serta mendefinisikan hubungan antara komponen utama pada tanaman *zinnia*. Paramater model kualitatif dari tanaman *zinnia* adalah terdiri dari tiga bagian utama yaitu batang, daun dan bunga. Dasar dari model kualitatif ini adalah pertumbuhan dari *angiosperms* dan *gymnosperms* yaitu transformasi dari tunas *apices* dan *axillary* dilanjutkan dengan *internodes*, *leaves* dan *flowers* dan struktur arsitektur tanaman khusus (Robinson. D.F, 1986). Pertumbuhan vegetatif pada tanaman *zinnia* dapat dimulai dari tunas yang kemudian tumbuh sepasang daun, kemudian muncul tunas pada ketiak daun sampai pada pucuk dari sumbu utama akan menjadi bunga, setelah beberapa pasang daun telah dimulai, kemudian dua tunas muncul pada ketiak daun pada order ke dua sebelum daun terakhir dekat dengan bunga muncul. Untuk menjelaskan dengan metoda *L-System* sebagai dasar untuk membangun pemodelan pertumbuhan dari tanaman bunga *zinnia* pada penelitian ini yaitu dengan metoda *L-System* (Prusinkiewicz, dkk, 1990).

$\omega : a$

$p1 : a \rightarrow I[L]a$

$p2 : a \rightarrow I[L]A$

$p3 : A \rightarrow I[A][A]K$

Pertama kali pertumbuhan adalah tunas yang simbolkan dengan a akan tumbuh dan menjadi tunas di pucuk yang di simbolkan dengan A yang kelak berkembang menjadi bunga. Sedangkan untuk simbol I adalah merepresentasikan *internodes*, simbol L adalah *leaves* dan simbol K adalah direpresentasikan sebagai bunga. Kedua tunas yang tumbuh pada ketiak daun yang disimbolkan A akan terus berkembang dengan tingkat yang sama atau dengan tingkat pertumbuhan yang berbeda, yang dapat memberikan pertumbuhan yang tidak simetri pada pertumbuhan bunga secara keseluruhan. Maka pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dapat dinotasikan

$$\omega : A4$$

$$p1 : A4 \rightarrow I[A2][A2]IK0$$

$$p2 : Ai \rightarrow Ai+1, 0 \leq i < 4$$

$$p3 : Ki \rightarrow Ki+1, i \geq 0$$

Notasi $p1$ memproduksi *lateral apices* yang berbeda yaitu $A0$ dan $A4$, untuk *Apex* yaitu $A0$ akan membutuhkan 2 langkah pertumbuhan untuk menjadi cabang dan bunga baru. Sedangkan untuk $A4$ hanya membutuhkan 2 langkah pertumbuhan untuk menjadi cabang dan bunga baru. Pada notasi $p2$ menjelaskan pertumbuhan tunas *Apex* dari tunas biji sampai tunas pucuk sebelum bunga. Pada notasi $p3$ menjelaskan pertumbuhan bunga yaitu berkembang dari tahap kuncup menjadi bunga terbuka.

Untuk memproduksi daun tanaman *zinnia* dimulai setelah tunas, kemudian batang sebagai dasar dari munculnya sepasang daun, kemudian muncul sepasang daun, kemudian muncul daun yang dikuti oleh kuncup bunga jalur ini adalah sebagai batang utama, kemudian muncul dua tunas pada ketiak daun pada order ke dua sebelum daun terakhir yang dekat dengan kuncup bunga. Pada notasi $p3$ menjelaskan

pertumbuhan sepasang daun pada setiap batang sampai pucuk tunas sebelum berbunga. Maka pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dapat dinotasikan

$$\omega : A^4$$

$$p1 : A^4 \rightarrow I[A2][A2]IK0$$

$$p2 : A^i \rightarrow A^{i+1}, 0 \leq i < 4$$

$$p3 : L^i \rightarrow L^{i+1}, 0 \leq i < 4$$

$$p4 : K^i \rightarrow K^{i+1}, i \geq 0$$

Pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* tersebut akan dibangun dengan menggunakan metoda *DOL-System*, yaitu tanaman *zinnia* adalah terdiri dari himpunan struktur komponen dimana terdapat hubungan antara komponen dan proses pertumbuhan komponen yang dapat dinotasikan sebagai notasi $G_{zinnia} = (\Sigma, P = \{p_1, \dots, p_n\}, \alpha)$, dimana Σ adalah alphabet dimana $\Sigma = (\delta_1, \dots, \delta_n)$, setiap simbol *alphabet* mewakili unit morfologi seperti *sprout*, *stalk*, *leaf*, *bloom*, α adalah string awal, disebut sebagai aksioma dan $P = (p_1, \dots, p_n)$, adalah sebuah set dari produksi grammar (*rewrite rules*). Produksi pertama adalah menjelaskan tentang hubungan antar komponen yang mendasari dari model kualitatif dimana notasi tunas adalah *sprout*, kemudian notasi batang adalah *stalk*, kemudian notasi daun adalah *leaf* dan kemudian notasi bunga adalah *bloom*. Keterhubungan dari antara komponen dari pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dapat dinotasikan sebagai berikut :

$$p1 = \text{sprout}(4) \rightarrow f \text{ stalk}(3) [\text{leaf}(1)] f \text{ stalk}(2) [\text{leaf}(1)] \\ [\text{sprout}(2)] [\text{sprout}(2)] f \text{ stalk}(1) \\ \text{bloom}(0)$$

notasi lengkap dengan metoda *DOL-System* untuk model kualitatif dapat dilihat pada gambar 3.6.

$$G_{zinnia} = (\Sigma, P = \{p_1, \dots, p_9\}, \alpha)$$

$$\Sigma = \{f, pd, pu, rr, sprout, stalk, leaf, bloom\}$$

$$\alpha = sprout(4)$$

p = Produksi dimana sprout berkembang menjadi leaf dan bloom

$$p_1 = sprout(4) \rightarrow f \ stalk(3) [pu(60) \ leaf(1)] f \ stalk(2) \\ rr(90) [pu(60), \ leaf(1)] [pu(30) \\ sprout(2)] rr(180) [pu(30) sprout(2)] \\ f \ stalk(1) bloom(0)$$

Gambar 3.6 Struktur model kualitatif pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *L-System*.

3.7 MODEL KUANTITATIF

Model kuantitatif pada penelitian ini adalah mengkombinasikan string *L-System* pertumbuhan tanaman *zinnia* dari model kualitatif dengan pendekatan fungsi pertumbuhan dari struktur tanaman *zinnia* sehingga didapat pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* secara keseluruhan yaitu berumur 25 hari dalam bentuk *virtual plant* tanaman *zinnia* seperti dapat dilihat pada gambar 3.11. Fungsi pertumbuhan dihasilkan dari data pengamatan lapangan pada pertumbuhan struktur tanaman *zinnia* sesuai dengan waktu dalam siklus hidup tanaman, grafik pertumbuhan untuk batang pada gambar 3.7, grafik pertumbuhan untuk panjang daun pada gambar 3.8, grafik pertumbuhan untuk diameter daun pada gambar 3.9, grafik pertumbuhan untuk diameter bunga pada gambar 3.10. Data lapangan dirubah ke fungsi

pertumbuhan $G(t)$ (Somporn.C.A,dkk, 2004) sesuai dengan waktu pengamatan yang dilakukan dengan persamaan 3.1.

$$G(t) = L + \frac{U - L}{1 + e^{m(T-t)}}$$

di mana

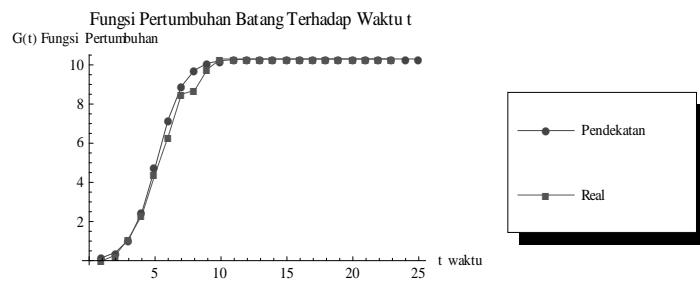
L : nilai minimum panjang atau lebar.

U : nilai maksimum panjang atau lebar.

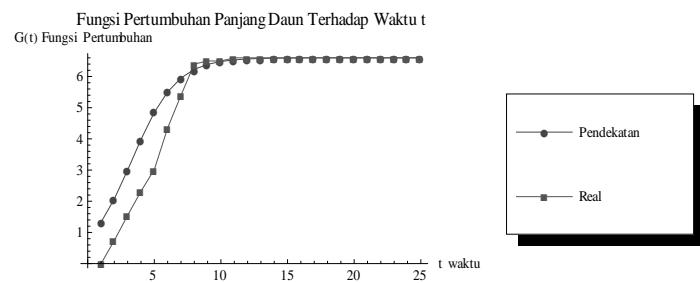
m : nilai kemiringan diperkirakan dari data mentah.

T : waktu di $(U-L)/2$.

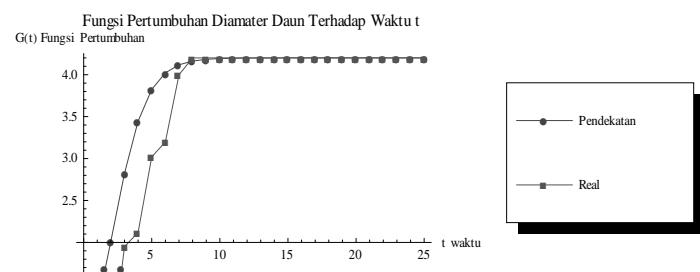
t : waktu independen variabel.



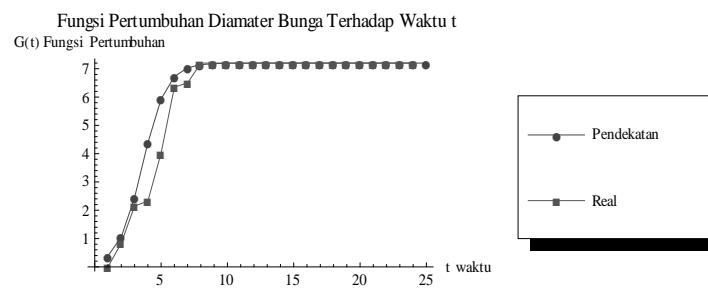
Gambar 3.7 Fungsi Pertumbuhan Struktur Batang Tanaman *Zinnia*



Gambar 3.8 Fungsi Pertumbuhan Struktur Panjang Daun
Tanaman *Zinnia*



Gambar 3.9 Fungsi Pertumbuhan Struktur Diamater
Tanaman *Zinnia*



Gambar 3.10 Fungsi Pertumbuhan Struktur Diamater Bunga
Zinnia

Nilai minimum dari variabel L, nilai maksimum dari variabel U, nilai kemiringan grafik dari variabel m dan waktu T didapat pada setiap komponen arsitektur tanaman *zinnia* seperti pada tabel 3.2 .

Tabel 3.2 Nilai U, T, m dan T untuk simbol *stalk*, *leaf* dan *bloom*

Simbol	Nilai L	Nilai U	Nilai m	Nilai T
<i>stalk</i>	0	10.3	0.9	4.4
<i>leaf</i>	0	6.6	0.9	4.1
<i>bloom</i>	0	7.2	0.8	4

Setiap komponen dari arsitektur tanaman *zinnia* seperti batang, daun dan bunga akan dikontrol oleh fungsi pertumbuhan yang ditunjukkan pada produksi p1, p2, p3, p4 untuk produksi pada notasi p2 menjelaskan perubahan tunas, produksi pada notasi p3 menjelaskan perubahan perpanjangan batang, produksi pada notasi p4 menjelaskan perubahan ukuran daun, produksi pada notasi p5 menjelaskan perubahan ukuran bunga. Pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *DOL-System* dapat dilihat pada gambar 3.11.

$$G_{zinnia} = (\Sigma, P = \{p_1, \dots, p_9\}, \alpha)$$

$$\begin{aligned}\Sigma &= \{f, pd, pu, rr, \textit{sprout}, \textit{stalk}, \textit{leaf}, \textit{bloom}\} \\ \alpha &= \textit{sprout}(4)\end{aligned}$$

p = Produksi dimana sprout berkembang menjadi leaf dan bloom

$$\begin{aligned}p_1 &= \textit{sprout}(4) \rightarrow f \textit{ stalk}(3) [pu(60) \textit{ leaf}(1)] f \textit{ stalk}(2) \\ &rr(90) [pu(60), \textit{ leaf}(1)] [pu(30) \textit{ sprout}(2)] rr(180) [pu(30) \\ &\textit{ sprout}(2)] f \textit{ stalk}(1) \textit{ bloom}(0)\end{aligned}$$

Perubahan tumbuh tunas :

$$p_2 = \textit{sprout}(t < 4) \rightarrow \textit{sprout}(t+1)$$

Perubahan perpanjangan batang :

$$p_3 = \textit{stalk}(t > 0) \rightarrow f \textit{ stalk}(t-1)$$

Perubahan ukuran daun :

$$p_4 = \textit{leaf}(t < 4) \rightarrow \textit{leaf}(t + 1.5)$$

Pertumbuhan bunga :

$$p_5 = \textit{bloom}(t < 4) \rightarrow \textit{bloom}(t + 1)$$

Gambar 3.11 Struktur model kuantitatif pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *L-System*.

Pada metoda *DOL-System* untuk representasi grafika secara makro adalah tunas dengan notasi *sprout* simbol a, batang dengan notasi *stalk* simbol ii, daun dengan notasi *leaf* simbol l dan bunga dengan notasi *bloom* simbol m dikodekan dengan huruf *italic* (*sprout*, *stalk*, *leaf*, *bloom*) sedangkan yang *non italic* adalah representasi f menggambarkan batang tanaman *zinnia* secara umum yang dapat di notasikan sintak sebagai berikut :

SEQ[FO[.2], YR[1], FO[.2], YR[1], FO[.2]].

Dijelaskan bahwa menggerakan suatu garis (FO) dalam arah rotasi (YR) kemudian gerakan garis (FO) dalam arah rotasi (YR). Sedangkan simbol *pu* dan *pd* dinyatakan sebagai aturan *turtle* yaitu arah menggambar yang secara memutar keatas dan kebawah sesuai sumbu x, simbol *rr* yang dinyatakan sebagai aturan *turtle* yaitu arah menggambar secara memutar kekanan arah sumbu x dapat dilihat pada tabel 3.1, simbol *t* adalah nilai terhadap waktu.

Template pemodelan pertumbuhan tanaman dengan metoda *L-System* dari tanaman *zinnia* yang telah dibangun dapat diekspresikan dengan program *mathematica* seperti pada gambar 3.12

```
TanamanZinnia =  
  
LSystem[AXIOM[a[4]],  
  
LRULES[LRule[LEFT[],PRED[a[4]],RIGHT[],  
SUCC[SEQ[f],SEQ[ii[3]],SEQ[STACK[pu[60],l[1]]],SEQ[f],SEQ[ii[  
2]],SEQ[rr[90]],SEQ[STACK[pu[60],l[0]]],SEQ[STACK[pu[30],a[2]]  
],SEQ[rr[180]],SEQ[STACK[pu[30],a[2]]],SEQ[f],SEQ[ii[1]],SEQ[m  
[0]]]],  
LRule[LEFT[],PRED[a["t_-/;t<4"]],RIGHT[],SUCC[a["t+1"]]],  
LRule[LEFT[],PRED[ii["t_-/;t>0"]],RIGHT[],SUCC[f,f,ii["t-1"]]],  
LRule[LEFT[],PRED[l["t_-/;t<4"]],RIGHT[],SUCC[l["t+1.5"]]],  

```

Gambar 3.12 kode program *mathematica* untuk pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *DOL-System*

3.8 VISUALISASI MODEL KUANTITATIF

3.8.1 BATANG

Batang sebagai notasi *stalk* simbol ii, daun dengan notasi *leaf* simbol l dan bunga dengan notasi *leaf* simbol m dengan kode huruf italic (*sprout, stalk, leaf, bloom*) sedangkan yang *non italic* adalah representasi f menggambarkan tangkai secara umum yang dapat di notasikan sebagai berikut :

SEQ[FO[.2], YR[1], FO[.2], YR[1], FO[.2]]

Yaitu gerakan garis (FO) dalam arah rotasi (YR) kemudian gerakan garis (FO) dalam arah rotasi (YR).

3.8.2 DAUN

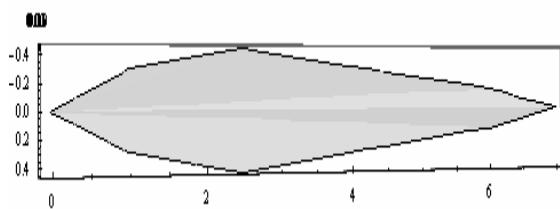
Struktur pemodelan morfologi tanaman untuk daun di notasikan ke dalam representasi sintak 1 menggambarkan grafik untuk objek daun dimana kode program dapat dilihat pada gambar 3.13 dan grafik untuk objek daun dapat dilihat pada gambar 3.14 .

```

leafGraphics[scale_]:=Module[{p,xD,zD,rD},xD=4;zD
=Random[Real,{1,2}];
rD=Random[Real,{0,180}];
p=Polygon[{{0,0,0},{-0.1` xD,1 scale,0.1` zD},{-0.15` xD,2.5` scale,0.2` zD},
{-0.05` xD,6 scale,0.3` zD},{0 xD,7 scale,0.4` zD},{0.05` xD,6 scale,0.3` zD},
{0.15` xD,2.5` scale,0.2` zD},{0.1` xD,1 scale,0.1` zD},{0,0,0}}];
GRAPHICS[Show[{RotateShape[Graphics3D[{Green,p}],0+rD,0,0],RotateShape[Graphics3D[{Green,p}],Pi/rD,0,0}],DisplayFunction->Identity],scale]]

```

Gambar 3.13 Kode program mathematica untuk grafik objek daun



Gambar 3.14 Visualisasi grafik untuk objek daun

3.8.3 BUNGA

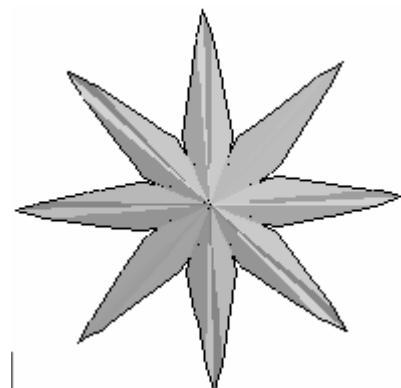
Struktur pemodelan morfologi tanaman untuk bunga di notasikan ke dalam representasi sintak m menggambarkan grafik untuk objek bunga kode program dapat dilihat pada gambar 3.15 dan grafik untuk objek bunga dapat dilihat pada gambar 3.16 .

```

bloomGraphics[scale_]:=Module[{p,xD,zD,rD},xD=2;z
D=Random[Real,{0,2}];
rD=0;(*Random[Real,{-0.78,0.78}];*)
p=Polygon[{{0,0,0},{-0.1` xD,1 scale,0.1` zD},{-0.15` xD,2.3 scale,0.2` zD},
{-0.05` xD,2.7 scale,0.3` zD},{0 xD,3scale,0.4` zD},{0.05` xD,2.7scale,0.3` zD},{0.15` xD,2.3 scale,0.2` zD},{0.1` xD,1 scale,0.1` zD},{0,0,0}}];
GRAPHICS[Show[{
RotateShape[Graphics3D[{Red,p}],rD,0,0],
RotateShape[Graphics3D[{Red,p}],\!\!\!\prod //4+rD,0,0],
RotateShape[Graphics3D[{Red,p}],2*\!\!\!\prod /4+rD,0,0],
RotateShape[Graphics3D[{Red,p}],3\!\!\!\prod //4+rD,0,0],
RotateShape[Graphics3D[{Red,p}],4\!\!\!\prod //4+rD,0,0],
RotateShape[Graphics3D[{Red,p}],5\!\!\!\prod //4+rD,0,0],
RotateShape[Graphics3D[{Red,p}],6\!\!\!\prod //4+rD,0,0],
RotateShape[Graphics3D[{Red,p}],7\!\!\!\prod //4+rD,0,0],
RotateShape[Graphics3D[{Red,p}],8\!\!\!\prod //4+rD,0,0}]]]

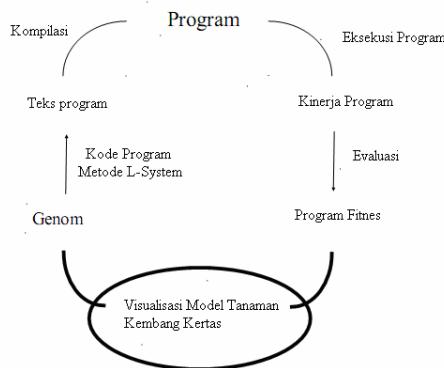
```

Gambar 3.15 Kode program *Mathematica* untuk grafik objek bunga



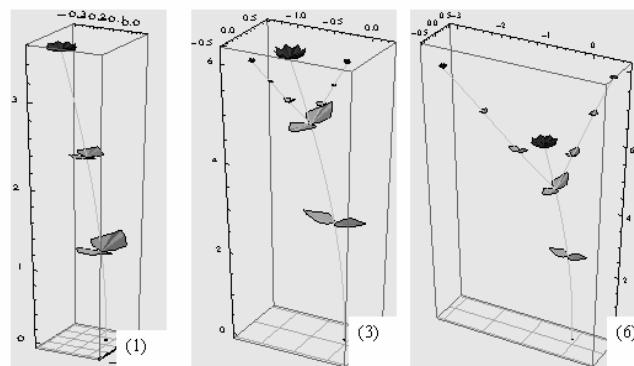
Gambar 3.16 Visualisasi grafik untuk objek bunga

3.8.4 VISUALISASI PEMODELAN PERTUMBUHAN TANAMAN ZINNIA



Gambar 3.17 Kerangka perangkat lunak yang dibangun pada penelitian dengan metoda *L-System* untuk visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*.

Gambar 3.17 Kerangka perangkat lunak untuk visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*. Pada penelitian ini memakai template yang dapat merepresentasikan metoda *L-System* yaitu paket template yang merupakan bagian dari MathEvolvica (Jacob.C, 1995) yang dapat dijalankan dengan program *mathematica* di sistem operasi *windows*. Template MathEvolvica yaitu paket program *kLSys*.m dan *TurtleInterpretation*.m dipanggil sebagai inisialisasi implementasi *L-System*. Pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* seperti pada gambar 3.10 dikodekan ke dalam program *mathematica* sesuai dengan metoda *L-System*, kemudian tiap kode dari *L-System* akan dikonversi ke *turtle* bentuk grafika komputer, serta di evaluasi hasil dari pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang dibangun dengan metoda *L-System* yaitu dengan program *fitness*, kemudian dilakukan visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* kalau sudah selesai berhenti jika perlu perubahan kembali lagi untuk merubah pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *L-System*.



Gambar 3.18 Visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *DOL-System* untuk iterasi 1, 3 ke 6

Visualisasi pertumbuhan tanaman kembang kertas pada Gambar 3.18 dimulai dengan munculnya tunas yang dinotasikan sebagai *sprout*(4) dimana notasi ini tidak merepresentasikan bentuk grafik, produksi pertama untuk rule grammar adalah mengganti *sprout* dengan empat struktur *stalks* yang diikuti dengan tiga struktur *leaf*, tiap struktur *leaf* terdiri dari dua daun *leaf*(0), untuk *stalks*(2) akan muncul cabang diatas dua daun *leaf*(0). Antara dua struktur *leaf* akan muncul dua tunas sebagai cabang tanaman dengan ditandai *sprout*(2). Dan pada ujung paling tinggi pada *stalks* direpresentasikan sebagai *bloom*(0), yang direpresentasikan sebagai bunga *zinnia*.

Produksi p_1 adalah menjelaskan dasar struktur tanaman, percabangan dan rule control untuk pertumbuhan tanaman. Produksi p_2 adalah munculnya tunas dinotasikan sebagai *sprout* dan Produksi p_3 adalah untuk pertumbuhan batang dinotasikan sebagai *stalks*. Produksi p_4 dan p_5 adalah aturan pertumbuhan untuk daun dan bunga yang dinotasikan sebagai *leaf* dan *bloom*. Pemodelan pertumbuhan tanaman kembang kertas dengan pola cabang banyak (*a multiple-branched*), dengan daun dan bunga sebagai segmen pertumbuhan.

3.9 FITNESS

Pada model kualitatif ini juga dilengkapi dengan pencapaian nilai maksimum dari tanaman *zinnia* yang didefinisikan sebagai *fitness* sesuai dengan dengan kebutuhan untuk menjelaskan maksimum tanaman yang diteliti, nilai pertumbuhan tanaman pada jumlah bunga, pertumbuhan tanaman pada tinggi tanaman dan nilai fitnees dengan jumlah dari Max pada sumbu X ditambah Max pada sumbu Y dan Max pada sumbu Z dikali jumlah bunga dari setiap generasi pada setiap iterasi (Jacob.C, 1995) dengan rumus 3.2 dan kode program *mathematica* pada gambar 3.19.

$$\text{Fitness}_i = \text{Bunga}$$

```
If [lineCoordinates != {}],  
{maxXCoord, maxYCoord, maxZCoord} = MapThread  
[Max, lineCoordinates];  
exprFitness = maxXCoord + maxYCoord +  
maxZCoord, exprFitness = 0 ]; flowers];
```

Gambar 3.19 Kode program *mathematica* untuk fitness tanaman *zinnia*

3.10 EVALUASI MODEL

Pemodelan pertumbuhan dan visualisasi tanaman *zinnia* yang telah dibuat pada penelitian ini memiliki kemampuan untuk menyesuaikan parameter dari pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* secara interaktif. Hal ini memungkinkan pemakai dan pengembang untuk memverifikasi aturan produksi dan memodifikasi penampilan gambar grafika dari tanaman *zinnia* yang dihasilkan. Selain itu, jika ada kekurangan dalam model kuantitatif dari pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* karena aturan sintak pada metoda *L-System*, pemakai dapat mengedit aturan dan dapat

memvisualisasi ulang pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*.

BAB IV

PEMODELAN PERTUMBUHAN TANAMAN ZINNIA DENGAN METODA *GENETIC L-SYSTEM PROGRAMMING*

The individual structures that undergo adaptation in genetic programming are hierarchically structured computer programs. The size, the shape, and the contents of these computer programs can dynamically change during the (evolution) process. Koza 1992, p. 80

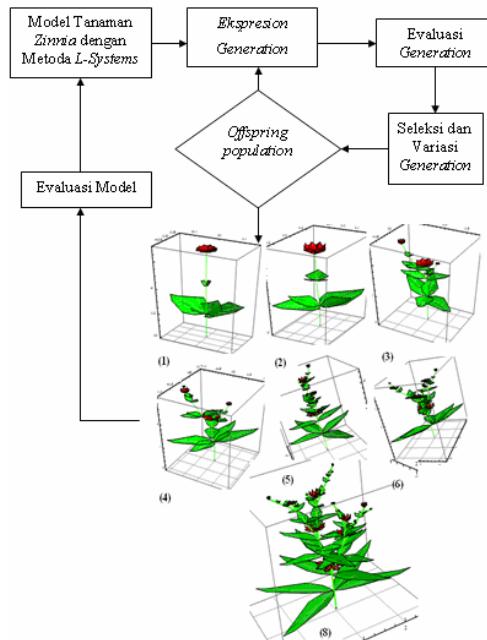
Kemudian untuk membangun *L-System* pada proses pertumbuhan tanaman secara khusus telah dilakukan. Modifikasi struktur pada *L-System* dilakukan dengan metoda *Genetic L-System Programming*. Metoda ini menjelaskan tentang evolusi pada *L-System* dan membangun *rewriting string* secara paralel.

Pada penelitian ini ditujukan untuk menghasilkan model integrasi *Fuzzy Mamdani* dan *Genetic L-System Programming* pada tanaman *zinnia* sesuai dengan kondisi lingkungan pertumbuhan. Tanaman yang digunakan adalah tanaman *zinnia* lokal, dan lingkungan yang mempengaruhi adalah variasi pemberian pupuk *organic* (NPK) dan *inorganic* (pupuk kandang).

Desain pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* pada penelitian ini menggunakan pemrograman *Mathematica* (Heikki Ruskeepaa, 2009) pada Sistem Operasi *Windows*, dihasilkan grafika standart untuk memvisualisasikan pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* sesuai dengan kondisi lingkungan pertumbuhan. Output grafika pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* berbentuk 3D dan visualisasi berbentuk virtual tanaman.

4.1 STRUKTUR PEMODELAN PERTUMBUHAN TANAMAN *ZINNIA* DENGAN METODA *GENETIC L-SYSTEM PROGRAMMING*

Data tanaman *zinnia*, pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *L-System* telah didapat dan divisualisasikan pada Bab 3. Diagram alir untuk pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *Genetic L-System Programming* dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram dari pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *Genetic L-System Programming*.

Gambar 4.1 menjelaskan tentang pemodelan pertumbuhan dan visualisasi pertumbuhan tanaman *zinnia* menggunakan metoda *Genetic L-System Programming*. Diagram ini memiliki enam blok, (1) mendefinisikan model kuantitatif tanaman *zinnia* yang dibangun dari bab 3, (2) membangun

pemodelan pertumbuhan tanaman secara *expretion generation* secara random, (3) membangun evaluasi generasi pada setiap pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang didapat, (4) seleksi dan variasi pemodelan pertumbuhan tanaman dengan proses genetika, (5) hasil dan visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* hasil proses dengan operator genetika, dan (6) mengevaluasi model kuantitatif.

2.2 PEMODELAN PERTUMBUHAN TANAMAN ZINNIA

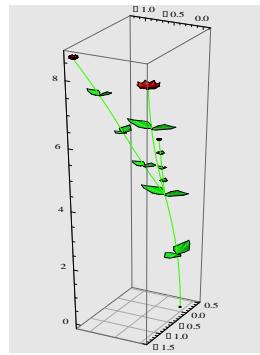
Model kuantitatif pada penelitian ini adalah mengkombinasikan sintak *L-System* pertumbuhan tanaman *zinnia* dari model kualitatif dengan fungsi pertumbuhan dari struktur tanaman *zinnia* sehingga didapat pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* secara keseluruhan, sintak *L-System* pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dapat dilihat pada gambar 4.2 dan dalam bentuk visualisasi pertumbuhan pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dapat dilihat pada gambar 4.3.

```

Gzinnia=(Σ,P={p1,...,p9},α)
Σ={f,pd,pu,rr,sprout,stalk,leaf,bloom}
α = sprout(4)
p = Produksi dimana sprout berkembang menjadi leaf dan bloom
p1 = sprout(4) → f stalk(3) [pu(60) leaf(1)] f stalk(2) rr(90) [pu(60),
leaf(1)] [pu(30) sprout(2)] rr(180) [pu(30) sprout(2)] f stalk(1) bloom(0)
Perubahan tumbuh tunas :
p2= sprout(t < 4) → sprout(t+1)
Perubahan perpanjangan batang :
p3= stalk(t > 0) → f stalk(t-1)
Perubahan ukuran daun :
p4= leaf(t<4) → leaf(t + 1.5)
Pertumbuhan bunga :
p5= bloom(t<4) → bloom(t + 1)

```

Gambar 4.2 Struktur model kuantitatif pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *L-System*.



Gambar 4.3 Bentuk *virtual plant* pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*

Metoda *DOL-System* adalah representasi grafika secara makro yaitu tunas dengan notasi *sprout* simbol a, batang dengan notasi *stalk* simbol ii, daun dengan notasi *leaf* simbol l dan bunga dengan notasi *leaf* simbol m dengan simbol kode huruf *italic* (*sprout,stalk,leaf,bloom*) sedangkan yang *non italic* adalah representasi f menggambarkan batang tanaman *zinnia* secara umum. Sedangkan simbol pu dan pd dinyatakan sebagai aturan *turtle* yaitu arah menggambar bisa secara memutar keatas dan kebawah untuk simbol rr dapat dinyatakan sebagai aturan *turtle* yaitu arah menggambar secara memutar kekanan arah sumbu x sedangkan untuk simbol t adalah nilai terhadap waktu. Ekspresi simbolik dengan metoda *L-System* dari tanaman *zinnia* yang telah dibangun dengan kode program *mathematica* dapat dilihat pada gambar 4.4

```

TanamanZinnia =
LSystem[AXIOM[a[4]],
L RULES[LRule[LEFT[],PRED[a[4]],RIGHT[],,
SUCC[SEQ[f],SEQ[ii[3]],SEQ[STACK[pu[60],l[1]]],SEQ[f],SEQ[ii[2]],
SEQ[rr[90]],SEQ[STACK[pu[60],l[0]]],SEQ[STACK[pu[30],a[2]]],
SEQ[rr[180]],SEQ[STACK[pu[30],a[2]]],SEQ[f],SEQ[ii[1]],SEQ[m[0]]]],

LRule[LEFT[],PRED[a["t_/_;t<4"]],RIGHT[],SUCC[a["t+1"]]],
LRule[LEFT[],PRED[ii["t_/_;t>0"]],RIGHT[],SUCC[f,f,ii["t-1"]]],
LRule[LEFT[],PRED[l["t_/_;t<4"]],RIGHT[],SUCC[l["t+1.5"]]],
LRule[LEFT[],PRED[m["t_/_;t<4"]],RIGHT[],SUCC[m["t+1"]]]]

```

Gambar 4.4 kode program *mathematica* untuk pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *DOL-System*

2.3 EXPRESSION GENERATION

Atas dasar algoritma genetika, John Koza mengembangkan sistem pemrograman secara genetika untuk menghasilkan dan mengoptimalkan program komputer LISP pada masalah tertentu (Koza,1989 ;Koza, 1990; Koza, 1992; Koza, 1994 ;Koza, dkk, 1999). Pada metoda *Genetic Programming* terdapat skema reproduksi yang sama dengan pada metoda Algortima Genetik. *Fitness* adalah bentuk pemilihan dengan melakukan *filtering* pada satu *set* pada program komputer di *genom*. Program komputer yang mewakili algoritma dengan solusi terbaik akan dipilih untuk generasi berikutnya. Variasi pada program komputer di *genom* akan dihasilkan dari modifikasi ekspresi melalui proses mutasi dan rekombinasi.

Morfogenesis atau pembentukan struktur dialam ditentukan oleh proses pertumbuhan yang komplek (Deutsch, 1994; Paton, 1994). Beberapa divisi sel akan berkembang menjadi sekelompok sel kemudian berkembang menjadi tiga dimensi menurut gerakan dari morfogenetik. Kompleksitas dari proses morfogenetik adalah hasil dari

interaksi antara komponen tumbuh (protein, organel, sel dan organ) yang mengakibatkan perilaku yang muncul pada organisme tersebut.

Penelitian ini memvisualisasikan pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *Genetic Programming*. Pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan menggunakan metoda *Genetic Programming* didasarkan pada prinsip menggantikan blok bangunan program komputer sebanding dengan sel pada tanaman atau mungkin elemen sel yang komplek.

Untuk menghasilkan populasi awal dengan metoda *L-System*, dibuat suatu model blok bangunan sesuai dengan ekspresi *L-System* yang telah dibuat, dimana blok bangunan sebagai daftar bobot *template* yang digunakan untuk menghasilkan ekspresi *L-System* dan menghasilkan substruktur baru. Masing-masing *template* ini (ditandai dengan 1, 2, 3 dan 4) terkait dengan himpunan atribut seperti pada gambar 4.5.

LSystem[_AXIOM,_LRULES]	(1)
AXIOM[a[4]]	(1)
LRULES[LRule[LEFT[],PRED[a[4]],RIGHT[],	
SUCC[SEQ[f],SEQ[ii[3]],SEQ[STACK[pu[60],l[1]]], __SEQ,	
SEQ[f],SEQ[ii[2]],SEQ[rr[90]],SEQ[STACK[pu[60],l[0]]],	
SEQ[STACK[pu[30],a[2]]],SEQ[rr[180]],	
SEQ[STACK[pu[30],a[2]]],SEQ[f], SEQ[ii[1]],SEQ[m[0]]]],	
LRule[LEFT[],PRED[a["t_/_;t<4"]],RIGHT[],SUCC[a["t+1"]]],	
LRule[LEFT[],PRED[ii["t_/_;t>0"]],RIGHT[],SUCC[SEQ[f,f,ii["t-1"]]]],	
LRule[LEFT[],PRED[l["t_/_;t<4"]],RIGHT[],SUCC[l["t+1.5"]]],	
LRule[LEFT[],PRED[m["t_/_;t<6"]],RIGHT[],SUCC[m["t+1"]]],	
__LRule]	(1)
LRule[LEFT[],_PRED,RIGHT[],_SUCC]	(1)
PRED[a[aIndek]]	(1)
SUCC[_SEQ _STACK]	(1)
SEQ[BlankSequence[_a _ii _l _m _f _YL _YR _PU _PD _RL _RR _SEQ]]	
SEQ[BlankSequence[_a _ii _l _m _f _YL _YR _PO _PD _RL _RR]]	(4)
STACK[BlankSequence[_a _ii _l _m _f _YL _YR _PU _PD _RL _RR _STACK]]	(1)
STACK[BlankSequence[_a _ii _l _m _f _YL _YR _PU _PD _RL _RR]]	(4)
FO[stepSize]	(1)
YL[yawAngle]	(1)
YR[yawAngle]	(1)
PU[pitchAngle]	(1)
PD[pitchAngle]	(1)
RL[rollAngle]	(1)
RR[rollAngle]	(1)
a[aIndek]	(1)
ii[iiIndek]	(1)
l[lIndek]	(3)
m[mIndek]	

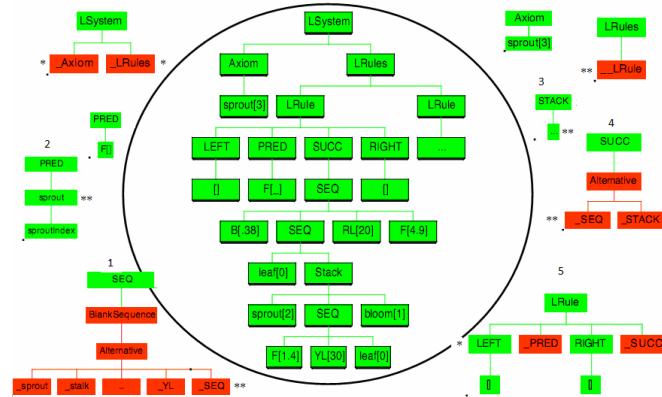
Gambar 4.5 Bobot template pada blok bangunan untuk merepresentasikan pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *L-System*

Pada kurung angka sebelah kanan pada setiap *template* gambar 4.5 menunjukkan bobot *template*. *Template* pertama menjelaskan representasi dari metoda *L-System*, yang terdiri dari aksioma (AXIOM) dan daftar aturan pada metoda *L-System* (LRULES). *Template* yang kedua menentukan aksioma. Sedangkan untuk *template* yang ketiga menentukan himpunan produksi (LRULES[....]), berisi deskripsi lengkap dari pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *L-System* pada gambar 3.11.

Untuk LRule pertama adalah sesuai dengan produksi p_1 pada gambar 4.5, kemudian dilanjutkan dengan produksi p_2 , dan seterusnya. Sedangkan untuk template LRule pertama berisi pola SEQ yang memungkinkan terciptanya urutan baru, yang dapat menghasilkan variasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *L-System*. Akhir dari *template* LRULES untuk pola LRule dapat menghasilkan variasi himpunan produksi. Pada *template* yang ke empat menjelaskan struktur dasar dari metoda *L-System* yaitu LRule[LEFT[],_PRED,RIGHT[],_SUCC]. Untuk *predesor* hanya terdapat *sprout* dengan indek 1,2,3 dan 4 yang diperbolehkan sesuai dengan pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang dibangun. Sedangkan untuk *successor* dapat terdiri dari urutan SEQ atau ekspresi STACK dimana keduanya bisa sebagai *recursive* atau *non recursive* pada *template* tersebut, untuk *template* yang *nonrecursive* diberi bobot lebih tinggi. Sedangkan *template* yang lain menunjukkan ekspresi *parametrized* yaitu untuk setiap simbol dari stepSize, yawAngle, pitchAngle, rollAngle dan simbol lain dari xIndex diberi nilai interval random. Pada penelitian ini untuk pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* menggunakan semua perintah *turtle* grafik 3D dan struktur tanaman secara makro terdiri dari *sprout*, *stalk*, *leaf* dan *bloom*, dibangun dengan metoda *L-System* secara berurut (SEQ) dan bercabang (STACK).

Dengan mengintegrasikan fungsi dari metoda *L-System* ke dalam himpunan *template*, maka dapat membuat genom

tanaman *zinnia* baru sebagai ekspresi simbolik baru yang dihasilkan dari *template* yang telah dibangun dan dapat ditampilkan sebagai visualisasi pertumbuhan tanaman *zinnia*.



Gambar 4.6 Himpunan pola ekspresi ditunjukkan angka 1,2,3,4,5,6 , struktur pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *L-System* ditunjukkan dalam lingkaran

Pada gambar 4.6 untuk menghasilkan populasi awal dengan metoda *L-System*, pada *Genetic Programming* adalah digunakannya indek terbesar pada blok bangunan untuk ekspresi pada generasi yang baru dan untuk modifikasi. Pada penelitian ini untuk mengekspresikan *genotype* dihasilkan dengan menggabungkan ‘macro-patterns’ yang diambil dari himpunan pola ekspresion disekitar lingkaran. Ekspresi * dan ** untuk ekspresi tunggal, _X adalah urutan ekspresi dengan kepala X. Pembentukan ekspresi pertama adalah mengambil *L-System* dilanjutkan dengan melihat pada himpunan pola ekspresion jika ada maka ekspresi berubah menjadi *LSystem*[_Axiom,_LRules], kemudian dilanjutkan dengan melihat pada himpunan pola ekspresion jika ada urutan ekspresi dengan kepala Axiom dan urutan ekspresi dengan kepala LRules jika ada ekspresi berubah menjadi *LSystem*[Axiom[sprout[3]],LRules[_LRule, _LRule]],

kemudian dilanjutkan dengan melihat pada himpunan pola ekspresi jika ada urutan ekspresi dengan kepala LRule jika ada maka LRule diganti dengan [LEFT[],_PRED,RIGHT[],_SUCC] ekspresi berubah menjadi :

```
LSystem[Axiom[sprout[3]],LRules[[LEFT[],_PRED,RIGHT[],_SUCC], _LRULE]]
```

Kemudian dilanjutkan dengan melihat pada himpunan pola ekspresion jika ada urutan ekspresi dengan kepala PRED maka PRED diganti dengan F[] dan kemudian dilanjutkan dengan melihat pada himpunan pola ekspresion jika ada urutan ekspresi dengan kepala SUCC maka SUCC diganti dengan _SEQ atau _STACK ekspresi berubah menjadi :

```
LSystem[Axiom[sprout[3]],LRules[[LEFT[],F[],RIGHT[],_SEQ], _LRULE]]
```

Proses selanjutnya dengan melihat pada himpunan pola ekspresi jika ada urutan ekspresi dengan kepala SEQ maka SEQ diganti dengan _sprout atau _stalk atau _ atau _YL atau _SEQ ekspresi berubah menjadi :

```
LSystem[Axiom[sprout[3]],LRules[[LEFT[],F[],RIGHT[], B[.38], _SEQ, RL[20], F[4.9]], _LRULE]],
```

Kemudian berikutnya adalah :

```
LSystem[Axiom[sprout[3]],LRules[[LEFT[],F[],RIGHT[], B[.38], leaf[0],_STACK, RL[20], F[4.9]], _LRULE]]
```

Proses berikutnya adalah :

```
LSystem[Axiom[sprout[3]],LRules[[LEFT[],F[]  
,RIGHT[], B[.38], leaf[0],sprout[2], _SEQ, bloom[1], RL[20],  
F[4.9]], _LRULE]]
```

Proses berikutnya adalah

```
LSystem[Axiom[sprout[3]],LRules[[LEFT[],F[]  
,RIGHT[], B[.38], leaf[0],sprout[2], F[1.4], YL[30],leaf[0] ,  
bloom[1], RL[20], F[4.9]], _LRULE]]
```

Kemudian bisa dilanjutkan untuk mendapatkan ekspresi baru pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang baru.

3.3.1 HASIL *EXPRESSION GENERATION* PEMODELAN PERTUMBUHAN TANAMAN *ZINNIA*

Hasil penelitian untuk *expression generation* pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang dibangun dan divisualisasikan dengan jumlah iterasi 10 didapat 10 pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*. Dengan prinsip menggantikan blok bangunan pada metoda *L-System*, dimana blok bangunan tersebut sebagai daftar bobot *template* yang digunakan untuk menghasilkan substruktur baru yang dilakukan secara random pada blok bangunan metoda *L-System*, yang kemudian disebut sebagai individu baru. Pada lampiran B telah dihasilkan 10 individu baru pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*.

4.4 *FITNESS*

Seleksi berguna untuk mencapai nilai target yang ditentukan dari parameter optimasi yang ingin dicapai. Operator seleksi dapat dikatakan merupakan model dari siapa yang terkuat (*fittest*) dia yang bertahan (*survive*) yang terjadi pada evolusi alam. Untuk mengetahui pencapaian nilai maksimum dari tanaman bunga dalam penerapan proses metoda *Genetic L-System Programming* telah didefinisikan *fitness*

oleh (Jacob.C, 1995) kemudian disesuaikan dengan kebutuhan untuk menjelaskan maksimum tanaman yang diteliti, untuk tanaman bunga maka nilai jumlah bunga dari setiap generasi pada setiap iterasi dapat dibuat nilai *fitness* dengan rumus 4.1 dan kode program *mathematica* gambar 4.7.

$$\text{Fitness}_i = \text{Bunga} \quad (4.1)$$

```
If [lineCoordinates != {},
{maxXCoord, maxYCoord, maxZCoord} = MapThread
[Max, lineCoordinates];
exprFitness = maxXCoord + maxYCoord + maxZCoord,
exprFitness = 0];
flowers];
```

Gambar 4.7 Kode program *mathematica* untuk fitness tanaman *Zinnia*

4.5 VARIASI NILAI OPERATOR

Untuk dapat mengubah subekspresi pada metoda *L-System* tidak diperbolehkan sebagai modul *parametric encoding* (Niklas, 1986). Proses operator genetika pada *template* untuk mengubah subekspresi harus berada dalam lingkup masing-masing operator yaitu Mutasi, *Crossover*, *Deletion*, Duplikasi dan Permutasi.

Operator genetika akan ditetapkan dan di integrasikan pada metoda *L-System* kedalam template. Subekspresi dipilih sesuai dengan operator tertentu yang telah di seleksi berdasarkan mekanisme pencocokan pola, variasi dari operator genetika seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Pada penelitian ini operator *Genetic L-System Programming* untuk modifikasi dari struktur program pada metoda *L-System*

Operator	Bobot	Seleksi Template	Bobot Template
Mutasi	2	_LRule _SEQ _STACK	1 2 2
Recombinasi	2	_LRule _SEQ _STACK	1 2 2
Deletion	1	{LRULES, x_/:Length[{x}]>1} {SEQ, x_/:Length[{x}]>1} {STACK, x_/:Length[{x}]>1}	1 2 2
Duplication	1	{LRULES, x_/:Length[{x}]>1} {SEQ, x_/:Length[{x}]>1} {STACK, x_/:Length[{x}]>1}	1 2 2
Permutation	1	{LRULES, x_/:Length[{x}]>1} {SEQ, x_/:Length[{x}]>1} {STACK, x_/:Length[{x}]>1}	1 2 2

Pada tabel 4.1 untuk mendapatkan *genome* baru pada ekspresi metoda *L-System* yang terdiri dari subekspresi dari salah satu operator genetika misalkan mutasi yaitu dengan cara memodifikasi substruktur. Dimana operator genetika mutasi dapat memilih SEQ atau STACK dan memodifikasi substruktur. Sedangkan untuk operator genetika rekombinasi dapat menukar STACK, SEQ dan LRule antara *genom* pada ekspresi metoda *L-System* yang berbeda. Berikutnya untuk operator *deletion*, *duplication* dan *permutation* dapat bekerja di subekspresi STACK, SEQ dan LRule, untuk

operator *deletion* dapat menghapus, operator permutasi dapat merubah urutan dari subekspresi yang diseleksi berikutnya untuk operator duplikasi dapat menambah subekspresi lagi. Dimana ekspresi harus mengandung dua argumen. Sedangkan untuk template $\{\text{LRULES}, x_/_ ; \text{Length}[x] > 1\}$ menggambarkan ekspresi yang memiliki kepala dengan simbol LRULES dan mempunyai minimal dua (LRULES), demikian untuk template $\{\text{SEQ}, x_/_ ; \text{Length}[x] > 1\}$ dan $\{\text{STACK}, x_/_ ; \text{Length}[x] > 1\}$. Semua template diseleksi sesuai dengan bobot template yang diberi rasio 1, 2, 3 dan 4.

4.6 HASIL DAN VISUALISASI PEMODELAN PERTUMBUHAN TANAMAN ZINNIA

Hasil penelitian untuk mendapatkan pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan menggunakan metoda *Genetic L-System Programming* dilakukan dengan jumlah generasi 5 dan jumlah individu 10 didapat 60 pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* hasil proses dengan metoda *Genetic L-System Programming*.

Nilai operator mutasi kode program *mathematica* pada gambar 4.8

```
exprMutationRANKS =  
{  
  PExpr[_SEQ, 2, {}],  
  PExpr[_STACK, 2, {}]  
};
```

Gambar 4.8 Kode program *mathematica* untuk operator mutasi

Untuk operator crossover kode program *mathematica* pada gambar 4.9

```
exprCrossoverRANKS =  
{  
  PExpr[_SEQ,2,{ }],  
  PExpr[_STACK,2,{ }]  
};
```

Gambar 4.9 Kode program *mathematica* untuk operator crossover

Untuk operator *shrink* kode program *mathematica* pada gambar 4.10

```
exprShrinkRANKS =  
{  
  PExpr[SEQ[x__]/;Length[{x}]>1,2,{ }],  
  PExpr[STACK[x__]/;Length[{x}]>1,2,{ }]  
};
```

Gambar 4.10 Kode program *mathematica* untuk operator shrink

Untuk operator *duplication* kode program *mathematica* pada gambar 4.11

```
exprDuplicationRANKS =  
{  
  PExpr[SEQ[x__]/;Length[{x}]>1,2,{ }],  
  PExpr[STACK[x__]/;Length[{x}]>1,2,{ }]  
};
```

Gambar 4.11 Kode program *mathematica* untuk operator *duplication*.

Untuk operator *permutation* kode program *mathematica* pada gambar 4.12

```
exprPermutationRANKS =  
{  
  PExpr[SEQ[x__]/;Length[{x}]>1,2,{ }],  
  PExpr[STACK[x__]/;Length[{x}]>1,2,{ }]  
};
```

Gambar 4.12. Kode program *mathematica* untuk operator *permutation*.

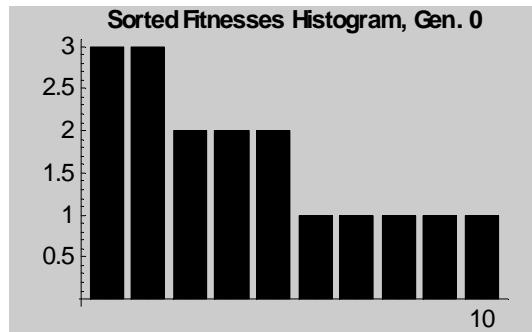
Untuk rangking dari setiap operator kode program *mathematica* pada gambar 4.17

```
gpOperatorRanksInitial =  
{  
  {MUTAT, 0.3}, (* mutation *)  
  {CROSS, 0.3}, (* crossover *)  
  {SHRINK, 0.1}, (* shrink *)  
  {DUPL, 0.2}, (* duplication *)  
  {PERM, 0.2}, (* permutation *)  
};
```

Gambar 4.13 Kode program *mathematica* untuk rangking dari setiap operator

Hasil penelitian menunjukkan bahwa telah terdapat beberapa generasi setelah proses dijalankan. Efek dari proses *Genetic L-System Programming* telah didapat pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang sesuai dengan karakteristik model tanaman bunga, yaitu jenis tanaman *zinnia* berbunga dan bercabang dimana setiap cabang menunjukkan tunas bunga yang akan mekar, hal ini dapat ditangkap dengan nilai *fitness* dengan kriteria ekspresi bunga.

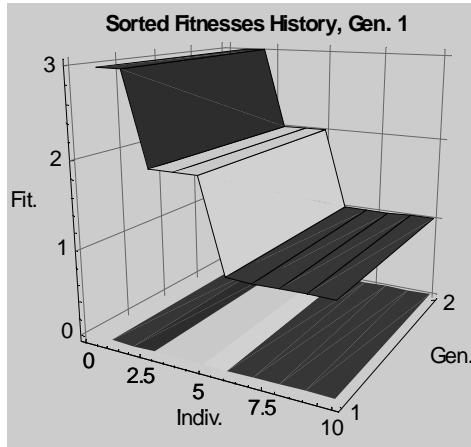
Kenaikan nilai fitnes terjadi pada saat nilai maksimum fitness, transformasi dari ekspresi yang dihasilkan dari metoda *L-System* ke struktur 3 Dimensi (*fenotype*) adalah proses yang *non linear*. Perubahan sedikit dari ekspresi pada metoda *L-System* dapat mengakibatkan perubahan besar terhadap *fenotipe* yang terjadi.



Gambar 4.14 Histogram *fitness* pada generasi 0

Pada gambar 4.14 didapat nilai *fitness* dari hasil proses *expretion generation* pada pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* pada generasi 0 pada 10 individu terdapat nilai sebagai berikut $\{1,3,1,1,3,2,1,2,1,2\}$ terdapat nilai *fitness* 3 sebanyak 2 individu, pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dan visualisasi ditampilkan sesuai dengan karakteristik tanaman *zinnia*. Pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* hasil proses *expretion generation* pada *Genetic L-System Programming* dapat dilihat pada Lampiran B.

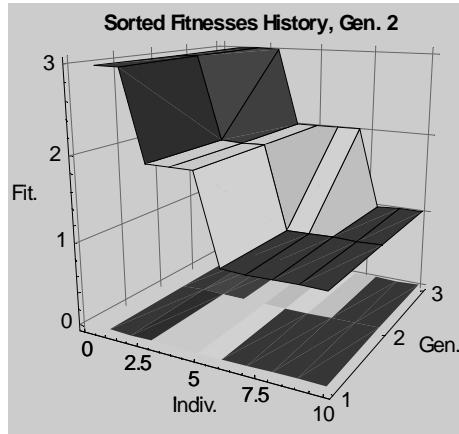
Pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang sesuai dengan karakteristik tanaman bunga *zinnia* adalah pada generasi 0 individu 3 nilai fitness 1 dan generasi 0 individu 4 fitness 1, visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman zinnia dapat dilihat pada Lampiran B.



Gambar 4.15 Grafik nilai *fitness* terhadap generasi 1 pada 10 individu pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*

Pada gambar 4.15 didapat nilai *fitness* dari hasil proses *Genetic L-System Programming* untuk pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan nilai sesuai dengan generasi sebagai berikut {1,3,1,1,3,2,1,2,1,2} tidak terdapat peningkatan *fitness*, pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dan visualisasi ditampilkan yang sesuai dengan karakteristik tanaman *zinnia*.

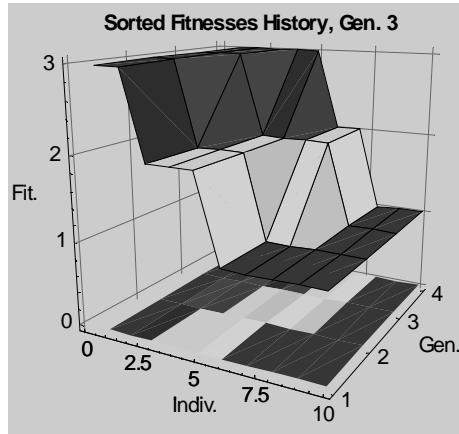
Pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* hasil proses *Genetic L-System Programming* untuk generasi 1 , pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang sesuai dengan karakteristik tanaman bunga *zinnia* adalah pada generasi 1 individu 4 nilai fitness 1, visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman zinnia dapat dilihat pada Lampiran C.



Gambar 4.16 Grafik nilai *fitness* terhadap generasi 2 pada 10 individu pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*

Pada gambar 4.16 didapat nilai *fitness* dari hasil proses *Genetic L-System Programming* untuk pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan nilai sesuai dengan generasi sebagai berikut $\{3,2,2,3,1,1,1,3,2,2\}$ terdapat peningkatan nilai *fitness* 3 sebanyak 3, pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dan visualisasi hanya ditampilkan yang sesuai dengan karakteristik tanaman *zinnia*.

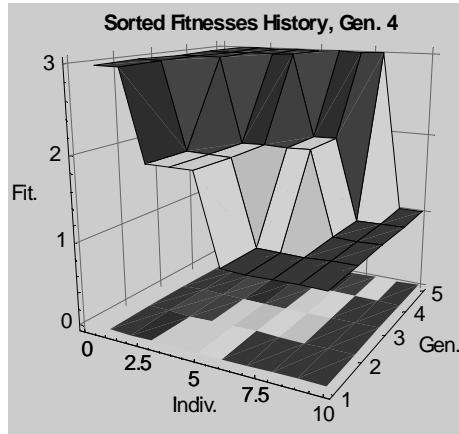
Pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* hasil proses *Genetic L-System Programming* untuk generasi 2 , pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang sesuai dengan karakteristik tanaman bunga *zinnia* adalah pada generasi 2 individu 5 nilai *fitness* 1, pemodelan tanaman *zinnia* dan visualisasi dapat dilihat pada Lampiran D.



Gambar 4.17 Grafik nilai *fitness* terhadap generasi 3 pada 10 individu pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*

Pada gambar 4.17 didapat nilai *fitness* dari hasil proses *Genetic L-System Programming* untuk pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan nilai sesuai dengan generasi sebagai berikut $\{3,3,3,3,1,2,2,1,3,1\}$ terdapat peningkatan *fitness* untuk nilai 3 sebanyak 5 individu, pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dan visualisasi ditampilkan sesuai dengan karakteristik tanaman bunga *zinnia*.

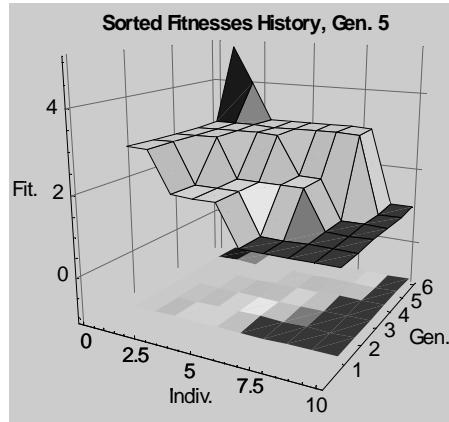
Pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* hasil proses *Genetic L-System Programming* untuk generasi 3, pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang sesuai dengan karakteristik tanaman bunga *zinnia* adalah pada generasi 3 individu 5 nilai *fitness* 1, generasi 3 individu 8 nilai *fitness* 1 dan generasi 3 individu 10 nilai *fitness* 1, pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dapat dilihat pada Lampiran E.



Gambar 4.18 Grafik nilai *fitness* terhadap generasi 4 pada 10 individu pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*

Pada gambar 4.18 didapat nilai *fitness* dari hasil proses *Genetic L-System Programming* untuk pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan nilai sesuai dengan generasi sebagai berikut $\{3,3,3,3,1,3,3,1,3,3\}$ terdapat peningkatan *fitness* untuk nilai 3 sebanyak 8 individu, pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dan visualisasi ditampilkan yang sesuai dengan karakteristik tanaman bunga *zinnia*.

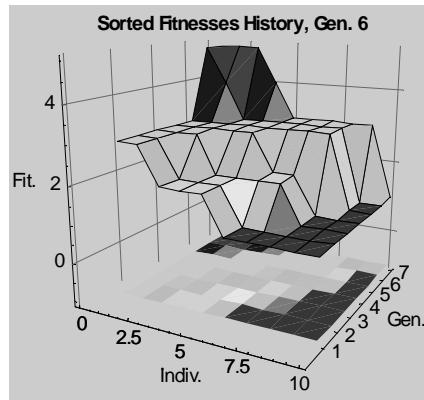
Pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* hasil proses *Genetic L-System Programming* untuk generasi 4 , pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang sesuai dengan karakteristik tanaman *zinnia* adalah pada generasi 4 individu 5 nilai fitness 1 dan generasi 4 individu 8 nilai fitness 1, pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dapat dilihat pada Lampiran F.



Gambar 4.19 Grafik nilai *fitness* terhadap generasi 5 pada 10 individu pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*

Pada gambar 4.19 didapat nilai *fitness* dari hasil proses *Genetic L-System Programming* untuk pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan nilai sesuai dengan generasi sebagai berikut $\{3,1,5,1,4,3,3,3,3,3\}$ terdapat peningkatan *fitness* untuk nilai 4 dan 5 sebanyak 1 individu, pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dan visualisasi hanya ditampilkan yang sesuai dengan karakteristik tanaman bunga *zinnia*.

Pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* hasil proses *Genetic L-System Programming* untuk generasi 5, pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang sesuai dengan karakteristik tanaman bunga *zinnia* adalah pada generasi 5 individu 2 nilai fitness 1 dan generasi 5 individu 4 nilai fitness 1, pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dapat dilihat pada Lampiran G.



Gambar 4.20 Grafik nilai *fitness* terhadap generasi 6 pada 10 individu pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*

Pada gambar 4.20 didapat nilai *fitness* dari hasil proses *Genetic L-System Programming* untuk pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan nilai sesuai dengan generasi sebagai berikut $\{5,3,5,3,4,3,3,5,3,1\}$ terdapat peningkatan *fitness* untuk nilai 5 sebanyak 3 individu, pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dan visualisasi hasil hanya ditampilkan yang sesuai dengan karakteristik tanaman bunga *zinnia*.

Pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* hasil proses *Genetic L-System Programming* untuk generasi 6 , pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang sesuai dengan karakteristik tanaman bunga *zinnia* adalah pada generasi 6 individu 10 nilai fitness 1 pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dapat dilihat pada Lampiran I.

Pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* hasil dengan metoda *Genetic L-System Programming* yang sesuai dengan karakteristik tanaman *zinnia* secara keseluruhan berjumlah 12 pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*, proses ini dilakukan dengan cara pengamatan visualisasi dapat dilihat pada Lampiran J.

4.7 EVALUASI MODEL

Pemodelan pertumbuhan tanaman dan visualisasi tanaman *zinnia* yang telah dibuat dengan menggunakan metoda *Genetic L-System Programming* memiliki kemampuan untuk menyesuaikan variasi nilai operator yaitu Mutasi, *Crossover*, *Deletion*, Duplikasi dan Permutasi secara interaktif. Hal ini memungkinkan pemakai dan pengembang untuk memverifikasi aturan produksi dan untuk memodifikasi penampilan gambar grafika dari pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang dihasilkan.

BAB V

PENDEKATAN *ARTIFICIAL INTELLIGENT* PADA PERTUMBUHAN TANAMAN *ZINNIA* PADA PENGARUH PEMBERIAN PUPUK

Artificial Life is the study of man-made systems that exhibit behaviors characteristic of natural living systems. It complements the traditional biological sciences concerned with the analysis of living organisms by attempting to synthesize life like behaviors within computers and other artificial media. (Langton, 1989, pp.1)

Pendekatan *artificial intelligence* telah berhasil di aplikasikan pada berbagai bidang, seperti bidang sistem pendukung keputusan dan *computer vision* (Altroc, 1995), dimana pendekatan *artificial intelligence* yaitu *neural network* dan *fuzzy sistem* digunakan untuk memetakan suatu ruang input ke ruang output (Wang,L, 1997), sistem ini dapat memberikan alternatif solusi terkait dengan sistem yang memiliki karakteristik pertumbuhan tanaman dan sistem produksi biologis (Hashimoto, Y, dkk, 1993).

Kemudian untuk identifikasi sistem dalam pendekatan sistem dinamis untuk memetakan suatu ruang input ke ruang output (Ljung dkk, 1994). Dimana data aktual input dan data pengukuran output berdasarkan sistem riil dilakukan guna penyusunan model.

5.1 DATA PERCOBAAN

Proses pembangunan pemodelan pertumbuhan dan visualiasi penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jaringan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Data pertumbuhan tanaman *zinnia* pada identifikasi pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *Fuzzy Mamdani* dilakukan dengan percobaan dilahan polibag, penanaman

dilakukan sejumlah 20 kelompok tanaman, setiap kelompok terdapat 3 tanaman *zinnia*, 15 kelompok data pada tabel 5.2 dan tabel 5.4 sebagai data input dan output untuk digunakan menyusun model identifikasi dengan metoda *artificial neural network* dan 5 kelompok tanaman sebagai data pengujian validasi pada tabel 5.3 dan tabel 5.5.

Pada penelitian ini komposisi pemberian pupuk nitrogen (N), phosphor (P), kalium (K) dan pupuk NPK adalah faktor yang memberikan pengaruh kepada komponen tanaman dan fungsi pertumbuhan komponen tersebut. Sedangkan faktor-faktor lingkungan yang meliputi suhu dan kelembaban lingkungan, intensitas cahaya, dan faktor lingkungan lain dalam penelitian ini lebih bersifat sebagai data pendukung terhadap pengamatan pertumbuhan tanaman *zinnia*. Proses pemupukan dilakukan setiap 7 hari sekali mulai dari penanaman bibit tanaman *zinnia* dengan komposisi pupuk dapat dilihat pada Tabel 5.1. dengan penyiraman dilakukan 2 hari sekali sebanyak \pm 200 ml/tanaman,

Tabel 5.1 Dosis Pupuk

Nama Pupuk	Dosis Perkelompok Tanaman (gram)
NPK	0-2 gram
KCL	0.2 gram
SP-36	0.1 gram
Urea	0.2 gram
MKP	0.1 gram
Gandasil	0.1 gram

Pemupukan dilakukan dengan cara mencampur komposisi pupuk pada table 5.1 dengan melarutkan ke dalam air sebanyak 200 ml/tanaman untuk setiap kelompok tanaman. Sedangkan untuk pupuk NPK dengan cara mencampur

dengan media tanaman terdiri dari tanah dan kompos dengan komposisi (2:1), berdasarkan volume (v/v).

Hardware peralatan yang digunakan Personal Komputer dengan spesifikasi standar Processor Intel Pentium Dual CPU 2,8 GHZ, RAM 768 Mbyte, *Hard drive* 30GB, Kartu Grafis NVIDIA GeForce 8400GS. Software yang digunakan adalah Sistem Operasi *Windows* dan *Mathematica*.

5.2 PENGAMATAN

Parameter variable pengamatan pertumbuhan tanaman *zinnia* meliputi :

3. Variabel pengamatan analisis struktur tanaman pada tanaman sampel yang meliputi panjang batang tanaman, diameter batang, panjang daun, lebar daun, diameter bunga.
4. Variabel pengamatan analisis lingkungan yang meliputi temperatur, cuaca, kelembaban udara, intensitas cahaya.

Pengukuran dilakukan pengamatan hingga hari yang ke 25 terhadap indikator pertumbuhan struktur model tanaman meliput panjang batang tanaman, diameter batang, tinggi daun, lebar daun, diameter bunga, tinggi tanaman. Pada usia ke 25 sudah terdapat bunga dan kuncup bunga pada setiap cabang yang menunjukkan karakteristik tanaman *zinnia* sudah tercapai yang menunjukkan tanaman tumbuh dengan kondisi penyerapan unsur hara (pemberian pupuk NPK dan kompos) yang baik.

Tabel 5.2 Pengaruh variasi pemberian pupuk NPK dan kompos terhadap struktur tanaman untuk menyusun model identifikasi dengan metoda *artificial neural network*

Perlakuan			Struktur Tanaman			
No	Pupuk Kompos	Pupuk NPK	Panjang Batang (cm)	Diameter Daun (cm)	Panjang Daun (cm)	Diameter Bunga (cm)
1	0	0	10	3,1	5,8	5,4
2	0	50	10,9	3,3	6	5,8
3	0	100	11,4	3,5	6,2	6,4
4	25	0	11	4	6,1	6,7
5	25	50	12,5	4,3	6,6	7,2
6	25	100	10	3,1	5,8	5,4
7	50	0	10,9	3,3	6	5,8
8	50	50	11,4	3,5	6,2	6,4
9	50	100	11	4	6,1	6,7
10	75	0	12,5	4,3	6,6	6,6
11	75	50	10	3,1	5,8	5,4
12	75	100	10,9	3,3	6	5,8
13	100	0	11,4	3,5	6,2	6,4
14	100	50	11	4	6,1	6,7
15	100	100	12,5	4,3	6,6	7,2

Tabel 5.3 Pengaruh variasi pemberian pupuk NPK dan kompos terhadap struktur tanaman untuk menguji model identifikasi dengan metoda *artificial neural network*

Perlakuan			Struktur Tanaman			
No	Pupuk Kompos	Pupuk NPK	Panjang Batang (cm)	Diameter Daun (cm)	Panjang Daun (cm)	Diameter Bunga (cm)
1	0	75	10	3,1	5,8	5,4
2	25	75	10,9	3,3	6	5,8
3	50	75	11,4	3,5	6,2	6,4
4	75	25	11,3	4	6,1	6,7
5	100	75	12,5	4,3	6,6	7,2

Tabel 5.4 Pengaruh variasi pemberian pupuk NPK dan kompos terhadap pertumbuhan batang, daun dan bunga untuk menyusun model identifikasi dengan metoda *artificial neural network*

Perlakuan			Fungsi Pertumbuhan Tanaman		
No	Pupuk Kompos	Pupuk NPK	Batang (cm)	Daun (cm)	Bunga (cm)
1	0	0	4,1	4	4,3
2	0	50	4,2	4,1	4,8
3	0	100	4,5	4,3	4,9
4	25	0	4,3	4	5,0
5	25	50	4,2	4,6	5,1
6	25	100	4,7	4,7	5,1
7	50	0	4,2	4,2	5,2
8	50	50	4,8	4,8	5,4
9	50	100	4,9	4,8	6,0
10	75	0	5,3	5,1	6,6
11	75	50	5,4	5,7	6,9
12	75	100	5,9	6	7
13	100	0	6	6,2	6,9
14	100	50	6,2	6,4	7,1
15	100	100	6,2	6,4	7,3

Tabel 5.5 Pengaruh variasi pemberian pupuk NPK dan kompos terhadap fungsi pertumbuhan batang, daun dan bunga untuk menguji model identifikasi dengan metoda *artificial neural network*

Perlakuan			Fungsi Pertumbuhan Tanaman		
No	Pupuk Kompos	Pupuk NPK	Batang	Daun	Bunga
1	0	75	4,3	4,8	5,7
2	25	75	4,3	5,1	6,4
3	50	75	4,9	5,8	6,8
4	75	25	6	6	6,9
5	100	75	6,3	6,3	7,2

5.3 ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Jaringan saraf merupakan representasi buatan dari otak manusia yang selalu mencoba mensimulasikan proses pemebelajaran otak manusia tersebut. Istilah buatan digunakan karena jaringan saraf di implementasikan dengan menggunakan program komputer yang mampu menyelesaikan sejumlah proses perhitungan selama proses pembelajaran.[6]

Jaringan Saraf Tiruan merupakan sistem pemrosesan informasi yang memiliki karakteristik kemampuan yang secara umum mirip dengan jaringan saraf biologi. Jaringan saraf tiruan telah dikembangkan sebagai turunan model matematika dari kesadaran manusia atau saraf biologis, karena berdasar pada asumsi bahwa[6]:

- a. Pemrosesan informasi terjadi pada beberapa elemen sederhana yang disebut *neuron*.
- b. Sinyal lewat diantara *neuron* menciptakan jaringan koneksi.
- c. Setiap koneksi penghubung memiliki bobot yang terhubung, yang dalam jaringan saraf tertentu mengalikan sinyal yang ditransmisikan.
- d. Setiap *neuron* mempunyai fungsi aktifasi (biasanya non linier) pada jaringan *input*nya (jumlah dari bobot sinyal *input*) untuk menentukan sinyal *output*nya.

Karakteristik dari jaringan saraf tiruan adalah [6]:

- a. Pola hubungan antar *neuron* (yang menjadi arsitekturnya).

b. Metode penentuan bobot dalam koneksi (disebut sebagai proses latihan, pembelajaran, atau Algoritma).

c. Fungsi aktivasi.

Jaringan saraf biologis terdiri atas sel-sel yang disebut *neuron*. Pada jaringan saraf tiruan, juga terdapat istilah *neuron* atau sering disebut unit, sel, *node*. Setiap *neuron* terhubung dengan *neuron-neuron* yang lain melalui *layer* dengan bobot tertentu. Bobot disini melambangkan informasi yang digunakan oleh jaringan untuk menyelesaikan persoalan. Pada jaringan saraf biologis, bobot tersebut dapat dianalogikan dengan aksi pada proses kimia yang terjadi pada *synaptic gap*. Sedangkan *neuron* mempunyai *internal state* yang disebut aktivasi. Aktivasi merupakan fungsi dari *input* yang diterima. Suatu *neuron* akan mengirimkan sinyal ke *neuron-neuron* yang lain, tetapi pada suatu saat hanya ada satu sinyal yang dikeluarkan walaupun sinyal tersebut ditransmisikan ke beberapa *neuron* yang lain. Sistem jaringan saraf banyak digunakan dalam berbagai bidang antara lain kedokteran, bisnis, keuangan, maupun elektronika termasuk pemrosesan sinyal dan sistem kontrol.[7]. Metoda *artificial neural network* ini dapat menjelaskan relasi input/output untuk nonlinear sistem (Hecht-Nielsend, 1988).

Pada penelitian ini relasi antara variasi pemberian pupuk terhadap nilai struktur (yaitu arsitektur dan morfologi) dan pertumbuhan tanaman *zinnia*. Metoda *artificial neural network* untuk sistem output digunakan untuk mengidentifikasi struktur tanaman, antara lain tinggi batang, diameter batang, lebar daun, tinggi daun, diameter bunga dan pertumbuhannya. Tanaman yang digunakan pada penelitian ini adalah tanaman kembang kertas (*Zinnia Elegane Jacq*).

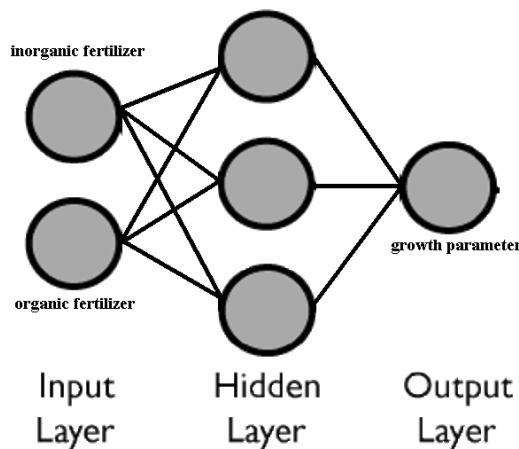
Dalam penelitian ini, metoda *artificial neural network* yang dipakai adalah *multilayer* yang akan memberikan solusi terkait dengan sistem yang komplek dengan dipengaruhi oleh

berbagai faktor seperti dalam pertumbuhan secara riil. Metoda *artificial neural network* dapat memberikan identifikasi output untuk nonlinear sistem. Selanjutnya nilai yang dihasilkan oleh metoda *artificial neural network* akan diintegrasikan ke metoda *Genetic L-System Programming*, hasil dari penelitian ini adalah mendapatkan pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* sesuai dengan karakteristik pertumbuhan tanaman berdasarkan faktor lingkungan yang berpengaruh yang berbentuk tanaman *virtual*.

5.3.1 STRUKTUR MODEL PENDEKATAN *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK* PADA PERTUMBUHAN TANAMAN *ZINNIA* PENGARUH PEMBERIAN PUPUK

Data bilogi didapat dari pengamatan pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pemberian pupuk untuk membangun model *artificial neural network*. Diagram alir model untuk identifikasi dengan metoda *artificial neural network* pada struktur dan pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pengaruh variasi pemberian pupuk dapat dilihat pada gambar 5.1.

Metoda *artificial neural network* digunakan tiga lapisan yang terletak diantara lapisan *input* dan lapisan *output*nya. Jaringan dengan tiga lapisan ini dapat menyelesaikan permasalahan yang lebih sulit dari pada jaringan dengan lapisan tunggal. Jaringan dengan model banyak lapisan ini lebih sukses dalam menyelesaikan masalah. Pada gambar 1.5 menunjukkan jaringan saraf *three layer*.



Gambar 5.1 Struktur *artificial neural network* identifikasi pada struktur dan fungsi pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap variasi pemberian komposisi pupuk NPK dan kompos

Gambar 5.1 menjelaskan tentang model dari identifikasi dengan metoda *artificial neural network* pada struktur dan fungsi pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pengaruh variasi pemberian komposisi pupuk NPK dan kompos. Metoda *artificial neural network* digunakan untuk model *nonlinear* yang dibangun untuk merepresentasikan pengaruh pemberian komposisi pupuk NPK dan kompos terhadap pertumbuhan tanaman *zinnia*. Struktur ini memiliki dua input dan satu ouput dengan tiga lapisan tersembunyi, hasil output sebagai model identifikasi pertumbuhan tanaman *zinnia* yang terdiri dari struktur tanaman dan fungsi pertumbuhan tanaman.

5.3.2 HASIL EKSPERIMENT IDENTIFIKASI SISTEM MENGGUNAKAN *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK*

Identifikasi pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pemberian pupuk NPK dan kompos dapat direpresentasikan dengan menggunakan metoda *artificial neural network*. Pengujian data aktual pengukuran di lapangan, dengan menggunakan aturan inferensi metoda *artificial neural network* yang diperoleh nilai baru pada parameter struktur tanaman dapat dilihat pada tabel 5.17 dan pada parameter pertumbuhan tanaman dapat dilihat pada tabel 5.18

Tabel 5.6 Komparasi hasil model dan aktual untuk struktur tanaman

Perlakuan NPK Kom	Data Struktur Tanaman <i>Zinnia</i>							
	Panjang Batang		Panjang Daun		Lebar Daun		Diameter Bunga	
	- cm -							
	Aktu	ANN	Akt	ANN	Akt	ANN	Akt	ANN
0	75	10	11,6	5,8	5,9	3,1	3,4	5,4
25	75	10,9	11,4	6	6,15	3,3	3,5	5,8
50	75	11,4	10,8	6,2	6,25	3,5	3,5	6,4
75	75	11,3	11,4	6,1	6,35	4	3,85	6,7
100	75	12,5	11,8	6,6	6,6	4,3	4	7,2
								6,94

Tabel 5.7 Komparasi hasil model dan aktual untuk pertumbuhan

Perlakuan n NPK Kom	Data Pertumbuhan Tanaman <i>Zinnia</i>					
	Batang		Daun		Bunga	
	- cm -					
	Akt	ANN	Akt	ANN	Akt	ANN
0	75	4,3	4,68	4,8	4,68	5,7
25	75	4,3	5,09	5,1	5,09	6,4
50	75	4,9	5,25	5,8	5,25	6,8
75	75	6	5,41	6	5,41	6,9
100	75	6,3	5,82	6,3	5,82	7,2
						6,54

5.3.3 EVALUASI MODEL

Keakuratan hasil perhitungan metoda *artificial neural network* dapat diketahui dengan menghitung *error rate*, yaitu dengan membandingkan data hasil pengukuran dengan data hasil perhitungan *artificial neural network*. Untuk menghitung *error rate*, dalam penelitian ini menggunakan metoda *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dengan persamaan sebagai berikut :

$$PE_i = \frac{(X_i - F_i)}{X_i} \times 100\%$$

$$MAPE = \frac{\sum PE_i}{n}$$

Dengan X_i adalah data aktual ke- i , yaitu data hasil pengukuran di lapangan dan F_i adalah data peramalan ke- i , yaitu hasil perhitungan dengan *artificial neural network*.

Tabel 5.8 *error rate* untuk struktur tanaman zinnia

No	Data Struktur Tanaman Zinnia											
	Panjang Batang			Panjang Daun			Lebar Daun			Diameter Bunga		
	- cm -											
	Akt.	Fuz	err	Akt	Fuz	err	Akt	Fuz	err	Akt	Fuz	err
1	10	11,6	16%	5,8	5,9	1%	3,1	3,4	9%	5,4	6,06	12%
2	10,9	11,4	4%	6	6,15	2%	3,3	3,5	6%	5,8	6,37	9%
3	11,4	10,8	5%	6,2	6,25	0%	3,5	3,5	0%	6,4	6,5	1%
4	11,3	11,4	0%	6,1	6,35	4%	4	3,85	3%	6,7	6,63	1%
5	12,5	11,8	5%	6,6	6,6	0%	4,3	4	6%	7,2	6,94	3%
Rata-rata persentase <i>error</i>			6%				1,4%			4,8%		
										5,2		

Tabel 5.9 *error rate* untuk pertumbuhan tanaman zinnia

No	Data Pertumbuhan Tanaman <i>Zinnia</i>								
	Batang			Daun			Bunga		
	- cm -								
	Akt	Fuz	err	Akt	Fuz	err	Akt	Fuz	err
1	4,3	4,68	8%	4,8	4,68	2%	5,7	4,96	12%
2	4,3	5,09	18%	5,1	5,09	0%	6,4	5,53	13%
3	4,9	5,25	5%	5,8	5,25	9%	6,8	5,75	15%
4	6	5,41	9%	6	5,41	9%	6,9	5,97	13%
5	6,3	5,82	7%	6,3	5,82	7%	7,2	6,54	9%
Rata-rata persentase <i>error</i>		9,4%			5,4%			10,9%	

Untuk Tabel 5.19 dan Tabel 5.20 didapatkan tingkat rata-rata kesalahan persentase di bawah 11%. Dari hasil *artificial neural network* dalam mengidentifikasi nilai struktur tanaman dari faktor variasi pemberian pupuk yang diberikan. Tingkat *error rate (MAPE)* yang kurang dari 40% dikatakan baik dan dapat diandalkan (Brooks, dkk, 2006);

5.4 FUZZY SYSTEM

Logika *fuzzy* pertama kali digunakan untuk mekanisme pengolahan atau manajemen ketidakpastian yang kemudian dikenal dengan logika *fuzzy* (Lotfi A. Zadeh, 1978). Logika *fuzzy* adalah sebuah metoda untuk menangani masalah ketidak pastian. Yang dimaksud ketidak pastian yaitu suatu masalah yang mengandung keraguan, ketidaktepatan. Munculnya konsep logika *fuzzy* bukan berarti menggantikan teori probabilitas yang sebelumnya ada, akan tetapi dengan adanya logika *fuzzy* telah ditemukan alternatif lain yang bias digunakan untuk menyelesaikan masalah ketidak pastian.

Pada dasarnya teori himpunan *fuzzy* merupakan perluasan dari teori himpunan *biner* klasik, yang hanya mengenal angka 0 atau 1. Dalam teori himpunan *biner* klasik, setiap elemen hanya akan memiliki 2 (dua) kemungkinan

terhadap himpunan yaitu menjadi bagian dari himpunan atau bukan merupakan anggota himpunan. Keterbatasan dari himpunan *biner* klasik adalah tidak dapat menangani ketidak pastian.

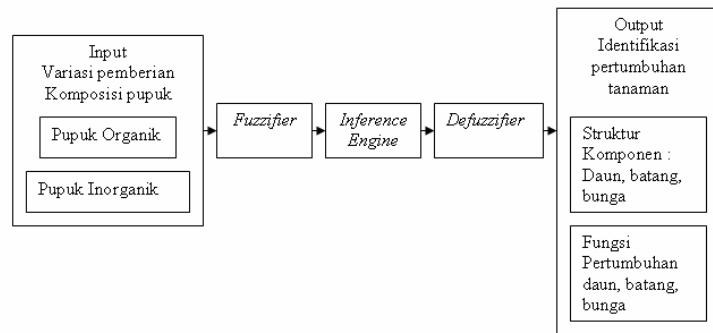
Metoda sistem *fuzzy* ini dapat menjelaskan relasi input/output untuk nonlinear sistem (Takagi, 1985). Pada penelitian ini relasi antara variasi pemberian pupuk terhadap nilai struktur (yaitu arsitektur dan morfologi) dan pertumbuhan tanaman *zinnia*. Metoda *Fuzzy System* untuk sistem output digunakan untuk mengidentifikasi struktur tanaman, antara lain tinggi batang, diameter batang, lebar daun, tinggi daun, diameter bunga dan pertumbuhannya. Tanaman yang digunakan pada penelitian ini adalah tanaman kembang kertas (*Zinnia Elegans* Jacq).

Dalam penelitian ini, metoda *fuzzy system* yang dipakai adalah metoda *fuzzy mamdani* yang akan memberikan solusi terkait dengan sistem yang kompleks dengan dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti dalam pertumbuhan secara riil. Metoda *Fuzzy Mamdani* dapat memberikan identifikasi output untuk nonlinear sistem. Selanjutnya nilai yang dihasilkan oleh metoda *Fuzzy Mamdani* akan diintegrasikan ke metoda *Genetic L-System Programming*, hasil dari penelitian ini adalah mendapatkan pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* sesuai dengan karakteristik pertumbuhan tanaman berdasarkan faktor lingkungan yang berpengaruh yang berbentuk tanaman *virtual*.

5.4.1 STRUKTUR MODEL PENDEKATAN FUZZY MAMDANI PADA PERTUMBUHAN TANAMAN ZINNIA PENGARUH PEMBERIAN PUPUK

Data bilogi didapat dari pengamatan pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pemberian pupuk untuk membangun model *fuzzy mamdani*. Diagram alir model untuk identifikasi dengan metoda *fuzzy mamdani* pada struktur dan

pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pengaruh variasi pemberian pupuk dapat dilihat pada gambar 5.1.



Gambar 5.2 Diagram dari model identifikasi metoda *fuzzy mamdani* pada struktur dan fungsi pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap variasi pemberian komposisi pupuk NPK dan kompos

Gambar 5.2 menjelaskan tentang model dari identifikasi dengan metoda *fuzzy mamdani* pada struktur dan fungsi pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pengaruh variasi pemberian komposisi pupuk NPK dan kompos. Metoda *fuzzy mamdani* digunakan untuk model *nonlinear* yang dibangun untuk merepresentasikan pengaruh pemberian komposisi pupuk NPK dan kompos terhadap pertumbuhan tanaman *zinnia*. Diagram ini memiliki lima blok, (1) mendefinisikan input dan output dari data lapangan , (2) membangun himpunan *fuzzy*, (3) membangun aturan *fuzzy* dari pengamatan pertumbuhan tanaman *zinnia* dalam siklus hidup tanaman *zinnia*, (4) membangun *defuzzifikasi*, (4) menghasilkan ouput sebagai model identifikasi pertumbuhan tanaman *zinnia* yang terdiri dari struktur tanaman dan fungsi pertumbuhan tanaman.

5.4.2 HIMPUNAN FUZZY PUPUK KOMPOS

Tabel 5.10 Himpunan variabel input *fuzzy* untuk Pupuk Kompos

No	Himpunan input <i>fuzzy</i> pupuk kompos		Domain
	Nama	Notasi	
1	Rendah	r	[0, 50]
2	Sedang	s	[0, 50, 100]
3	Tinggi	t	[50,100]

Pada tabel 5.10 fungsi derajad keanggotaan linier turun digunakan untuk merepresentasikan himpunan *fuzzy* rendah dan fungsi derajad keanggotaan linier naik untuk himpunan *fuzzy* tinggi. Fungsi derajad keanggotaan segitiga digunakan untuk merepresentasikan himpunan *fuzzy* sedang.

Untuk menampilkan himpunan *fuzzy* untuk input pupuk kompos pada gambar 5.3, dengan menggunakan program *Mathematica* memakai fungsi defineSet dari (Freeman. J.A, 1994) dan grafik keanggotaan dapat dilihat pada gambar 5.4.

```

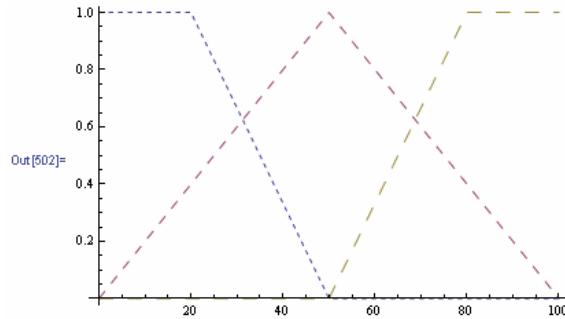
In[498]:= defineSet[NPKRendah, {{0, 1}, {20, 1}, {20, 1}, {50, 0}}];
defineSet[NPKSedang, {{0, 0}, {50, 1}, {50, 1}, {100, 0}}];
defineSet[NPKTinggi, {{50, 0}, {80, 1}, {80, 1}, {100, 1}}];

In[501]:= NPK[phi_] = {NPKRendah[phi], NPKSedang[phi], NPKTinggi[phi]};

In[502]:= Plot[Evaluate[NPK[phi]], {phi, 0, 100}, PlotStyle -> Dashing /@ {{.01}},

```

Gambar 5.3. Kode *Mathematica* untuk fungsi keanggotaan input pupuk kompos



Gambar 5.4. Grafik representasi fungsi derajad keanggotaan dari pupuk kompos

Sedangkan fungsi derajad keanggotaan dari variabel input fu_{zzy} pupuk kompos didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_r(o) = \begin{cases} (50 - o) / (50 - 0) ; & 0 \leq o \leq 50 \\ 0 ; & o \geq 50 \end{cases}$$

$$\mu_s(o) = \begin{cases} 0 ; & o \leq 0 \text{ atau } o \geq 100 \\ (o - 0) / (50 - 0) ; & 0 \leq o \leq 50 \\ (100 - o) / (100 - 50) ; & 50 \leq o \leq 100 \end{cases}$$

$$u_t(o) = \begin{cases} 0 ; & 50 \leq o \\ (o - 50) / (100 - 50) ; & 50 \leq o \leq 100 \\ 1 ; & o \geq 100 \end{cases}$$

5.4.3 HIMPUNAN FUZZY PUPUK NPK

Tabel 5.11 Himpunan variabel input *fuzzy* untuk Pupuk NPK

No	Himpunan input <i>fuzzy</i> pupuk NPK		Domain
	Nama	Notasi	
1	Rendah	r	[0, 50]
2	Sedang	s	[0, 50, 100]
3	Tinggi	t	[50, 100]

Pada table 5.11 fungsi derajad keanggotaan linier turun digunakan untuk merepresentasikan himpunan *fuzzy* rendah dan fungsi derajad keanggotaan liniear naik untuk himpunan *fuzzy* tinggi.

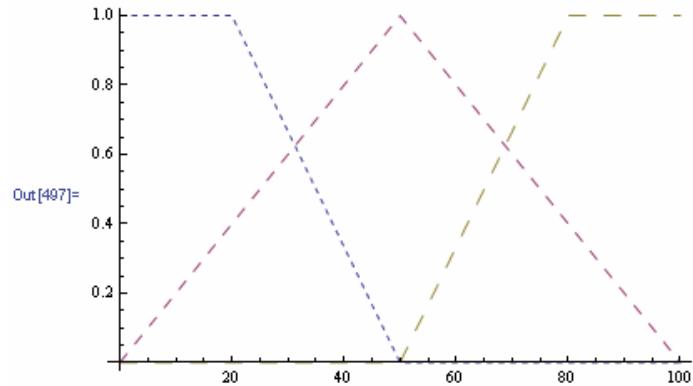
Fungsi derajad keanggotaan segitiga digunakan untuk merepresentasikan himpunan *fuzzy* sedang. Kode program mathematica dapat dilihat pada gambar 5.5. Bentuk representasi grafik dapat dilihat pada gambar 5.6

```
In[493]:= defineSet[PKRendah, {{0, 1}, {20, 1}, {20, 1}, {50, 0}}];
defineSet[PKSedang, {{0, 0}, {50, 1}, {50, 1}, {100, 0}}];
defineSet[PKTinggi, {{50, 0}, {80, 1}, {80, 1}, {100, 1}}];

In[496]:= PK[x_]:= {PKRendah[x], PKSedang[x], PKTinggi[x]};

In[497]:= Plot[Evaluate[PK[x]], {x, 0, 100}, PlotStyle -> Dashing /@
```

Gambar 5.5. Kode *Mathematica* untuk fungsi keanggotaan input pupuk NPK



Gambar 5.6 Grafik representasi fungsi derajad keanggotaan dari pupuk NPK

Sedangkan fungsi derajad keanggotaan dari variabel input fuzzy pupuk kompos didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_r(i) = \begin{cases} (50-i)/(50-0) ; 0 \leq i \leq 50 \\ 0 ; i \geq 50 \end{cases}$$

$$\mu_s(i) = \begin{cases} 0 ; i \leq 0 \text{ atau } i \geq 100 \\ (i-0)/(50-0) ; 0 \leq i \leq 50 \\ (100-i)/(100-50) ; 50 \leq i \leq 100 \end{cases}$$

$$\mu_t(i) = \begin{cases} 0 ; 50 \leq i \\ (i-50)/(100-50) ; 50 \leq i \leq 100 \\ 1 ; i \geq 100 \end{cases}$$

5.4.4 HIMPUNAN FUZZYTINGGI BATANG

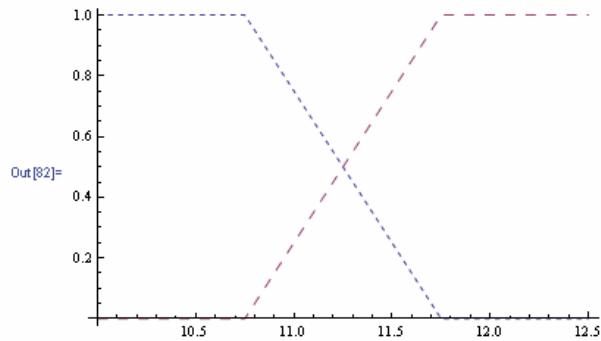
Tabel 5.12 Himpunan variabel output fuzzy untuk tinggi batang

No	Himpunan output <i>fuzzy</i> tinggi batang		Domain
	Nama	Notasi	
1	Rendah	r	[10,11.75]
2	Tinggih	t	[10.75,12.5]

Pada table 5.12 fungsi derajad keanggotaan linier turun digunakan untuk merepresentasikan himpunan *fuzzy* rendah dan fungsi derajad keanggotaan linier naik untuk himpunan *fuzzy* tinggi. Kode program *mathematica* dapat dilihat pada gambar 5.7. Bentuk representasi grafik dapat dilihat pada gambar 5.8

```
In[79]:= defineSet[PSRendah, {{10, 1}, {10.75, 1}, {11.75, 1}, {12.5, 0}}];
defineSet[PSTinggi, {{10.75, 0}, {11.75, 1}, {11.75, 1}, {12.5, 1}}];
PSSets[theta_] = {PSRendah[theta], PSTinggi[theta]};
Plot[Evaluate[PSSets[theta]], {theta, 10, 12.5}, PlotStyle -> Dashing /@
```

Gambar 5.7. Kode *Mathematica* untuk fungsi keanggotaan input tinggi batang



Gambar 5.8 Grafik representasi fungsi derajad keanggotaan dari tinggi batang

Sedangkan fungsi derajad keanggotaan dari variabel input *fuzzy* tinggi batang

didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_r(t) = \begin{cases} 1 & ; t \leq 10.75 \\ (11.75 - t) / (11.75 - 10.75) & ; 10.75 \leq t \leq 11.75 \\ 0 & ; t \geq 11.75 \end{cases}$$

$$\mu_t(t) = \begin{cases} 0 & ; t \leq 11.5 \\ (t - 11.75) / (11.75 - 10.75) & ; 10.75 \leq t \leq 11.75 \\ 1 & ; t \geq 11.75 \end{cases}$$

5.4.5 HIMPUNAN FUZZY PANJANG DAUN

5.4.6

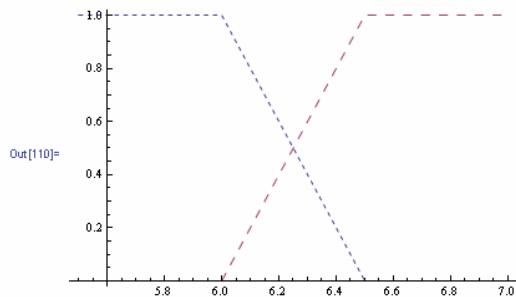
Tabel 5.13 Himpunan variabel output *fuzzy* untuk panjang daun

No	Himpunan output <i>fuzzy</i> panjang daun		Domain
	Nama	Notasi	
1	Rendah	r	[5,5,6,5]
2	Tinggi	t	[6,12,5]

Pada table 5.13 fungsi derajad keanggotaan linier turun digunakan untuk merepresentasikan himpunan *fuzzy* rendah dan fungsi derajad keanggotaan linier naik untuk himpunan *fuzzy* tinggi. Kode program *mathematica* dapat dilihat pada gambar 5.9. Bentuk representasi grafik dapat dilihat pada gambar 5.10

```
In[107]:= defineSet[PDRendah, {{5, 1}, {6, 1}, {6, 1}, {6.5, 0}}];
defineSet[PDTinggi, {{6, 0}, {6.5, 1}, {6.5, 1}, {12.5, 1}}];
PDSets[theta_] = {PDRendah[theta], PDTinggi[theta]};
Plot[Evaluate[PDSETS[theta]], {theta, 5.5, 7}, PlotStyle -> Dashing /@
```

Gambar 5.9. Kode *Mathematica* untuk fungsi keanggotaan input panjang daun



Gambar 5.10 Grafik representasi fungsi derajad keanggotaan dari panjang daun

Sedangkan fungsi derajad keanggotaan dari variabel output $fuzz$ panjang daun didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_r(t) = \begin{cases} 1 & ; t \leq 6 \\ (6.5 - t) / (6.5 - 6) & ; 6 \leq t \leq 6.5 \\ 0 & ; t \geq 6.5 \end{cases}$$

$$\mu_t(t) = \begin{cases} 0 & ; t \leq 6 \\ (t - 6) / (6.5 - 6) & ; 6 \leq t \leq 6.5 \\ 1 & ; t \geq 6.5 \end{cases}$$

5.4.7 HIMPUNAN FUZZY LEBAR DAUN

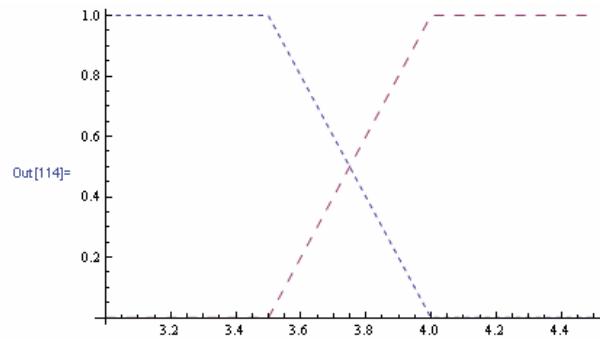
Tabel 5.14 Himpunan variabel output $fuzzy$ untuk lebar daun

No	Himpunan output $fuzzy$ lebar daun		Domain
	Nama	Notasi	
1	Rendah	r	[3,4]
2	Tinggi	t	[3.5,4.5]

Pada table 5.14 fungsi derajad keanggotaan linier turun digunakan untuk merepresentasikan himpunan $fuzzy$ rendah dan fungsi derajad keanggotaan linier naik untuk himpunan $fuzzy$ tinggi. Kode program *mathematica* dapat dilihat pada gambar 5.11. Bentuk representasi grafik dapat dilihat pada gambar 5.12

```
In[11]:= defineSet[DDRendah, {{3, 1}, {3.5, 1}, {3.5, 1}, {4, 0}}];
defineSet[DDTinggi, {{3.5, 0}, {4, 1}, {4, 1}, {4.5, 1}}];
DDSets[theta_] = {DDRendah[theta], DDTinggi[theta]};
Plot[Evaluate[DDSets[theta]], {theta, 3, 4.5}, PlotStyle -> Dashing /@ {
```

Gambar 5.11. Kode *Mathematica* untuk fungsi keanggotaan input lebar daun



Gambar 5.12 Grafik representasi fungsi derajad keanggotaan dari lebar daun

Sedangkan fungsi derajad keanggotaan dari variabel output *fuzzy* untuk lebar daun didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_r(t) = \begin{cases} 1 & ; t \leq 3.5 \\ (4-t)/(4-3.5) & ; 3.5 \leq t \leq 4 \\ 0 & ; t \geq 4 \end{cases}$$

$$\mu_t(t) = \begin{cases} 0 & ; t \leq 3.5 \\ (t-4)/(4-3.5) & ; 3.5 \leq t \leq 4 \\ 1 & ; t \geq 4 \end{cases}$$

5.4.8 HIMPUNAN FUZZY DIAMETER BUNGA

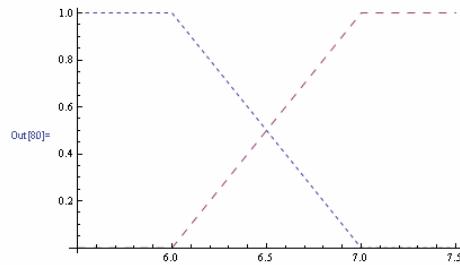
Tabel 5.15 Himpunan variabel output *fuzzy* untuk diameter bunga

No	Himpunan output <i>fuzzy</i> diameter bunga		Domain
	Nama	Notasi	
1	Rendah	r	[5,5,7]
2	Tinggi	t	[6,7,5]

Pada table 5.15 fungsi derajad keanggotaan linier turun digunakan untuk merepresentasikan himpunan *fuzzy* rendah dan fungsi derajad keanggotaan linier naik untuk himpunan *fuzzy* tinggi. Kode program *mathematica* dapat dilihat pada gambar 5.13. Bentuk representasi grafik dapat dilihat pada gambar 5.14.

```
In[7]:= defineSet[DBRendah, {{5, 1}, {6, 1}, {6, 1}, {7, 0}}];
defineSet[DBTinggi, {{6, 0}, {7, 1}, {7, 1}, {7.5, 1}}];
DBSets[theta_] = {DBRendah[theta], DBTinggi[theta]};
Plot[Evaluate[DBSets[theta]], {theta, 5.5, 7.5}, PlotStyle ->
```

Gambar 5.13. Kode *Mathematica* untuk fungsi keanggotaan input diameter bunga



Gambar 5.14 Grafik representasi fungsi derajad keanggotaan dari diameter bunga

Sedangkan fungsi derajad keanggotaan dari variabel output $fuzz$ diameter bunga didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_r(t) = \begin{cases} 1 & ; t \leq 6 \\ (7-t)/(7-6) & ; 6 \leq t \leq 7 \\ 0 & ; t \geq 7 \end{cases}$$

$$\mu_t(t) = \begin{cases} 0 & ; t \leq 6 \\ (t-7)/(7-6) & ; 6 \leq t \leq 7 \\ 1 & ; t \geq 7 \end{cases}$$

5.4.9 HIMPUNAN FUZZY PERTUMBUHAN BATANG

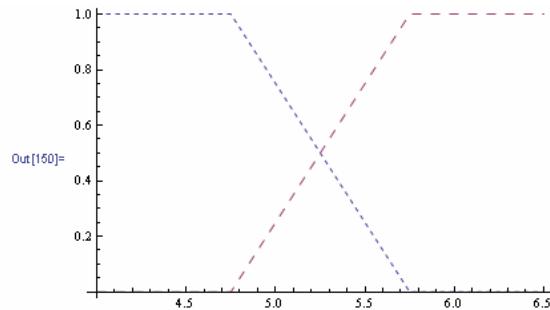
Tabel 5.16 Himpunan variabel output *fuzzy* untuk pertumbuhan batang

No	Himpunan output <i>fuzzy</i> pertumbuhan batang		Domain
	Nama	Notasi	
1	Rendah	r	[4, 5.75]
2	Tinggi	t	[4.75, 6.5]

Pada tabel 5.16 fungsi derajad keanggotaan linier turun digunakan untuk merepresentasikan himpunan *fuzzy* rendah dan fungsi derajad keanggotaan linier naik untuk himpunan *fuzzy* tinggi. Kode program *mathematica* dapat dilihat pada gambar 5.15. Bentuk representasi grafik dapat dilihat pada gambar 5.16

```
In[147]:= defineSet[PBRendah, {{4, 1}, {4.75, 1}, {5.75, 0}}];
defineSet[PBTinggi, {{4.75, 0}, {5.75, 1}, {5.75, 1}, {6.5, 1}}];
PBSets[theta_] = {PBRendah[theta], PBTinggi[theta]};
Plot[Evaluate[PBSets[theta]], {theta, 4, 6.5}, PlotStyle -> Dashed]
```

Gambar 5.15. Kode *Mathematica* untuk fungsi keanggotaan input pertumbuhan batang



Gambar 5.16 Grafik representasi fungsi derajad keanggotaan dari pertumbuhan batang

Sedangkan fungsi derajad keanggotaan dari variabel output *fuzzy* pertumbuhan batang didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_r(t) = \begin{cases} 1 & ; t \leq 4.75 \\ (5.75 - t) / (5.75 - 4.75) & ; 4.75 \leq t \leq 5.75 \\ 0 & ; t \geq 5.75 \end{cases}$$

$$\mu_t(t) = \begin{cases} 0 & ; t \leq 4.75 \\ (t - 5.75) / (5.75 - 4.75) & ; 4.75 \leq t \leq 5.75 \\ 1 & ; t \geq 5.75 \end{cases}$$

5.4.10 HIMPUNAN FUZZY PERTUMBUHAN DAUN

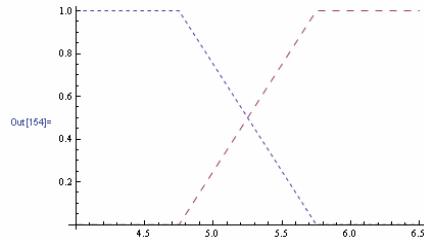
Tabel 5.17 Himpunan variabel output fuzzy untuk pertumbuhan daun

No	Himpunan output fuzzy pertumbuhan daun		Domain
	Nama	Notasi	
1	Rendah	r	[4, 5.75]
2	Tinggi	t	[4.75, 6.5]

Pada table 5.17 fungsi derajad keanggotaan linier turun digunakan untuk merepresentasikan himpunan *fuzzy* rendah dan fungsi derajad keanggotaan linier naik untuk himpunan *fuzzy* tinggi. Kode program *mathematica* dapat dilihat pada gambar 5.17. Bentuk representasi grafik dapat dilihat pada gambar 5.18

```
In[15]:= defineSet[PDRendah, {{4, 1}, {4.75, 1}, {4.75, 1}, {5.75, 0}}];
defineSet[PDTinggi, {{4.75, 0}, {5.75, 1}, {5.75, 1}, {6.5, 1}}];
PDSets[theta_] = {PDRendah[theta], PDTinggi[theta]};
Plot[Evaluate[PDSets[theta]], {theta, 4, 6.5}, PlotStyle -> Dashing[
```

Gambar 5.17. Kode *Mathematica* untuk fungsi keanggotaan input pertumbuhan daun



Gambar 5.18 Grafik representasi fungsi derajad keanggotaan dari pertumbuhan daun

Sedangkan fungsi derajad keanggotaan dari variabel output *fuzgy* pertumbuhan daun didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_r(t) = \begin{cases} 1 & ; t \leq 4.75 \\ (5.75 - t)/(5.75 - 4.75) & ; 4.75 \leq t \leq 5.75 \\ 0 & ; t \geq 5.75 \end{cases}$$

$$\mu_t(t) = \begin{cases} 0 & ; t \leq 4.75 \\ (t - 4.75)/(5.75 - 4.75) & ; 4.75 \leq t \leq 5.75 \\ 1 & ; t \geq 5.75 \end{cases}$$

5.4.11 HIMPUNAN FUZZY PERTUMBUHAN BUNGA

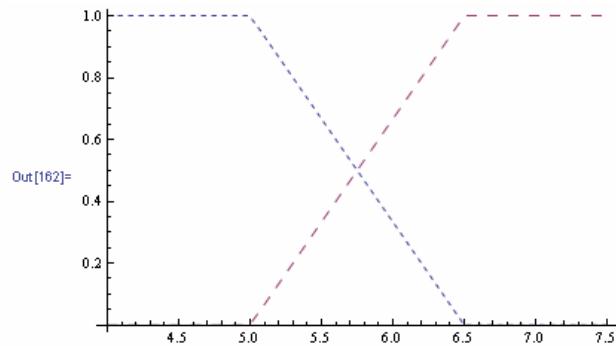
Tabel 5.18 Himpunan variabel output fuzzy untuk pertumbuhan bunga

No	Himpunan output fuzzy pertumbuhan bunga		Domain
	Nama	Notasi	
1	Rendah	r	[4,6.5]
2	Tinggi	t	[5,7.5]

Pada table 5.18 fungsi derajad keanggotaan linier turun digunakan untuk merepresentasikan himpunan *fuzzy* rendah dan fungsi derajad keanggotaan linier naik untuk himpunan *fuzzy* tinggi. Kode program *mathematica* dapat dilihat pada gambar 5.19. Bentuk representasi grafik dapat dilihat pada gambar 5.20

```
In[150]:= defineSet[PBRendah, {{4, 1}, {5, 1}, {6, 1}, {6.5, 0}}];
defineSet[PBTinggi, {{5, 0}, {6.5, 1}, {6.5, 1}, {7.5, 1}}];
PBSets[theta_] = {PBRendah[theta], PBTinggi[theta]};
Plot[Evaluate[PBSets[theta]], {theta, 4, 7.5}, PlotStyle -> Dashing
```

Gambar 5.19. Kode *Mathematica* untuk fungsi keanggotaan input pertumbuhan bunga



Gambar 5.20 Grafik representasi fungsi derajad keanggotaan dari pertumbuhan bunga

Sedangkan fungsi derajad keanggotaan dari variabel output $fuzz\gamma$ pertumbuhan bunga didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_r(t) = \begin{cases} 1 & ; t \leq 5 \\ (6.5 - t)/(6.5 - 5) & ; 5 \leq t \leq 6.5 \\ 0 & ; t \geq 6.5 \end{cases}$$

$$\mu_t(t) = \begin{cases} 0 & ; t \leq 5 \\ (t - 6.5)/(6.5 - 5) & ; 5 \leq t \leq 6.5 \\ 1 & ; t \geq 6.5 \end{cases}$$

5.4.11 MESIN *INFERENCE*

Dari data pengamatan dapat disimpulkan aturan *fuzzy* dari masing-masing perlakuan kelompok tanaman *zinnia*. Pada penelitian ini terdapat 15 perlakuan variasi pemberian pupuk yang dapat dibangun sebagai aturan *fuzzy* seperti pada tabel 5.19 dan tabel 5.20.

Tabel 5.19 Aturan *Fuzzy* untuk komponen tanaman *zinnia*

No	Variasi Dosis Pupuk		Panjang Batang	Panjang Daun	Lebar Daun	Diamater Bunga
	NPK	Kompos				
1	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
2	Rendah	Sedang	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
3	Rendah	Tinggi	Tinggi	Rendah	Rendah	Rendah
4	Sedang	Rendah	Rendah	Tinggi	Rendah	Tinggi
5	Sedang	Sedang	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi
6	Sedang	Tinggi	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
7	Sedang	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
8	Sedang	Sedang	Tinggi	Rendah	Rendah	Rendah
9	Sedang	Tinggi	Rendah	Tinggi	Rendah	Tinggi
10	Sedang	Rendah	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi
11	Sedang	Sedang	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
12	Sedang	Tinggi	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
13	Tinggi	Rendah	Tinggi	Rendah	Rendah	Rendah
14	Tinggi	Sedang	Tinggi	Tinggi	Rendah	Tinggi
15	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi

Tabel 5.20 Aturan Fuzzy untuk pertumbuhan tanaman *zinnia*

No	Variasi Dosis Pupuk		Batang	Daun	Bunga
	NPK	Kompos			
1	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
2	Rendah	Sedang	Rendah	Rendah	Rendah
3	Rendah	Tinggi	Rendah	Rendah	Rendah
4	Sedang	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
5	Sedang	Sedang	Rendah	Rendah	Rendah
6	Sedang	Tinggi	Rendah	Rendah	Rendah
7	Sedang	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
8	Sedang	Sedang	Rendah	Rendah	Tinggi
9	Sedang	Tinggi	Rendah	Rendah	Tinggi
10	Sedang	Rendah	Tinggi	Rendah	Tinggi
11	Sedang	Sedang	Tinggi	Tinggi	Tinggi
12	Sedang	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi
13	Tinggi	Rendah	Tinggi	Tinggi	Tinggi
14	Tinggi	Sedang	Tinggi	Tinggi	Tinggi
15	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi

5.4.12 FUNGSI IMPLIKASI

Fungsi implikasi menggunakan metoda Min, yaitu nilai keanggotaan sebagai hasil dari operasi 2 himpunan, metoda Min menggunakan operator AND, operator ini berhubungan dengan operasi interseksi pada himpunan, sebagai hasil operasi himpunan dengan operator AND diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan yang bersangkutan. Fungsi implikasi himpunan pupuk NPK dan himpunan pupuk kompos terhadap tinggi batang adalah :

[R1] IF Pupuk NPK Rendah AND Pupuk Kompos Rendah THEN Batang Rendah

[R2] IF Pupuk NPK Rendah AND Pupuk Kompos Sedang THEN Batang Rendah

[R3] IF Pupuk NPK Rendah AND Pupuk Kompos Tinggi THEN Batang Tinggi

[R4] IF Pupuk NPK Rendah AND Pupuk Kompos Rendah THEN Batang Rendah

[R5] IF Pupuk NPK Sedang AND Pupuk Kompos Sedang THEN Batang Tinggi

- [R6] IF Pupuk NPK Sedang AND Pupuk Kompos Tinggi THEN Batang Rendah
- [R7] IF Pupuk NPK Sedang AND Pupuk Kompos Rendah THEN Batang Rendah
- [R8] IF Pupuk NPK Sedang AND Pupuk Kompos Sedang THEN Batang Tinggi
- [R9] IF Pupuk NPK Sedang AND Pupuk Kompos Tinggi THEN Batang Rendah
- [R10] IF Pupuk NPK Sedang AND Pupuk Kompos Rendah THEN Batang Tinggi
- [R11] IF Pupuk NPK Sedang AND Pupuk Kompos Sedang THEN Batang Rendah
- [R12] IF Pupuk NPK Sedang AND Pupuk Kompos Tinggi THEN Batang Rendah
- [R13] IF Pupuk NPK Tinggi AND Pupuk Kompos Rendah THEN Batang Tinggi
- [R14] IF Pupuk NPK Tinggi AND Pupuk Kompos Sedang THEN Batang Tinggi
- [R15] IF Pupuk NPK Tinggi AND Pupuk Kompos Tinggi THEN Batang Tinggi

5.4.13 KOMPOSISI ATURAN

Dari data pengamatan di lapangan terdapat beberapa aturan yang telah dibangun maka korelasi antara aturan menggunakan Metoda Max, metoda ini mengambil nilai maksimum aturan kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah *fuzz*, dan mengaplikasikannya ke output dengan menggunakan operator OR, dengan diagram pada gambar 5.17 dan dengan rumus matematika yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

Jika ϕ adalah menunjukkan jumlah pemberian pupuk NPK , dimana

$$\phi \in \{banyak, sedang, sedikit\}.$$

Jika x adalah menunjukkan jumlah pemberian pupuk kompos , dimana

$$x \in \{banyak, sedang, sedikit\}$$

Dan jika B adalah menunjukkan nilai struktur tanaman untuk tinggi batang, dimana

$$B \in \{panjang, sedang, sedikit\}$$

Kemudian, didapat persamaan sebagai berikut

$$B = \phi \text{ AND } x$$

Jika terdapat jumlah n untuk ϕ , x and B , maka persamaannya adalah

$$B_0 = \phi_0 \text{ AND } x_0$$

$$B_1 = \phi_1 \text{ AND } x_1$$

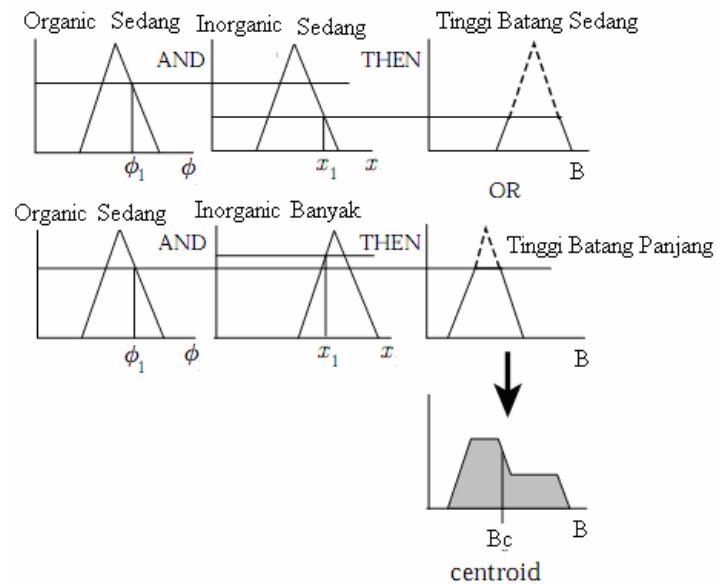
:

$$B_n = \phi_n \text{ AND } x_n$$

Terakhir, kombinasi dari semua nilai dapat ditunjukkan persamaan sebagai berikut

$$B = B_0 \text{ OR } B_1 \dots \text{ OR } B_n$$

Dapat dibuat bentuk diagram seperti gambar 5.21.



Gambar 5.21 Dua aturan yang dikombinasikan untuk menghasilkan output dari *fuzzy* sistem bentuk (ϕ_1, x_1) .

5.4.14 DEFUZZIFIER

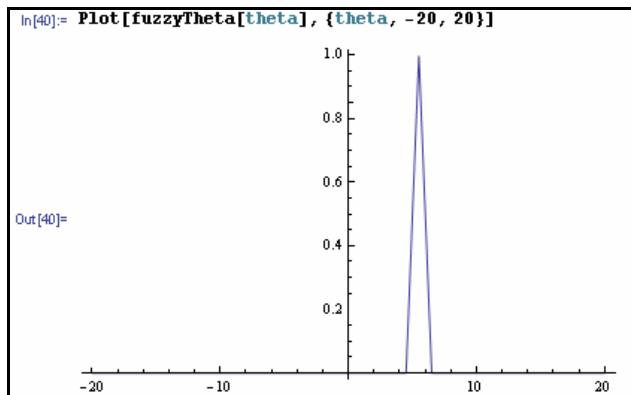
Input dari proses *defuzzifikasi* adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan *fuzzy*, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy*. Sehingga jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai output. Pada penelitian ini metoda *defuzzifikasi* pada komposisi aturan metoda *Fuzzy Mamdani* memakai metoda *centroid*, yaitu solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat daerah *fuzzy* z. Gambar 5.22 untuk kode program *mathematica* untuk menghitung *defuzzifikasi* untuk tinggi batang gambar, sedangkan grafik *defuzzifikasi* pada gambar 5.23.

```

In[41]:= defuzzify[fuzzySet_, {t_, min_, max_, dt_}] := Sum[t fuzzySet, {t,
In[42]:= hasil = defuzzify[fuzzyTheta[theta], {theta, -20, 20, .5}]
Out[42]= 5.5

```

Gambar 5.22 Kode program *Mathematica* untuk proses *defuzzification* panjang batang



Gambar 5.23. Grafik proses *defuzzification* nilai aksioma panjang batang

5.4.15 HASIL EKSPERIMENT IDENTIFIKASI SISTEM MENGGUNAKAN FUZZY MAMDANI

Identifikasi pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pemberian pupuk NPK dan kompos dapat direpresentasikan dengan menggunakan metoda *fuzzy mamdani*. Pengujian data aktual pengukuran di lapangan, dengan menggunakan aturan inferensi metoda *fuzzy mamdani* yang diperoleh nilai baru pada parameter struktur tanaman dapat dilihat pada tabel 5.21 dan pada parameter pertumbuhan tanaman dapat dilihat pada tabel 5.22

Tabel 5.21 Komparasi hasil model dan aktual untuk struktur tanaman

Perlakuan		Data Struktur Tanaman <i>Zinnia</i>							
NPK	Komp	Panjang Batang		Panjang Daun		Lebar Daun		Diameter Bunga	
		- cm -							
		Akt	Fuz	Akt	Fuz	Akt	Fuz	Akt	Fuz
0	75	10	11,6	5,8	5,9	3,1	3,4	5,4	6,06
25	75	10,9	11,4	6	6,15	3,3	3,5	5,8	6,37
50	75	11,4	10,8	6,2	6,25	3,5	3,5	6,4	6,5
75	75	11,3	11,4	6,1	6,35	4	3,85	6,7	6,63
100	75	12,5	11,8	6,6	6,6	4,3	4	7,2	6,94

Tabel 5.22 Komparasi hasil model dan aktual untuk pertumbuhan

Perlakuan		Data Pertumbuhan Tanaman <i>Zinnia</i>					
NPK	Komp	Batang		Daun		Bunga	
		- cm -					
		Akt	Fuz	Akt	Fuz	Akt	Fuz
0	75	4,3	4,68	4,8	4,68	5,7	4,96
25	75	4,3	5,09	5,1	5,09	6,4	5,53
50	75	4,9	5,25	5,8	5,25	6,8	5,75
75	75	6	5,41	6	5,41	6,9	5,97
100	75	6,3	5,82	6,3	5,82	7,2	6,54

5.4.16. EVALUASI MODEL

Keakuratan hasil perhitungan metoda *fuzzy mamdani* dapat diketahui dengan menghitung *error rate*, yaitu dengan membandingkan data hasil pengukuran dengan data hasil perhitungan *fuzzy mamdani*. Untuk menghitung *error rate*, dalam penelitian ini menggunakan metoda *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dengan persamaan sebagai berikut :

$$PE_i = \frac{(X_i - F_i)}{X_i} \times 100\%$$

$$MAPE = \frac{\sum PE_i}{n}$$

Dengan X_i adalah data aktual ke- i , yaitu data hasil pengukuran di lapangan dan F_i adalah data peramalan ke- i , yaitu hasil perhitungan dengan *fuzzy mamdani*.

Tabel 5.23 *error rate* untuk struktur tanaman zinnia

No	Data Struktur Tanaman <i>Zinnia</i>											
	Panjang Batang			Panjang Daun			Lebar Daun			Diameter Bunga		
	- cm -											
	Akt	Fuz	err	Akt	Fuz	err	Akt	Fuz	err	Akt	Fuz	err
1	10	11,6	16%	5,8	5,9	1%	3,1	3,4	9%	5,4	6,06	12%
2	10,9	11,4	4%	6	6,15	2%	3,3	3,5	6%	5,8	6,37	9%
3	11,4	10,8	5%	6,2	6,25	0%	3,5	3,5	0%	6,4	6,5	1%
4	11,3	11,4	0%	6,1	6,35	4%	4	3,85	3%	6,7	6,63	1%
5	12,5	11,8	5%	6,6	6,6	0%	4,3	4	6%	7,2	6,94	3%
Rata-rata persentase <i>error</i>		6%			1,4%			4,8%			5,2	

Tabel 5.24 *error rate* untuk pertumbuhan tanaman zinnia

No	Data Pertumbuhan Tanaman <i>Zinnia</i>								
	Batang			Daun			Bunga		
	- cm -								
	Akt	Fuz	err	Akt	Fuz	err	Akt	Fuz	err
1	4,3	4,68	8%	4,8	4,68	2%	5,7	4,96	12%
2	4,3	5,09	18%	5,1	5,09	0%	6,4	5,53	13%
3	4,9	5,25	5%	5,8	5,25	9%	6,8	5,75	15%
4	6	5,41	9%	6	5,41	9%	6,9	5,97	13%
5	6,3	5,82	7%	6,3	5,82	7%	7,2	6,54	9%
Rata-rata persentase <i>error</i>		9,4%			5,4%			12,4%	

Untuk Tabel 5.23 dan Tabel 5.24 didapatkan tingkat rerata kesalahan prosentase di bawah 13%. Dari hasil *fuzzy mamdani* dalam mengidentifikasi nilai struktur tanaman dari faktor variasi pemberian pupuk yang diberikan. Tingkat *error rate (MAPE)* yang kurang dari 40% dikatakan baik dan dapat diandalkan (Brooks, dkk, 2006);

BAB VI

INTEGRASI *ARTIFICIAL INTELLIGENT* DAN *GENETIC L-SISTEM PROGRAMMING* UNTUK PEMODELAN PERTUMBUHAN TANAMAN *ZINNIA* TERHADAP PENGARUH PEMBERIAN PUPUK

Intelligent behavior is a composite ability to predict one's environment coupled with a translation of each prediction into a suitable response in light of some objective. Success in predicting an environment is a prerequisite to intelligent behavior. (Fogel, 1999, pp. 3)

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengintegrasikan *artificial intelligent* yaitu metoda *artificial neural network* dan metoda *fuzzy mamdani* dengan pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pengaruh pemberian pupuk. Pendekatan *artificial intelligent* telah berhasil di aplikasikan pada berbagai bidang, termasuk pada bidang teknologi pertanian untuk proses industri (Purnomo. H, 2000), dimana pendekatan *artificial intelligent* digunakan untuk memetakan suatu ruang input ke ruang output (Wang. L, 1997), sistem pendekatan ini dapat memberikan alternatif solusi terkait dengan sistem yang memiliki karakteristik pertumbuhan tanaman dan sistem produksi biologis yang kompleks (Hashimoto. Y, dkk, 1993).

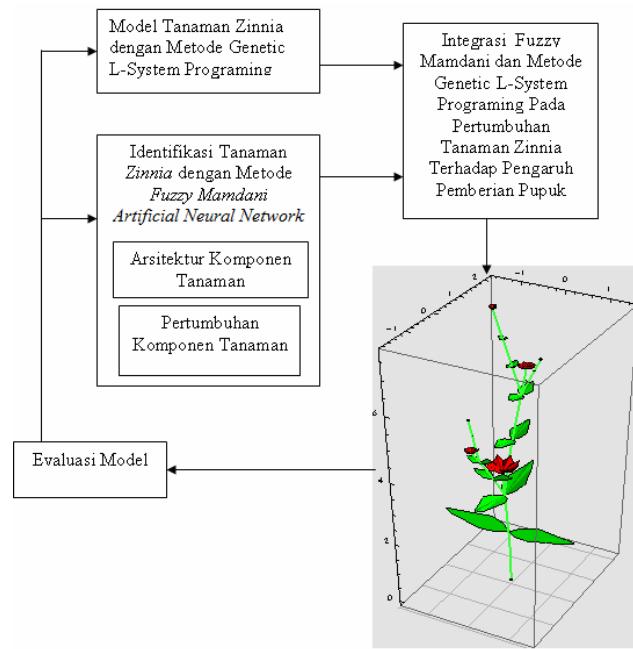
Pendekatan ini tampaknya sangat menjanjikan, namun memerlukan cara baru dan unik dari pemrograman komputer. Dimana metoda *artificial intelligent* bisa menghasilkan identifikasi struktur tanaman dalam bentuk 3D serta dapat mengetahui perkembangan pertumbuhan tanaman serta dapat menggabungkan respon lingkungan terhadap pertumbuhan tanaman.

Fokus pada penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi pemberian pupuk kompos dan NPK terhadap pertumbuhan tanaman. Pada penelitian ini juga menitik

beratkan model 3D struktur tanaman yang mensimulasikan topologi dan geometri tanaman, dimana model 3D struktur tanaman mempunyai bentuk yang berbeda pada lingkungan yang berbeda. Diharapkan model dapat menggambarkan beberapa teknik untuk memvisualisasikan pertumbuhan tanaman dan strukturnya .

6.1 STRUKTUR MODEL INTEGRASI *ARTIFICIAL INTELLIGENT* DAN *GENETIC L-SYSTEM PROGRAMMING*

Data bilogi didapat dari pengamatan pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pemberian pupuk digunakan untuk mengidentifikasi metoda *artificial intelligent* yaitu arsitektur komponen tanaman dan pertumbuhan komponen, dari data output metoda *artificial intelligent* di integrasikan ke pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang didapat dengan metoda *Genetic L-System Programming*. Diagram alir untuk prototipe model integrasi *artificial intelligent* dengan metoda *Genetic L-System Programming* pada pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pengaruh pemberian pupuk dapat dilihat pada gambar 6.1.



Gambar 6.1 Diagram integrasi *artificial intelligent* dan *Genetic L-System Programming* pada pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pengaruh pemberian pupuk

Gambar 6.1 menjelaskan tentang model dari integrasi *artificial intelligent* dan *Genetic L-System Programming* pada pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pengaruh pemberian pupuk. Metoda *artificial intelligent* yaitu metoda *artificial neural network* dan metoda *fuzzy mamdani* digunakan untuk model nonliniear yang dibangun untuk merepresentasikan pengaruh pemberian pupuk terhadap pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*. Diagram ini memiliki lima blok, (1) karakteristik pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *Genetic L-System Programming*, (2) identifikasi pertumbuhan tanaman yang terdiri dari komponen struktur tanaman dan fungsi pertumbuhan tanaman dengan metoda *artificial intelligent* yaitu metoda *artificial neural network* dan metoda *fuzzy mamdani*, (3)

membangun model integrasi metoda *artificial intelligent* dan metoda *Genetic L-System Programming* pada pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pengaruh pemberian pupuk, (4) visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*, (5) evaluasi model.

6.2 KARAKTERISTIK PEMODELAN PERTUMBUHAN TANAMAN ZINNIA

Pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang akan di integrasikan adalah hasil proses *Genetic L-System Programming* pada generasi ke 6 pada individu 10, pada proses *Genetic L-System Programming* telah terjadi variasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* kemudian dipilih yang sesuai dengan karakteristik tanaman *zinnia*, visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dapat dilihat pada Lampiran J, semua individu yang sesuai dengan karakteristik tanaman bunga pada proses *Genetic L-System Programming* menunjukkan berbeda satu dengan yang lainnya dan telah divisualisasikan seperti pada Lampiran J. Karakteristik model tanaman *zinnia* yang telah dipilih yaitu tinggi tanaman, jumlah bunga, lebar maksimum terhadap sumbu X, lebar maksimum terhadap sumbu Y, lebar maksimum terhadap sumbu Z dapat dilihat pada tabel 6.1, hal ini sesuai dengan penelitian (Lydia Kristi, dkk, 1998) yaitu tanaman *zinnia* dikatakan baik jika terdapat karakteristik tanaman *zinnia* yang menunjukkan untuk setiap cabang terdapat perbungaan dan morfologi tanaman menunjukkan nilai rendah, maka pada penelitian ini akan dipilih, sesuai dengan tabel 6.1 dapat disimpulkan bahwa sebagai pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang terbaik pada penelitian ini yaitu generasi 6 individu 10.

Tabel 6.1 Struktur pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang dipilih dari 6 generasi untuk 10 individu yang sesuai dengan karakteristik tanaman *zinnia*

No	Generasi	Individu	Max X	Max Y	Max Z	Jumlah Bunga
1	0	3	0	1.62	6.23	6
2	0	4	3.59	1.40	6.94	6
3	1	4	2.55	2.44	5.86	6
4	2	5	1.69	0.68	9.82	6
5	3	5	1.75	0.52	10.56	6
6	3	8	1.75	0.52	10.56	6
7	3	10	2.11	0.82	10.52	6
8	4	5	2.23	0.43	10.02	6
9	4	8	1.83	0.66	10.27	6
10	5	2	1.83	0.66	10.27	6
11	5	4	1.03	0.84	2.48	6
12	6	10	0.94	0.54	2.46	6

Ekspresi simbolik metoda *L-System* untuk pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* pada generasi ke 6 individu ke 10 dapat dilihat pada gambar 6.2.

```

LSystem[AXIOM[a[4]],
LRULES[
LRule[LEFT[],PRED[a[4]],RIGHT[],SUCC[SEQ[f],SEQ[ii[3]],SEQ[S
TACK[pu[60],l[1]]],SEQ[ii[1]],SEQ[f],SEQ[ii[2]],SEQ[rr[90]],SEQ[ST
ACK[pu[60],l[0]]],SEQ[STACK[pu[30],a[2]]],SEQ[rr[180]],SEQ[STA
CK[pu[30],a[3]]],SEQ[f],SEQ[ii[1]],SEQ[m[0]]]],

LRule[LEFT[],PRED[a[t_ /;t<4]],RIGHT[],SUCC[a[t+1]]]],

LRule[LEFT[],PRED[ii[t_ /;t>0]],RIGHT[],SUCC[SEQ[f,f,ii[t-1]]]],

LRule[LEFT[],PRED[l[t_ /;t<4]],RIGHT[],SUCC[l[t+1.5]]]],

LRule[LEFT[],PRED[m[t_ /;t<4]],RIGHT[],SUCC[m[t+1]]]],

LRule[LEFT[],PRED[a[4]],RIGHT[],SUCC[STACK[STACK[YL[32]],
RR[93],m[1],STACK[YR[50]]]]],

LRule[LEFT[],PRED[a[1]],RIGHT[],SUCC[STACK[RR[106],a[0]]]]]

```

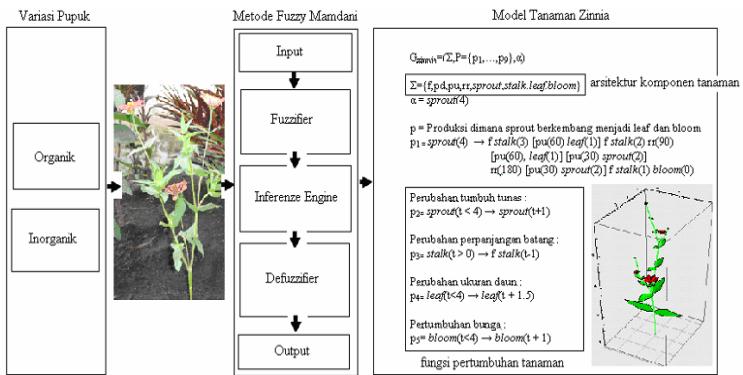
Gambar 6.2 Ekspresi simbolik pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* terbaik pada generasi 6 individu ke 10

6.3 IDENTIFIKASI PERTUMBUHAN TANAMAN *ZINNIA* DENGAN METODA *FUZZY MAMDANI*

Identifikasi pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pemberian pupuk kompos dan NPK dapat direpresentasikan dengan menggunakan metoda *fuzzy mamdani*. Pengujian data aktual pengukuran di lapangan, dengan menggunakan *fuzzy mamdani* yang diperoleh didapat nilai baru pada parameter pertumbuhan dapat dilihat dalam tabel 5.17 dan tabel 5.18.

Berdasarkan data hasil pengujian didapatkan tingkat rata kesalahan prosentase di bawah 32%, dari hasil *fuzzy mamdani* dalam mengidentifikasi nilai struktur model tanaman terhadap faktor pemberian variasi pupuk.

6.4 MODEL INTEGRASI *FUZZY MAMDANI* DENGAN *GENETIC L-SYSTEM PROGRAMMING*

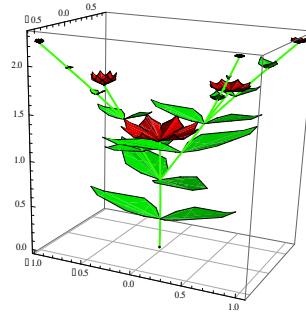


Gambar 6.3 Diagram integrasi *fuzzy mamdani* dan pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pengaruh pemberian pupuk

Untuk menggabungkan antara metoda *fuzzy mamdani* dan metoda *Genetic L-System Programming*, digunakan diagram pada gambar 6.3, metoda *fuzzy mamdani* dilakukan sebagai proses pertama kali, nilai output digunakan sebagai identifikasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*, yaitu nilai struktur tanaman *zinnia* dan nilai fungsi pertumbuhan tanaman *zinnia*.

Hasil identifikasi nilai struktur tanaman *zinnia* dan nilai fungsi pertumbuhan dari *fuzzy mamdani* dipakai untuk membangun pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* hasil proses *Genetic L-System Programming*.

6.5 VISUALISASI PEMODELAN PERTUMBUHAN TANAMAN *ZINNIA*



Gambar 6.4 Visualisasi pertumbuhan pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* pada Generasi 6 Individu 10

Gambar 6.4 visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* generasi 6 iterasi 10 dari proses menggunakan metoda *Genetic L-System Programming*. Untuk lebih mendekati terhadap pengaruh pemberian variasi pemberian pupuk pada pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*, maka nilai dari struktur tanaman *zinnia* pada pemodelan akan terjadi perubahan, perubahan nilai dari struktur tanaman *zinnia* pada pemodelan akan mengakibatkan terjadinya perubahan struktur pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dari hasil proses identifikasi dengan metoda *fuzzy mamdani*.

Pada penelitian ini dapat diambil contoh yaitu pada pemberian pupuk kompos 0% dan pupuk NPK 75%, hasil identifikasi dengan metoda *fuzzy mamdani* terjadi perubahan pada model kualitatif yaitu pada struktur pemodelan pertumbuhan tanaman untuk ukuran batang, daun dan ukuran bunga, perubahan ukuran panjang batang terdapat penambahan sebesar 16%, perubahan ukuran panjang daun terdapat penambahan sebesar 1%, perubahan ukuran lebar daun terdapat penambahan sebesar 9% untuk kode program *mathematica* dapat dilihat pada gambar 6.5, perubahan ukuran diameter bunga terdapat penambahan sebesar 12%.

```

leafGraphics[scale_]:=Module[{p,xD,zD,rD},xD=4+(4*9%);zD=
Random[Real,{1,2}];

rD=Random[Real,{0,180}];

p=Polygon[{{0,0,0},{-0.1` xD,1` scale,0.1` zD},{-0.15` xD,2.5` 
scale,0.2` zD},
{-0.05` xD,6` scale,0.3` zD},{0` xD,7` scale,0.4` zD},{0.05` xD,6` 
scale,0.3` zD},{0.15` xD,2.5` scale,0.2` zD},{0.1` xD,1` scale,0.1` 
zD},{0,0,0}}];

GRAPHICS[Show[{RotateShape[Graphics3D[{Green,p}],0+rD,0,
0],RotateShape[Graphics3D[{Green,p}],Π/+rD,0,0}],DisplayFunc-
tion→Identity],scale]]

```

Gambar 6.5 Ekspresi simbolik dengan pemberian pupuk kompos 0% dan NPK 75% terjadi perubahan ukuran lebar daun tertera pada huruf tebal

Pada pemberian pupuk kompos 0% dan pupuk NPK 75%, hasil identifikasi dengan metoda *fuzzy mamdani* terjadi perubahan pada model kuantitatif, terjadi perubahan pertambahan nilai fungsi pertumbuhan batang sebesar 8%, terjadi perubahan pertambahan nilai fungsi pertumbuhan daun sebesar 2% dan terjadi perubahan pertambahan nilai fungsi pertumbuhan bunga sebesar 12%, sehingga akan mengakibatkan perubahan pada pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*, kode program *mathematica* terjadi perubahan pemodelan pertumbuhan tanaman pada huruf tebal gambar 6.6.

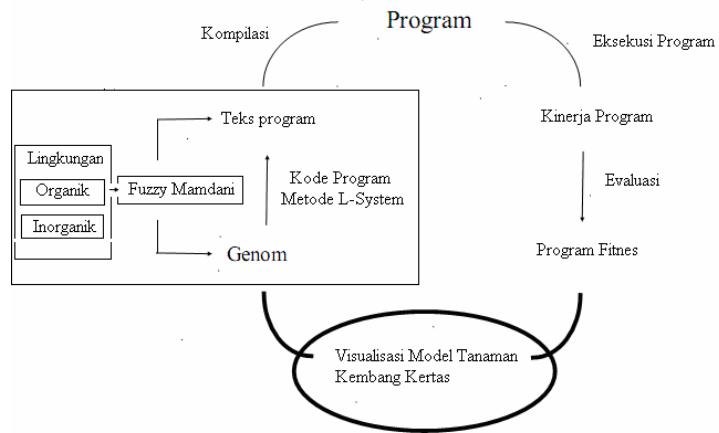
```

LSistem[AXIOM[a[4]],
LRULES[
LRule[LEFT[],PRED[a[4]],RIGHT[],SUCC[SEQ[f],SEQ[ii[3]],SEQ
[STACK[pu[60],i[1]]],SEQ[ii[1]],SEQ[f],SEQ[ii[2]],SEQ[rr[90]],SEQ
[STACK[pu[60],i[0]]],SEQ[STACK[pu[30],a[2]]],SEQ[rr[180]],SEQ[
STACK[pu[30],a[3]]],SEQ[f],SEQ[ii[1]],SEQ[m[0]]]],
LRule[LEFT[],PRED[a[t_/_;t<4]],RIGHT[],SUCC[a[t+1]]],
LRule[LEFT[],PRED[ii[t_/_;t>0]],RIGHT[],SUCC[SEQ[f,f,ii[t-1]]]],
LRule[LEFT[],PRED[ll[t_/_;t<(4+(4*2%))]],RIGHT[],SUCC[ll[t+1.5
]]],
LRule[LEFT[],PRED[m[t_/_;t<(4+(4*12%))]],RIGHT[],SUCC[m[t
+1]]],
LRule[LEFT[],PRED[a[4]],RIGHT[],SUCC[STACK[STACK[YL[3
2]],RR[93],m[1],STACK[YR[50]]]]],
LRule[LEFT[],PRED[a[1]],RIGHT[],SUCC[STACK[RR[106],a[0]]]]]
]

```

Gambar 6.6. Ekspresi simbolik pemberian pupuk kompos 0% dan NPK 75% terjadi perubahan nilai fungsi pertumbuhan tertera pada huruf tebal

Dengan paket *MathEvoHica* pada software *Mathematica*, visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dapat dikontrol dan dikendalikan sesuai dengan kondisi variasi pemberian komposisi pupuk yang mempengaruhi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*. Kerangka program komputer yang dibangun pada penelitian ini terlihat pada gambar 6.7.

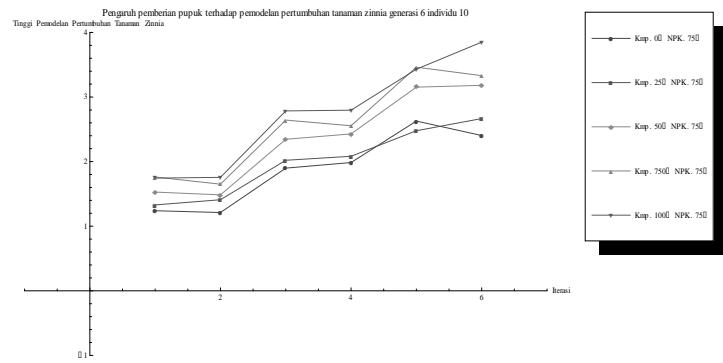


Gambar 6.7 Kerangka program komputer integrasi fuzzy mamdani dan Genetic L-System Programming yang dibangun

Untuk mengetahui nilai maksimum pada visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*, penerapan aplikasi integrasi metoda *fuzzy mamdani* dengan menggunakan parameter tinggi tanaman.

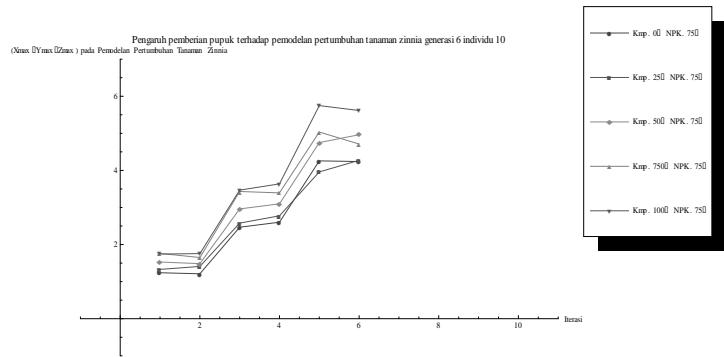
Pada perlakuan variasi pemberian komposisi pupuk kompos dan pupuk NPK sesuai dengan tabel 5.17 dan tabel 5.18 terjadi perubahan nilai pada model kualitatif dan model kuantitatif pada pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang telah dihasilkan dengan metoda *Genetic L-System Programming*.

Pada gambar 6.8 bahwa pemberian variasi komposisi pupuk kompos dan NPK pada pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* pada 5 perlakuan didapat tinggi tanaman *zinnia* tertinggi dengan nilai 3,80969 dibanding perlakuan pemberian pupuk yang lain pada pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* generasi 6 individu 10 dengan perlakuan pemberian komposisi pupuk kompos 100% dan pupuk NPK 75%.



Gambar 6.8 Grafik Tinggi Pemodelan Pertumbuhan Tanaman *Zinnia* pada setiap Iterasi pada 5 pengaruh variasi pemberian Komposisi Pupuk kompos dan NPK

Pada gambar 6.9 bahwa variasi pemberian komposisi pupuk organik dan inorganik pada pemodelan pertumbuhan tanaman *Zinnia* pada 5 perlakuan dengan parameter perkalian dari nilai lebar tanaman terhadap sumbu X, nilai lebar tanaman terhadap sumbu Y dan nilai lebar tanaman terhadap sumbu Z didapat nilai tertinggi 6.43485 dibanding perlakuan pemberian pupuk yang lain pada pemodelan pertumbuhan tanaman *Zinnia* generasi 6 individu 10 untuk perlakuan pemberian pupuk organik 100% dan pupuk inorganik 75%.



Gambar 6.9 Grafik nilai parameter perkalian dari nilai lebar tanaman terhadap sumbu X, sumbu Y dan sumbu Z pada Pemodelan Pertumbuhan Tanaman *Zinnia* pada setiap Iterasi pada 5 pengaruh variasi pemberian Komposisi Pupuk kompos dan NPK

6.6 EVALUASI MODEL

Pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dan visualisasi yang telah dibuat pada penelitian ini memiliki kemampuan untuk menyesuaikan parameter lingkungan yaitu variasi pemberian komposisi pupuk kompos dan NPK pada pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* secara interaktif dengan menggunakan identifikasi metoda *fuzzy mamdani*. Hal ini memungkinkan pemakai dan pengembang untuk memverifikasi aturan parameter pupuk kompos dan NPK untuk pertumbuhan dan memodifikasi penampilan gambar grafika dari tanaman *zinnia* yang dihasilkan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN-SARAN

7.1. KESIMPULAN

Berdasar penerapan data pertumbuhan tanaman *zinnia*, penerapan metoda *L-System* pada pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*, penerapan metoda *Genetic L-System Programming* pada pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*, penerapan metoda *artificial neural network* pada identifikasi pertumbuhan tanaman *zinnia* dan penerapan integrasi metoda *artificial neural network* dan metoda *Genetic L-System Programming* pada pemodelan pertumbuhan tanaman bersifat dinamis pada varietas *zinnia*, maka penelitian dapat disimpulkan bahwa : 1). Penerapan data pertumbuhan tanaman *zinnia* sebagai dasar penyusunan pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* menggunakan metoda *L-System* secara prototipe dasar yang menggambarkan pola grammar pertumbuhan tanaman *zinnia* telah disusun dan dihasilkan visualisasi pertumbuhan tanaman *zinnia*. 2). Aplikasi metoda *Genetic L-System Programming* mampu menghasilkan variasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* , pada 60 pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang telah dihasilkan didapat 1 pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang terbaik pada generasi ke 6 individu ke 10. 3). Aplikasi metoda *artificial neural network* pada identifikasi pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pengaruh pemberian variasi komposisi pupuk kompos dan NPK mampu mengidentifikasi nilai komponen dan nilai fungsi pertumbuhan pada pertumbuhan tanaman *zinnia* secara keseluruhan dengan rata-rata kesalahan dibawah 13 %, sehingga sistem identifikasi dikatakan baik dan dapat diandalkan. 4). Hasil pemodelan pertumbuhan tanaman yang bersifat dinamis pada varietas *zinnia* dengan mengintegrasikan metoda *artificial neural network* dan metoda *Genetic L-System Programming*, mampu menghasilkan pengaruh pemberian variasi komposisi pupuk kompos dan NPK

terhadap tinggi tanaman *zinnia* secara virtual pada setiap pertumbuhan tanaman, pada pemberian pupuk kompos 100% dan pupuk NPK 75% dihasilkan nilai tinggi tanaman *zinnia* virtual tertinggi dibanding perlakuan pemberian pupuk yang lain.

7.2. SARAN-SARAN

Penerapan model integrasi metoda *artificial neural network* dan metoda *Genetic L-System Programming* pada pemodelan pertumbuhan tanaman yang bersifat dinamis pada varietas *zinnia* dapat diterapkan dan dikembangkan dengan tanaman lain dan faktor lingkungan lain terhadap parameter terkait pada pemodelan pertumbuhan tanaman seperti fisiologi tanaman. Pengembangan pemodelan pertumbuhan tanaman terhadap pengaruh lingkungan perlu untuk dikembangkan dalam kegiatan penelitian dengan aspek komoditas yang berbeda untuk memberikan kemudahan pengguna dalam studi analisa dan sintesa pertumbuhan tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggorodi, R. 1994. *Ilmu Makanan Ternak Umum*. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Atif Riaz, Muhammad Arshad, Adnan Younis, Atiq Raza dan Mansoor Hameed, 2008, Effect Of Different Growing Media On Growth and Flowering of Zinnia Elegans CV Blue Point, *Pakistan. Journal. Botani*, 40(4): 1579-1585.
- Armitage, A. M., R.E. Bass, W.H. Carlson, and L.C. Ewart, 1981, Control of plant height and flowering of zinnia by photoperiod and growth retardants. *HortScience* 16:218–220.
- Brooks dan Peter, 2006, *Metric for IT Service Management* (Jan van bon, Ed), Zaltbommel : Van Haren Publishing.
- Buck-Sorlin, G.H., 1999, *Barley Modelling and Simulation (Virtual Barley)*. WWW-document (<http://mansfeld.ipk-gatersleben.de/bucksorlin/>).
- Chazda, R.L., 1985, Leaf display, canopy structure and light interception of two palm species. *Am. J. Bot.* 72: 1493-1502
- Christy T. Carter, 2010, Growth and Nutrition of Two Cultivars of Zinnia elegans Under Saline Conditions, *HortScience* 45(7):1058–1063.
- Chuai-Aree.S, Siripant.S dan Lursinsap.C, 2000, Animating Plant growth in L-System by Parametric functional symbols, *Proc. Of Intern. Conf. on Intelligent Technology 2000*, pp 135-143, December 13-15, University Bangkok, Thailand

- Deutsch, A., 1994, *Muster des Lebendigen: Faszination ihrer Entstehung und Simulation*. Braunschweig, Germany: Vieweg.
- Díaz-Ambrona, C.H., A.M. Tarquis & M. Inés Mínguez, 1998, Faba bean canopy modelling with a parametric open L-system: a comparison with the Monsi and Saeki model modelling. *Field Crops Research* 58: 1-13.
- Dicks, J.W. 1979. *Modes of action of growth retardants*. p. 1-14. To. D.R. Clifford and J.R. Lenton. Recent development in the use of plant growth retardants. The British Plant Growth Reg. Group. England.
- Dubois, D, Prade, H., 1998 , *Possibility Theory*, Plenum Press, New York.
- Eneng Susilawati, 2007, *Pengaruh Komposisi Media Terhadap Perkecambahan dan Pertumbuhan Tanaman *Helichrysum bracteatum* dan *Zinnia elegans**, Skripsi, Departemen Agronomi dan Hortikultura Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor
- Engesltad.O.P, 1977, *Fertilizer Technology and Use Third Edition* (Teknologi Penggunaan Pupuk, alih bahasa Goenadi), Ed Gajah mada Press, Yogyakarta, pp 949.
- Eric M Church, S.K Semwal, 2007, *Simulating Trees using Fractals and L-System*, Departement of Computer Science, University of Colorado
- Fogel. L.J., 1999. *Intelligence Through Simulated Evolution, Forty Years of Evolutionary Programming*. New York: John Wiley & Sons.
- Frijters.D, 1978, Mechanisms of developmental integration of *Aster novae-angliae* L. and *Hieracium murorum* L. *Annals of Botany*, 42:561–575

Frijters.D, 1978, Principles of simulation of inflorescence development. *Annals of Botany*, 42:549–560.

Frijters.D dan Lindenmayer.A, 1974, A model for the growth and flowering of *Aster novae-angliae* on the basis of table (1,0) Lsystems. In G. Rozenberg and A. Salomaa, editors, *L Systems*, Lecture Notes in Computer Science 15, pages 24–52. Springer-Verlag, Berlin

Frijters. D dan Lindenmayer.A, 1976, Developmental descriptions of branching patterns with paracladial relationships. In A. Lindenmayer and G. Rozenberg, editors, *Automata, languages, development*, pages 57–73. North-Holland, Amsterdam, 1976.

Gardner, Franklin P, Pearce, R. Brent, Mitchel, Roger L. 1985. *Fisiologi Tanaman Budidaya*, Jakarta,UI

Gautier, H., R. Mech, P. Prusinkiewicz & C. Varlet-Grancher, 2000, 3D Architectural modelling of aerial photomorphogenesis in white clover (*Trifolium repens* L.) using L-systems. *Annals of Botany* 85: 359-370.

Gould, K.S., J.P.W. Young & E.G. Cutter, 1992, L-systems analysis of compound leaf development in *Pisum sativum* L. *Annals of Botany* 70: 189-196.

Hashimoto. Y, Gerrard.P.A, W.Day., Tantao dan Nonami. H, 1993, *The Computerized Greenhouses, Automatic Control Application in Plant Production*, Academic Press, Inc.

Heikki Ruskeepaa, 2009, *Mathematica Navigator*, Elsevier Inc

Higashide, T., M. Takaichi & H. Shimaji, 2000, Modelling of cucumber growth using the L-system. *Acta Horticulturae* 519: 43-51.

Hilam.Y.Suwandi dan T.A.Soetiarso, 1999, Efisiensi dalam penggunaan Pupuk Fosfat pada bawang putih di lahan marginal, *J Hort* V (4) 48-54

Hirafuji.M, 1991, A plant growth model by neural networks and L-System, *Proc.9.Th IFAC Symp. Identification and System Parameter Estimation, Vol 3 Fukuoka, Japan, pp.997-1022*

Jacob.C, 1995, *Modeling Growth with L-Systems & Mathematica*, Mathematica in Education and Research, Volume 4, No. 3

Jacob.C, 1995, Genetic L-System Programming: Breeding and Evolving Artificial Flowers with Mathematica, *IMS '95, Computational Mechanics Pub, Southampton, UK.*

Jacob.C, 1995, *MathEvolvica – Simulierte Evolution von Entwicklungs programmen der Natur*, PhD dissertation , Arbeitsberichte des Instituts für mathematische Maschinen und Datenverarbeitung, Band 28, Nummer 10, Erlangen. .(In Deutch Language).

Jacob.C, 2001, *Illustrating Evolutionary Computation with Mathematica*. Morgan Kaufmann Publishers, San Fancisco.

Janssen.J.M dan Lindenmayer.A.,1987, Models for the control of branch positions and flowering sequences of capitula in *Mycelismuralis* (L.) Dumont (Compositae). *New Phytologist*, 105:191–220.

Kaitaniemi, P., J.S. Hanan & P.M. Room, 2000, *Virtual sorghum: visualisation of partitioning and morphogenesis*. Computers and Electronics in Agriculture 28: 195-205.

Karwowski.R dan Prusinkiewics.P, 2006, The L-System based plant modeling environment L-Studio 4.0. In

Proceeding of the 4th International Workshop on Functional Structural Plant Models, pp. 403-405

Koza, J. R., 1989, *Hierarchical genetic algorithms operating on populations of computer programs*. In 1 lth International Joint Conference on Artificial Intelligence. San Francisco: Morgan Kaufmann.

Koza, J. R., 1990, *Genetic programming: A paradigm for genetically breeding populations of computer programs to solve problems*. Technical report. Stanford, CA: Department of Computer Science, Stanford University.

Koza, J. R., 1992, *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. Cambridge, MA: MIT Press.

Koza, J. R, 1993, *Discovery of rewrite rules in Lindenmayer systems and state transition rules in cellular automata via genetic programming*. In SPF-93, Symposium on Pattern Formation. Stanford, CA: Department of Computer Science, Stanford University.

Koza, J. R, 1994, *Genetic Programming II: Automatic Discovery of Reusable Programs*. Cambridge, MA: MIT Press.

Koza, J. R., D. Andre, dkk, 1999, *Genetic Programming III: Darwinian Invention and Problem Solving*. San Francisco: Morgan Kaufmann.

Langton, C. G., ed. ,1989, *Artificial Life*. Redwood City, CA: Addison-Wesley.

Laurie, A., D.C. Kiplinger and K.S. Nelson. 1958. *Commercial Flower Forcing*. Sixth Ed. Mc. Graw-Hill Book Co., Inc. New York. 509 p.

- Lindenmayer. A, 1968, Mathematical models for cellular interaction in development, *Parts I and II. Journal of Theoretical Biology*. 18, pp. 280-315
- Lindenmayer.A, 1984, Positional and temporal control mechanisms in inflorescence development. In P. W. Barlow and D. J. Carr, editors, *Positional controls in plant development*. University Press, Cambridge.
- Ljung L, Glad T, 1994, *Modelling of dynamic system*, Prentice Hall, New Jersey.
- Lydia Kristi, Nurhajati Ansori, 1998. Pengaruh Dosis Dan Waktu Pemberian Uniconazole Terhadap Pertumbuhan Dan Pembungan Kembang Kertas (Zinnia Elegane Jacq.), *Buletin. Agr. Vol. XX. No.1*.
- Mech. R dan Prusinkiewics.P, 1996, Visual Model of Plants Interacting with Their Environment, Proceedings of SIGGRAPH 96. In *Computer Graphics Proceedings, Annual Conferenceseries, 1996, ACM SIGGRAPH*, pp.397-410.
- Micikevicius.P, C.E Hughes, J.M Moshell, 2007, *Interactive Forest Walk Through*, Computer Graphic Forums
- Muller-Dobblies.D,1987, Cautious improvement of a descriptive terminology of inflorescences. *Monocot Newsletter 4*
- Musnamar, E. I. 2004. *Pupuk Organik*. Penebar Swadaya. Jakarta.72 hal.
- Nicholson, B.E. 1979. *The Oxford Book of Garden Flowers*. Oxford-New York. 427 p.
- Niklas, K.J., 1986, *Computer-simulated Plant Evolution*, in: Scientific American, 254 (March), pp: 68-75.

Noggle, G.R. and G.J. Fritz. 1986. *Introductory Plant Physiology*. 2nd ed. Prentice Hall of India, New Delhi. 627p.

Ole Kniemeyer, 2004, *Rule-Based Modeling With The XL/GroIMP Software*, wwuser.gwdg.de/~groimp/grogra.de/publications/gwal6_pres.pdf. diakses pada 17 Mei 2011

Ole Kniemeyer, 2008, *Design and Implementation of a Graph Grammar Based Language for Functional-Structural Plant Modelling*, Dissertation, Technische Universität Cottbus.

Pachepsky.L.B, M.Kaul, C.Walthall, J.Lydon, H.Hong, C.S.T Daughtry, 2004, Soybean Growth and Development Visualized With L-Systems Simulation: Effect of temperature, *International Jurnal of Biotronic Vol 33, 31-47*

Paton, R., 1994, *Computing with Biological Metaphors*. London: Chapman & Hall.

Pirone, P.P. 1978. *Disease and Pests of Ornamental Plants*. Fifth Ed. A Wiley-Interscience Publ. Toronto, Canada. 566 p.

Prusinkiewics.P, and Lindenmayer, 1990, *The Algorithmic Beauty of Plant*, Springer-Verlag, New York.

Prusinkiewics.P, Jim Hanan, Mark Hammel dan Mech. R, 2003, *L-System : from the Theory to Visual Models of Plants*, Siggraph L-System and beyond, page 2.1-2.12

Prusinkiewics.P, Mark Hammel dan Jim Hanan, 1996, *Visual Model of Plant Development*. In *Handbook Of Formal Languages*, G.Rozenberg and A.Saklomaa, Eds. Springer-Verlag, Berlin

Poerwanto, R. 2003. *Bahan Ajar Budidaya Buah-Buahan*. Program Studi Hortikultura. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor.

Qazi Adeel Javid, Nadeem Akhtar Abbasi, Nadia Saleem, Ishfaq Ahmad Hafiz and Asia Latif Mughal, 2005, Effect of NPK Fertilizer on Performance of Zinnia (*Zinnia elegans*) Wiryging Shade , *International Journal Of Agriculture & Biology*, Vol. 7, No. 3.

Robinson. D.F, 1986, A Notation For The Growth Of Inflorescences, *New Phytologist*, 103, pp. 587-596

Room, P., J. Hanan & P. Prusinkiewicz, 1996, Virtual plants; new perspectives for ecologists, pathologists and agricultural scientists. *Trends in Plant Science, Elsevier Trends Journals 1 (1)*: 33-38.

Salminen, H., H. Saarenmaa, J. Pertunen, R. Sievänen, J. Väkevä & E. Nikinmaa, 1994. *Modelling trees using an object-oriented scheme*. *Math. Comp. Model.* 20 (8): 49-67.

Sanjaya.L, 1995, Kombinasi pemupukan urea, TSP dan KCL terhadap pertumbuhan dan produksi jagung manis, , *J Hort* 5(2) pp: 74-78

Shibusawa, S., 1992, Hierarchical modelling of a branching growth root system based on L-system. *Acta Horticulturae* 319 (2): 649-664.

Sievänen, R., E. Nikinmaa, P. Nygren, H. Ozier-Lafontaine, J. Pertunen & H. Hakula, 2000. Components of functional-structural tree models. *Ann. For. Sci.* 57: 399-412.

Sillion, F.X., 1995. *Hierarchical solution techniques for realistic rendering*. In: State of the Art Report - Graphicon '95 Conference, St. Petersburg, Russia.

Siswandono, 1991, *Pemberian zat pengatur tumbuh dan pupuk NPK pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan kualitas serta kuantitas hasil salak pondoh*, Laporan Penelitian Fakultas Pertanian Universitas Gajah Mada pp 31

Somporn.C.A , Suchada Siripant, Chidchanok Lursinsap, 2004, *Animating Plant Growth in L-System By Parametric Functional Symbols*, *4th International Workshop on Functional Structural Plant Models*.

Stimart, D.P., T.H. Boyle and V.M. Terry-lewandowski. 1987. Genetic and physiological studies of *Zinnia elegans*, *Z. angustifolia* and their interspecific Hybrids. *HortSci.* 22(4): 526-890.

Sudradjat, 2007, *Mathematical Programming Models for Portfolio Selection*, editura universității din București.

Suhartono, Mochamad Hariadi & Mauridhi Hery Purnomo, 2011, Integration of Fuzzy System into Genetic L-System Programming based plant modeling environment with mathematica, *Australian Journal of Basic and Applied*, Vol. 5(11). pp. 1760-1765

Suhartono, Mochamad Hariadi & Mauridhi Hery Purnomo, 2011, Integration of Artificial Neural Network into Genetic L-System Programming based plant modeling environment with mathematica, *International Journal of Academic Research*, Vol. 3. No. 6, I Part

Suhartono, Mochamad Hariadi & Mauridhi Hery Purnomo, 2009, Genetic Programing and L-System Method For Representing Indentification Of Plant Growth Visualization, *National Technology, Sceince, and Arts (APTECS)*, ISSN : 2086-1931

Suhartono, Mochamad Hariadi & Mauridhi Hery Purnomo, 2010, Hybrid Genetic L-System Method For Representing Identification Of Plant Growth Visualization, *Proceding Seminar Nasional Teknologi Industri (SNTI)*, ISBN : 978-979-18265-2-5

Suhartono, Mochamad Hariadi & Mauridhi Hery Purnomo, 2012, Integration Fuzzy System Into Functional Structural Plant Model Based Environment Conditions, *Journal Basic Science and Technology*, ISSN : 2089-8185

Sudjatoro,D, 1997, Upaya peningkatan produksi kedelai melalui pemupukan N,P,K di dareah transmigrasi prasi manokwari. *Irian jaya agro* 1(3) pp 32-43

Suyantohadi.A, Alfiyan, Hariadi.M, Hery Purnomo.M, 2010, Plant Growth Modelling Using L-System Approach and Its Visualiztion, *Makara Seri Teknologi, Universitas Indonesia*.

Suyantohadi.A, 2010, *Artifical life pada pemodelan pertumbuhan tanaman varietas kedelai menggunakan pendekatan intelligence*, Disertasi, Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Room.P, J.Hanan, Prusinkiewics.P, 1996, Virtual Plants ; new prespective for ecologist, pathologist and agriculture science, *Trend in Plants science, Elsevier Trend Journal*, 1 : pp 33-38.

Widjaja-Adhi.I.P.G, 1992, The use Of Chemical Fertilizier Combinatied With Organic fertilizers in Crop Production in Indonesia. *Makalah Seminar Proper use of Chemical Fertilizers Combined With organic fertilizers*, Universitas Pertanian Malaysia pp 1-32.

Wilson, P.A. & S. Chakrabrty, 1998, *The virtual plant: a new tool for the study and management of plant diseases*. *Crop Protection* 17 (3): 231-239.

Wuryaningsih, S, 1995, Pengaruh Jarak Tanam dan dosis pemupukan N terhadap pertumbuhan dan produksi bunga mawar kultivar cherry barndy, *J Hort* 5(2) pp 100-106

Zeide, B., 1991, *Fractal geometry in forestry applications*. For. Ecol. Manag. 46: 179-188.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran A

KOLEKSI DATA TANAMAN *ZINNIA* DARI LAPANGAN

Data masing-masing struktur dikumpulkan dari tanaman *zinnia* di lapangan. Struktur tanaman *zinnia* terdiri dari panjang batang, diameter batang, panjang daun, diameter daun dan diameter bunga sesuai dengan siklus hidupnya. Data struktur dan ukuran dikumpulkan secara manual dengan menggunakan penggaris dan busur derajad.

Tabel A.1 Rata-rata dari 3 tanaman *zinnia* untuk batang
(B1,B2,B3,B4 dan B5)

Hari	Rata-rata B1	Rata-rata B2	Rata-rata B3	Rata-rata B4	Rata-rata B5
1	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00
2	1,62	0,67	0,00	0,00	0,00
3	2,14	1,53	0,00	0,00	0,00
4	2,65	2,54	0,90	0,00	0,00
5	3,10	3,43	1,62	0,00	0,00
6	4,95	4,12	2,11	0,00	0,00
7	6,20	4,65	2,65	0,70	0,00
8	7,60	5,12	3,15	1,62	0,00
9	7,95	5,65	4,90	2,11	0,00
10	8,20	6,43	6,20	2,67	0,90
11	8,87	6,90	7,67	3,15	1,62
12	9,13	7,21	7,90	4,90	2,21
13	9,74	7,87	8,21	6,20	2,55
14	9,89	7,90	8,77	7,67	3,05
15	10,00	8,42	9,13	7,90	4,80
16	10,00	8,60	9,45	7,90	6,10
17	10,00	8,77	9,55	7,90	7,77
18	10,00	8,77	9,67	7,90	7,95
19	10,00	8,77	9,67	7,90	8,21
20	10,00	8,77	9,67	7,90	8,21
21	10,00	8,77	9,67	7,90	8,21
22	10,00	8,77	9,67	7,90	8,21
23	10,00	8,77	9,67	7,90	8,21
24	10,00	8,77	9,67	7,90	8,21
25	10,00	8,77	9,67	7,90	8,21

Tabel A.2 Rata-rata dari 3 tanaman *zinnia* untuk panjang daun B1

Hari	Rata-rata B1 DLL	Rata-rata B1 DLW	Rata-rata B1 DRL	Rata-rata B1 DRW
1	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00
8	1.43	1.20	1.32	1.10
9	2.37	2.27	2.27	2.27
10	2.10	2.53	2.20	2.53
11	2.83	2.77	2.80	2.77
12	2.93	2.87	2.93	2.87
13	3.93	2.87	3.94	2.87
14	4.77	2.87	4.97	2.87
15	5.87	2.97	5.97	2.97
16	6.00	3.00	6.00	3.00
17	6.03	2.97	6.03	2.97
18	6.03	3.27	6.03	3.27
19	6.03	3.93	6.03	3.93
20	6.03	3.93	6.03	3.93
21	6.03	3.93	6.03	3.93
22	6.03	3.93	6.03	3.93
23	6.03	3.93	6.03	3.93
24	6.03	3.93	6.03	3.93
25	6.03	3.93	6.03	3.93

Tabel A.3 Rata-rata dari 3 tanaman *zinnia* untuk daun B2

Hari	Rata-rata B2 DLL	Rata-rata B2 DLW	Rata-rata B2 DRL	Rata-rata B2 DRW
1	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00
11	1.27	1.20	1.10	1.50
12	2.53	2.27	1.77	2.27
13	2.67	2.53	2.53	2.53
14	2.87	2.77	2.77	2.77
15	3.87	2.87	2.87	2.87
16	4.87	2.87	3.87	2.87
17	5.97	2.87	4.87	2.87
18	6.00	2.97	5.77	2.97
19	6.00	3.00	5.77	3.00
20	6.00	2.97	5.87	2.93
21	6.03	3.27	5.97	3.93
22	6.03	3.93	6.03	3.93
23	6.03	3.93	6.03	3.93
24	6.03	3.93	6.03	3.93
25	6.03	3.93	6.03	3.93

Tabel A.4 Rata-rata dari 3 tanaman *zinnia* untuk daun B3

Hari	Rata-rata B3 DLL	Rata-rata B3 DLW	Rata-rata B3 DRL	Rata-rata B3 DRW
1	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00
13	1.27	1.10	1.33	1.10
14	2.53	2.27	2.34	2.27
15	2.67	2.53	2.12	2.53
16	2.87	2.77	2.63	2.77
17	3.87	2.87	3.73	2.81
18	4.87	2.87	4.91	2.83
19	5.97	2.87	5.75	2.87
20	6.00	2.97	5.92	2.97
21	6.27	3.00	6.22	3.00
22	6.53	2.97	6.54	3.07
23	6.53	3.27	6.57	3.27
24	6.53	3.57	6.57	3.27
25	6.53	3.57	6.57	3.27

Tabel A.5 Rata-rata dari 3 tanaman *zinnia* untuk daun B4

Hari	Rata-rata B4 DLL	Rata-rata B4 DLW	Rata-rata B4 DRL	Rata-rata B4 DRW
1	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00
14	1.27	1.10	1.43	1.10
15	2.53	2.27	2.37	2.27
16	2.67	2.53	2.10	2.53
17	2.87	2.77	2.83	2.77
18	3.87	2.87	3.93	2.87
19	4.87	2.87	4.93	2.87
20	5.97	2.87	4.97	2.87
21	6.00	2.97	4.97	2.97
22	6.27	3.00	5.20	3.00
23	6.53	3.97	5.53	2.97
24	6.67	4.27	6.59	3.27
25	6.93	4.57	6.73	3.57

Tabel A.6 Rata-rata dari 3 tanaman *zinnia* untuk daun B5

Hari	Rata-rata B5 DLL	Rata-rata B5 DLW	Rata-rata B5 DRL	Rata-rata B5 DRW
1	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00
16	1.43	1.10	1.43	1.10
17	2.37	2.27	2.37	2.27
18	2.10	2.53	2.50	2.53
19	2.83	2.77	3.83	2.77
20	3.86	2.87	3.93	2.87
21	3.93	2.87	4.93	2.87
22	4.94	2.87	4.97	2.87
23	4.97	2.97	4.97	2.97
24	5.20	3.00	5.20	3.00
25	5.63	3.00	5.53	2.97

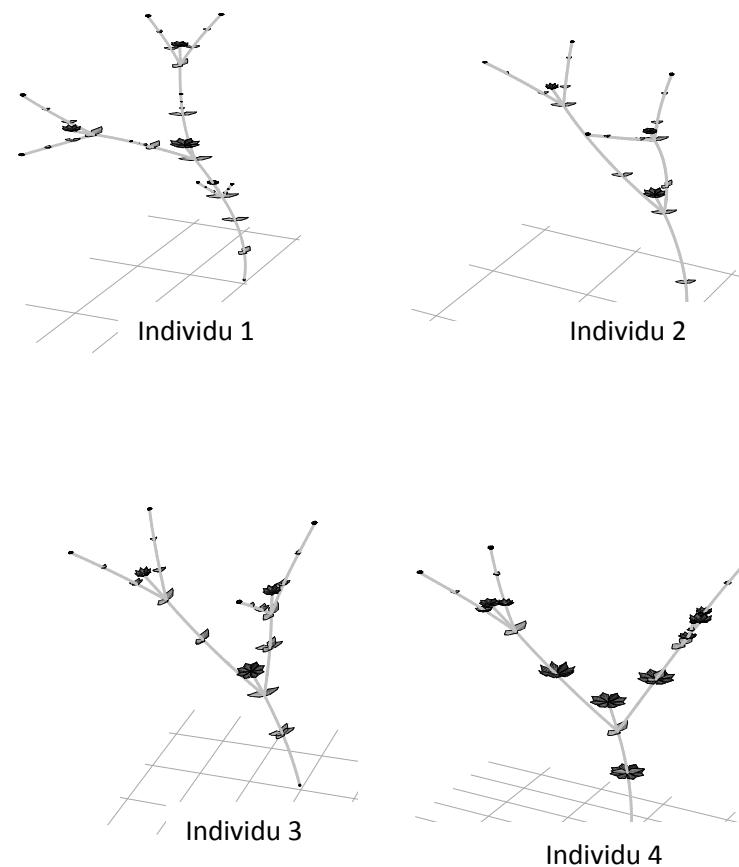
Tabel A.7 Rata-rata dari 3 tanaman *zinnia* untuk bunga BU1

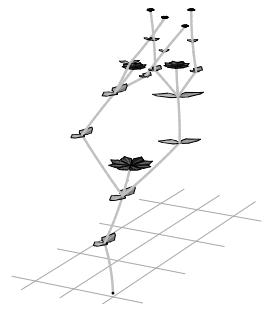
Hari	Rata-rata BU1
1	0.00
7	0.00
8	0.00
9	0.00
10	0.00
11	0.00
12	0.00
13	0.00
14	0.00
15	0.00
16	0.00
17	0.50
18	1.07
19	2.97
20	3.20
21	3.53
22	4.89
23	5.93
24	6.03
25	6.93

Lampiran B

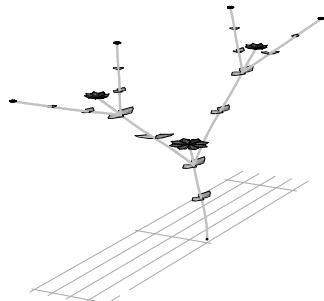
VISUALISASI MODEL TANAMAN *ZINNIA* HASIL PROSES METODA *EXPRESSION GENERATION*

Hasil proses *expression generation* pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang dibangun dan divisualisasikan didapat 10 pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dan visualisasi dapat dilihat Gambar B.1.

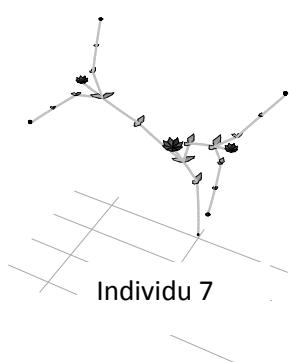




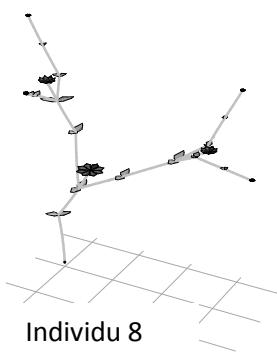
Individu 5



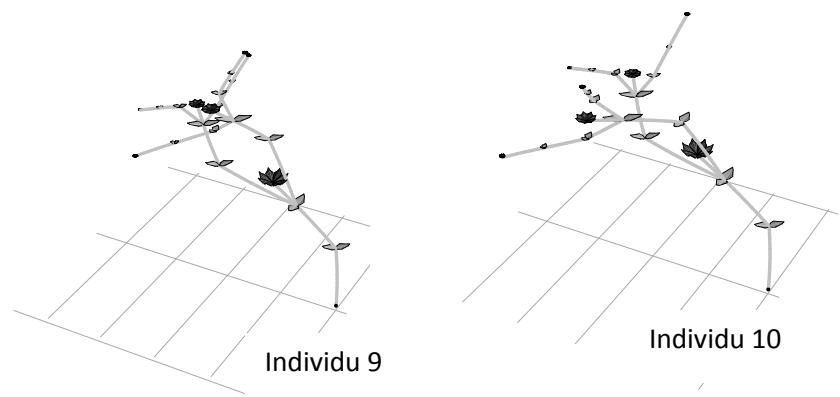
Individu 6



Individu 7



Individu 8



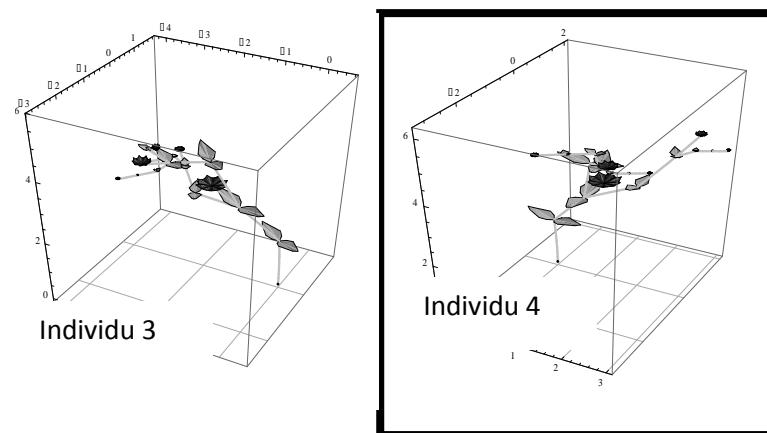
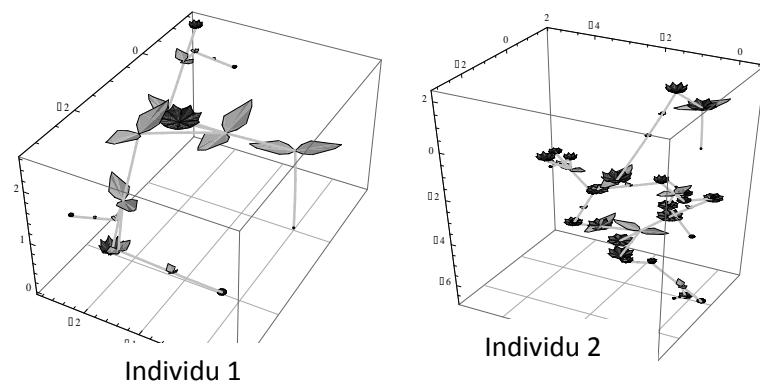
Gambar B.1 Visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman zinnia hasil proses *expression generation* untuk 10 individu

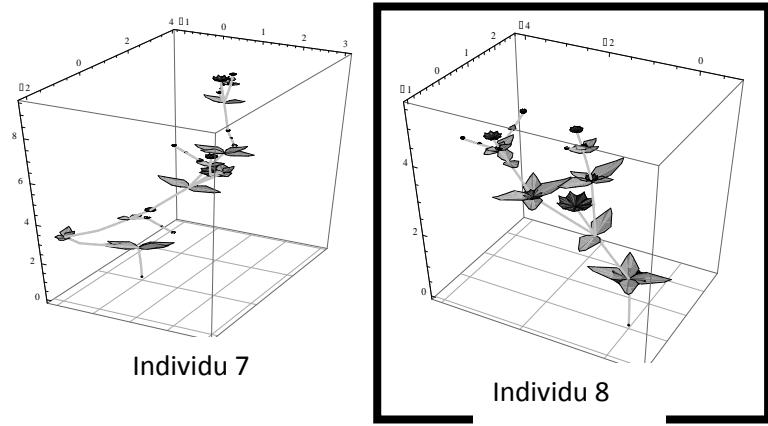
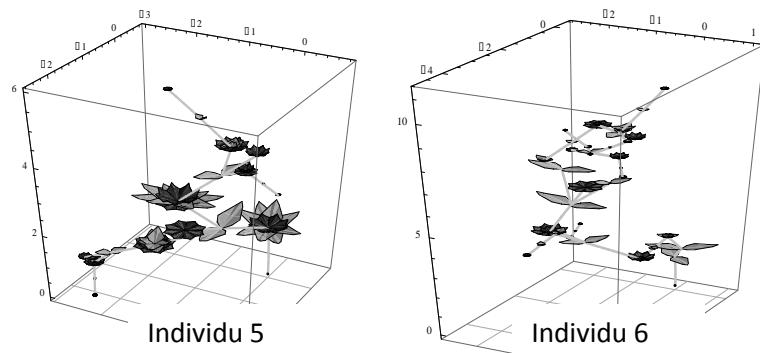
Halaman ini sengaja dikosongkan

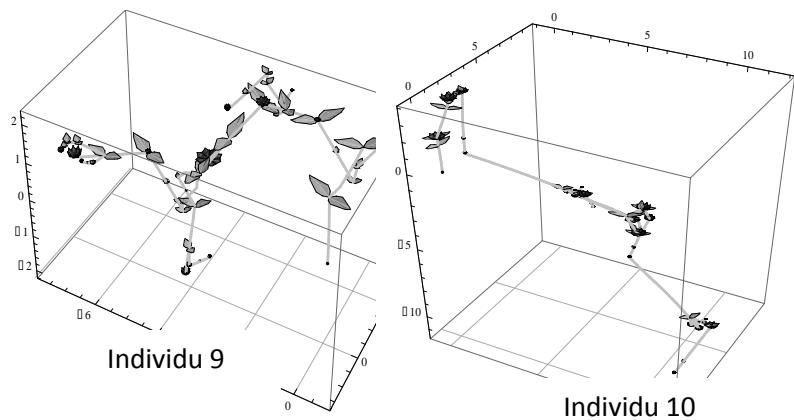
Lampiran C

VISUALISASI MODEL TANAMAN *ZINNIA* HASIL PROSES METODA *GENETIC L-SYSTEM PROGRAMMING*

Hasil penelitian untuk proses metoda *Genetic L-System Programming* model tanaman *zinnia* yang dibangun dan divisualisasikan. Proses generasi ke 1 untuk 10 individu didapat 10 model tanaman *zinnia* yang divisualisasikan model tanaman *zinnia* dapat dilihat pada Gambar C.1.







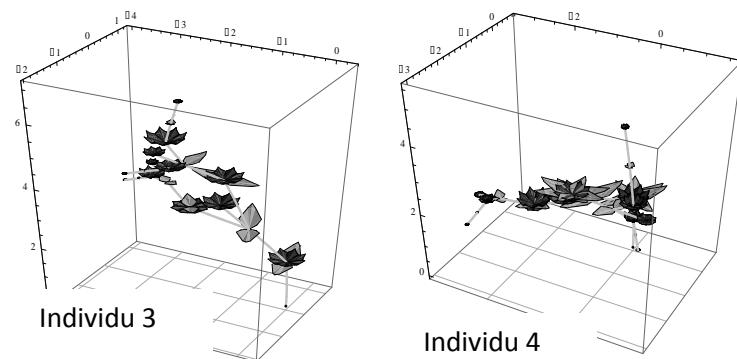
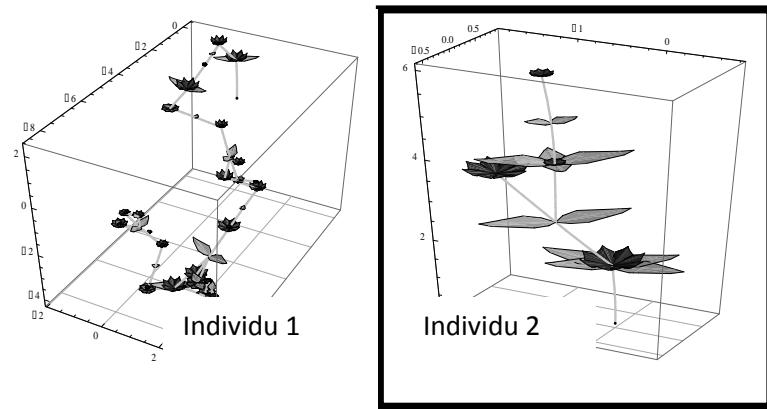
Gambar C.1 Visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* hasil *Genetic L-System Programming* generasi 1 untuk 10 individu, 2 pemodelan pertumbuhan yang sesuai karakteristik tanaman *zinnia* diberi tanda kotak

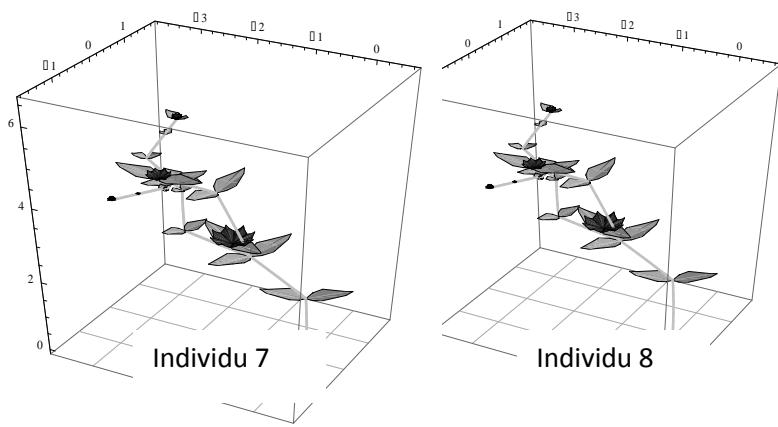
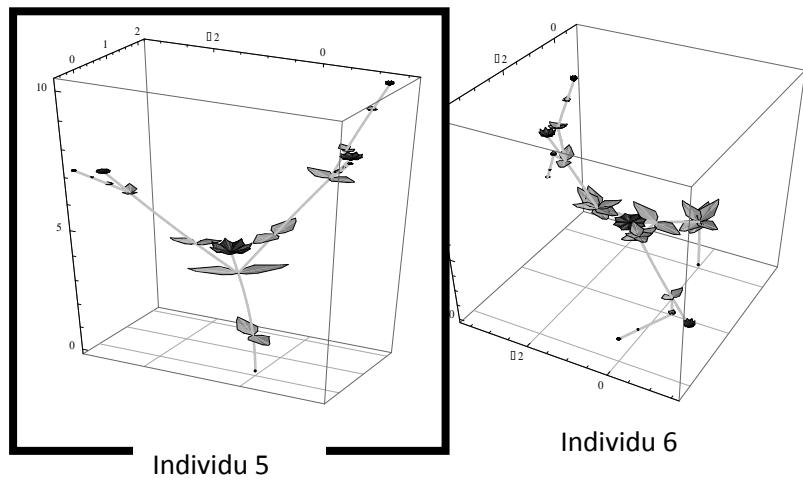
Halaman ini sengaja dikosongkan

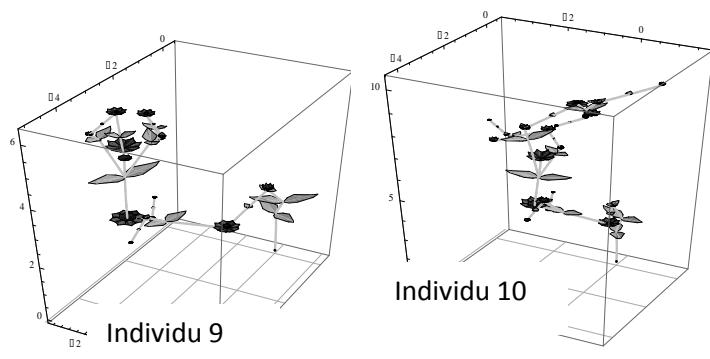
Lampiran D

VISUALISASI MODEL TANAMAN *ZINNIA* HASIL PROSES METODA *GENETIC L-SYSTEM PROGRAMMING*

Hasil penelitian untuk proses metoda *Genetic L-System Programming* model tanaman *zinnia* yang dibangun dan divisualisasikan. Proses generasi ke 2 untuk 10 individu didapat 10 model tanaman *zinnia* yang divisualisasikan model tanaman *zinnia* dan visualisasi dapat dilihat Gambar D.1.







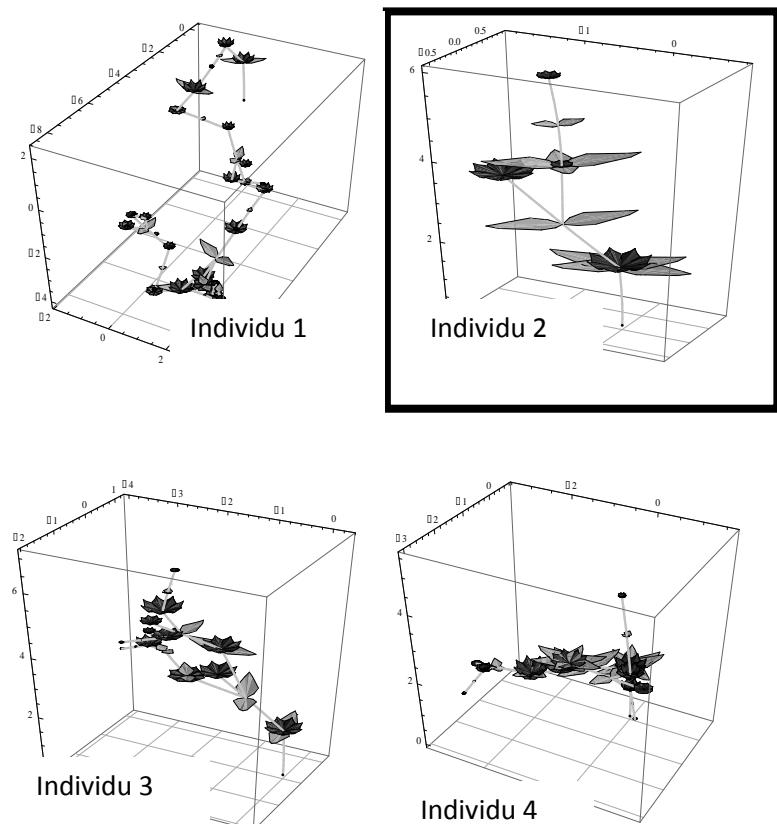
Gambar D.1 Visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* hasil *Genetic L-System Programming* generasi 2 untuk 10 individu, 2 pemodelan pertumbuhan yang sesuai karakteristik tanaman *zinnia* diberi tanda kotak

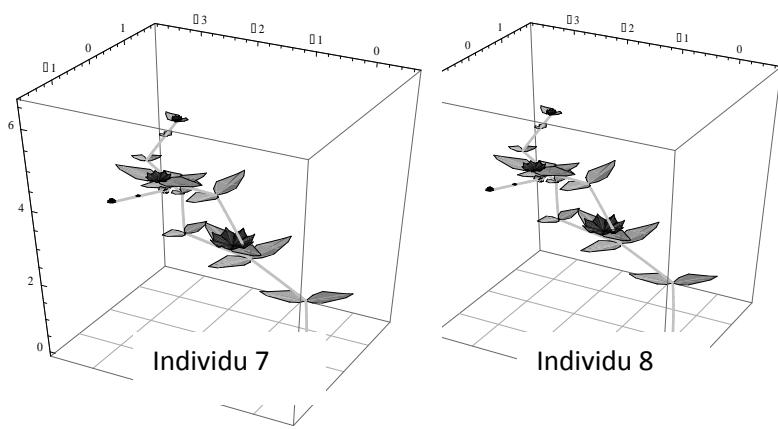
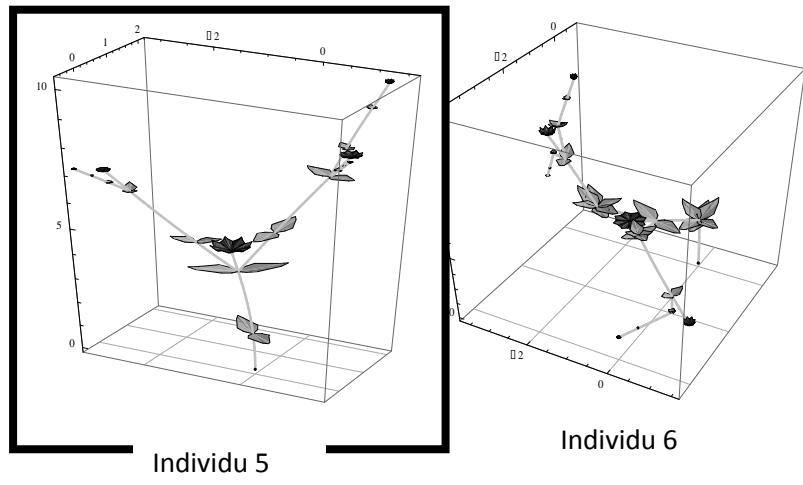
Halaman ini sengaja dikosongkan

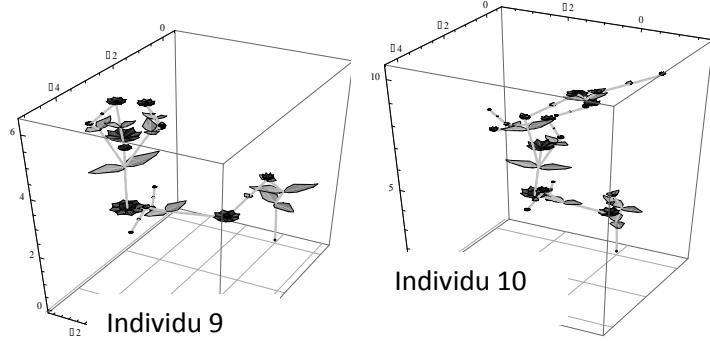
Lampiran D

VISUALISASI MODEL TANAMAN *ZINNIA* HASIL PROSES METODA *GENETIC L-SYSTEM PROGRAMMING*

Hasil penelitian untuk proses metoda *Genetic L-System Programming* model tanaman *zinnia* yang dibangun dan divisualisasikan. Proses generasi ke 2 untuk 10 individu didapat 10 model tanaman *zinnia* yang divisualisasikan model tanaman *zinnia* dan visualisasi dapat dilihat Gambar D.1.







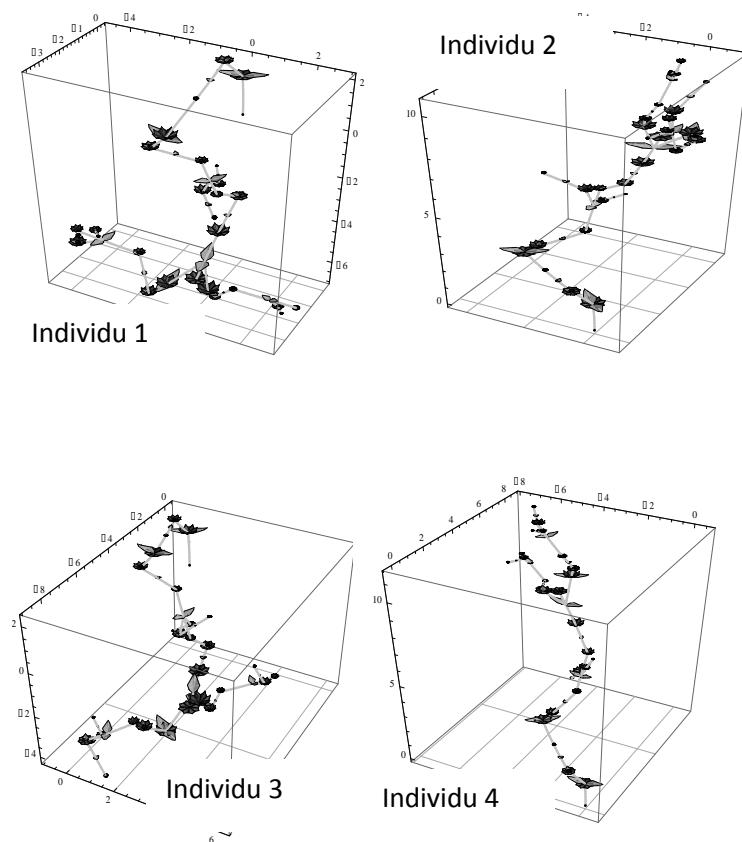
Gambar D.1 Visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* hasil *Genetic L-System Programming* generasi 2 untuk 10 individu, 2 pemodelan pertumbuhan yang sesuai karakteristik tanaman *zinnia* diberi tanda kotak

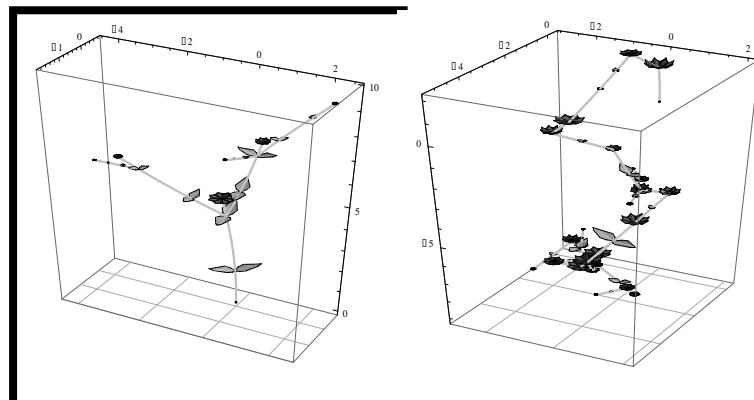
Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran F

VISUALISASI MODEL TANAMAN *ZINNIA* HASIL PROSES METODA *GENETIC L-SYSTEM PROGRAMMING*

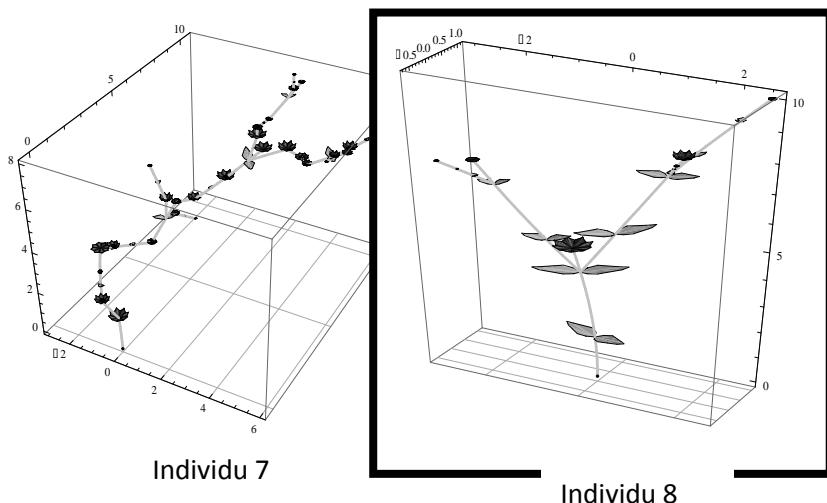
Hasil penelitian untuk proses metoda *Genetic L-System Programming* model tanaman *zinnia* yang dibangun dan divisualisasikan. Proses generasi ke 4 untuk 10 individu didapat 10 model tanaman *zinnia* yang divisualisasikan model tanaman *zinnia* dan visualisasi dapat dilihat Gambar F.1.





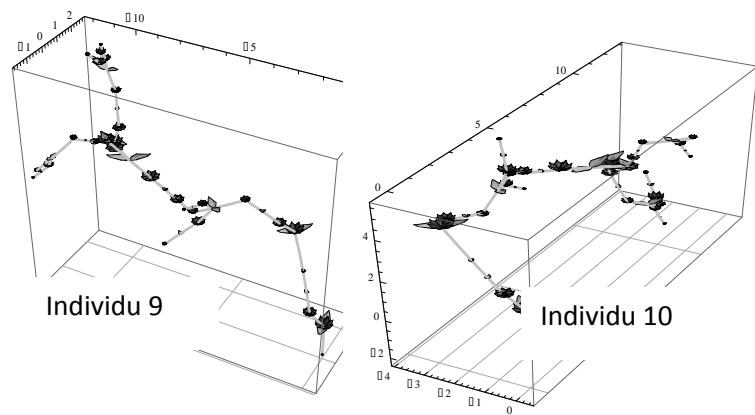
Individu 5

Individu 6



Individu 7

Individu 8

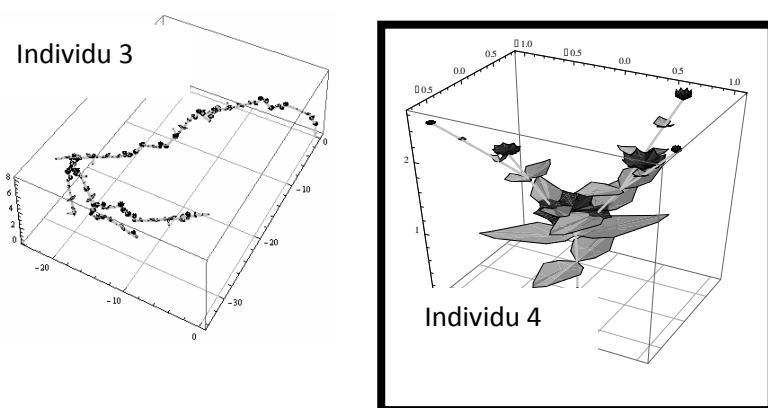
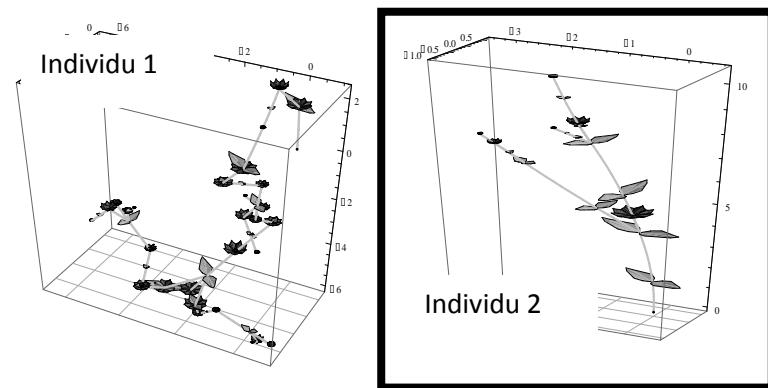


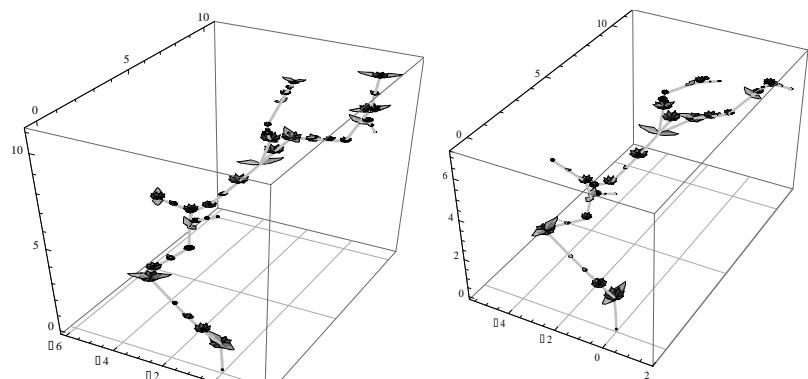
Gambar F.1 Visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* hasil *Genetic L-System Programming* generasi 4 untuk 10 individu, 2 pemodelan pertumbuhan yang sesuai karakteristik tanaman *zinnia* diberi tanda kotak

Lampiran G

VISUALISASI MODEL TANAMAN ZINNIA HASIL PROSES METODA *GENETIC L-SYSTEM* *PROGRAMMING*

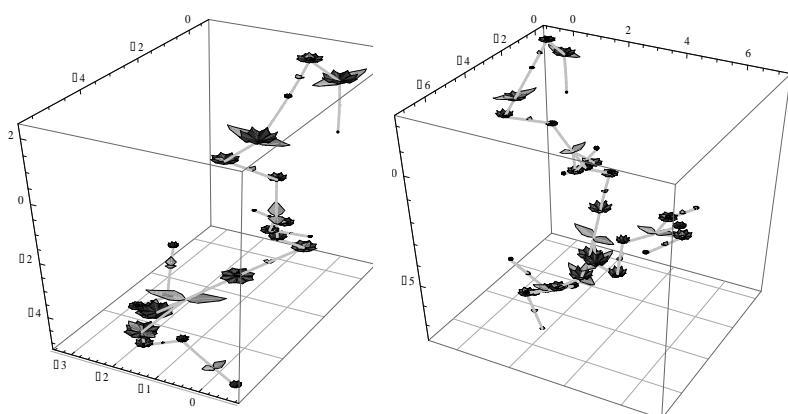
Hasil penelitian untuk proses metoda *Genetic L-System Programming* model tanaman *zinnia* yang dibangun dan divisualisasikan. Proses generasi ke 5 untuk 10 individu didapat 10 model tanaman *zinnia* yang divisualisasikan model tanaman *zinnia* dan visualisasi dapat dilihat Gambar G.1.





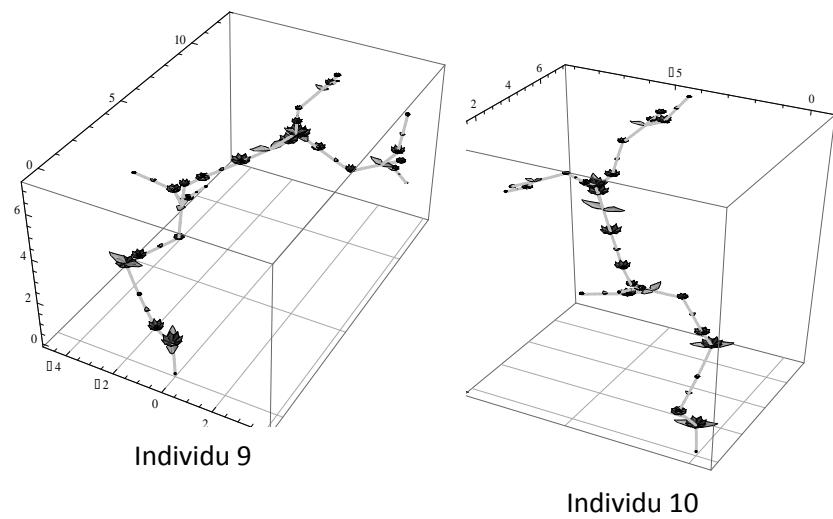
Individu 5

Individu 6



Individu 7

Individu 8



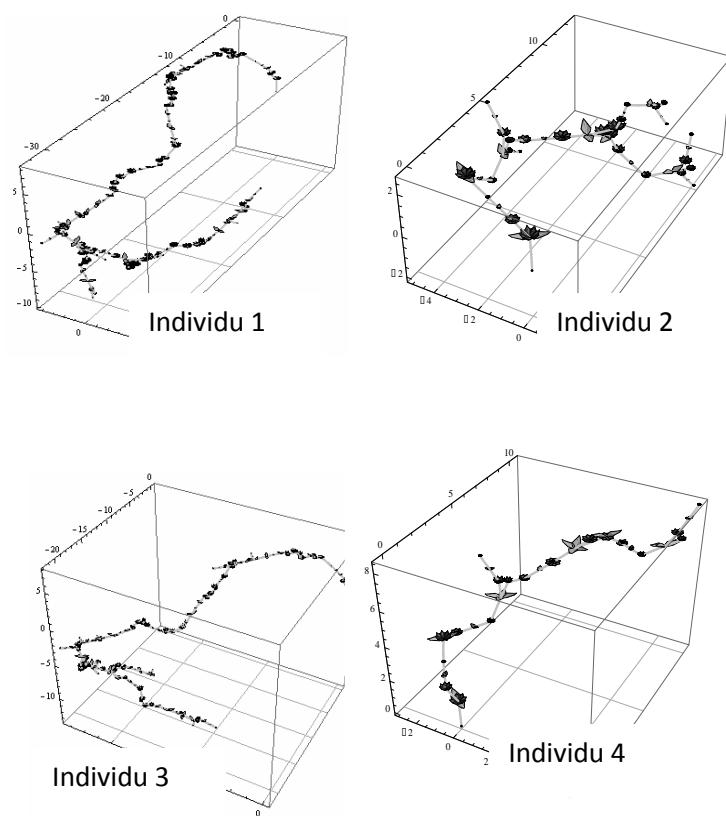
Gambar G.1 Visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* hasil *Genetic L-System Programming* generasi 5 untuk 10 individu, 2 pemodelan pertumbuhan yang sesuai karakteristik tanaman *zinnia* diberi tanda kotak

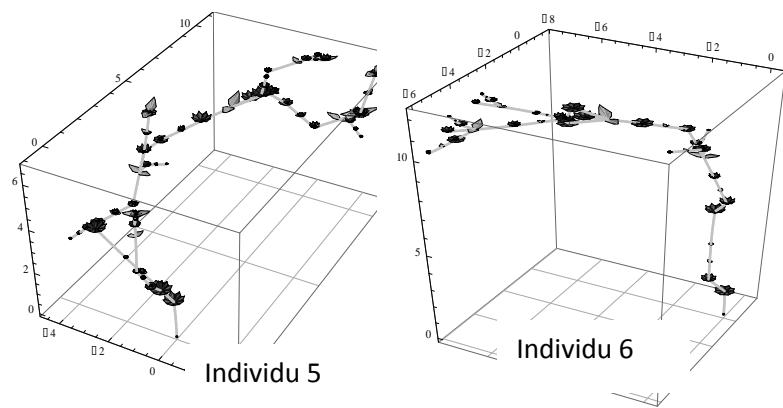
Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran H

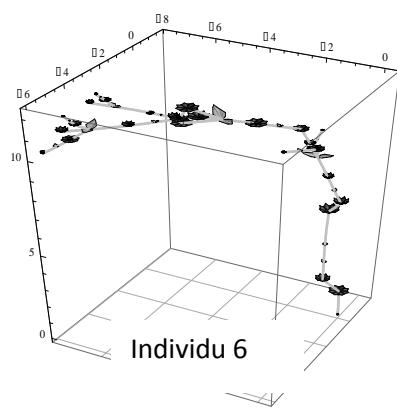
VISUALISASI MODEL TANAMAN *ZINNIA* HASIL PROSES METODA *GENETIC L-SYSTEM PROGRAMMING*

Hasil penelitian untuk proses metoda *Genetic L-System Programming* model tanaman *zinnia* yang dibangun dan divisualisasikan. Proses generasi ke 6 untuk 10 individu didapat 10 model tanaman *zinnia* yang divisualisasikan model tanaman *zinnia* dan visualisasi dapat dilihat Gambar H.1.

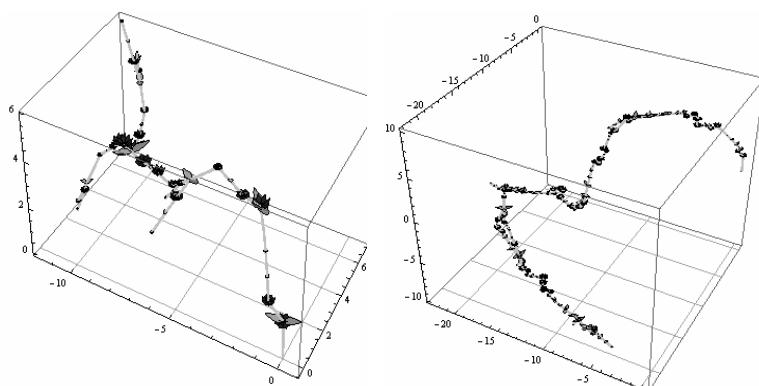




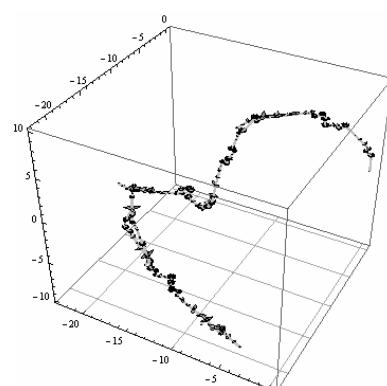
Individu 5



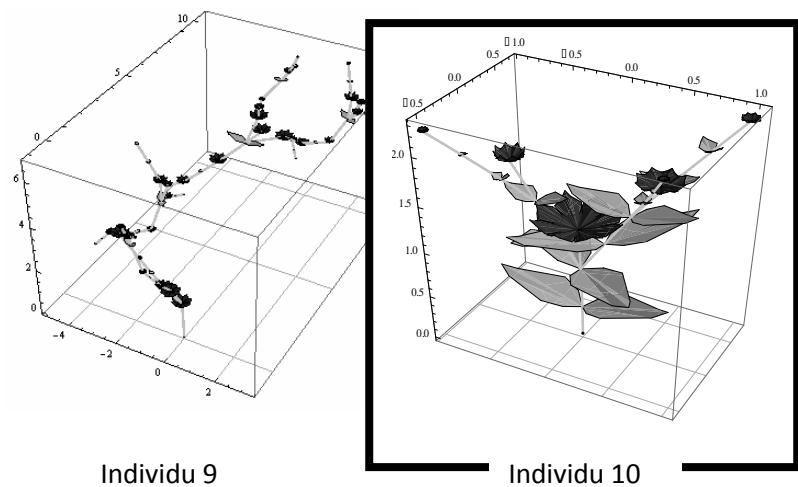
Individu 6



Individu 7



Individu 8



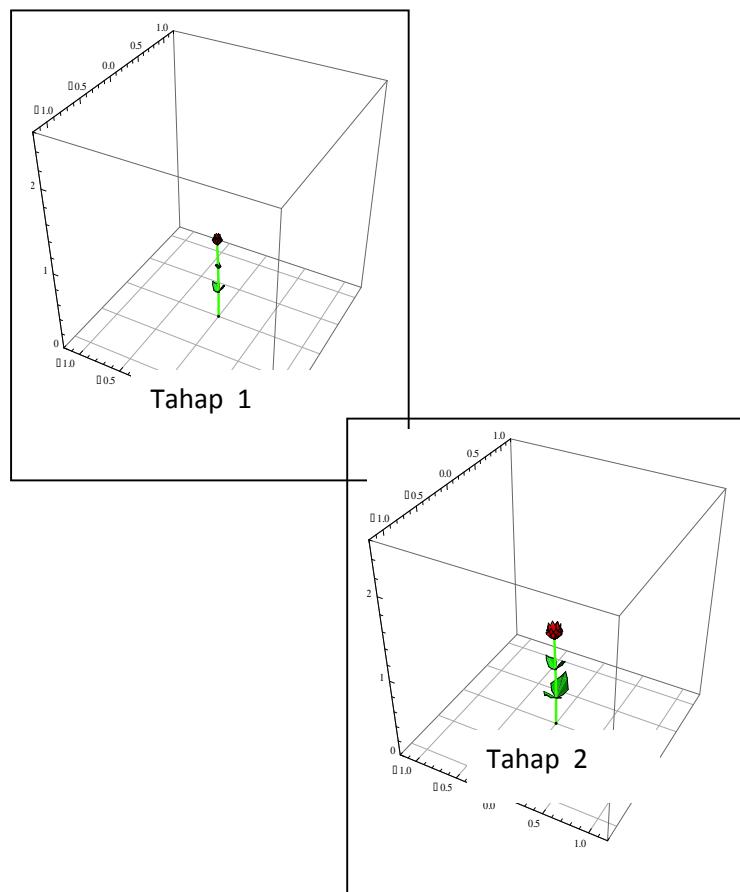
Gambar H.1 Visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* hasil *Genetic L-System Programming* generasi 6 untuk 10 individu , 1 pemodelan pertumbuhan yang sesuai karakteristik tanaman *zinnia* diberi tanda kotak

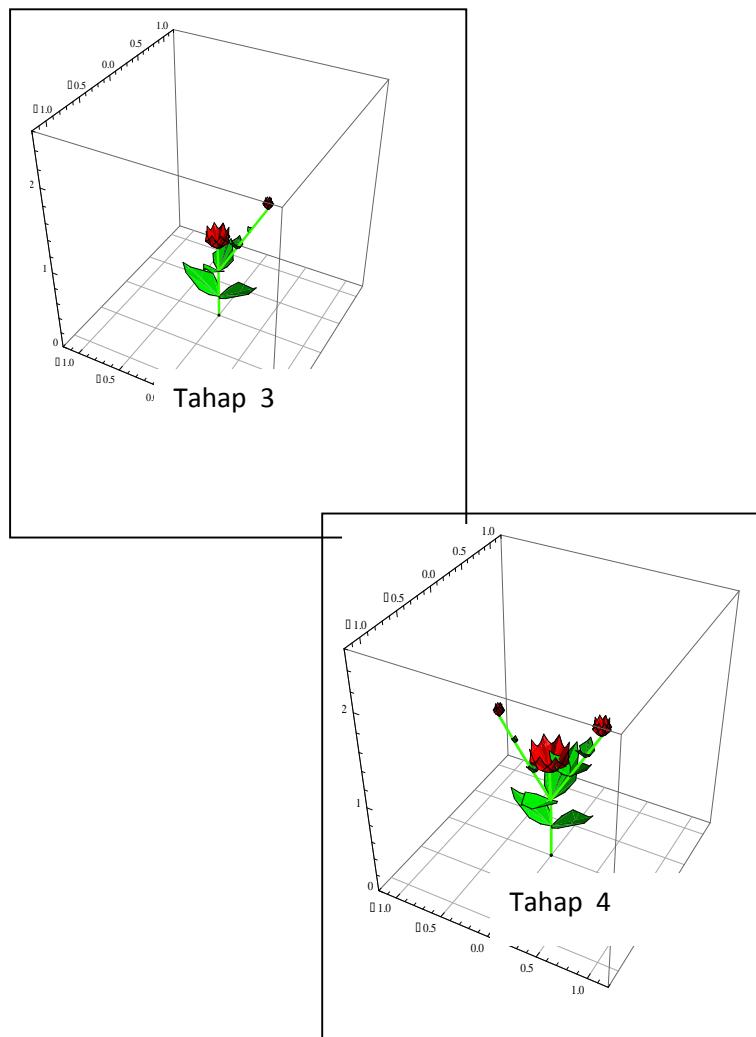
Halaman ini sengaja dikosongkan

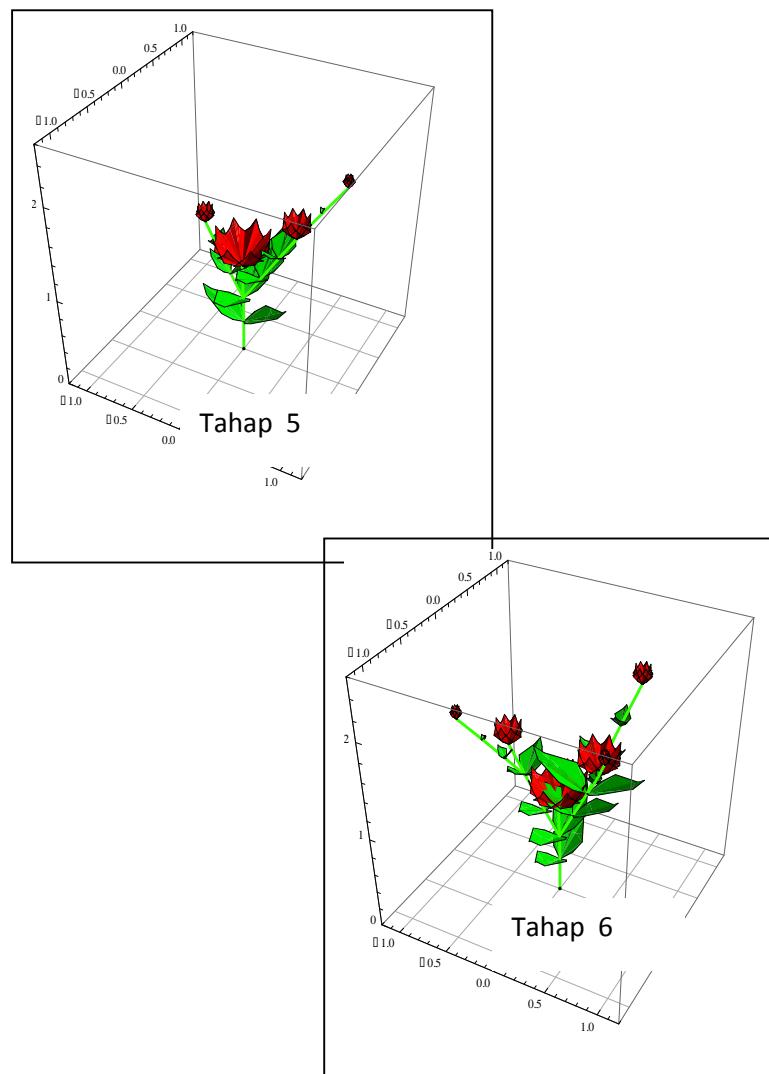
Lampiran I

VISUALISASI MODEL TANAMAN *ZINNIA* HASIL PROSES METODA *GENETIC L-SYSTEM PROGRAMMING*

Hasil penelitian untuk proses metoda *Genetic L-System Programming* pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang dibangun dan divisualisasikan. Proses generasi ke 6 untuk individu ke 10 pada setiap tahap pertumbuhan dapat dilihat Gambar I.1.







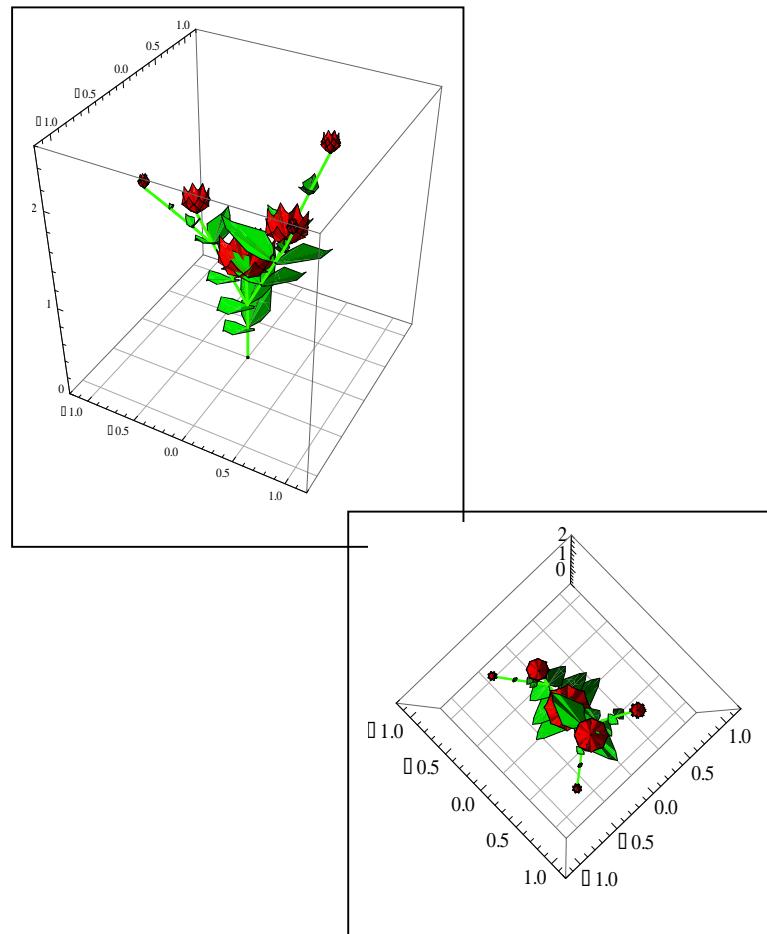
Gambar I.1 Visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* hasil *Genetic L-System Programming* generasi 6 individu ke 10 dalam 6 tahap pertumbuhan

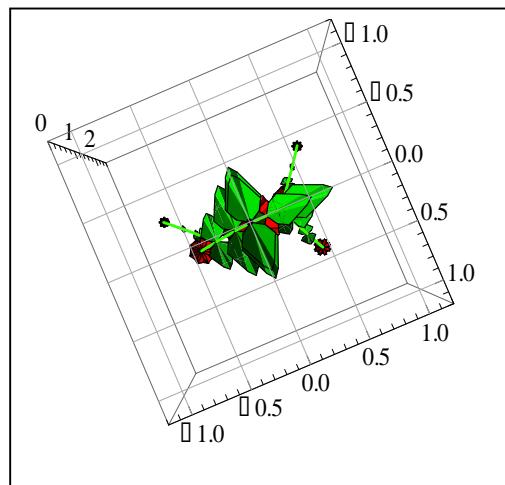
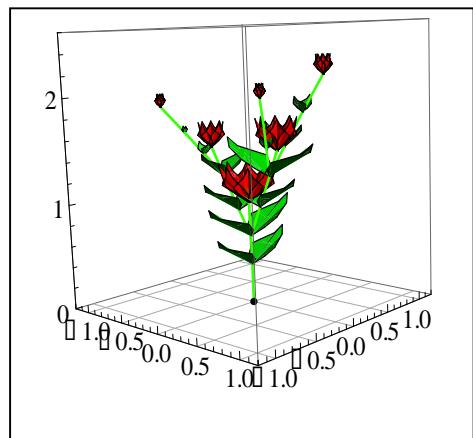
Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran J

VISUALISASI MODEL TANAMAN *ZINNIA* HASIL PROSES METODA *GENETIC L-SYSTEM PROGRAMMING*

Hasil penelitian untuk proses metoda *Genetic L-System Programming* pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang dibangun dan divisualisasikan. Visualisasi dalam beberapa sisi untuk generasi ke 6 untuk individu ke 10 pada setiap tahap pertumbuhan dapat dilihat Gambar I.1.





Indeks

A	O
Al Qamar, 7	P
<i>Artifisial</i> 1, 3, 7, 8, , 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 27, 81, 123-130.	Pemodelan, 2-9, 11-18, 35, 36
An Nahl, 3,	Pertumbuhan, 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 27, 81, 123- 130
B	Q
C	R
D	S
E	T
F	U
G	V
<i>Genetic</i> 1-4, 6-9, 11, 19, 36, 86, 123- 137, 165, 170,	Visualisasi, 9, 16, 19, 34, 47, 87, 97, 95,
H	W
I	X
<i>Intelligent</i> , 1, 3, 7, 8, , 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 27, 81, 123-130.	Y
J	Yunus
K	6.
L	Z
<i>L-System</i> 1-4, 6-9, 11, 19, 36, 86, 123- 137, 165, 170.	
M	
N	

Permodelan dan simulasi tanaman zinnia adalah permasalahan yang diketengahkan penulis dalam buku ini. Dalam hal ini, Model dapat didefinisikan sebagai representasi sistem dalam kehidupan nyata yang menjadi fokus penelitian atau pokok permasalahan. Model diupayakan sama, atau hampir sama, dengan sistem yang direpresentasikannya. Sedangkan Pemodelan adalah Proses memproduksi atau menghasilkan model. Salah satu tujuan dari pemodelan adalah memungkinkan analis untuk memprediksi pengaruh perubahan pada sistem yang sedang diamati.

Permodelan pertumbuhan tanaman zannia adalah pokok permasalahan yang disampaikan oleh penulis. Secara morfologi, pertumbuhan tanaman adalah perkembangan organ-organ tanaman. Pertumbuhan tanaman dapat ditunjukkan oleh penambahan tinggi tanaman, panjang batang, diamater batang, lebar daun, panjang daun dan diameter bunga.

Cepat atau lambatnya pertumbuhan tanaman sangat dipengaruhi oleh faktor internal tanaman tersebut, dalam hal ini faktor genetik, dan faktor lingkungan. Demikian pula halnya pertumbuhan tanaman zinnia. Pentingnya faktor genetika tanaman zinnia dapat dilihat pada meningkatnya hasil panen dari penanaman zinnia varietas unggul. Tanaman juga memberikan respon yang berbeda terhadap perubahan lingkungan, dalam hal ini pemberian pupuk. Ekspresi potensial genetik tanaman dapat terlihat pada pemberian pupuk dengan komposisi yang bervariasi.

Penulis menggunakan metode L-System, atau Lindenmayer System, untuk menggambarkan pertumbuhan tanaman berdasarkan keadaan lingkungan. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Aristid Lindenmayer untuk menjelaskan teori pertumbuhan sel anabaena catenula. Metode ini menggunakan sistem penulisan berulang (rewriting system) dengan menggunakan aturan gramatikal. Dewasa ini, metode ini sudah banyak dipergunakan oleh ilmuwan untuk memodelkan bermacam-macam jenis tanaman.

Kehebatan dari penulis buku ini, yang merupakan nilai plus dibandingkan lainnya, adalah penulis mengkombinasikan permodelan zinnia dengan menggunakan metode L-system dan kecerdasan buatan / Artificial Intelligent. Penulis mengintegrasikan metode L-system, metode Jaringan Syaraf Tiruan / Artificial Neural Networks dan metoda Fuzzy System untuk memodelkan pertumbuhan tanaman zinnia..

Buku ini sangat cocok untuk para ilmuwan dan praktisi, terutama yang memiliki latar belakang ilmu biologi, ilmu pertanian ataupun ilmu komputer. Buku ini mengkombinasikan ilmu pertanian dan ilmu komputer. Dengan membaca buku ini, teknologi permodelan tanaman diharapkan dapat membantu petani dan pemerintah, dalam ruang lingkup yang lebih luas, dalam meningkatkan produksi pertanian.

Ali Mahmudi, B.Eng (Hons), PhD
Alumni Huddersfield University, United Kingdom
Dosen Tetap Teknik Informatika ITN Malang

ISBN 979-495-628-7



9 789794 956281