

1. MATHEMATICAL
2. ONIONS
3. CRITICAL PERIOD (1970-1980)

IR-Perpustakaan Universitas Airlangga

DITERBITKAN UNTUK
UJIAN TAHAP II

DISERTASI

**PENGEMBANGAN MODEL MATEMATIKA
KOMPETISI GULMA - BAWANG MERAH**

kk
DIS M 07 / 02
Sol
P

PENDEKATAN BIOMETRI



MILIK
PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA

SOLIMUN

NIM 099211255 D

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA
1997**

**PENGEMBANGAN MODEL MATEMATIKA
KOMPETISI GULMA - BAWANG MERAH**

PENDEKATAN BIOMETRI

DISERTASI

Untuk memperoleh Gelar Doktor
dalam Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
pada Program Pascasarjana Universitas Airlangga
di bawah pimpinan Rektor Universitas Airlangga

Prof. H. Soedarto, dr., DTM&H., Ph.D

untuk dipertahankan di hadapan
Rapat Terbuka Senat Universitas Airlangga

Oleh :

SOLIMUN
NIM 099211255 D

Lembar Pengesahan

Disertasi ini Telah Disetujui
Tanggal 20 Nopember 1997

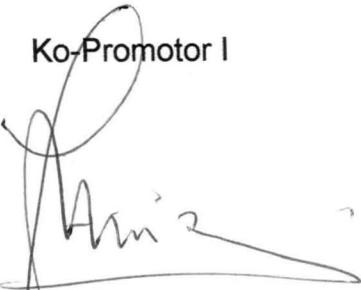
Oleh :

Promotor



Prof. Drs. H.A. Soeparmo, MSc.
NIP 130 058 170

Ko-Promotor I



Prof. Drs. H. Abdulbasir
NIP 130 122 370

Ko-Promotor II



Dr. Susanti Linuwih
NIP 130 368 808

Telah diuji pada ujian tertutup
Tanggal 6 Nopember 1997

Panitia Penguji Disertasi

Ketua : Prof. Soemadi, Apt.

Anggota : 1. Prof. Moenarni Tampoebolon, Ir.
2. Prof. H. M. Hasyim Baisoeni, Drs.
3. Prof. Dr. Hj. Kusriningrum R. S., Ir., MS.
4. Prof. H. A. Soeparmo, Drs., Msc.
5. Prof. H. Abdulbasir, Drs.
6. Dr. Susanti Linuwih

Ditetapkan dengan Surat Keputusan
Rektor Universitas Airlangga Surabaya
Nomor : 9186/J03/PP/1997
Tanggal 24 Nopember 1997

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah serta inayah-Nya sehingga penulisan disertasi ini dapat diselesaikan. Selesaiannya penulisan disertasi ini bukanlah karya penulis semata, akan tetapi tidak terlepas dari peran Pembimbing, para Guru Besar, PJMK dan para Dosen matakuliah di Program Pascasarjana Universitas Airlangga. Demikian pula partisipasi para sahabat yang dengan tulus ikhlas membantu, mendorong, memberi motivasi dan semangat, serta mendoakan penulis demi segera terwujudnya disertasi ini.

Penulis menyampaikan terima kasih secara khusus kepada Bapak Prof. Drs. H. A. Soepramo, M.Sc. selaku Promotor yang telah dengan penuh keikhlasan memberikan bimbingan, petunjuk, dorongan dan membangkitkan harapan penulis untuk menyelesaikan disertasi ini. Demikian pula penulis menyampaikan terima kasih kepada Bapak Prof. Drs. H. Abdulbasir selaku Ko-Promotor yang telah dengan ikhlas serta penuh kesabaran dan "ketlatenan" memberikan bimbingan, petunjuk, dan dorongan demi segera terselesaikannya disertasi ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Ibu Dr. Susanti Linuwih selaku Ko-Promotor yang telah dengan sabar dan penuh kekeluargaan membimbing, mengarahkan, mendorong dan memberikan petunjuk untuk penyelesaian penulisan disertasi ini.

Penghargaan dan rasa terima kasih juga penulis sampaikan kepada :

Universitas Brawijaya atas kepercayaannya memberikan dana dari DPP-SPP untuk pendidikan Doktor ini.

Rektor Universitas Airlangga, Prof. H. Soedarto, dr., DTM&H., Ph.D., dan mantan Rektor Universitas Airlangga, Prof. H. Bambang Rahino Setokoesumo, dr., atas kesempatan yang diberikan untuk menempuh pendidikan Doktor bidang Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Direktur Program Pascasarjana Universitas Airlangga, Prof. Dr. H. Soedijono, dr., dan mantan Direktur Program Pascasarjana Universitas Airlangga, Prof. Dr. Soetarjadi, Apt., atas kesempatan yang diberikan untuk menempuh pendidikan Doktor bidang Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam di Program Pascasarjana Universitas Airlangga.

Rektor Universitas Brawijaya, Prof. Drs. H. M. Hasyim Baisoeni, dan mantan Rektor Universitas Brawijaya, Prof. Drs. Z. A. Achmady, MPA., atas izin dan kesempatan yang diberikan untuk mengikuti pendidikan program Doktor .

Dekan FMIPA Universitas Brawijaya, Drs. Sutiman Bambang Sumitro, D.Sc., dan mantan Ketua Program MIPA Universitas Brawijaya, Prof. Drs. H. M. Hasyim Baisoeni, atas izin dan kesempatan yang diberikan untuk mengikuti pendidikan program Doktor.

Dosen Pembina Program Studi Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Program Doktor Universitas Airlangga, Prof. Drs. H. A. Soeparmo, MSc., Prof. Abdoel Gani, SH., MSc., Prof. H. Abdulbasir, Drs., Dr. Susanti Linuwih, Dr. Amy Suwandi, dan Dr. M. Zainuddin, yang telah memberikan bekal Ilmu.

Prof. Drs. H. M. Hasyim Baisoeni dan Prof. Dr. Ir. H. Jody Moenandir, Dpl. Agr. Sc. selaku dosen PJMK yang telah memberikan bekal ilmu (khususnya yang menunjang penelitian).

Prof. Drs. Sumadi, Apt., Prof. Ir. Moenarni Tampoebolon, dan Prof. Dr. Ir. Hj. Kusrieningrum, MS. atas koreksi dan saran demi kesempurnaan disertasi ini.

Rekan-rekan staf pengajar di Jurusan Matematika FMIPA Universitas Brawijaya atas pengertian dan dorongan yang diberikan untuk menyelesaikan penulisan disertasi ini. Khusus kepada Bapak Drs. Muslikh, MS. dan Bapak Drs. Agus Widodo, MS. atas jerih payahnya memberikan penjelasan ilmu matematika.

dr. H. M. Rasjad Indra, MS. dan Ibu dr. Hj. Tiny Indra, MS. atas bantuan baik berupa moril dan terutama berupa materiil demi menyelesaikan studi dan terwujudnya disertasi ini.

Dr. Ir. Soemarno, MS., Dr. Ir. Syamsulbahri, MS., Drs. Luqman Hakim, MSc., Ir. Damanhuri, MS., dan Dr. Ir. Loekito Adisoehono atas dorongan, dan bantuan moril dan materiil demi segera terwujudnya disertasi ini. Ir. Arifin Noor Sugiarto, M.Sc. atas bantuan dan jerih payahnya mencarikan literatur di Jepang .

Ibu dan ayah serta Ibu mertua atas doa yang tulus ikhlas tiada hentinya agar penulis dapat segera menyelesaikan studi Doktor. Khusus kepada ayah mertua almarhum yang sewaktu masih hidup dengan tulus dan ikhlas mendoakan penulis agar studi Doktor ini segera dapat diselesaikan, teriring doa semoga segala amal baiknya diterima Allah SWT. Saudara-saudara dan saudara ipar atas dorongan moril dan bantuan materiil demi segera selesainya studi Doktor ini.

Khusus kepada Kakak Drs. Suryanto yang dengan tulus ikhlas dan penuh kesabaran selalu mendorong dan mengingatkan serta mendoakan penulis agar studi Doktor ini cepat dapat diselesaikan.

Istri Sulikah Dianing Rahayu, anak-anak M Choirul Rahmadan dan Choiril Kurniawan atas dorongan, doa, pengertian dan pengorbanan yang diberikan untuk mewujudkan kebahagiaan dalam mengantar penulis menempuh program Doktor.

Akhirnya dengan tulus ikhlas, kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian program Doktor ini, penulis hanya dapat memohonkan doa semoga segala amalnya diterima Tuhan Yang Maha Esa dan kepadanya diberikan rahmat, taufik dan hidayah. Amiin.

RINGKASAN

Studi kuantitatif mengenai tanaman adalah kompleks, sebab harus melibatkan interaksinya dengan lingkungan. Studi kuantitatif pada kajian ini adalah penentuan periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma. Periode kritis tanaman dapat bergeser akibat pengaruh variasi dosis pemupukan nitrogen dan penanaman pada ketinggian tempat berbeda. Pengaruh pemupukan nitrogen dan ketinggian tempat terhadap pergeseran periode kritis membentuk sistem kompleks. Pemodelan adalah upaya konstruksi matematika dengan tujuan menyederhanakan atau menyarikan sistem dunia riil ke dalam bentuk teoritis. Dengan demikian, studi kuantitatif melalui pendekatan biometri dengan menerapkan model matematika untuk menganalisis, mempelajari, menentukan dan memprakirakan periode kritis tanaman bawang merah perlu dilakukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji model matematika yang dapat digunakan untuk menganalisis dan mempelajari kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman bawang merah. Hipotesis yang akan diverifikasi adalah : (1) Pertumbuhan tanaman bawang merah dapat didekati dengan model hipotetik logistik dan atau model empiris eksponensial polinomial berderajat dua, (2) Model empiris berbentuk fungsi logistik dan atau kuadrat dan atau linier dapat digunakan untuk mendekati data hasil percobaan metode Nieto *et al.* (1968), (3) Pola LPM model pertumbuhan dan atau LPH model empiris selama siklus hidup tanaman dapat digunakan untuk merancang metode penentuan periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma dan (4) Dapat

dirancang model empiris tentang hubungan antara koefisien model pertumbuhan hipotetik dan atau koefisien model empiris dengan dosis pemupukan nitrogen dan ketinggian tempat yang berguna untuk menentukan dan memprakirakan periode kritis tanaman bawang merah.

Penelitian dilakukan dalam dua tahap, yaitu percobaan untuk mencari data empiris dan pengujian model. Percobaan untuk mencari data empiris terdiri dari percobaan pertumbuhan dan percobaan metode Nieto *et al.* (1968). Masing-masing percobaan dilakukan di tiga lokasi ketinggian tempat, yaitu di Malang (450 m dpl), Dau (600 m dpl) dan Batu (800 m dpl). Perlakuan pada percobaan pertumbuhan adalah dosis pemupukan nitrogen. Penempatan perlakuan ke dalam petak percobaan menggunakan Rancangan Acak Lengkap, dengan tiga ulangan. Percobaan berpola tersarang (*nested*) melibatkan dosis pemupukan nitrogen yang tersarang dalam ketinggian tempat. Variabel respon yang diamati adalah berat kering biomassa (W). Dosis pemupukan nitrogen merupakan variabel bebas N dan ketinggian tempat merupakan variabel bebas E . Di samping itu, saat pengamatan dianggap sebagai variabel umur tanaman (t).

Perlakuan pada percobaan metode Nieto *et al.* (1968) terdiri dari dosis pemupukan nitrogen dan waktu tanaman bergulma dan bebas gulma. Percobaan berpola petak terbagi (*split plot*) dengan perlakuan utama periode tanaman bergulma dan bebas gulma dan anak perlakuan dosis pemupukan nitrogen. Rancangan lingkungan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap dengan tiga ulangan. Percobaan berpola tersarang (*nested*) melibatkan

perlakuan dosis pemupukan nitrogen dan perlakuan bergulma dan bebas gulma tersarang dalam ketinggian tempat. Variabel respon yang diamati adalah berat kering biomassa (W). Dosis pemupukan nitrogen merupakan variabel bebas N dan periode bergulma dan bebas gulma merupakan variabel waktu (t). Di samping itu, ketinggian tempat merupakan variabel bebas E .

Pelaksanaan percobaan dimulai pada bulan Februari sampai dengan Juli 1994. Data hasil percobaan digunakan untuk pengujian model.

Pengujian model meliputi pendugaan parameter dan uji kesahihan (validasi) model. Untuk pelaksanaan pendugaan parameter, semua model diubah ke dalam bentuk stokastik. Pendugaan parameter model non linier menggunakan Metode Kuadrat Terkecil dengan Teknik Iterasi Newton Raphson. Sedangkan untuk model linier menggunakan Metode Kuadrat Terkecil Biasa (*Ordinary Least Square*). Uji kesahihan model menggunakan tiga tolok ukur, yaitu ketelitian (*precision*), ketegaran (*robustness*), dan ketepatan (*accuracy*). Tolok ukur ketelitian dan ketegaran adalah taraf nyata (α) dari uji F , dan untuk ketepatan adalah koefisien determinasi, R^2 . Model dikatakan sah jika memiliki $p < \alpha = 5\%$ dan $R^2 > 95\%$.

Pemilihan model dilakukan berdasarkan tolok ukur validasi model dan kebermaknaan interpretasi terhadap parameternya. Model terpilih jika sah dan interpretasi terhadap parameternya secara agronomis, yaitu untuk penentuan periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma, dapat dilakukan.

Metode interpretasi agronomis penentuan periode kritis didekati melalui identifikasi saat terjadinya perubahan LPH (laju perubahan hasil) dari rendah ke tinggi dan saat terjadinya perubahan LPH dari tinggi ke rendah. Teknik yang digunakan adalah pendekatan limit dengan kriteria penurunan hasil secara nyata dari konsep Nieto *et al.* (1968).

Pengembangan rancangan model empiris (untuk memprakirakan periode kritis sehubungan dengan pengaruh dosis pemupukan nitrogen dan ketinggian tempat) didekati melalui teknik eksplorasi, yaitu dengan cara melihat kurva pendekatan pada pola tebaran data (*scatter diagram*).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model yang sah untuk mendekati sekuens data pertumbuhan adalah model hipotetik logistik,

$$W = \frac{K}{1 + e^{b - rt}}$$

dan model eksponensial polinomial berderajat dua,

$$W = e^{b_1 + b_2t + b_3t^2}$$

dalam hal ini K , b , r , b_1 , b_2 , dan b_3 adalah parameter model. Akan tetapi ternyata kedua model tersebut tidak dapat diterapkan untuk mempelajari periode kritis bawang merah akibat kompetisi gulma.

Model yang dapat digunakan untuk mempelajari periode kritis bawang merah dan sah untuk mendekati data hasil percobaan metode Nieto *et al.* (1968) pada perlakuan bebas adalah model empiris logistik,

$$W = \frac{b_1}{1 + e^{b_2 - b_3 t}}$$

Perancangan metode interpretasi agronomis penentuan periode kritis didasarkan pada model tersebut dan dapat dilakukan dengan cara mengidentifikasi awal periode kritis yaitu saat terjadinya perubahan LPH dari rendah ke tinggi dan akhir periode kritis yaitu saat terjadinya perubahan LPH dari tinggi ke rendah. Hasil perhitungan periode kritis berdasarkan konsep tersebut didukung oleh landasan empiris, konsep Nieto *et al.* dan konsep agronomi. Dengan demikian, metode tersebut layak diterapkan.

Dosis pemupukan nitrogen (N) berpengaruh terhadap pola perubahan hasil, dan ketinggian tempat (E) berpengaruh terhadap pola pertumbuhan. Oleh karena itu, dosis pemupukan nitrogen dan ketinggian tempat juga berpengaruh terhadap koefisien model. Berdasarkan kurva pendekatan pada tebaran data, pengaruh N terhadap b_2/b_3 adalah berpola linier menaik dan E berpola kuadratik menurun,

$$\frac{b_2}{b_3} = 2.30 + 0.027 N + 12.20 E - 3.89 E^2$$

Model tersebut sah dan dapat digunakan untuk memprakirakan periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma. Manfaat pragmatis yang diperoleh adalah dapat dibuat jadwal pelaksanaan penyiangan, sehingga dapat menekan biaya produksi dan meningkatkan hasil tanaman.

ABSTRACT

Key words : - *mathematical model*
- *competition*
- *critical period*

This research represents a quantitative study on the weed management through biometrical approach. The basic purpose of the research is to develop a design and mathematical-testing model which can be used for analyzing, studying as well as predicting critical period of onion resulted from weed competition.

The research was conducted in two stages. The first stage constitutes a field research which was intended to explore empirical data through experiment of growth and experiment of Nieto method (Nieto *et al*, 1968). At the experiment of growth the treatment is dosage of N fertilizer which was repeated three times through randomized-complete design. At the experiment of Nieto method there conducted two main treatments on both weed-infected plant and non weed-infected plant in symmetrical pair, and sub treatment of dosage of Nitrogen. Split-plot design was repeated three times in randomized-complete design. The individual treatment was experimented in three different elevation. Individually the experiments constitutes nested-experimental design in the sense that the treatment was essentially nested within a particular elevation.

At the second stage the model was tested by data resulted from the field experiment. The test covers both estimate of the parameter and the test of

validity. Estimate of the non linear parameter of the model uses least-square method through iteration technique of Newton Raphson while the linear model uses ordinary-least square. The model can only be used for analyzing and studying critical periode of the onion if it is valid (has $p < \alpha = 5 \%$ and $R^2 > 95 \%$) and interpretation to the parameter is supported by the concept of agronomy and the result of mathematical analysis. Interpretation method of agronomy on the critical period is reached through identification of the rate of yield change from low to high and vice versa. Besides, empirical-model design for estimating critical period is reached through the approach curve at the scatter diagram.

The result shows that the valid model and can be feasibly exercised for analyzing and studying critical period of onion resulted from weed competition is the logistic model, $W = \frac{b_1}{1 + e^{b_2 - b_3t}}$. That is the empirical model found through data of the experiment of Nieto method at the treatment of non weed-infected plant.

Agronomic interpretation method for determining critical period of the onion resulted from weed competition can be exercised by identifying the early stage of critical period that is at the time of changing the yield rate from low to high while the end of critical period takes place in accordance with the changing the yield rate from high to low.

Development of empirical-model design finds that model

$$\frac{b_2}{b_3} = 2.30 + 0.027 N + 12.20 E - 3.89 E^2 \text{ is valid and can be feasibly exercised}$$

for critical period of onion caused by weed competition. (Notes : b_1 , b_2 , b_3 = parameters, W = biomass, t = time of non weed-infected plant, N = dosage of nitrogen, E = elevation)

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
DAFTAR ISTILAH	xx
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Permasalahan	1
1.2 Perumusan Masalah	8
1.3 Batasan Masalah	9
1.4 Tujuan Penelitian	9
1.5 Manfaat Penelitian	11
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	12
2.1 Model	12
2.2 Model Matematika	13
2.2.1 Model Empiris dan Model Mekanistik	17
2.2.2 Model Deterministik dan Model Stokastik	19
2.2.3 Model Analitik dan Model Simulasi	21
2.3 Kuantifikasi Pertumbuhan Tanaman	22
2.3.1 Model Logistik	25
2.3.2 Model Gompertz	27
2.3.3 Model Richards	28

2.4 Model Matematika pada Pengelolaan Gulma	28
2.4.1 Model Matematika pada Sistem Produksi Pertanian	29
2.4.2 Gulma	30
2.4.3 Model Matematika untuk Pengendalian Gulma	34
2.4.4 Tanaman Coba Bawang Merah	38
2.5 Asumsi dan Validasi Model	39
2.5.1 Asumsi Model	39
2.5.2 Validasi Model	40
BAB 3 KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN	43
3.1 Kerangka Konseptual Penelitian	43
3.2 Hipotesis Penelitian	46
BAB 4 METODE PENELITIAN	48
4.1 Percobaan untuk Mencari Data Empiris	50
4.2 Pelaksanaan Percobaan	50
4.2.1 Tempat dan Waktu Percobaan	50
4.2.2 Persiapan Percobaan	51
4.2.3 Pengolahan Tanah	52
4.2.4 Penanaman Bawang Merah	53
4.2.5 Pemeliharaan Tanaman	53
4.2.6 Percobaan Pertumbuhan untuk Masing-masing Ketinggian Tempat	54
4.2.7 Percobaan Metode Nieto <i>et al.</i> (1968) untuk Masing-masing Ketinggian Tempat	57

4.3 Asumsi Model	61
4.4 Pengujian Model	62
4.4.1 Model Non Linier	62
4.4.2 Model Linier	67
4.5 Validasi Model	69
4.6 Perancangan Metode Interpretasi Agronomis	70
4.7 Perancangan Model Empiris	74
4.8 Prakiraan Periode Kritis	76
BAB 5 HASIL PENELITIAN	77
5.1 Pengujian Model	77
5.2 Interpretasi Agronomis (Penentuan Periode Kritis)	83
5.3 Perancangan Model Empiris (untuk Memprakirakan Periode Kritis)	89
BAB 6 PEMBAHASAN	95
6.1 Pengujian Model	95
6.2 Interpretasi Agronomis (Penentuan Periode Kritis)	97
6.3 Pendekatan Biometri	108
BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN.....	117
7.1 Kesimpulan	117
7.2 Saran	118
DAFTAR PUSTAKA	120
LAMPIRAN	129

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Kehilangan Hasil Berbagai Jenis Tanaman akibat Kompetisi Gulma	31
2.2 Periode Kritis Berbagai Jenis Tanaman pada Berbagai Cara Bercocok Tanam	32
5.1 Hasil Pendugaan Parameter dan Koefisien Determinasi Model Empiris Logistik, Linier dan Kuadratik pada Perlakuan Bebas Gulma	78
5.2 Hasil Pendugaan Parameter dan Koefisien Determinasi Model Empiris Logistik, Linier dan Kuadratik pada Perlakuan Bergulma	79
5.3 Hasil Pendugaan Parameter dan Koefisien Determinasi Model Pertumbuhan Hipotetik Logistik dan Model pertumbuhan Empiris Eskponensial Polinomial Derajat Dua	82
5.4 Nilai β/γ Model Empiris Logistik dan Model pertumbuhan Hipotetik Logistik	84
5.5 Nilai ε dan A Model Empiris Logistik dan Model Pertumbuhan Hipotetik Logistik	87
5.6 Periode Kritis Tanaman Bawang Merah akibat Kompetisi Gulma Hasil Perhitungan Menggunakan Model Empiris Logistik, Model Pertumbuhan Hipotetik Logistik dan Metode Nieto <i>et al.</i> (1968)	88
5.7 Nilai F dan p Hasil Analisis Ragam Data Pertumbuhan dan Data Percobaan Metode Nieto <i>et al.</i> (1968) pada Perlakuan Bebas Gulma	89
5.8 Periode Kritis Tanaman Bawang Merah Hasil Prakiraan dan Hasil Perhitungan	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Sifat Iteratif Pembentukan Model Matematika	16
2.2 Kurva Pertumbuhan Berdasarkan Model Logistik (Sarono, 1991)	26
2.3 Diagram Skematik Faktor-faktor yang Berpengaruh terhadap Derajat Kompetisi Gulma	31
2.4 Perubahan Pola Pertumbuhan Bawang Merah Pada Variasi Dosis Pemupukan Nitrogen	33
2.5 Perubahan Pola Pertumbuhan Bawang Merah Pada Variasi Ketinggian Tempat	34
3.1 Kerangka Konseptual Penelitian	45
4.1 Kerangka Operasional Pelaksanaan Penelitian	49
4.2 Denah Percobaan Pertumbuhan pada Masing-masing Lokasi Ketinggian Tempat	56
4.3 Pola Perlakuan Setangkep Metode Nieto <i>et al.</i> (1968)	58
4.4 Denah Percobaan Metode Nieto <i>et al.</i> (1968) pada Masing-masing Ketinggian Tempat	60
4.5 Paparan Secara Grafis Metode Interpretasi Agronomis (Penentuan Periode Kritis) Berdasarkan Konsep LPH Model Empiris Logistik	71
4.6 Paparan Secara Grafis Metode Interpretasi Agronomis (Penentuan Periode Kritis) Berdasarkan Konsep LPM Model Pertumbuhan Hipotetik Logistik	73
5.1 Pola Tebaran Data antara β/γ dengan Dosis N	91
5.2 Pola tebaran Data antara β/γ dengan Ketinggian Tempat	92
6.1 Dendogram Perkembangan Sel secara Mitosis	96

6.2	Pola Perubahan LPM Model Pertumbuhan Logistik Hipotetik Hasil Analisis Matematis	100
6.3	Pola Perubahan Hasil pada Perlakuan Bergulma (Siswanto dan Moenandir, 1986)	103
6.4	Pola Perubahan Hasil pada Perlakuan Bebas Gulma (Siswanto dan Moenandir, 1986)	104
6.5	Pola Perubahan Hasil Pada Perlakuan Bergulma dan Bebas Gulma (Siswanto dan Moenandir, 1986)	105
6.6	Perubahan Pola Perubahan Hasil Pada Variasi Dosis Pemupukan N	115

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Hasil Analisis Vegetasi Sebelum Dilakukan Pengolahan Tanah (Tanam)	129
2. Hasil Analisis Contoh Tanah	130
3. Hasil Analisis Ragam Model Percobaan Tersarang	131
4. Hasil Analisis Data untuk Perancangan Model Empiris	134
5. Hasil Analisis Data Berdasarkan Konsep Nieto <i>et al.</i> (1968)	135

DAFTAR ISTILAH

- Gulma : Tumbuhan jenis rumput (misal alang-alang, teki, grinting, wedusan) yang tumbuhnya salah tempat dan merugikan tanaman budidaya
- Kompetisi : Persaingan interspesifik, yaitu persaingan gulma terhadap tanaman bawang merah.
- LPM : Laju pertumbuhan mutlak (*absolut growth rate*), yaitu penambahan biomassa per satuan waktu (umur tanaman).
- LPH : Laju perubahan hasil, yaitu penambahan biomassa per satuan waktu tanaman bebas gulma.
- Asumsi : Andaian yang harus dipenuhi agar model layak diterapkan.

BAB 1 PENDAHULUAN



1.1 Latar Belakang Permasalahan

Model adalah abstraksi realitas atau aproksimasi suatu sistem atau deskripsi formal unsur-unsur utama suatu permasalahan. Salah satu jenis model adalah model simbolis, yaitu model matematika. Menurut Giordano dan Weir (1985), model matematika adalah konstruksi matematika yang dirancang untuk mempelajari sistem atau fenomena alam (dunia riil). Konstruksi matematika ini dimaksudkan untuk menyederhanakan atau menyarikan sistem yang dipelajari ke dalam bentuk teoritis (Musa dan Nasution, 1988).

Kajian kuantitatif mengenai tanaman harus melibatkan interaksinya dengan lingkungan. Hal ini disebabkan tanaman relatif tidak bergerak (*immobile*) dan penampilannya saat dewasa merupakan penjumlahan (akumulasi) respon antara sifat genetik dan lingkungan sejak perkecambahan. Permasalahan ini mengakibatkan kajian mengenai siklus hidup tanaman menjadi kompleks. Pendekatan Biometri dengan menerapkan model matematika berpeluang dapat digunakan untuk menyederhanakan hal tersebut.

Sistem produksi pertanian merupakan fungsi pertumbuhan selama siklus hidup tanaman. Di dalam sistem produksi pertanian, model matematika dapat diterapkan untuk pengaturan pengairan, penjadwalan panen, penentuan waktu tanam, penentuan pola tanam, pengelolaan hama dan penyakit, perencanaan

penggunaan lahan, penyelidikan pengaruh variasi musim, pemupukan, seleksi varietas dan perencanaan penggunaan lahan jangka panjang (Jones, Mishoe dan Boote, 1987; Graft *et al.*, 1991; Onwueme dan Haverkort, 1991; Thornton, Dent dan Bacsi, 1991). Model juga diterapkan untuk pengelolaan gulma (Wiles *et al.*, 1996; Graf dan Hiil, 1992; Singh *et al.*, 1996).

Penerapan model untuk pengelolaan gulma dapat didekati melalui analisis kompetisi (*interspesifik*) gulma terhadap tanaman budidaya. Derajat kompetisi gulma terhadap tanaman menentukan besar kecilnya penurunan hasil pertanian. Ditinjau dari sisi gulma, faktor yang berpengaruh terhadap derajat kompetisi meliputi jenis, kepadatan, sebaran dan lamanya kompetisi. Dunan *et al.* (1996) mendapatkan bahwa pada tanaman bawang merah, faktor lamanya kompetisi lebih berpengaruh terhadap hasil tanaman dibandingkan dengan faktor kemampuan bersaing dan kepadatan gulma.

Dalam siklus hidup tanaman, mulai saat tanam sampai panen, terdapat suatu periode tanaman peka terhadap kompetisi gulma. Periode ini disebut **periode kritis**. Untuk mempelajari periode kritis, telah tersedia metode percobaan yang dirancang oleh Nieto, Brondo dan Gonzales (1968).

Buchanan (1977) mendukung penerapan metode tersebut dengan cara menuangkannya dalam buku untuk penelitian Ilmu Gulma. Percobaan dengan perlakuan berbentuk setangkup antara periode penyiangan dan bergulma dapat digunakan untuk menentukan saat kompetisi gulma secara nyata menurunkan hasil tanaman dan saat kompetisi gulma menurunkan hasil tidak secara nyata.

Analisis data yang digunakan adalah uji perbandingan (uji F melalui Analisis Ragam dilanjutkan uji t atau uji Duncan atau uji Tukey atau yang lainnya).

Metode percobaan dan analisis data tersebut telah secara luas diterapkan, terbukti dari laporan penelitian yang termuat dalam jurnal-jurnal baik terbitan luar negeri (*Weeds science, Weeds research, Weeds technology*) maupun jurnal terbitan dalam negeri (*Buletin Agronomi, Agrivita*). Namun demikian, sejauh ini interpretasi hasil penelitian masih mengacu pada analisis komparasi dan pertelaan secara grafis menggunakan diagram pencar (*scatter diagram*). Sedangkan model matematika masih belum banyak dikembangkan, sehingga interpretasi yang dilakukan masih bersifat kasar dan tidak dapat digunakan untuk prakiraan. Penerapan model matematika untuk analisis data pada percobaan ini diawali oleh Singh *et al.* (1996). Interpretasi agronomis untuk penentuan periode kritis menggunakan pendekatan "threshold point", yaitu kehilangan hasil sepuluh persen dari hasil maksimal (tanaman bebas gulma). Pendekatan ini memberikan hasil perhitungan periode kritis lebih memadai (dengan interval pergeseran lebih sempit), akan tetapi belum dapat menyediakan metode prakiraan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian pengembangan model matematika di bidang tersebut.

Penelitian pengembangan model dapat dimasukkan ke dalam salah satu dari tiga kategori berikut

- a). menciptakan model matematika;
- b). mengembangkan model-model yang telah ada;

c). mengembangkan aplikasi model pada bidang yang semula bukan bidang yang didekati.

Penelitian pengembangan model pada konteks pembahasan ini termasuk dalam kategori butir c). Pengembangan aplikasi model empiris logistik dari konsep Singh *et al.* (1996) ditujukan untuk mendapatkan metode prakiraan periode kritis. Di samping itu, model pertumbuhan yang semula diaplikasikan untuk mempelajari dan menganalisis pertumbuhan tanaman akan diaplikasikan untuk menganalisis periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma.

Pengembangan model matematika sebagai teknik analisis data hasil percobaan metode Nieto *et al.* (1968) perlu dilakukan. Pada penelitian ini model matematika akan diterapkan terhadap data tersebut, dan interpretasi agronomis untuk penentuan periode kritis dicoba menggunakan pendekatan konsep "**laju perubahan hasil**", selanjutnya disingkat menjadi **LPH**. Model matematika yang dimaksud dan akan diuji pada penelitian ini meliputi :

a). model empiris berbentuk fungsi logistik,

$$W = \frac{b_1}{1 + e^{b_2 - b_3 t}} ;$$

b). model empiris berbentuk fungsi linier,

$$W = b_1 + b_2 t ;$$

c). model empiris berbentuk fungsi kuadrat,

$$W = b_1 + b_2 t + b_3 t^2$$

dalam hal ini

b_1, b_2, b_3 = parameter (koefisien) model

W = Variabel tergantung (biomassa tanaman)

t = umur tanaman (bebas gulma atau bergulma sejak tanam).

Landasan empiris menunjukkan bahwa berdasarkan model a) terdapat suatu periode LPH tinggi (Siswanto dan Moenandir, 1986). Diduga periode ini dapat diinterpretasi sebagai periode kritis.

Metode interpretasi agronomis melalui pendekatan konsep "laju perubahan hasil", memberi peluang diterapkannya model matematika tentang pertumbuhan (disebut model pertumbuhan). Model pertumbuhan yang dimaksud meliputi :

a). model pertumbuhan hipotetik berbentuk fungsi logistik,

$$W = \frac{K}{1 + e^{b-rt}} ;$$

b). model pertumbuhan empiris berbentuk fungsi eksponensial polinomial berderajat dua,

$$W = e^{b_1 + b_2t + b_3t^2}$$

dalam hal ini

b_1, b_2, b_3 = parameter (koefisien) model

t = umur tanaman.

Laju perubahan pada model pertumbuhan disebut "**laju pertumbuhan mutlak**" (*absolut growth rate*), selanjutnya disingkat menjadi **LPM**. Berdasarkan konsep Agronomi dan landaasan empiris hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam siklus hidup tanaman terdapat LPM tinggi (Hewsonn dan Roberts, 1973 ; Wiles dan Wiekerson, 1996). Diduga periode LPM tinggi dapat diinterpretasi sebagai periode kritis tanaman akibat kompetisi gulma. Dengan demikian, perlu dikembangkan metode percobaan mengenai pertumbuhan tanaman. Data hasil percobaan ini dapat digunakan untuk menguji model pertumbuhan.

Derajat kompetisi gulma dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor kondisi tanah (lingkungan tumbuh) yang sangat berpengaruh adalah unsur hara. Pendapat beberapa ahli yang juga didukung oleh landasan empiris hasil penelitian menunjukkan bahwa di antara unsur hara esensial, nitrogen merupakan unsur yang paling diperebutkan. Di samping itu, ternyata keberadaan unsur ini di dalam tanah juga dapat mempengaruhi pergeseran periode kritis (Sukarwo, 1987; Moenandir dan Mardiati, 1990). Di sisi lain, diduga ketinggian tempat juga dapat mempengaruhi pergeseran periode kritis, mengingat pada suhu rendah (dataran tinggi) umur tanaman relatif panjang dibandingkan pada suhu tinggi (dataran rendah). Dapat dipahami bahwa pengaruh faktor-faktor tersebut tidak secara parsial, tetapi secara simultan dan merupakan suatu sistem kompleks. Penerapan model matematika untuk menelaah dan mempelajari sistem ini perlu dikembangkan.

Pendekatan diawali dengan pengujian dan pemilihan model, kemudian dilanjutkan perancangan metode interpretasi agronomis. Untuk memprakiraan pergeseran periode kritis pada variasi dosis pemupukan nitrogen dan ketinggian tempat, perlu dilakukan perancangan model empiris,

$$\text{Koef.} = f(N, E)$$

dengan pengertian Koef. adalah koefisien model, N adalah dosis pemupukan nitrogen dan E adalah ketinggian tempat.

Studi mengenai Biometri ini merupakan upaya pengembangan metode percobaan dan metode analisis data. Upaya ini memerlukan tanaman coba, dan dipilih tanaman bawang merah (*Allium ascalonicum* L.). Pemilihan bawang merah sebagai tanaman coba dengan pertimbangan bahwa bawang merah mempunyai tajuk rendah (lebih kurang 35 cm) dengan sistem perakaran serabut, sebarannya terbatas dan dangkal, sehingga merupakan kompetitor lemah. Oleh karena itu, gulma pada pertanaman bawang merah sangat merugikan. Hal ini menuntut perlunya pengelolaan gulma yang memadai. Hasil survey Tampubolon dkk. (1986), menunjukkan bahwa di Jawa Timur penyiangan gulma dilakukan dengan interval 7-15 hari selama siklus hidup tanaman. Dengan diketahuinya periode kritis, maka penyiangan dapat dilakukan hanya pada periode tersebut, sehingga dapat menekan biaya produksi.

Pertimbangan lain dipilihnya bawang merah sebagai tanaman coba adalah umurnya pendek dan cara budidayanya relatif mudah. Dengan demikian penelitian

mengenai Biometri ini diharapkan tidak menemui banyak kendala dalam hal pengujian model (data empiris mudah didapatkan).

1.2 Perumusan Masalah

Pengelolaan gulma dalam sistem produksi pertanian dapat didekati melalui pemahaman kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman. Kompetisi gulma terhadap tanaman merupakan sistem kompleks. Studi kuantitatif mengenai sistem ini dapat ditempuh melalui pendekatan terhadap pertumbuhan tanaman dan atau hasil tanaman pada percobaan metode Nieto *et al.* (1968). Kedua pendekatan tersebut menerapkan model matematika. Oleh karena itu, dapat diajukan permasalahan yang akan dicari jawabannya melalui penelitian ini sebagai berikut.

1. Model pertumbuhan apa yang dapat digunakan untuk mendekati pola pertumbuhan tanaman bawang merah?
2. Model empiris apa yang dapat digunakan untuk mendekati data hasil percobaan metode Nieto *et al.* (1968)?
3. Bagaimana metode interpretasi agronomis penentuan periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma?
4. Bagaimana merancang model matematika yang dapat digunakan untuk menentukan dan memprakirakan periode kritis tanaman bawang merah pada variasi dosis pemupukan nitrogen dan ketinggian tempat ?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini adalah studi kuantitatif kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman bawang merah melalui pendekatan Biometri dengan menerapkan model matematika. Oleh karena itu, ruang lingkup kajian dibatasi sebagai berikut.

1. Data hasil percobaan lapang hanya digunakan untuk pengujian model matematika, dan tidak dilakukan analisis ragam untuk diinterpretasi perbedaannya.
2. Variabel pengganggu, misalnya kandungan N, P, K tanah, musim tanam, dan keadaan gulma sebelum tanam, tidak dimasukkan ke dalam analisis sebagai peragam (*covariance*), akan tetapi merupakan asumsi model.
3. Pengujian model hanya untuk menilai kesahihan dan memilih (seleksi) model dan tidak untuk kalibrasi model. Oleh karena itu, bentuk model tetap sesuai dengan yang dihipotesiskan dan tidak dilakukan modifikasi.
4. Istilah kompetisi dibatasi pada aspek dimensi waktu, yaitu periode tanaman sangat peka (kritis) terhadap kompetisi gulma (disebut periode kritis).

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini adalah studi kuantitatif pengelolaan gulma melalui pendekatan model matematika. Untuk itu, penelitian mencakup pengujian model, perancangan metode interpretasi agronomis mengenai penentuan periode kritis, dan perancangan model empiris guna memprakirakan periode kritis tanaman

bawang merah akibat kompetisi gulma. Kegiatan-kegiatan ini diharapkan dapat mencapai tujuan sebagai berikut.

Tujuan Umum

Pengembangan dan pengujian rancangan model matematika yang dapat digunakan untuk menganalisis dan mempelajari kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman bawang merah.

Tujuan Khusus

1. Mengaplikasikan dan menguji model pertumbuhan hipotetik berbentuk fungsi logistik dan atau model pertumbuhan empiris berbentuk fungsi eksponensial polinomial berderajat dua terhadap sekuens data pertumbuhan tanaman bawang merah.
2. Melakukan pengujian model empiris berbentuk fungsi logistik (Siswanto dan Moenandir, 1986), linier dan kuadratik terhadap data hasil percobaan metode Nieto *et al.* (1968).
3. Merancang metode interpretasi agronomis (penentuan periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma) berdasarkan model pertumbuhan dan atau model empiris melalui pendekatan konsep perubahan LPM dan atau konsep perubahan LPH.
4. Merancang model empiris mengenai hubungan antara koefisien model pertumbuhan dan atau koefisien model empiris dengan dosis pemupukan nitrogen dan ketinggian tempat yang dapat digunakan untuk menganalisis, mempelajari, dan memprakirakan periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Algoritma perancangan model matematika ini dapat dimanfaatkan sebagai acuan untuk pengembangan model matematika dalam memahami kompetisi gulma terhadap periode kritis berbagai jenis tanaman.
2. Penelitian tentang perancangan model matematika pada kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman bawang merah ini diharapkan dapat menghasilkan :
 - a). metode percobaan untuk penentuan periode kritis;
 - b). metode analisis data yang lebih memadai dan dapat digunakan untuk memprakirakan periode kritis, sehingga penjadwalan penyiangan dapat dilakukan.
3. Hasil penelitian mengenai Biometri ini dapat digunakan untuk menganalisis dan mempelajari kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman bawang merah, hasilnya dapat digunakan sebagai dasar pengelolaan dan pengendalian gulma.
4. Metode percobaan dan metode analisis data tersebut diharapkan dapat membantu perkembangan Ilmu Gulma.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA



2.1 Model

Model adalah suatu konsep yang digunakan untuk menyatakan sesuatu keadaan (permasalahan) ke dalam bentuk simbolik, ikonik atau analog (Meyer, 1987; Mulyono, 1991). Menurut Grant (1986) model adalah abstraksi realitas atau deskripsi formal unsur-unsur utama suatu permasalahan. Pendapat lain dikemukakan oleh Eriatno dan Ma'arif (1987), model adalah aproksimasi atau abstraksi suatu sistem. Sedangkan sistem dicirikan oleh : a) kumpulan materi (*communicating material*) dan proses yang secara bersama membentuk beberapa gugus fungsi atau kegunaan, dan b) keterpautan beberapa proses yang dicirikan oleh lintasan sebab akibat (Grant, 1986).

Pada hakekatnya model adalah perwakilan realitas, oleh karena itu wujudnya harus lebih sederhana. Jadi pemodelan adalah upaya penyederhanaan (simplifikasi) suatu permasalahan. Permasalahan yang dapat didekati menggunakan model bercirikan sistem, misalnya sistem fisika, sistem sosial, sistem biokimia, sistem ekonomi, dan lain sebagainya. Dengan demikian, pemodelan bertujuan untuk mempelajari sistem dengan cara menyederhanakan sistem yang bersangkutan. Penyederhanaan sistem dapat ditempuh dengan cara mempelajari unsur-unsur penyusunnya secara parsial, kemudian mencari tata hubungan dan cara kerja yang ada padanya. Jadi prosedur pemodelan

dapat dilakukan dengan cara mempelajari unsur-unsur sistem secara kompilasi kemudian menghubungkan unsur-unsur bersangkutan sesuai dengan tata hubungan dan cara kerja yang ada.

Model sebagai perwakilan realitas mempunyai bermacam-macam bentuk. Grant (1986) membedakannya menjadi model fisik dan model simbolik (abstrak). Model fisik adalah perwakilan suatu keadaan (permasalahan) baik dalam bentuk ideal ataupun dalam bentuk skala yang berbeda, misalnya foto (berdimensi dua), prototipe mesin (berdimensi tiga), dan lain-lain. Apabila model berdimensi lebih dari tiga, maka tidak mungkin dapat dikonstruksi secara fisik, sehingga diperlukan model simbolik (abstrak). Salah satu model simbolik adalah model matematika (Erianto, 1987; Grant, 1986).

Model simbolik dapat digunakan untuk mengkonstruksi secara simbolik sesuatu keadaan (permasalahan) yang berdimensi lebih dari tiga. Namun demikian, model simbolik juga dapat diterapkan untuk sesuatu keadaan (permasalahan) yang dimensinya lebih kecil dari tiga, misalnya satu atau dua. Dengan kata lain, model simbolik pada hakekatnya lebih luas penerapannya. Pada konteks pembahasan ini, yang dimaksud dengan model simbolik adalah model matematika.

2.2 Model Matematika

Menurut Meyer (1987) model matematika adalah model yang melibatkan konsep matematika, seperti variabel, persamaan, pertidaksamaan dan lain

ebagainya. Definisi bernada aplikatif dikemukakan oleh Giordano dan Weir (1985), model matematika adalah konstruksi matematika yang dirancang untuk mempelajari sistem atau fenomena alam nyata (dunia riil). Konstruksi yang dimaksud adalah upaya perancangan bentuk hubungan antarvariabel, berbentuk persamaan atau pertidaksamaan. Model matematika yang berkembang luas penerapannya berbentuk persamaan. Fungsi atau persamaan tersebut dapat berupa fungsi biasa (linier dan non linier), fungsi diferensial, fungsi beda (*difference function*), atau fungsi integral.

Model sebagai perwakilan realitas harus dapat menggambarkan realitas sedekat mungkin atau simpangannya sekecil mungkin. Oleh karena itu, prosedur perancangan model matematika harus memperhatikan persyaratan tersebut. Perancangan model matematika dapat didekati melalui teori atau fakta empiris. Mekanisme atau proses fisika, proses biologi, proses ekonomi dapat digunakan sebagai dasar penyusunan model matematika, dan model yang terbentuk dinamakan model mekanistik. Di sisi lain, kadang-kadang telah tersedia fakta empiris (berupa data) dan berdasarkan data empiris ini model matematika dapat dirancang, disebut model empiris. Boote, Jones dan Pickering (1996) mengemukakan bahwa selain kedua pendekatan tersebut, juga dimungkinkan untuk menerapkan keduanya secara kombinasi.

Dua pendekatan perancangan model matematika tersebut memerlukan langkah-langkah penyusunan yang berbeda. Namun demikian, secara konsep

langkah-langkah pembentukan model matematika diberikan oleh Giordano dan Weir (1985) sebagai berikut.

Langkah 1 : Identifikasi masalah

Langkah 2 : Membuat asumsi-asumsi

- a. Identifikasi dan klasifikasi variabel
- b. Determinasi hubungan antarvariabel

Langkah 3 : Penyusunan dan penyelesaian model

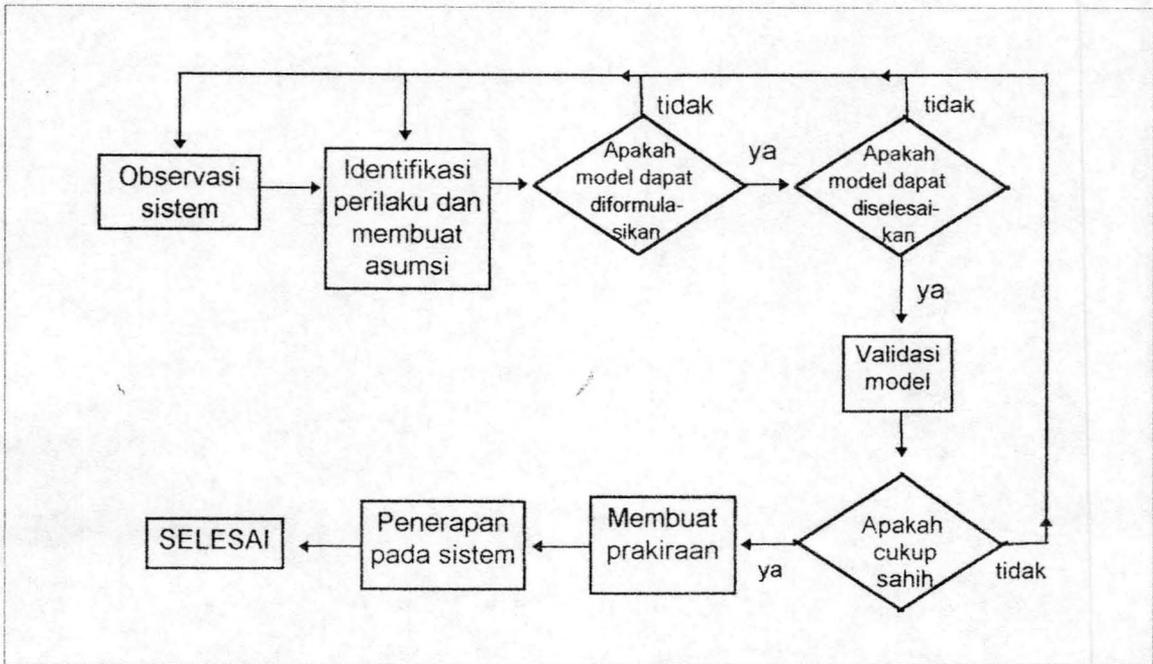
Langkah 4 : Verifikasi model

- a. Apakah sesuai dengan masalah ?
- b. Apakah sesuai dengan akal sehat ?
- c. Uji dengan data riil

Langkah 5 : Implementasi model

Langkah 6 : Memelihara (*maintain*) model

Langkah-langkah tersebut secara skematik disajikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sifat Iteratif Pembentukan Model Matematika
(Giordano dan Weir, 1985)

Deskripsi perancangan model mekanistik meliputi pengkajian teori mengenai mekanisme atau proses suatu sistem. Kajian ini diikuti dengan identifikasi variabel-variabel yang terlibat. Model berbentuk persamaan matematika tersusun dari variabel-variabel dengan bentuk hubungan sesuai dengan proses atau mekanisme sistem yang ditelaah. Penentuan bentuk hubungan dalam model mempunyai syarat sesuai dengan kondisi dan batasan-batasan tertentu, yang selanjutnya dinamakan asumsi-asumsi model. Tahapan berikutnya adalah validasi dan kalibrasi model. Validasi dan kalibrasi model terdiri dari tahapan pendugaan parameter dan penilaian kesesuaian antara hasil dugaan

dengan data empiris. Pada tahapan ini, pemodelan memerlukan data empiris dari apang.

Pada model empiris, data digunakan untuk perancangan dan sekaligus validasi model. Berdasarkan permasalahan yang akan dipelajari, variabel-variabel (data) yang diperlukan dapat diidentifikasi dan dikumpulkan. Bentuk hubungan berupa persamaan matematika dapat didekati melalui pola tebaran data. Pertelaan pola tebaran data dilakukan dengan cara membuat diagram pencaran (*scatter diagram*) antarvariabel yang akan dihubungkan. Kondisi dan persyaratan "percobaan" pencarian data dan batasan-batasan yang diberikan merupakan andaian berlakunya model empiris dan merupakan asumsi model. Validasi dan kalibrasi model empiris sama dengan model mekanistik.

Ditinjau dari segi sifat dan aplikasinya, model empiris dan mekanistik mempunyai perbedaan. Deskripsi sifat dan aplikasi model mekanistik dan model empiris serta beberapa model lainnya diberikan berikut ini.

2.2.1 Model Empiris dan Model Mekanistik

Model empiris pada bidang biologi dibuat berdasarkan data hasil percobaan. Model yang hanya mengandalkan informasi dari data ini biasanya sangat berguna untuk aplikasi masalah yang kurang kompleks. Aplikasi model empiris dapat dilihat pada beberapa tulisan (Klemke dan Moll, 1996; Grundy, Mead dan Bond, 1996; Pachepsky dan Acock, 1996; Singh *et al.*, 1996).

Boote, Jones dan Pickering (1996) mengemukakan bahwa semakin kompleks suatu sistem akan lebih baik didekati menggunakan model mekanistik. Pada bidang Biologi model mekanistik dirancang berdasarkan mekanisme atau respon biologis. Mekanisme atau respon biologis dapat dikaji melalui prinsip fisiologis (Onwueme dan Haverkort, 1991; Jagtap, Mornu dan Kang, 1993), teori sibernetik (Huang *et al.*, 1996), dan lain sebagainya.

Model mekanistik umumnya dinyatakan dalam dua bentuk persamaan matematika. Pertama, formulasi khusus model mekanistik adalah persamaan diferensial. Kedua, biasanya berupa persamaan tidak linier pada parameternya, sehingga algoritma metode kuadrat terkecil (*least square algoritm*) tidak dapat diterapkan. Metode yang dapat digunakan adalah iterasi non linier atau algoritma Metode Kemungkinan Maksimum (*Maximum Likelihood Methods*).

Penerapan model mekanistik bertujuan menghubungkan secara langsung pertumbuhan dan hasil tanaman dengan variasi cahaya, suhu, kelembaban, dan lingkungan tumbuh. Manfaat yang bisa diperoleh adalah untuk menghitung variasi hasil, memahami faktor yang berpengaruh terhadap hasil dan pada akhirnya dapat dipertimbangkan apakah musim dapat dimanipulasi seperti beberapa faktor yang lain (misalnya pemupukan) dalam upaya meningkatkan hasil dan menurunkan biaya. Dengan demikian, model ini dikenal sebagai model "*explanatory*" dengan tujuan penggunaannya untuk penjelasan (*explanation*) dan bukan prakiraan (*prediction*).

Model empiris atau disebut model korelatif adalah model yang menjelaskan hubungan antarvariabel tanpa menghubungkannya dengan struktur biologis atau fisika. Model ini dipilih atau digunakan dengan pertimbangan bahwa model disusun sesuai dengan data dan tujuannya untuk prakiraan. Oleh karena itu, Grant (1986) menyebut model empiris sebagai model untuk tujuan prakiraan dan bukan untuk penjelasan. Pertumbuhan tanaman dapat didekati melalui model empiris (regresi antara variabel pertumbuhan dengan umur tanaman). Pendugaan parameter model dapat dilakukan melalui algoritma Metode Kuadrat Terkecil. France dan Thornley (1984) menyatakan bahwa model empiris mempunyai sedikit kendala (*constraint*), sebaliknya model mekanistik memiliki banyak kendala berupa asumsi-asumsi.

2.2.2 Model Deterministik dan Model Stokastik

Perbedaan mendasar antara model deterministik dan model stokastik terletak pada terlibat atau tidaknya unsur acak dalam model. Model matematika dikatakan deterministik jika tidak mengandung variabel acak, dan memberikan nilai perhitungan yang pasti. Model pertumbuhan seperti Gompertz, Logistic, Richards, Morgan-Merce-Flodin (MMF) dan Weibull-type adalah contoh model deterministik. Model-model tersebut hanya melibatkan variabel W (biomassa) dan variabel t (umur tanaman). Grant (1986) menjelaskan bahwa model deterministik tidak melibatkan sebaran variabel acak dan oleh sebab itu pendugaan hanya dilakukan terhadap parameter model tanpa melibatkan pendugaan ragam

variance). Berdasarkan hal tersebut, penilaian kecocokan (validasi) model umumnya didasarkan pada besar kecilnya simpangan hasil dugaan terhadap data empiris.

Model deterministik dapat diterapkan pada berbagai bidang kehidupan. Proses seperti kelahiran, migrasi, pertumbuhan, kematian dan peluruhan radioaktif merupakan perilaku sistem yang dapat didekati melalui model deterministik.

Model stokastik adalah model yang mengandung unsur acak atau unsur peluang. Oleh karena itu, sebaran variabel acak seperti normal, uniform, binomial, dan lain sebagainya merupakan komponen penting model stokastik. Pada model stokastik selain dilakukan pendugaan parameter juga dilakukan pendugaan ragamnya. Model empiris umumnya bersifat stokastik, sedangkan model mekanistik kebanyakan bersifat deterministik. Terlibatnya pendugaan ragam pada model stokastik memberikan peluang prosedur validasi model menggunakan konsep statistika melalui uji hipotesis. Hipotesis tersebut dapat diuji menggunakan statistik F , t , χ^2 dan lain sebagainya.

Beberapa permasalahan pada bidang biologi dapat didekati melalui model stokastik. Masalah-masalah epidemiologi, dinamika populasi, dan penyelidikan pengaruh ekologis terhadap pertumbuhan tanaman umumnya didekati melalui model stokastik.

2.3 Model Analitik dan Model Simulasi

Model yang dapat diselesaikan melalui pendekatan analisis matematika disebut model analitik. Sebaliknya model yang penyelesaiannya menggunakan pendekatan simulasi disebut model simulasi. Model simulasi kadang-kadang diartikan sebagai model yang dapat digunakan untuk simulasi. Mengacu pada pengertian ini, model yang melibatkan gugusan fungsi secara kompleks dapat dikategorikan sebagai model simulasi, misalnya

$$W = f(t)$$

$$\text{Parameter } f(t) = f(\text{lingkungan})$$

dengan pengertian W adalah biomassa dan t adalah umur tanaman. Penyelesaian model pertama dan kedua secara parsial dapat dilakukan secara analitis. Akan tetapi penyelesaian secara komprehensif lebih mudah dilakukan melalui simulasi, yaitu penyelesaian secara parsial persamaan kedua dan hasilnya disubstitusikan ke persamaan pertama.

Jika diperhatikan, variabel-variabel yang terkait dalam model selalu menghendaki suatu sekuens data bersifat kuantitas. Khusus variabel tergantung (*dependent variable*), misalnya W , sering menghendaki data yang kontinyu dengan skala ukur minimal interval. Data seperti ini umumnya dapat diperoleh dengan cara pengukuran, sehingga ada yang menyebut sebagai data bersifat metriks (terukur).

2.3 Kuantifikasi Pertumbuhan Tanaman

Pendekatan kuantitatif studi mengenai tanaman tidak sederhana (Haberman, 1977), sebab : (a) tanaman relatif tidak bergerak (*immobile*), dan (b) penampilannya saat dewasa merupakan penjumlahan respon dari sifat genetik dan lingkungan (Evans, 1972). Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa lingkungan tumbuh sangat menentukan penampilan tanaman selama siklus hidupnya. Oleh karena itu, studi kuantitatif mengenai tanaman harus dilakukan bersamaan dengan lingkungannya.

Interaksi antara sifat genetik tanaman dengan lingkungan selama siklus hidupnya membentuk sistem kompleks. Alternatif penyederhanaan yang dapat ditempuh adalah pendekatan kuantitatif terhadap pertumbuhannya (Evans, 1972).

Pengkajian pertumbuhan tanaman dapat dilakukan melalui pendekatan klasik atau fungsional. Pendekatan klasik melibatkan perhitungan tingkat rata-rata hasil pada setiap perubahan periode waktu, dan dikenal sebagai pendekatan "*non-curve*". Sedangkan pendekatan fungsional (*curve fitting*) menerapkan model matematika untuk menjelaskan hubungan antara variabel pertumbuhan dengan umur. Causton dan Venus (1981) memberikan contoh tentang hubungan antara variabel pertumbuhan (W) dan umur tanaman (t) dalam bentuk fungsi eksponensial polinomial,

$$W = e^A + Bt + Ct^2 + Dt^3 + \dots$$

dengan pengertian A, B, \dots adalah koefisien (parameter) model.

Tujuan dan kepentingan peneliti menentukan bentuk pendekatan yang akan digunakan, klasik atau fungsional. Hal ini menentukan jenis rancangan dan metode penelitian yang akan diterapkan. Sarono (1991) melakukan tinjauan tentang hal tersebut dan menyarankan pemilihannya berdasarkan pada kriteria :

- a) pada pendekatan klasik sebab kejadian diikuti terus pada selang waktu yang relatif jarang (frekuensi kecil) dengan pengulangan dan pengamatan lebih banyak;
- b) di dalam pendekatan fungsional, untuk membuat kurva, pengambilan data dengan ulangan lebih sedikit, tetapi frekuensi pengamatan lebih sering.

Penyelidikan terhadap siklus hidup tanaman melalui studi kuantitatif mengenai pertumbuhannya lebih relevan menggunakan pendekatan fungsional. Pendekatan ini menerapkan model matematika.

Setelah pemilihan pendekatan ditetapkan, peneliti dihadapkan pada penentuan metode pengamatan (pengukuran) dan pemilihan variabel. Musa dan Nasution (1988) mengemukakan bahwa sekuens data pertumbuhan dapat diperoleh dengan cara : (a) pengamatan berulang (*repeated measurement*) terhadap obyek yang sama, dan (b) pengamatan dari waktu ke waktu terhadap obyek berbeda (misalnya bilamana obyek harus dirusak atau dimatikan). Cara (b) tersebut senada dengan pendapat Evans (1972), bahwa pengukuran pertumbuhan tanaman dapat dilakukan dengan cara memanen beberapa tanaman dengan catatan lingkungan tumbuhnya dijaga homogen. Di sisi lain, Causton dan Venus (1981) berpendapat bahwa untuk mengukur pertumbuhan

tanaman dapat didekati melalui pengukuran berat kering biomassa dan luas daun.

Pengamatan dilakukan pada interval waktu tertentu selama siklus hidup tanaman.

Merujuk pada konsep tersebut, maka penyelidikan mengenai pertumbuhan tanaman dapat ditempuh dengan cara menanam pada lahan percobaan yang homogen. Jika melibatkan faktor lain, misalnya dosis pemupukan, maka rancangan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap. Pengamatan variabel berat kering biomassa dan luas daun dilakukan secara destruktif (memanen) pada interval waktu yang telah ditentukan.

Penerapan model matematika pada pertumbuhan tanaman memberikan beberapa keuntungan. Pendapat Causton yang dikutip Saron (1991) menyatakan bahwa keuntungan penerapan model matematika terhadap data pertumbuhan, antara lain :

- a) fungsi (model) menyediakan ringkasan data yang tepat;
- b) prakiraan sifat pertumbuhan dapat dilakukan dan kehilangan hasil akibat gangguan variasi biologis dapat juga diperhitungkan;
- c) jika didasarkan pada beberapa manfaat biologis, maka dapat menyediakan informasi yang berguna bagi sifat biologis tersebut dan kombinasinya dengan sifat biologis lainnya.

Model matematika yang dapat diterapkan pada pendekatan fungsional terhadap pertumbuhan tanaman disebut model pertumbuhan. Deskripsi beberapa model pertumbuhan diuraikan di bawah ini.

2.3.1 Model Logistik

Model pertumbuhan tanaman umumnya dikembangkan dari model logistik.

Model pertumbuhan logistik dapat berbentuk fungsi diferensial, fungsi beda (*difference function*) atau fungsi biasa. Model logistik dalam bentuk fungsi biasa merupakan persamaan nonlinier,

$$W = \frac{K}{1 + \left(\frac{K}{W_0} - 1 \right) e^{-rt}} \quad (2.1)$$

Model ini dapat disederhanakan dengan cara mengganti

$$\left(\frac{K}{W_0} - 1 \right) = e^b$$

sehingga menjadi

$$W = \frac{K}{1 + e^{b - rt}} \quad (2.2)$$

Dalam bentuk fungsi diferensial adalah

$$\frac{dW}{dt} = W (r - aW) \quad (2.3)$$

dan dalam bentuk fungsi beda adalah

$$W_{(t+1)} = \frac{\lambda W_t}{1 + b W_t} \quad (2.4)$$

dengan pengertian

W , W_0 , W_t = populasi (biomassa), populasi awal dan populasi ke t

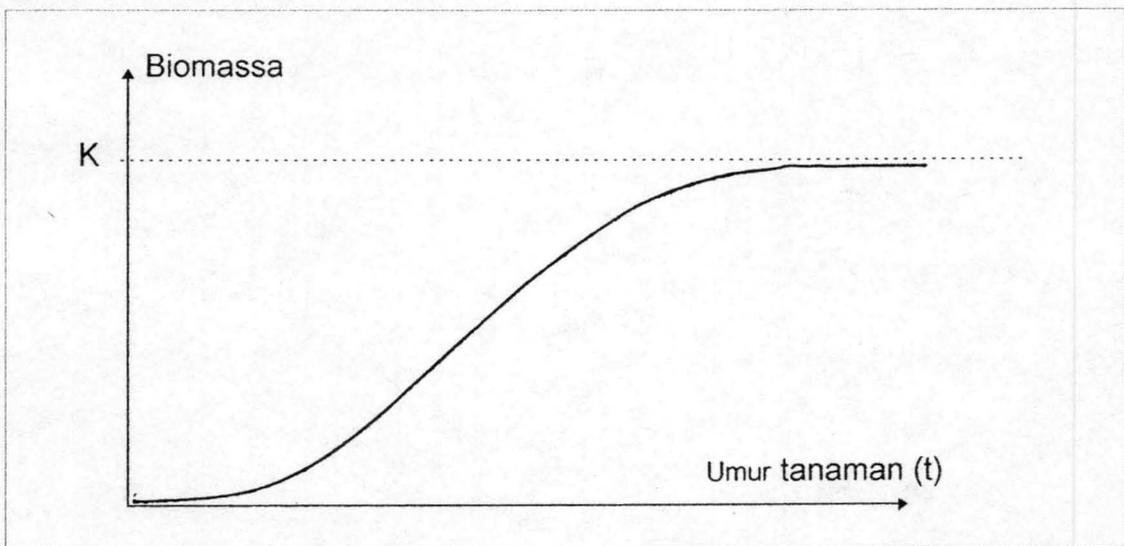
r = laju pertumbuhan intrinsik

a = konstanta penurunan populasi akibat kehadiran individu yang lain

$K = r/a$, adalah daya dukung lingkungan

$$\lambda = e^r$$

Model dalam bentuk persamaan diferensial dan persamaan beda (2.3 dan 2.4) memberikan interpretasi yang baik untuk pertumbuhan populasi (hewan). Sedangkan model pertumbuhan tanaman lebih mudah diinterpretasikan jika berbentuk persamaan biasa (2.2). Model logistik mempunyai kurva berbentuk sigmoid (Gambar 2.2) dengan titik asimtot bawah pada $W = 0$ dan asimtot atas pada $W = K$. Titik balik (*inflection point*) pada $t = b/r$, di mana pada saat ini $W = K/2$ dan LPM mencapai maksimum. Daya dukung lingkungan (K) dapat diduga berdasarkan hasil maksimal (pengamatan terakhir atau data tanaman bebas gulma seluruh siklus hidupnya), sedangkan W_0 adalah data pengamatan pertama (atau data tanaman bergulma selama siklus hidupnya).



Gambar 2.2 Kurva Pertumbuhan Berdasarkan Model Logistik (Sarono, 1991)

Laju pertumbuhan mutlak (LPM) tanaman pada umur t didefinisikan sebagai pertambahan berat kering per satuan waktu,

$$\text{LPM} = \frac{dW}{dt} \quad (2.5)$$

yang pada prinsipnya merupakan slope pada plot antara berat kering biomassa (W) dengan umur tanaman (t).

LPM meningkat pada saat fungsi mulai menjauhi titik asimtot bawah dan mencapai maksimal pada $t = b/r$, kemudian menurun lagi pada saat mendekati asimtot atas. Konsep tersebut berpeluang dapat digunakan untuk menentukan periode kritis tanaman akibat kompetisi gulma.

LPM model logistik adalah

$$\text{LPM} = \frac{dW}{dt} = \frac{rW}{K} (K - W) = rW \left(1 - \frac{W}{K} \right). \quad (2.6)$$

2.3.2 Model Gompertz

Model pertumbuhan Gompertz dikembangkan dari model logistik, berbentuk fungsi sigmoid tidak simetrik,

$$W = K e^{-e^{b-rt}} \quad (2.7)$$

LPM model Gompertz adalah

$$\text{LPM} = \frac{dW}{dt} = rW (\ln K - \ln W). \quad (2.8)$$

Jika akan dibandingkan dengan LPM pada model logistik, maka parameter

$r^* = r \ln K$, sehingga

$$\text{LPM} = \frac{dW}{dt} = r^* W \left(1 - \frac{\ln W}{\ln K} \right) \quad (2.9)$$

model memiliki titik asimtot $W = 0$ dan $W = K$. Titik balik pada $t = b/r$, di mana pada saat tersebut $W = K/e$.

2.3.3 Model Richards

Pengembangan model logistik menjadi model Richards dengan menambah satu parameter, yaitu d :

$$W = K \left(1 \pm e^{b-rt} \right)^{-\frac{1}{d}} \quad (2.10)$$

Tanda \pm menjadi $+$ jika d bertanda positif dan menjadi $-$ jika d bertanda negatif.

Model tidak dapat didefinisikan jika $d = 0$. Jika $d = 1$ model Richards berubah menjadi model logistik. Model Richards diturunkan dari persamaan von Bertalanffy berbentuk persamaan diferensial,

$$\frac{dW}{dt} = \frac{rW}{d} \left(1 - \frac{W}{K} \right)^d \quad (2.11)$$

yang pada dasarnya merupakan LPM model Richards.

2.4 Model Matematika pada Pengelolaan Gulma

Pengendalian gulma, hama dan penyakit, pengaturan pengairan, pemupukan, penentuan pola tanam dan lain sebagainya merupakan unsur-unsur

sistem produksi pertanian. Dengan demikian, pengendalian gulma merupakan bagian dari sistem produksi pertanian.

2.4.1 Model Matematika pada Sistem Produksi Pertanian.

Model matematika dapat diterapkan untuk menganalisis dan mempelajari sistem produksi pertanian. Unsur-unsur sistem produksi pertanian yang dapat didekati melalui model matematika antara lain pengaturan pengairan, pemupukan, pengendalian hama dan penyakit, penentuan waktu tanam dan panen, pengaturan pola tanam, seleksi varietas, prakiraan hasil, perencanaan penggunaan lahan, dan pengaturan penggunaan lahan dalam jangka panjang (Jones, Mishoe dan Boote, 1987; Thornton, Dent dan Basci, 1991).

Kegunaan model matematika di dalam sistem produksi pertanian meliputi penyelidikan, penjelasan dan prakiraan. Graf *et al.* (1991) menerapkan model matematika untuk menyelidiki dan menjelaskan proses penting dalam budidaya padi pada variasi agronomis dan klimatologis. Onwueme dan Haverkort (1991) menerapkan model matematika untuk mendalami pengertian dan penjelasan secara fisiologis dalam upaya meningkatkan hasil serta untuk memprakirakan pengaruh kendala proses produksi terhadap hasil ketela rambat.

Boote, Jones dan Pickering (1996) melakukan tinjauan terhadap potensi dan keterbatasan (limitasi) model matematika tanaman (*crop models*), dan mensintesisnya seperti pada uraian berikut. "*Crop models*" mempunyai potensi :
a) untuk sintesis pengetahuan dalam riset, b) membantu manajemen keputusan

dalam sistem tanam, dan c) analisis kebijakan (*policy analysis*). Model dapat membantu mensintesis pengertian dalam riset (penelitian) tentang interaksi genetik, fisiologis dan lingkungan, integrasi ketiganya dan organisasi data. Model juga dapat digunakan untuk manajemen keputusan tentang teknik budidaya, penggunaan pupuk, pestisida, pengaturan pengairan, dan lain sebagainya. Dalam pembuatan kebijakan, model dapat digunakan untuk memprakirakan erosi tanah, pencucian unsur hara, pengaruh perubahan musim dan lain-lain. Dengan demikian, model matematika juga berpeluang diterapkan untuk pengelolaan gulma.

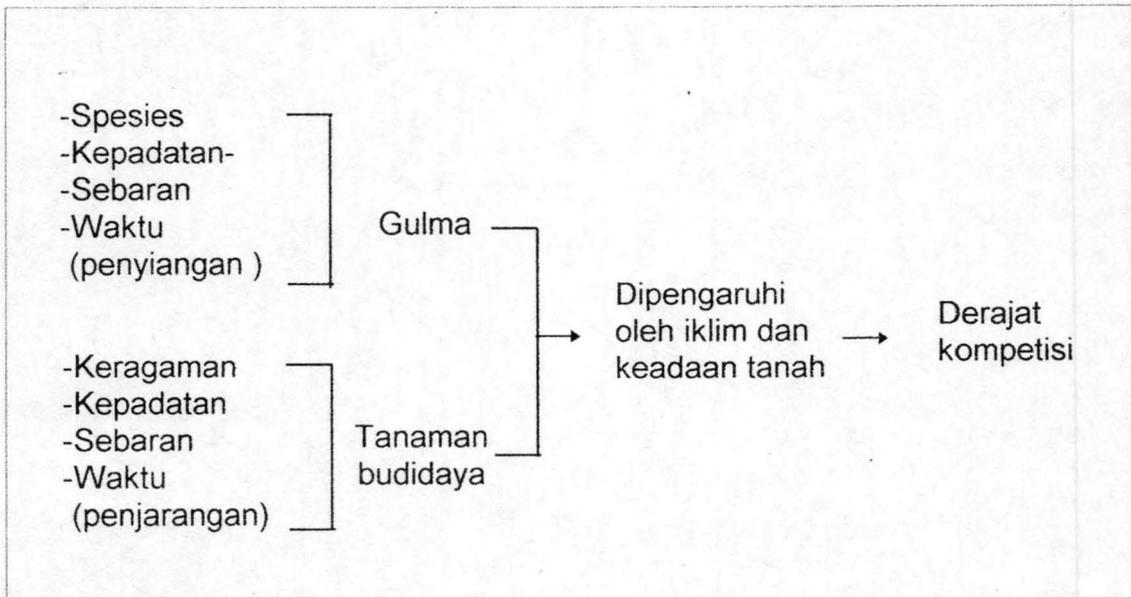
2.4.2 Gulma

Menurut Klingman (1973) dan Moenandir (1986) gulma didefinisikan sebagai tumbuhan yang tidak dikehendaki oleh penanam karena tumbuhnya salah tempat dan merugikan. Tumbuhan ini umumnya merupakan jenis rumput yang mempunyai sifat jelek (*worst weeds*), yaitu mempunyai kontribusi menurunkan hasil pertanian. Hal ini dapat dilihat dari beberapa hasil penelitian seperti terangkum pada Tabel 2.1.

Kompetisi gulma dan tanaman dalam hal memperebutkan unsur-unsur yang dibutuhkan (unsur hara, air, sinar matahari dan ruang tumbuh) terjadi jika unsur-unsur kebutuhan tersebut sudah tidak mencukupi bagi keduanya. Derajat kompetisi gulma terhadap tanaman ditentukan oleh beberapa faktor, seperti dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Tabel 2.1 Kehilangan Hasil Berbagai Jenis Tanaman Akibat Kompetisi Gulma

Jenis tanaman budidaya	Jenis gulma	Kehilangan Hasil (%)	Sumber pustaka
Bawang putih	Teki-tekian	89	William dan Waren (1975)
Tomat	Teki-tekian	53	William dan Waren (1975)
Padi gogo	Grinting	91	Sutrisno, Widaryanto dan Moenandir (1981)
Kedele	<i>Ipomea bederaceae</i>	36	Cordes dan Bauman (1981)
	<i>Chenopodium album</i>	20	Crook dan Renner (1990)
Kapas	<i>Echinochloa crusgali</i>	97	Keely dan Tullen (1991)



Gambar 2.3 Diagram Skematik Faktor-faktor yang Berpengaruh terhadap Derajat Kompetisi Gulma (kutipan dari Bleasdale oleh Zimdahl, 1980)

Dunan *et al.* (1996) mempelajari pengaruh lama kompetisi, kepadatan gulma dan kepadatan tanaman terhadap hasil tanaman bawang merah dan menyimpulkan bahwa faktor yang paling berpengaruh adalah lamanya kompetisi. Penyelidikan pengaruh lamanya kompetisi akan lebih berdayaguna jika dikaitkan dengan periode kritis. Periode kritis didefinisikan sebagai periode yang di luar itu tanaman mampu mentoleransi kompetisi gulma. Selama periode ini tanaman peka terhadap kompetisi gulma.

Pada fase awal pertumbuhan (perkecambahan), unsur hara tanaman diperoleh dari cadangan dalam benih, dan pada akhir fase pertumbuhan tanaman memasuki fase penuaan dan pematangan produknya sehingga relatif tidak memerlukan unsur hara. Fase pertumbuhan awal dan akhir tanaman kurang memerlukan unsur hara dari tanah, sehingga kurang dipengaruhi oleh kompetisi gulma. Periode kritis terjadi di antara kedua fase tersebut. Kondisi lingkungan tumbuh, terutama pemupukan, dapat mempengaruhi pergeseran periode kritis (Tabel 2.2).

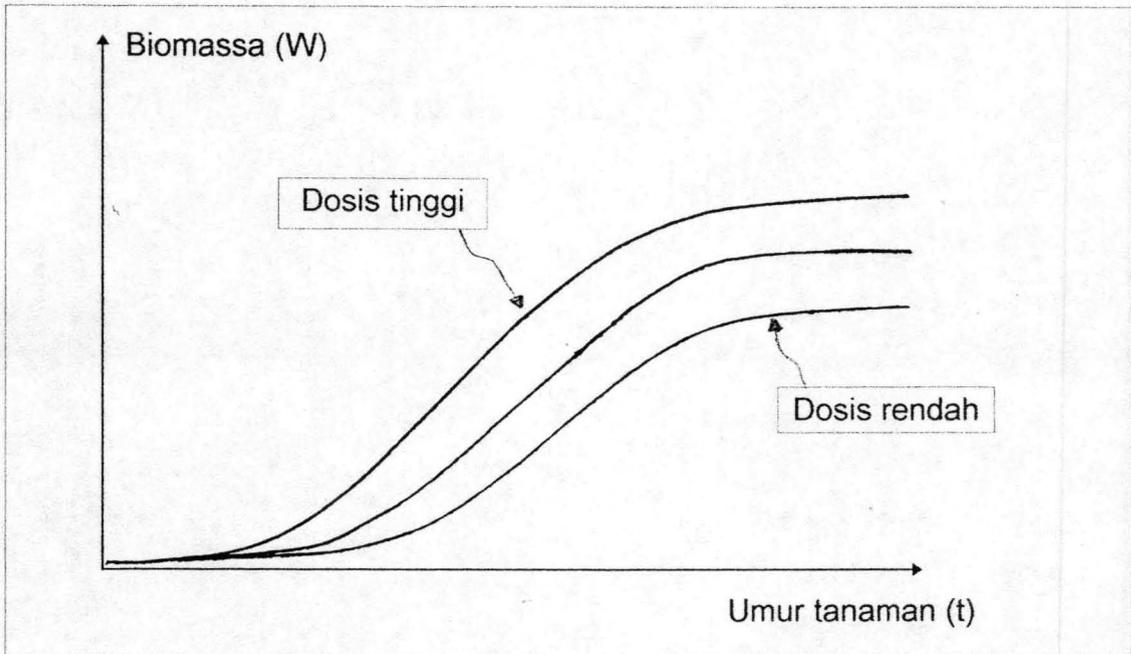
Tabel 2.2 Periode Kritis Beberapa Jenis Tanaman pada Berbagai Cara Bercocok Tanam

Jenis tanaman	Periode kritis *)	Cara budidaya**)	Sumber pustaka
Kacang tanah	42 s/d 63 21 s/d 63	-diberi legin -tanpa legin	Moenandir dan Mardiati (1980)
Padi gogo	0 s/d 40 0 s/d 51 0 s/d 34	-tanpa pupuk N -dipupuk N 60 kg/ha -dipupuk N 120 kg/ha	Sukarwo (1987)

Keterangan : *) dalam hst (hari setelah tanam)

***) jenis gulma yang berkompetisi campuran

Pergeseran periode kritis tampaknya dipengaruhi oleh perubahan pola pertumbuhan tanaman. Pengaruh dosis pemupukan nitrogen terhadap pola pertumbuhan tanaman dapat dilihat pada Gambar 2.4.

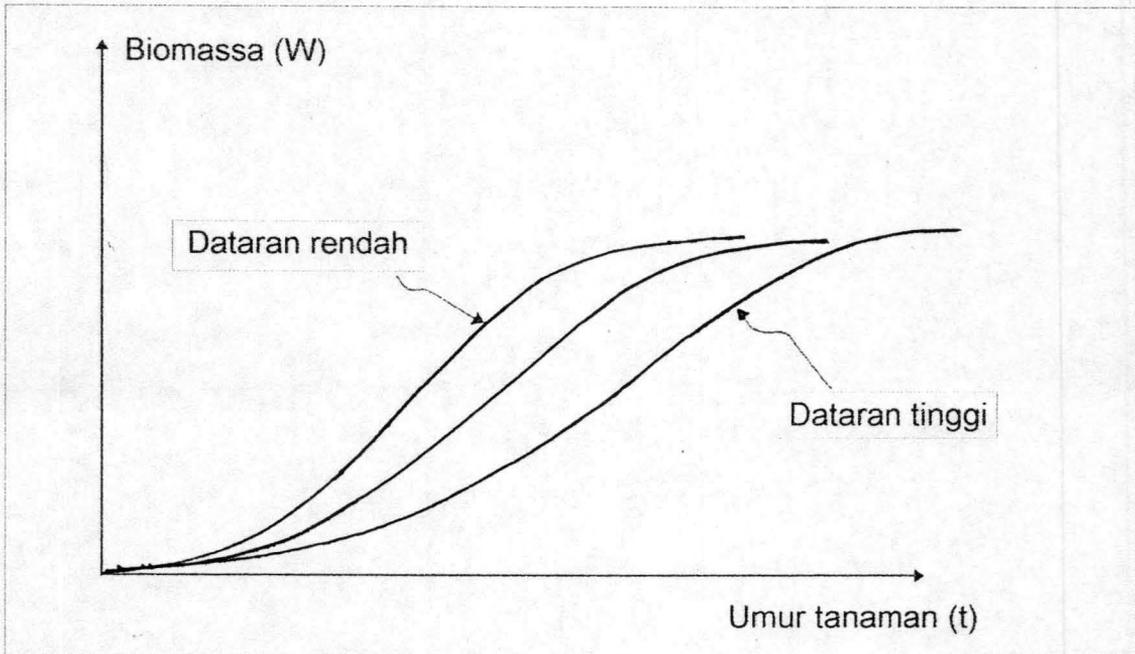


Gambar 2.4 Perubahan Pola Pertumbuhan Tanaman pada Variasi Dosis Pemupukan Nitrogen (Shasha'a, Campbell dan Nye, 1976; Mimbar, 1990; Sulasmi, 1992)

Di samping itu, ketinggian tempat juga berpengaruh terhadap pola pertumbuhan tanaman (Gambar 2.5)

Kerugian yang ditimbulkan oleh gulma dapat berupa penurunan hasil dan peningkatan biaya produksi. Penyelidikan terhadap periode kritis diarahkan untuk mengidentifikasi dan memprakirakan periode tersebut, sehingga pengelolaan gulma dapat dilakukan lebih efektif, efisien dan ekonomis yang pada akhirnya dapat meningkatkan pendapatan melalui pengurangan biaya produksi dan

peningkatan hasil tanaman. Studi mengenai periode kritis tampaknya dapat dilakukan secara kuantitatif melalui pendekatan model matematika.



Gambar 2.5 Perubahan Pola Pertumbuhan Tanaman pada Variasi Ketinggian Tempat (Adisarwanto, 1983; Soetanto, 1990)

2.4.3 Model Matematika untuk Pengendalian Gulma

Model telah secara luas diterapkan untuk pengelolaan gulma. Beberapa hasil penelitian memberikan gambaran bahwa penerapan model dalam pengelolaan gulma dapat dibedakan menjadi tiga kategori.

Pertama, model matematika yang tidak melibatkan umur tanaman, disebut model statik, umumnya digunakan untuk menjelaskan pengaruh kompetisi gulma terhadap hasil. Kehilangan hasil dijelaskan berdasarkan kepadatan gulma (D),

dengan bentuk model

$$YL = \frac{aD}{1 + a \frac{D}{b}} \quad (2.12)$$

dengan pengertian YL adalah *yield losses* (kehilangan hasil), a dan b adalah parameter model (Cousens, 1985; Knezevic, Weise dan Swanton, 1995). Model statistik juga digunakan untuk menjelaskan pengaruh kepadatan gulma dan lamanya persaingan terhadap hasil tanaman. Dieleman *et al.* (1995) menerapkannya pada tanaman kedelai dengan model berbentuk

$$YL = \frac{aD}{e^{bT} + a \frac{D}{c}} \quad (2.13)$$

dengan T adalah lamanya persaingan dan c adalah parameter model. Dunan *et al.* (1996) mempelajari pengaruh gulma terhadap hasil bawang merah berdasarkan model,

$$Y = a + bT + cW + dE + eT^2 + fW^2 + gE^2 + hTW + iTE + jEW \quad (2.14)$$

dengan pengertian Y= hasil tanaman, $W = f(D, c_i)$, c_i = indeks kompetitif spesies gulma ke i, E = kepadatan bawang merah dan d, e, ..., j adalah parameter model.

Pike, Stoller dan Wax (1990) mengaplikasikan model matematika untuk menyelidiki pengaruh gulma terhadap tanaman, melalui pendekatan tingkat agresif gulma yang diukur berdasarkan jaraknya terhadap tanaman,

$$Y = a + b \ln X \quad (2.15)$$

dengan X adalah jarak gulma terhadap tanaman.

Kedua, model matematika yang menyertakan variabel umur tanaman, disebut model dinamik, digunakan untuk menyelidiki pengaruh gulma terhadap tanaman melalui pendekatan pertumbuhannya. Model matematika yang digunakan adalah model logistik (Graf dan Hill, 1992; Barbour dan Bridges, 1995),

$$W = \frac{W_{\text{maks}}}{1 + e^{b-rt}} \quad (2.16)$$

dalam hal ini W_{maks} diduga berdasarkan hasil maksimum, yaitu hasil tanaman bebas gulma selama seluruh siklus hidupnya.

Ketiga, model diterapkan terhadap data hasil percobaan metode Nieto *et al.* (1968). Variabel waktu (t) pada percobaan ini adalah periode tanaman bergulma dan periode tanaman bebas gulma. Singh *et al.* (1996) mengaplikasikan model matematika berbentuk fungsi linier dan logistik,

$$W = a + bt \quad (2.17)$$

$$W = \frac{b}{1 + e^{-c(t-m)}} \quad (2.18)$$

Kategori tersebut dibuat berdasarkan penerapan model sesuai dengan kepentingan peneliti. Untuk itu, Cousens *et al.* (1987) menegaskan bahwa penggunaan model matematika di bidang biologi harus realistis. Dikatakan bahwa model linier dapat tidak realistis, misalnya

$$YL = a + bT + cD \quad (2.19)$$

jika $D = 0$, maka YL masih tergantung pada T , padahal adanya T apabila $D \neq 0$.

Oleh karena itu model non linier merupakan alternatif terbaik.

Secara fisiologis, pertumbuhan tanaman dapat didekati melalui perkembangan sel (mitosis). Mengacu pada proses fisiologis ini, maka model pertumbuhan dapat didekati dengan fungsi eksponensial,

$$W = W_0 e^{rt}$$

akan tetapi karena tanaman selalu terkait dengan lingkungannya dan secara ekologis lingkungan mempunyai daya dukung terbatas, maka model eksponensial dengan sifat naik monoton tidak relevan lagi. Model berbentuk kurva sigmoid dengan titik asimtot bawah pada $W = 0$ dan asimtot atas $W = K$ (daya dukung lingkungan) merupakan model pertumbuhan yang lebih layak,

$$W = \frac{K}{1 + e^{b-rt}}$$

Musa dan Nasution (1988) mengemukakan bahwa keadaan yang dapat diambil oleh peneliti dalam mempelajari fungsi pertumbuhan meliputi : (a) pengujian model hipotetik (deduktif \rightarrow induktif), dan (b) penemuan suatu model yang paling pantas terhadap data empiris (induktif \rightarrow deduktif). Mengacu pada pendapat tersebut, maka model pertumbuhan hipotetik berbentuk fungsi logistik merupakan salah satu model yang berpeluang dapat diterapkan dan diuji untuk keperluan pengelolaan gulma. Analisis perubahan LPM tampaknya dapat memberikan penjelasan mengenai terjadinya periode kritis tanaman. Di sisi lain, penjelasan mengenai periode kritis juga berpeluang dapat dikaji melalui pendekatan LPH model empiris dari data percobaan metode Nieto *et al.* (1968).

Model empiris hubungan antara koefisien model (pertumbuhan dan atau empiris) dengan dosis pemupukan nitrogen dan ketinggian tempat berpeluang dapat dirancang. Model hasil rancangan ini berpeluang dapat digunakan untuk memprakiraan pergeseran periode kritis tanaman bawang merah pada variasi dosis pemupukan nitrogen dan ketinggian tempat.

Aplikasi dan pengujian model membutuhkan data empiris. Data tersebut dapat diperoleh dari percobaan. Untuk itu, sebagai tanaman coba digunakan bawang merah.

2.4.4 Tanaman Coba Bawang Merah

Bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) adalah tanaman yang dapat tumbuh pada kondisi tanah dan iklim dalam kisaran variasi yang luas. Budidaya bawang merah dapat dilakukan di dataran rendah dengan ketinggian 0 - 250 m dpl (di atas permukaan laut) atau di dataran tinggi sampai 1000 m dpl. Tanah yang dikehendaki mempunyai pH mendekati netral, yaitu 5.5 - 6.5 (Direktorat Bina produksi Hortikultura, 1985). Tanaman ini bertajuk rendah (\pm 35 cm), mempunyai sistem perakaran serabut dengan sebaran dangkal dan terbatas. Oleh karena itu, merupakan kompetitor lemah.

Umur tanaman bawang merah relatif pendek, yaitu \pm 85 hari. Sebagai kompetitor lemah, maka kehadiran gulma sangat merugikan. Di samping umurnya

yang pendek teknik budidayanya juga mudah, sehingga dapat dipertimbangkan sebagai tanaman coba.

2.5 Asumsi dan Validasi Model

Absah atau tidaknya model tergantung dari terpenuhi atau tidaknya asumsi yang dikehendaki dan sah (valid) atau tidaknya model untuk mendekati permasalahan yang sedang dipelajari.

2.5.1 Asumsi Model

Asumsi model matematika bersifat spesifik. Pada model mekanistik, mekanisme dan respon biologis terjadi sesuai dengan kondisi yang ada atau sesuai dengan kondisi yang terkontrol (dibatasi). Kondisi lingkungan dan batasan-batasan ini merupakan asumsi-asumsi model mekanistik, misalnya :

- a) distribusi akar homogen;
- b) distribusi daun homogen;
- c) tidak melibatkan mekanisme biokimia

ketiganya adalah asumsi yang diajukan oleh Graf *et al.* (1990).

Model empiris yang mengandalkan informasi dari data mempunyai asumsi sesuai dengan keadaan dan pelaksanaan percobaan serta batasan-batasan yang diberikan, misalnya :

- a) penanaman sesuai dengan musim tanaman;

b) pengendalian hama dan penyakit, pengairan dan pemupukan dilakukan secara optimal;

c) gulma dan tanaman munculnya bersamaan

ketiga asumsi ini diajukan oleh Barbour dan Bridges (1995).

Asumsi suatu model merupakan kendala (*constraint*) penerapan model, artinya model layak diterapkan jika asumsi-asumsinya terpenuhi. Semakin kompleks model berarti semakin banyak unsur sistem yang terkait, dengan demikian asumsinya juga semakin banyak, sehingga semakin sempit penerapannya. Sebaliknya semakin sederhana suatu model, semakin sedikit asumsinya dan penerapannya semakin luas. Apabila asumsi model telah terpenuhi, selanjutnya diperlukan uji kesahihan (*validasi*) model.

2.5.2 Validasi Model

Model harus mampu mewakili permasalahan (*realitas*) yang sedang dipelajari. Hal ini tergantung dari sah (*valid*) atau tidaknya model tersebut. Jadi validasi model adalah upaya pengukuran kesahihan model dalam mewakili realitas yang sedang dipelajari. Boote, Jones dan Pickering (1996) berpendapat bahwa validasi model berarti menentukan derajat kesesuaian antara model dengan data dari lapang. Sedangkan kalibrasi model adalah upaya perbaikan model agar sesuai dengan data, misalnya dengan cara justifikasi parameter atau mengubah bentuk hubungannya.

Telaahan ringkas Pachepsky, Haskett dan Acock (1996) menghasilkan bahwa validasi model secara lengkap tidak mungkin dilakukan, yang mungkin hanyalah meningkatkan kelayakan (*reliability*) model dalam hubungannya dengan suatu permasalahan yang sedang dipelajari. Dengan kata lain, jika model lolos dari beberapa pengujian, hanyalah dapat meningkatkan kelayakannya dan bukan sebagai bukti bahwa model telah sah (*valid*). Dikemukakan bahwa model adalah baik apabila :

- (1) memiliki jumlah parameter minimum;
- (2) sederhana, dengan kesalahan minimum;
- (3) mendasarkan diri pada hukum fisika, kimia dan biologi;
- (4) memiliki simpangan antara dugaan dengan nilai pengamatan empiris minimum;
- (5) mempunyai ragam minimum.

Metode pokok yang digunakan untuk validasi model adalah :

- (1) analisis regresi dan korelasi;
- (2) *goodness-of-fit* (uji F);
- (3) perbandingan nilai tengah (uji t);
- (4) analisis ragam dan peragaman;
- (5) analisis sisaan;
- (6) uji χ^2 untuk normalitas;
- (7) uji Durbin-Watson;

- (8) regresi stepwise;
- (9) korelasi diri (*autocorrelation*);
- (10) uji Williams dan Kloote untuk membandingkan dua model;
- (11) uji Willes untuk membandingkan beberapa model;
- (12) uji Theil's;
- (13) analisis sensitivitas.

Grant (1986) mengemukakan bahwa validasi berbagai jenis model tidak sama. Validasi model stokastik dapat dilakukan melalui uji statistik, sedangkan model deterministik dilakukan dengan cara mencocokkan antara mekanisme yang ada dalam model dengan mekanisme atau proses pada realitas. Konsep yang telah diterapkan secara luas adalah analisis sisaan (*residual, error*). Ukuran yang digunakan berupa RMSE (*root mean square error*), RSS (*residual sum square*), dan simpangan antara dugaan dengan data empiris dari lapangan melalui pengamatan pada kurva dan diagram pencar (Cousens, 1985; Graf *et al.*, 1990; Graf *et al.*, 1991; Dieleman, 1995; Retta, 1991). Konsep statistika lain yang juga luas penggunaannya adalah koefisien determinasi, misalnya oleh Singh *et al.* (1996).

BAB 3

KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN

3.1 Kerangka Konseptual Penelitian

Pemodelan bertujuan mempelajari sistem dan hakekat model adalah perwakilan realitas yang wujudnya lebih sederhana dari realitas itu sendiri. Dengan demikian, pemodelan dapat diartikan sebagai upaya mencari perwakilan realitas berbentuk sistem dengan wujud lebih sederhana. Salah satu jenis model yang telah luas diterapkan adalah model matematika.

Sistem produksi pertanian merupakan fungsi dari kehidupan tanaman. Studi kuantitatif mengenai kehidupan tanaman harus melibatkan lingkungannya. Dengan demikian, ruang lingkup kajian mencakup aspek fisiologi, taksonomi dan ekologi. Keterkaitan aspek-aspek tersebut merupakan suatu sistem kehidupan tanaman yang kompleks. Studi kuantitatif terhadap sistem kehidupan tanaman dititikberatkan pada siklus hidupnya. Penyederhanaan kajian siklus hidup tanaman dapat ditempuh melalui pendekatan terhadap pertumbuhannya. Pada penelitian ini sistem produksi pertanian yang dimaksud adalah pengelolaan gulma. Upaya pengelolaan gulma dapat didekati melalui penyelidikan mengenai kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman.

Tanaman pada awal pertumbuhannya (terutama saat perkecambahan) mengambil unsur hara dari cadangan dalam benih, sehingga kurang memerlukan unsur hara dari tanah. Di sisi lain, pada akhir siklus hidupnya tanaman mengalami proses penuaan dan pematangan produknya, sehingga juga kurang memerlukan

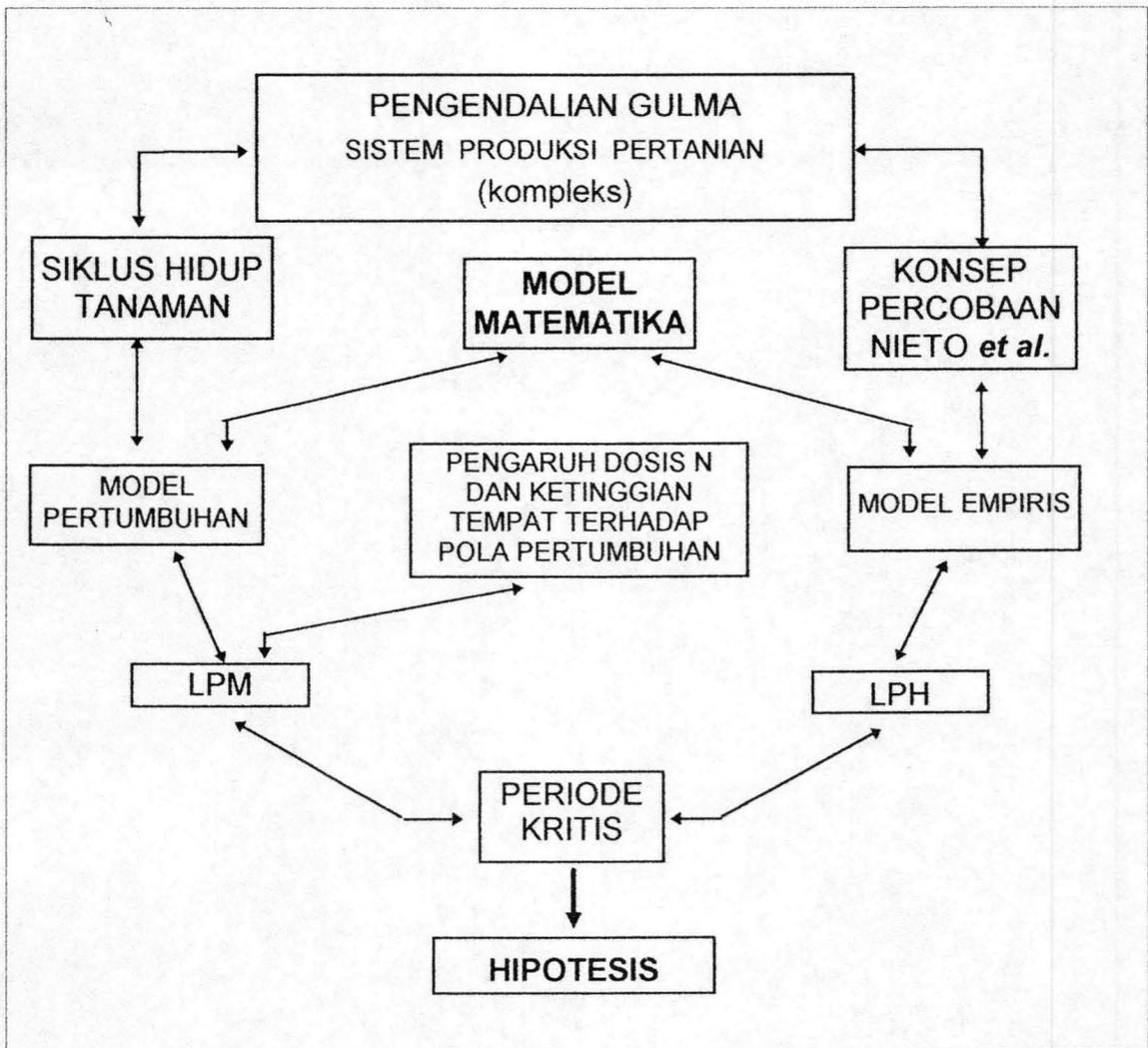
unsur hara dari tanah. Pada periode antara kedua fase tersebut, tanaman memerlukan unsur hara dalam jumlah besar dari tanah untuk mendukung proses pertumbuhan yang cepat, sehingga tanaman sangat peka terhadap kompetisi gulma.

Studi kuantitatif mengenai periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma dapat didekati melalui model matematika. Pendekatan ini memanfaatkan konsep perubahan LPM. Ditinjau dari pola pertumbuhannya, pada fase awal dan akhir pertumbuhan LPM rendah. Di antara kedua fase ini, terjadi pertumbuhan cepat (LPM tinggi). Fase LPM tinggi memerlukan unsur hara dari tanah dalam jumlah besar, sehingga kompetisi gulma sangat merugikan.

Penentuan periode kritis juga dapat didekati melalui konsep perubahan LPH model empiris yang dapat ditemukan dari data hasil percobaan metode Nieto *et al.* (1968). Konsep percobaan ini adalah identifikasi saat gulma secara nyata menurunkan hasil dan saat gulma menurunkan hasil secara tidak nyata. Implementasi konsep ini adalah perlunya percobaan dengan perlakuan berbentuk setangkup antara periode bebas gulma dan periode bergulma. Landasan empiris hasil penelitian Siswanto dan Moenandir (1986), menunjukkan bahwa pola perubahan hasil diawali dengan LPH rendah, kemudian setelah mencapai titik tertentu LPH berubah menjadi tinggi. Periode LPH tinggi ini diakhiri pada titik tertentu dan kemudian LPH rendah kembali. Periode LPH tinggi tersebut diduga merupakan periode tanaman peka terhadap kompetisi gulma (periode kritis).

Variasi dosis pemupukan nitrogen dan penanaman pada ketinggian tempat yang berbeda berpengaruh terhadap pola pertumbuhan tanaman. Hal tersebut akan berpengaruh terhadap LPM, sehingga berpengaruh terhadap pergeseran periode kritis.

Hubungan antarkonsep tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Kerangka Konseptual Penelitian

3.2 Hipotesis Penelitian

Merujuk pada hubungan antarkonsep pada Gambar 3.1, maka dapat diidentifikasi beberapa "pernyataan" (*thesis*) yang kebenarannya harus diverifikasi melalui penelitian ini. Konsep "model matematika" dikaitkan dengan konsep "siklus hidup tanaman" menghasilkan pernyataan mengenai "model pertumbuhan", dan apabila dikaitkan dengan konsep "percobaan Nieto *et al.* (1968)" menghasilkan pernyataan "model empiris". Kaitan antara pernyataan-pernyataan ini dengan konsep "LPM" dan "LPH" serta konsep "periode kritis" membentuk pernyataan bahwa "model matematika dapat diterapkan untuk mempelajari kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman". Pernyataan-pernyataan tersebut merupakan hipotesis yang diajukan pada penelitian ini.

Hipotesis Mayor

Model matematika dapat diterapkan untuk mendekati dan mempelajari kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman bawang merah.

Hipotesis minor

- (1) Pertumbuhan tanaman bawang merah dapat didekati dengan model hipotetik logistik dan atau model empiris eksponensial polinomial berderajat dua.
- (2) Model empiris berbentuk fungsi logistik dan atau kuadratik dan atau linier dapat digunakan untuk mendekati data hasil percobaan metode Nieto *et al.* (1968).

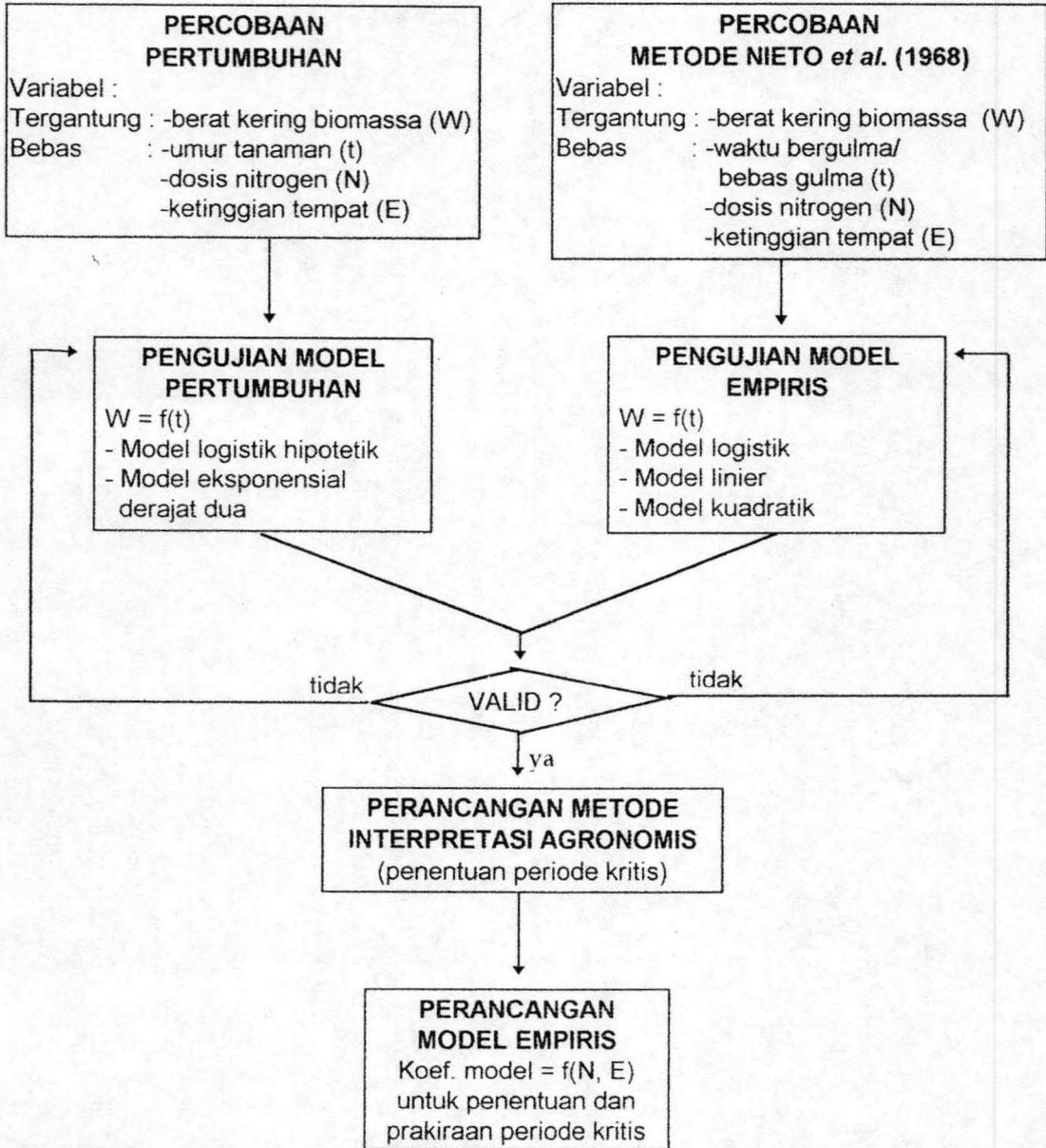
- (3) Pola LPM model pertumbuhan dan atau pola LPH model empiris selama siklus hidup tanaman dapat digunakan untuk merancang metode penentuan periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma.
- (4) Dapat dirancang model empiris hubungan antara koefisien model pertumbuhan hipotetik dan atau koefisien model empiris dengan dosis pemupukan nitrogen dan ketinggian tempat yang dapat diterapkan untuk memprakirakan periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma.

BAB 4

METODE PENELITIAN

Penelitian Biometri ini mencakup : (a) pengujian model hipotetik, (b) pengujian model empiris (dari acuan pustaka yang ada), (c) perancangan metode interpretasi agronomis (penentuan periode kritis), dan (d) menemukan model empiris yang paling pantas terhadap data.

Pengujian model meliputi pendugaan parameter dan pemeriksaan kesahihan (validasi) model. Kegiatan ini memerlukan data empiris. Oleh karena itu, penelitian diawali dengan pelaksanaan percobaan lapang dan berdasarkan data tersebut dilakukan pengujian model. Tahapan berikutnya pemilihan (seleksi) model, kemudian diikuti perancangan metode interpretasi agronomis (penentuan periode kritis). Akhir penelitian adalah pelaksanaan perancangan model empiris yang dapat digunakan untuk memprakirakan periode kritis. Diagram alur tahapan kegiatan penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Kerangka Operasional Pelaksanaan Penelitian

4.1 Percobaan untuk Mencari Data Empiris

Pengujian model pertumbuhan hipotetik logistik dan model pertumbuhan empiris eksponensial polinomial berderajat dua memerlukan sekuens data pertumbuhan. Untuk itu, dilakukan percobaan pertumbuhan tanaman bawang merah. Sedangkan untuk menguji model empiris dilakukan percobaan metode Nieto *et al.* (1968).

Pada percobaan pertumbuhan, variabel pengamatan (*dependent variable*) mengacu pada pendapat Causton dan Venus (1981), yaitu berat kering biomassa tanaman. Pengamatan dilakukan setiap dua minggu sekali dengan cara memanen (Evans, 1972; Musa dan Nasution, 1988).

4.2 Pelaksanaan Percobaan

4.2.1 Tempat dan Waktu Percobaan

Percobaan dilakukan di lapang, bertempat di daerah Malang. Dipilihnya Malang sebagai tempat percobaan dengan pertimbangan bahwa Malang merupakan salah satu daerah sentra tanaman bawang merah di Jawa Timur (Direktorat Bina Produksi Hortikultura, 1985; Diperta Propinsi Dati I Jatim, 1990). Pertimbangan lain, percobaan di Malang diharapkan dapat mewakili budidaya bawang merah dataran tinggi (> 250 m dpl; dpl = di atas permukaan laut).

Waktu pelaksanaan percobaan mulai bulan Februari sampai Juni 1994.

Masing-masing percobaan dilakukan pada tiga lokasi ketinggian tempat, yaitu di Batu (800 m dpl), di Dau (600 m dpl), dan di Malang (450 m dpl). Dalam hal ini, perlakuan pada masing-masing percobaan tersarang (*nested*) dalam ketinggian tempat.

4.2.2 Persiapan Percobaan

Sebelum dilakukan pengolahan tanah, dilakukan analisis vegetasi gulma dengan mengambil sampel di lima tempat pada setiap lokasi ketinggian secara diagonal, masing-masing berukuran 100 x 100 cm². Analisis vegetasi ditujukan untuk mengetahui keadaan gulma, terutama gulma apa yang dominan. Pengamatan dilakukan untuk menghitung nilai SDR (*summed dominance ratio*),

$$\text{SDR} = 1/3 (\text{Kerapatan nisbi} + \text{Frekuensi nisbi} + \text{Dominansi nisbi})$$

dalam hal ini :

$$\text{Kerapatan nisbi} = \frac{\text{Kerapatan mutlak suatu spesies gulma}}{\text{Jumlah kerapatan mutlak seluruh spesies gulma}} \times 100 \%$$

$$\text{Kerapatan mutlak spesies gulma} = \text{Jumlah individu spesies gulma itu dalam seluruh petak sampel}$$

$$\text{Frekuensi nisbi} = \frac{\text{Frekuensi mutlak spesies gulma itu}}{\text{Jumlah frekuensi mutlak seluruh spesies gulma}} \times 100 \%$$

$$\text{Frekuensi mutlak spesies gulma} = \frac{\text{Jumlah petak sampel yang berisi spesies gulma itu}}{\text{Jumlah seluruh petak sampel}}$$

$$\text{Dominansi nisbi} = \frac{\text{Nilai dominansi mutlak suatu spesies gulma}}{\text{Jumlah dominansi mutlak seluruh spesies gulma}} \times 100 \%$$

$$\text{Dominansi mutlak} = \frac{\text{Nilai kelindungan suatu spesies gulma}}{\text{Luas petak sampel}} \times 100 \%$$

$$\text{Nilai kelindungan spesies gulma} = \left\{ \frac{1}{4} (d_1 \times d_2) \right\} \times \pi$$

d_1 = Diameter terpanjang suatu spesies gulma

d_2 = Diameter spesies gulma yang tegak lurus (secara mendatar) dengan d_1

Analisis tanah dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kandungan hara tanah, terutama unsur N, P dan K. Analisis dilakukan di laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.

4.2.3 Pengolahan Tanah

Sebelum tanah diolah, gulma yang tumbuh di atasnya dibersihkan. Satu bulan sebelum tanam, tanah diolah dengan cara dibajak atau dicangkul. Seminggu sebelum tanam, pada tanah yang telah dibajak atau dicangkul, dibuat bedengan dengan tinggi 30 cm dan lebar 110 cm. Jarak antar bedengan 40 cm dengan panjang bedengan untuk percobaan pertumbuhan 660 cm (6.6 m) dan untuk percobaan metode Nieto *et al.* (1968) 1320 cm (13.2 m).

4.2.4 Penanaman Bawang merah

Bawang merah yang digunakan varietas Ampenan, ditanam dengan jarak 25 x 25 cm². Bibit dipotong 1/3 bagian atas satu hari sebelum tanam. Penanaman dilakukan dengan cara menancapkan bibit yang sudah dipotong, pada bedengan yang tanah bagian atasnya telah digemburkan dan disiram, sedalam sampai bibit bagian atas rata dengan tanah. Bibit ditanam dengan posisi tegak dan bagian yang dipotong berada di atas.

Penyulaman dilakukan segera pada tanaman yang tidak tumbuh atau yang mengalami kelayuan. Tanaman untuk sulaman dipersiapkan pada petak cadangan (agar umur tanaman tetap sama). Penyulaman paling lambat dilakukan pada tanaman umur 10 hst (hari setelah tanam).

4.2.5 Pemeliharaan Tanaman

Pangairan dilakukan sesaat setelah tanam sampai tanaman umur 75 hari, setiap pagi dan sore dengan cara pemberian dengan gembor. Parit-parit yang rusak akibat tempaan air hujan atau air gembor diperbaiki agar drainase tetap baik.

Pemupukan dengan dosis 100 kg P dan 100 kg K per hektar sebagai pupuk dasar, diberikan sehari sebelum tanam dengan cara dicampur dengan lapisan tanah atas. Pupuk P yang digunakan adalah TSP (46 % P₂O₅), sedangkan pupuk K adalah KCl (52 % K₂O). Pemupukan P dengan dosis 100 kg/ha setara dengan 217 kg TSP/ha. Pemupukan K 100 kg/ha setara dengan KCl

192 kg/ha. Dosis pupuk N diberikan sesuai perlakuan, dengan cara 1/2 dosis diberikan pada umur 1 minggu dan sisanya pada umur 5 minggu. Pupuk N yang digunakan adalah campuran ZA (21 % N) dan Urea (46 % N) dengan nisbah 4 : 1.

Pengendalian hama dan penyakit dengan insektisida Bayrusil 25 EC 0.2 % dan Dithane M.45 0.2 % sejak bibit tumbuh dengan selang waktu 5 hari sekali atau disesuaikan dengan kebutuhan di lapang. Pengendalian hama tanah menggunakan Furadan 3G dengan dosis 40 kg/ha diberikan bersamaan dengan pemberian pupuk dasar.

4.2.6 Percobaan Pertumbuhan pada Masing-masing Lokasi Ketinggian Tempat

(1) **Pertumbuhan tanaman dijaga agar terhindar dari kompetisi gulma, yaitu dengan melakukan penyiangan dengan interval waktu 5 hari sekali selama siklus hidup tanaman.**

(2) Perlakuan yang dicobakan

Perlakuan percobaan adalah dosis pemupukan N, yaitu :

$$N_0 = 0 \text{ kg N/ha ;}$$

$$N_1 = 50 \text{ kg N/ha (153.85 kg ZA + 38.46 kg Urea);}$$

$$N_2 = 100 \text{ kg N/ha (307.69 kg ZA + 76.92 kg Urea);}$$

$$N_3 = 150 \text{ kg N/ha (461.54 kg ZA + 115.38 kg Urea).}$$

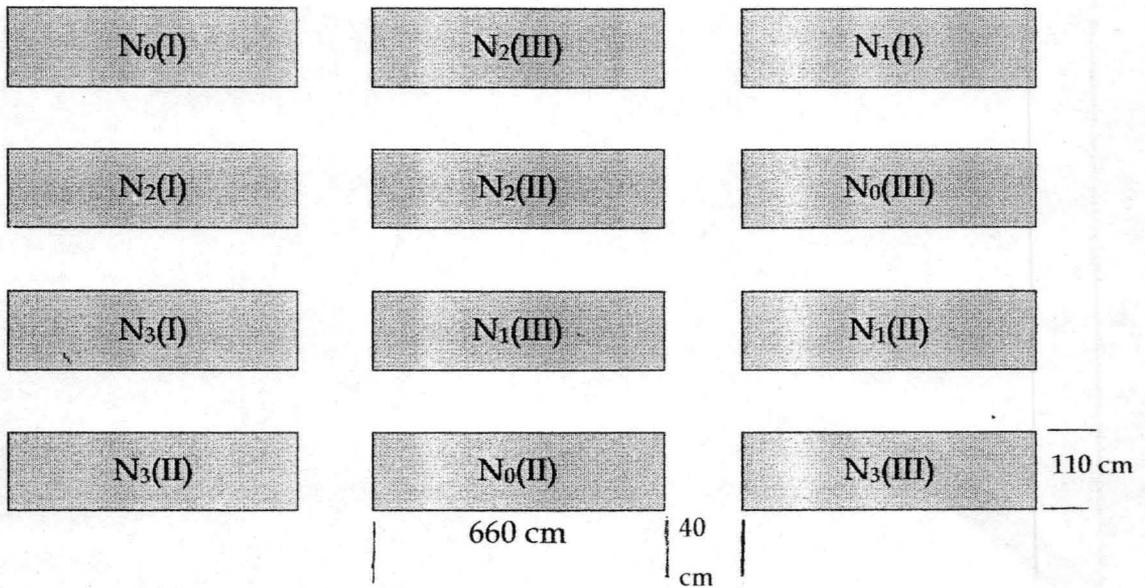
(3) Rancangan Percobaan

Lahan percobaan pada masing-masing lokasi ketinggian tempat (Batu, Dau dan Malang) dipilih yang relatif homogen terutama mengenai kesuburan tanahnya, penyarannya dan sebaran gulmanya. Penempatan perlakuan ke dalam petak percobaan sesuai dengan Rancangan Lingkungan Rancangan Acak Lengkap. Dengan demikian pengukuran pertumbuhan dapat dilakukan dengan cara memanen beberapa tanaman pada selang waktu tertentu (Evans, 1972).

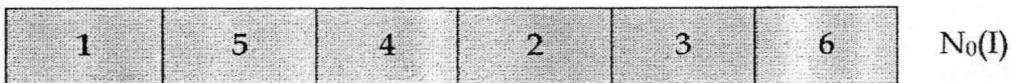
Syarat kesalingbebasan (*independency*) diupayakan dengan cara menanam dengan jarak tanam agak lebar ($25 \times 25 \text{ cm}^2$), pembuatan parit antar bedengan dan pengambilan sampel tanaman yang bukan border (tanaman tepi). Perlakuan diulang tiga kali dengan cara memperbanyak petak percobaan berupa bedengan. Denah percobaan dapat dilihat pada Gambar 4.2.

(4) Pengumpulan Data (Panen)

Panen bawang merah dilakukan dua minggu sekali, diawali umur dua minggu. Sampel diambil secara acak sesuai dengan nomor plot pada denah percobaan Gambar 4.2 (b). Jumlah sampel 9 tanaman (rumpun) untuk setiap kali panen.



(a)



(b)

Gambar 4.2 Denah Percobaan Pertumbuhan pada Masing-masing Lokasi Ketinggian Tempat

(a) denah penempatan perlakuan dan ulangan

(b) nomor menunjukkan waktu panen (ke...) dan diambil secara acak, contoh untuk petak $N_0(I)$

Keterangan : angka romawi menunjukkan ulangan

(5) Variabel Penelitian

Variabel bebas : - waktu (t), yaitu umur tanaman

- dosis pupuk N

- ketinggian tempat

Variabel tergantung : - berat kering biomassa

6) Definisi Operasional Variabel

Waktu (t) : adalah umur tanaman, dihitung mulai saat tanam sampai waktu pengamatan dan dinyatakan dalam hst (hari setelah tanam).

Berat kering (W) : adalah berat keseluruhan tanaman setelah dioven dengan suhu 80° C selama 24 jam. Agar mudah mengeringkannya, bahan yang akan dioven dipotong-potong kecil-kecil dan diupayakan seragam.

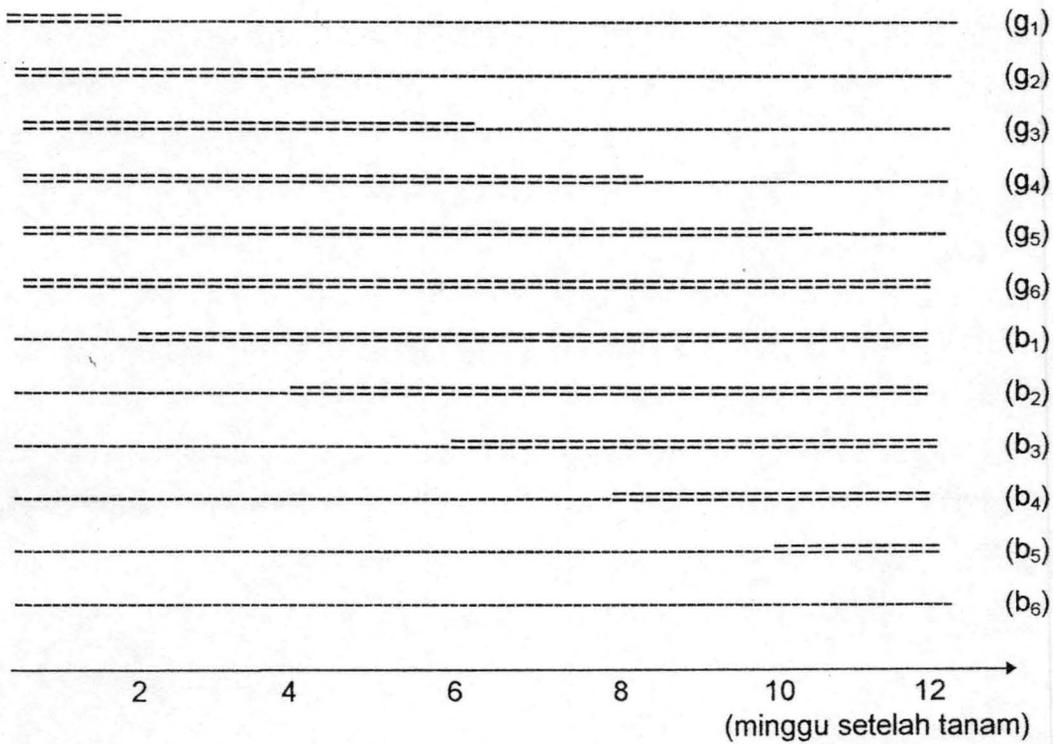
4.2.7 Percobaan Metode Nieto *et al.* (1968) pada Masing-masing Lokasi Ketinggian Tempat

(1) Perlakuan

Perlakuan pada percobaan ini terdiri dari :

- a. Tanaman bebas gulma dan bergulma dengan interval dua mingguan.

Secara visual pola perlakuan disajikan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Pola Perlakuan Setangkup Metode Nieto *et al.* (1968)

Keterangan : (1) ===== = bergulma

(2) ----- = bebas gulma

(3) huruf dalam kurung merupakan kode masing-masing perlakuan, dengan g adalah bergulma dan b adalah bebas gulma.

b. Dosis pemupukan N, yaitu :

$$N_0 = 0 \text{ kg N/ha ;}$$

$$N_1 = 50 \text{ kg N/ha (153.85 kg ZA + 38.46 kg Urea) ;}$$

$$N_2 = 100 \text{ kg N/ha (307.69 kg ZA + 76.92 kg Urea);}$$

$$N_3 = 150 \text{ kg N/ha (461.54 kg ZA + 115.38 kg Urea).}$$

(2) Rancangan Percobaan

Percobaan berbentuk petak terbagi (*split plot*), dengan catatan perlakuan bergulma dan bebas gulma merupakan perlakuan utama dan dosis pupuk N merupakan anak perlakuan. Setiap anak perlakuan diulang sebanyak tiga kali. Penempatan anak perlakuan dan ulangan ke dalam petak utama sesuai dengan Rancangan Lingkungan Rancangan Acak Lengkap. Kemudian masing-masing petak (satuan) percobaan dipecah (*split*) untuk menempatkan perlakuan utama. Satuan percobaan berupa petak berbentuk bedengan, dapat dilihat pada Gambar 4.4.

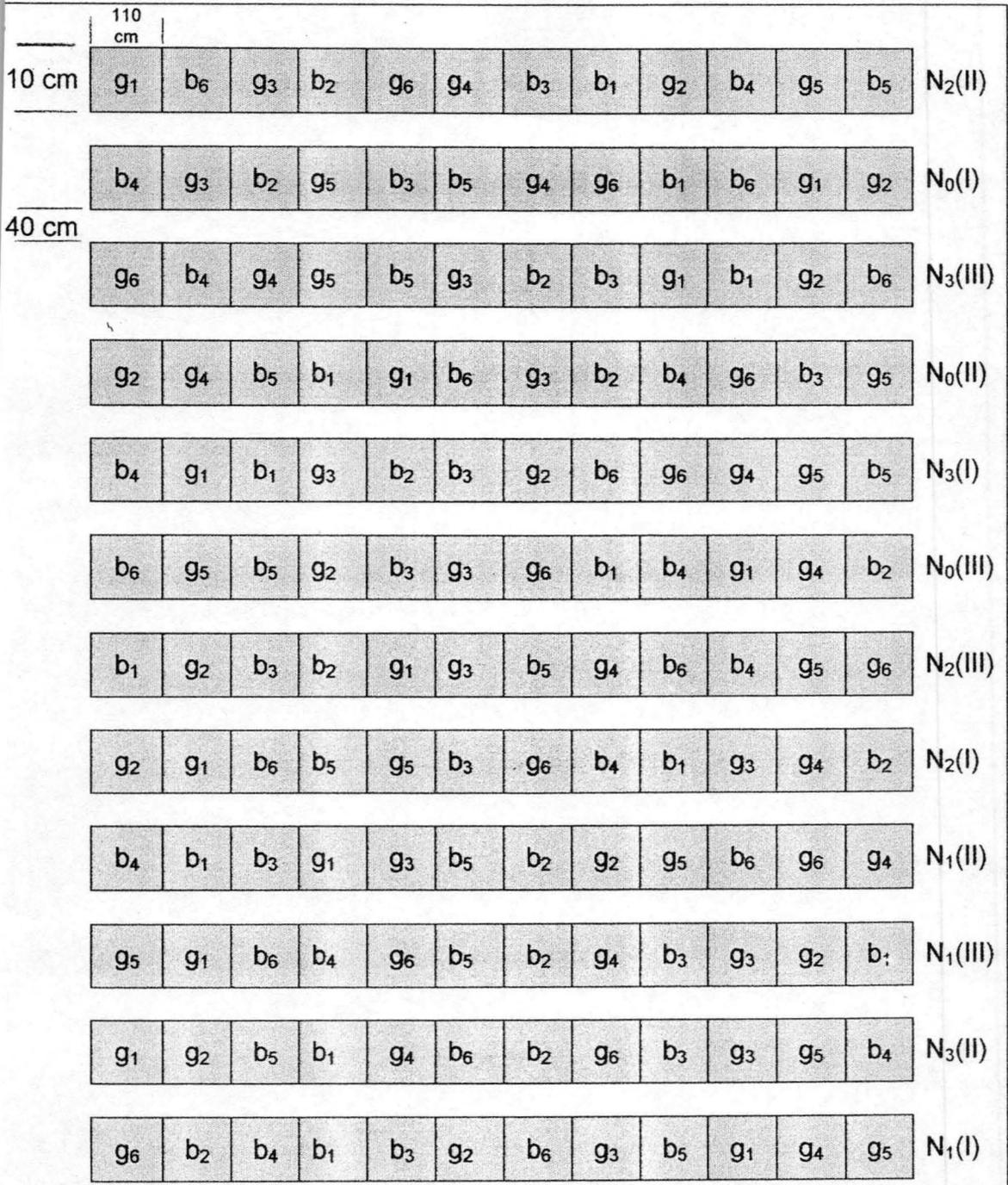
(3) Pengumpulan Data (Panen)

Pengamatan dilakukan pada saat panen (umur 84 hari), dengan cara memanen tanaman bawang merah sebanyak 9 tanaman (rumpun) untuk masing-masing perlakuan.

(4) Variabel Penelitian

Variabel bebas : - waktu (t), yaitu periode tanaman bergulma dan bebas gulma
- dosis pupuk N
- ketinggian tempat

Variabel tergantung : - berat kering biomassa



Gambar 4.4 Denah Percobaan Metode Nieto *et al.* (1968)

Keterangan : huruf dan nomor pada plot merupakan penempatan perlakuan utama

(5) Definisi Operasional Variabel

Waktu (t) : adalah periode tanaman bergulma dan bebas gulma sesuai dengan perlakuan

Berat kering (W) : adalah berat keseluruhan tanaman setelah dioven dengan suhu 80° C selama 24 jam. Agar mudah mengeringkannya, bahan yang akan dioven dipotong-potong kecil-kecil dan diupayakan seragam.

4.3 Asumsi Model

Beberapa keadaan pelaksanaan percobaan dan batasan-batasan yang diberikan membentuk asumsi-asumsi model sebagai berikut.

- a) Pemupukan, selain N, diberikan sesuai dengan kebutuhan optimal tanaman bawang merah, seperti yang telah disebutkan terdahulu.
- b) Pemberian air disesuaikan dengan kebutuhan optimal tanaman bawang merah dan diharapkan tidak terjadi kompetisi memperebutkan air.
- c) Persaingan antarspesies tanaman tidak dibatasi apakah dalam hal memperebutkan unsur hara, cahaya, air, dan faktor lainnya.
- d) Pengolahan tanah, pemberantasan hama dan penyakit dilakukan secara optimal.
- e) Keadaan gulma sebelum tanam sesuai dengan hasil pengamatan (Lampiran 1).
- f) Keadaan unsur hara tanah sebelum tanam sesuai dengan hasil pengamatan (Lampiran 2).

4.4 Pengujian Model

Pengujian model meliputi pendugaan parameter dan pemeriksaan kesahihan (validasi) model. Metode interpretasi agronomis diarahkan untuk rekayasa perancangan suatu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis, mempelajari dan menentukan periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma. Sedangkan perancangan model empiris bertujuan untuk mendapatkan model hubungan antara koefisien model yang sah (valid) dengan kondisi lingkungan (dosis pupuk N dan ketinggian tempat). Tujuannya adalah mengembangkan suatu metode analisis data yang dapat digunakan untuk memprakirakan periode kritis.

Model pada penelitian ini dibedakan menjadi model non linier (*intrinsically non linear*) dan model linier (termasuk *intrinsically linear*, yaitu linier dalam parameter).

4.4.1 Model Non Linier

Model non linier yang dimaksud adalah model pertumbuhan hipotetik logistik,

$$W = \frac{K}{1 + e^{b-rt}}$$

dan model pertumbuhan eksponensial polinomial derajat dua,

$$W = e^{b_1 + b_2t + b_3t^2}$$

Untuk keperluan analisis statistika, model diubah menjadi bentuk stokastik.

Dengan demikian, model logistik menjadi

$$W_i = \frac{K}{1 + e^{b-rt_i}} + s_i$$

dan model pertumbuhan eksponensial polinomial derajat dua menjadi

$$W_i = e^{b_1 + b_2 t_i + b_3 t_i^2} + s_i$$

Pendugaan parameter model non linier menggunakan Metode Kuadrat Terkecil (*least square methods*) dengan Teknik Iterasi Newton Raphson. Prinsip dasar metode tersebut diberikan pada uraian berikut.

Terdapat model non linier

$$Y_i = f(X_i, \theta) + s_i ; i = 1, 2, 3, \dots, n$$

yaitu model dengan variabel tergantung Y, variabel bebas X, galat (*error, residual*) s, dan parameter θ . Galat model (s) didefinisikan sebagai

$$s = (Y - f(X, \theta))$$

dan jumlah kuadratnya adalah

$$s^2 = G(\theta) = (Y - f(X, \theta))' (Y - f(X, \theta)).$$

Prinsip metode kuadrat terkecil adalah upaya mendapatkan penduga parameter model (θ) dengan sasaran meminimumkan jumlah kuadrat galat, $G(\theta)$. Hal ini diperoleh dengan teknik turunan,

$$\frac{\partial G(\theta)}{\partial \theta} = 0$$

sehingga diperoleh persamaan normal (dalam bentuk catatan matriks) :

$$(Y - f(X, \theta)) \frac{\partial f(X, \theta)}{\partial \theta} = 0.$$

Persamaan normal tersebut sebanyak parameter yang akan diduga. Di dalam metode iterasi, jumlah penduga yang terlibat dalam proses iterasi diusahakan seminimal mungkin. Sebagai gambaran diberikan uraian sebagai berikut.

Misal terdapat model eksponensial derajat dua di bawah ini,

$$W_i = e^{b_1 + b_2 t_i + b_3 t_i^2} + s_i$$

Model tersebut memiliki tiga parameter, yaitu b_1 , b_2 , dan b_3 . Pendugaan parameter dengan metode kuadrat terkecil menghasilkan tiga persamaan normal, yang masing-masing mengandung tiga parameter tersebut. Dengan memindahkan dua parameter, misal b_1 dan b_2 , dari persamaan-persamaan normal diharapkan dapat diperoleh persamaan yang hanya melibatkan satu parameter, misal

$$f(b_3) = 0.$$

Nilai yang sebenarnya dari b_3 tidak diketahui. Untuk itu, diperlukan suatu nilai tertentu sebagai nilai awal. Misalnya $b_3^{(0)}$ digunakan untuk memprakirakan nilai b_3 . Persamaan $f(b_3) = 0$ dapat ditentukan akar persamaannya. Jika $b_3^{(0)}$ merupakan penduga dari b_3 dan $b_3^{(1)} = b_3^{(0)} + h^{(1)}$ merupakan akar persamaan

$f(b_3) = 0$, maka $f(b_3^{(1)}) = f(b_3^{(0)} + h^{(1)}) = 0$. Berdasarkan ekspansi deret Taylor

(Taylor series of expansion), diketahui bahwa :

$$f(b_3^{(0)} + h^{(1)}) = f(b_3^{(0)}) + \frac{h^{(1)}}{1!} f'(b_3^{(0)}) + \frac{h^{(1)2}}{2!} f''(b_3^{(0)}) \\ + \frac{h^{(1)3}}{3!} f'''(b_3^{(0)}) + \dots$$

Apabila suku ketiga dan seterusnya pada ruas kanan merupakan residu dan dapat diabaikan, maka menjadi

$$f(b_3^{(0)} + h^{(1)}) = f(b_3^{(0)}) + \frac{h^{(1)}}{1!} f'(b_3^{(0)}) .$$

Sehingga

$$h^{(1)} = - \frac{f(b_3^{(0)})}{f'(b_3^{(0)})} .$$

Selanjutnya dapat diperoleh

$$b_3^{(1)} = b_3^{(0)} + h^{(1)}$$

yang merupakan proses iterasi pertama. Iterasi kedua diberikan sebagai berikut

$$b_3^{(2)} = b_3^{(1)} + h^{(2)}$$

dengan

$$h^{(2)} = - \frac{f(b_3^{(1)})}{f'(b_3^{(1)})} .$$

Dalam bentuk umum,

$$b_3^{(k)} = b_3^{(k-1)} + h^{(k)}$$

dengan

$$h^{(k)} = - \frac{f(b_3^{(k-1)})}{f'(b_3^{(k-1)})}$$

dapat ditulis menjadi

$$b_3^{(k+1)} = b_3^{(k)} - \frac{f(b_3^{(k)})}{f'(b_3^{(k)})}$$

merupakan Teknik Iterasi Newton Rapshon. Proses iterasi dihentikan jika nilai h cukup kecil, misalnya $h < 0.000001$. Yang perlu diperhatikan adalah perlunya penentuan nilai awal yang tepat. Jika pemberian nilai awal tidak tepat, maka proses iterasi tidak konvergen dan akhirnya tidak dapat ditemukan penduga parameter yang diinginkan. Penentuan nilai awal harus didasarkan pada informasi yang relevan, misalnya konsep tentang respon biologi atau berdasarkan asumsi model. Proses perhitungan (analisis) data pada penelitian ini menggunakan paket kemasan statistik (*software of statistics*) SYSTAT Release 5.02. Modul yang digunakan NONLIN dengan sub perintah (*subcommand*) START untuk memasukkan nilai awal.

Nilai awal penduga parameter model logistik ditetapkan sebagai berikut

$$K/b_1 = \text{rerata data terbesar}$$

$$b/b_2 = 1$$

$$r/b_3 = 0.1$$

Nilai awal K/b_1 = rerata data terbesar dengan pertimbangan bahwa parameter tersebut merupakan ukuran daya dukung lingkungan. Sedangkan nilai awal b/b_2 dan r/b_3 ditetapkan berdasarkan informasi empiris.

Pada model eksponensial polinomial derajat dua, nilai awal mengikuti tetapan yang diberikan oleh program paket SYSTAT, yaitu

$$b_1 = 0$$

$$b_2 = 0$$

$$b_3 = 0 .$$

Dipilihnya nol (0) sebagai nilai awal dengan pertimbangan bahwa penduga parameter tersebut dimungkinkan nilainya bertanda positif atau negatif. Angka nol pada kondisi demikian dianggap paling netral, sehingga proses iterasi diharapkan konvergen.

4.4.2 Model Linier

Model linier yang dimaksud adalah linier dalam hal parameternya. Terdapat dua model linier, yaitu berbentuk persamaan linier dan persamaan kuadrat (dalam hal variabel bebasnya),

$$W_i = b_1 + b_2 t_i + s_i$$

dan

$$W_i = b_1 + b_2 t_i + b_3 t_i^2 + s_i$$

pendugaan parameter model linier menggunakan Metode Kuadrat Terkecil Biasa (*Ordinary Least Square*). Dalam bentuk umum, model linier ditulis

$$W_i = b't_i + s_i .$$

Galat (*error; residual*) model

$$s_i = (W_i - b't_i)$$

dan jumlah kuadratnya adalah

$$G^2 = (W_i - b't_i)' (W_i - b't_i).$$

Metode kuadrat terkecil bertujuan mendapatkan penduga parameter dengan kriteria simpangan model minimum. Hal ini dapat dicapai jika jumlah kuadrat galat minimum, dan secara matematis didapatkan jika

$$\frac{\partial G^2}{\partial b} = 0.$$

Sehingga diperoleh persamaan normal (dalam bentuk catatan matriks),

$$t't b = t'W .$$

Penyelesaian persamaan tersebut menghasilkan penduga parameter

$$b = (t't)^{-1} t'W .$$

Proses komputasi menggunakan *software* SYSTAT Release 5.02. Modul yang digunakan MGLH (*multivariate general linear hypothesis*) dengan sub perintah (*subcommand*) REGRESSION.

4.5 Validasi Model

Pengujian kesahihan (validasi) model menggunakan tiga tolok ukur, yaitu keakuratan (*accuracy*), ketelitian (*precision*), dan ketegaran (*robustness*) (Meyer, 1987). Akurasi adalah kedekatan antara hasil perhitungan dengan nilai (keadaan) yang sesungguhnya. Ukuran akurasi yang digunakan adalah koefisien determinasi (R^2),

$$R^2 = 1 - \frac{\text{JUMLAH KUADRAT}_{\text{sisal}}}{\text{JUMLAH KUADRAT}_{\text{total}}}$$

yaitu ukuran besarnya simpangan hasil perhitungan terhadap data empiris hasil pengamatan lapang. Semakin besar nilai R^2 menunjukkan semakin kecil simpangannya. Suatu model dikatakan akurat jika memiliki $R^2 > 95\%$.

Ketelitian adalah tingkat ketepatan, yaitu jika antarindividu data (*datum*) memiliki perbedaan kecil (homogen) maka dikatakan memiliki ketelitian tinggi. Tolok ukur ketelitian yang luas diterapkan adalah ragam (*variance*) dan standart deviasi. Sedangkan ketegaran adalah konsistensi hasil dugaan pada beberapa keadaan data masukan. Pada penelitian ini sebagai tolok ukur ketelitian dan ketegaran digunakan taraf nyata (α) statistik F. Semakin besar nilai F menunjukkan variasi data semakin kecil, dikatakan semakin teliti. Di sisi lain, semakin kecil α menunjukkan semakin kecil risiko salah dalam menyimpulkan, artinya peluang penyimpangan terhadap kesimpulan hasil penelitian semakin kecil. Dengan demikian, semakin kecil nilai α dapat dikatakan semakin tegar. Oleh karena antara nilai F dan α mempunyai hubungan erat, maka untuk melihat tingkat

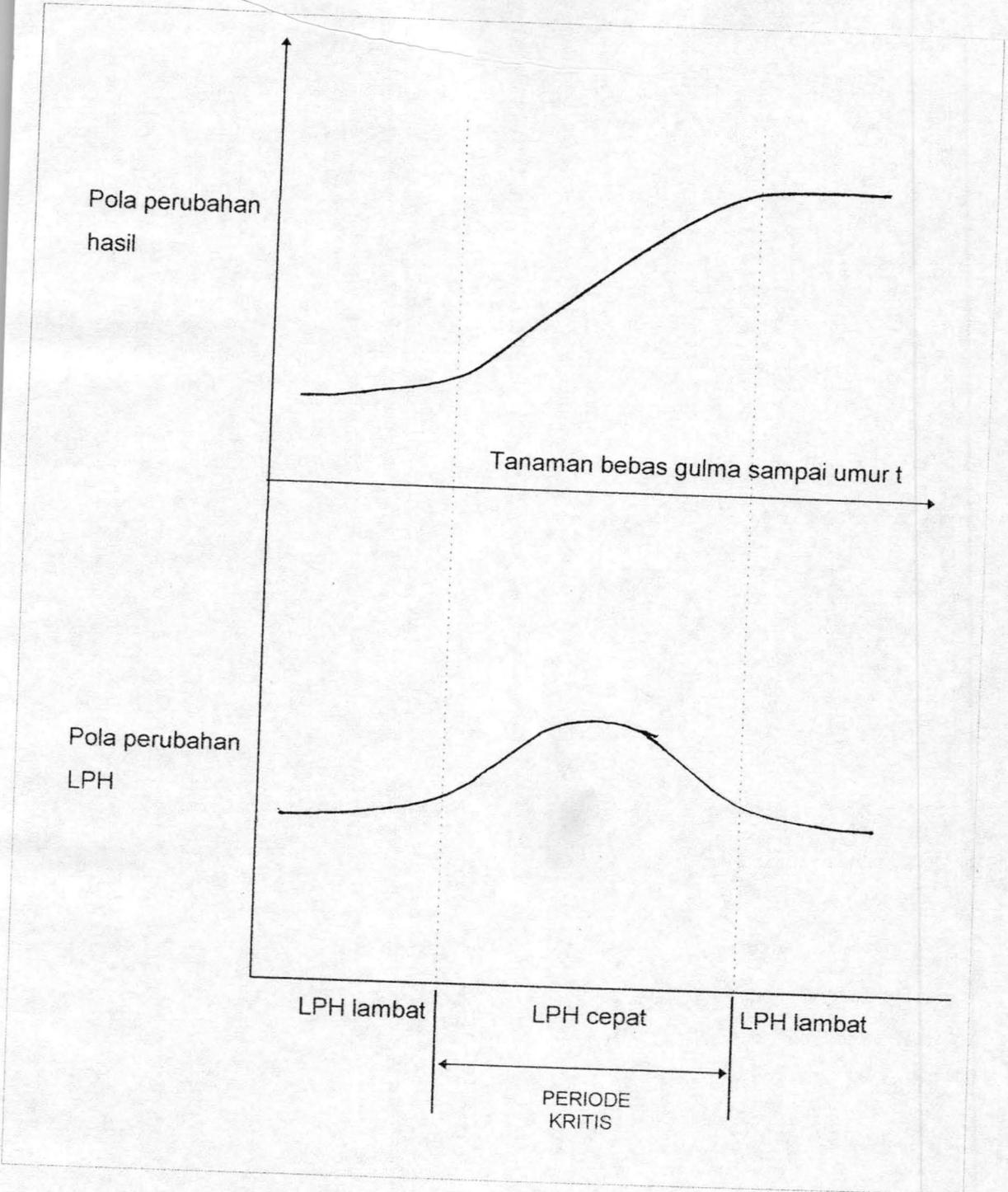
ketelitian dan ketegaran dapat digunakan tolok ukur yang sama, yaitu α . Model dikatakan teliti dan tegar jika mempunyai $p < \alpha = 5\%$.

Berdasarkan uraian tersebut, suatu model dikatakan sah (valid) jika memiliki $R^2 > 95\%$ dan $p < \alpha = 5\%$.

4.6 Perancangan Metode Interpretasi Agronomis

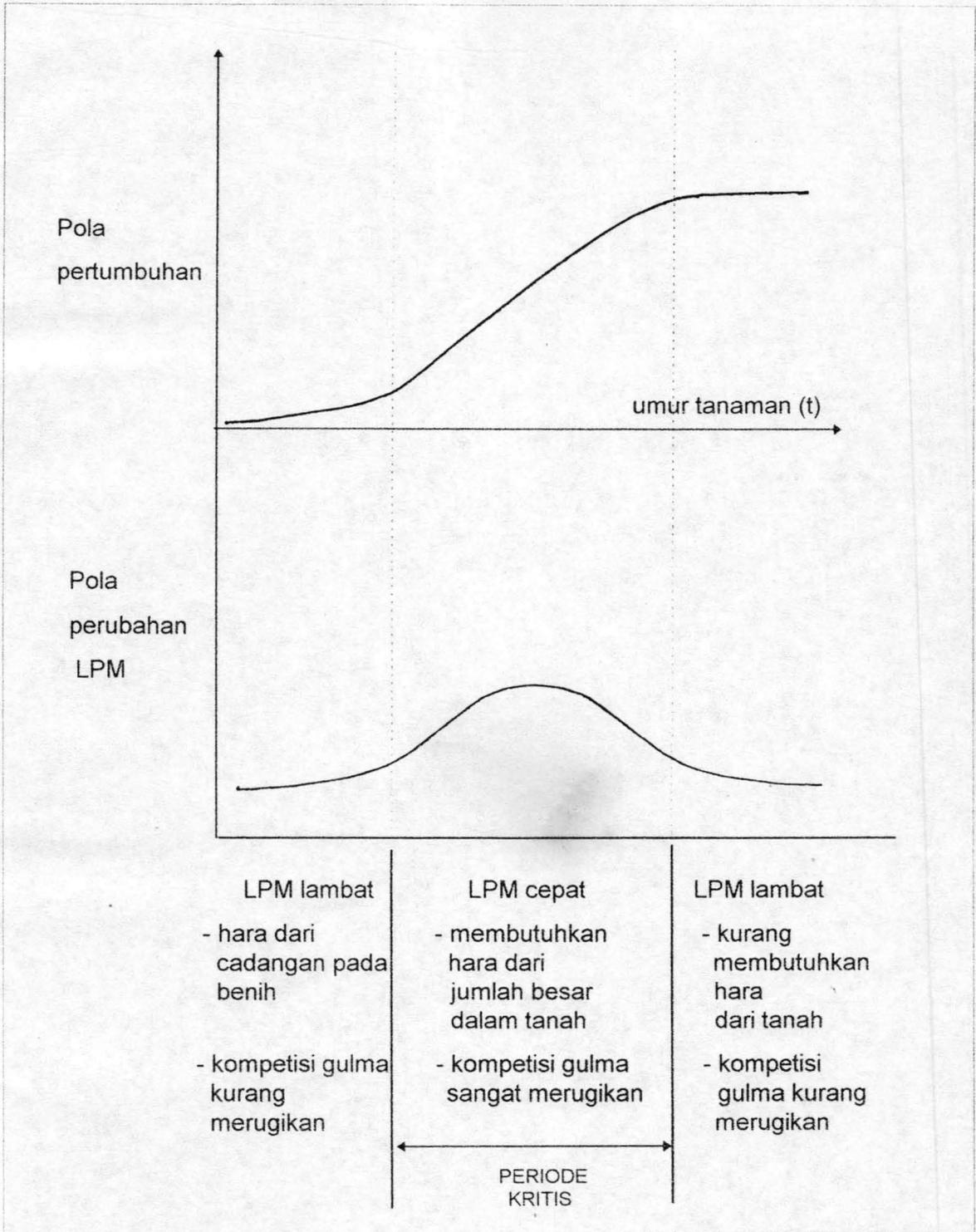
Interpretasi agronomis yang dimaksud adalah penentuan periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma. Perancangan metode interpretasi agronomis didekati melalui konsep perubahan LPM model pertumbuhan hipotetik logistik dan konsep perubahan LPH model empiris logistik.

Konsep percobaan Nieto *et al.* (1968) adalah identifikasi saat gulma secara nyata dapat menurunkan hasil dan saat gulma menurunkan hasil secara tidak nyata. Penurunan hasil secara nyata dapat diidentifikasi berdasarkan perubahan LPH dari tinggi ke rendah. Landasan empiris (Siswanto dan Moenandir, 1986), menunjukkan bahwa nilai LPH diawali dari rendah, kemudian setelah mencapai titik tertentu LPH berubah menjadi tinggi, dan selanjutnya setelah mencapai titik tertentu akan rendah lagi. Periode antara kedua titik perubahan tersebut dapat diinterpretasi sebagai periode kritis tanaman akibat kompetisi gulma. Paparan secara grafis pendekatan tersebut disajikan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Paparan Secara Grafis Metode Interpretasi Agronomis (Penentuan Periode Kritis) berdasarkan Konsep LPH Model Empiris Logistik

Konsep LPM pada model pertumbuhan hipotetik logistik juga digunakan untuk mempelajari periode kritis. Pada saat perkecambahan tanaman mengambil unsur hara dari cadangan dalam benih, sehingga kurang membutuhkan unsur hara dari tanah. Di sisi lain, pada akhir siklus hidupnya tanaman mengalami proses penuaan dan pematangan produknya, tentunya juga kurang memerlukan unsur hara dari tanah. Ditinjau dari pola pertumbuhannya, pada kedua fase tersebut LPM-nya rendah. Di antara kedua fase ini, terjadi pertumbuhan cepat (LPM tinggi), di mana tanaman membutuhkan unsur hara dari tanah dalam jumlah besar. Periode LPM tinggi ini ditandai oleh kompetisi gulma sangat merugikan tanaman dan dapat diinterpretasi sebagai periode kritis. Visualisasi pendekatan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Paparan Secara Grafis Metode Interpretasi Agronomis (Penentuan Periode Kritis) berdasarkan Konsep Perubahan LPM Model Pertumbuhan Hipotetik Logistik

Identifikasi perubahan LPH dan atau LPM dari lambat ke cepat dan sebaliknya dilakukan melalui pendekatan limit.

4.7 Perancangan Model Empiris

Model empiris yang dimaksud adalah bentuk hubungan antara koefisien model (pertumbuhan dan atau empiris terpilih) dengan faktor lingkungan,

$$\text{Koef. model} = f(N, E)$$

dengan pengertian N adalah dosis pemupukan nitrogen dan E adalah ketinggian tempat. Kerangka berpikir yang digunakan adalah konsep perubahan pola pertumbuhan dan atau pola perubahan hasil, dengan catatan perubahan pola ini berpengaruh terhadap bergesernya titik perubahan LPH/LPM tinggi ke rendah dan sebaliknya. Pergeseran titik-titik tersebut berpengaruh terhadap pergeseran periode kritis. Oleh karena itu, sebelum dilakukan perancangan model empiris, perlu dilakukan pengujian pengaruh N dan E terhadap pola pertumbuhan dan pola perubahan hasil menggunakan analisis ragam. Model matematis analisis ragam tersarang adalah

$$W_{ijk} = M + E_i + N_{j(i)} + S_{ijk}$$

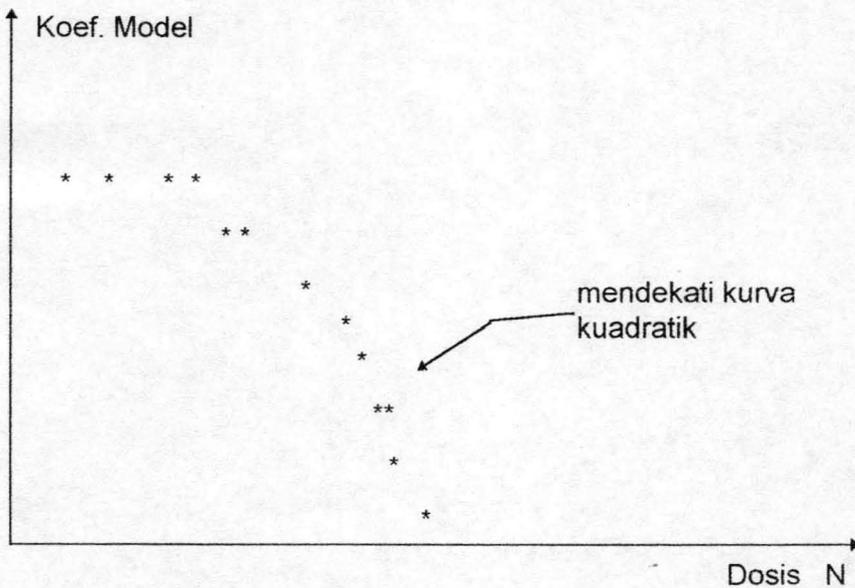
dalam hal ini M = nilai tengah umum

E_i = pengaruh ketinggian tempat ke i

$N_{j(i)}$ = pengaruh dosis N ke j tersarang dalam E ke i

S_{ijk} = pengaruh galat pada E ke i, N ke j dan ulangan ke k.

Model ditemukan berdasarkan kurva pendekatan pada tebaran data (diagram pencar). Jelasnya dapat dilihat pada ilustrasi berikut



Pola tebaran data antara Koefisien model dengan dosis N mendekati kurva kuadratik, sehingga dapat dibuat model sebagai berikut

$$\text{Koef. model} = b_1 + b_2 N + b_3 N^2$$

yaitu model kuadratik.

Model empiris pendekatan harus dapat menggambarkan permasalahan yang dipelajari secara sah (valid). Untuk itu, tahapan berikutnya adalah pengujian model. Prosedur pengujian model mengacu pada uraian sebelumnya.

4.8 Prakiraan Periode Kritis

Cara budidaya dapat mempengaruhi pergeseran periode kritis. Pada penelitian ini, yang ingin dipelajari adalah pengaruh variasi ketinggian tempat dan dosis pemupukan nitrogen. Pemodelan dapat digunakan untuk mempelajari permasalahan tersebut dan dapat menyediakan metode prakiraan periode kritis.

Prakiraan priode kritis pada variasi dosis pemupukan nitrogen dan ketinggian tempat dapat ditempuh melalui tahapan sebagai berikut.

- (1) Menentukan skenario keadaan faktor lingkungan yang ingin diprakirakan periode kritisnya.
- (2) Menyelesaikan model empiris hasil perancangan pada penelitian ini, untuk nilai yang telah ditentukan pada (1).
- (3) Berdasarkan hasil penyelesaian pada (2) dan metode interpretasi agronomis perancangan yang telah dilakukan, maka dapat diprakirakan saat terjadinya periode kritis.

Mengacu pada uraian di atas, maka dapat dibuat skenario variasi dosis pemupukan nitrogen dan ketinggian tempat.

Validasi hasil prakiraan didasarkan pada simpangannya terhadap hasil perhitungan. Penyimpangan yang tidak terlalu besar merupakan indikasi hasil prakiraan cukup sah (valid).

BAB 5

HASIL PENELITIAN

5.1 Pengujian Model

Data hasil percobaan metode Nieto *et al.* (1968) digunakan untuk menguji model empiris logistik, linier dan kuadrat. Tujuan pengujian model adalah menilai apakah model sesuai terhadap data empiris. Pengujian model meliputi pendugaan parameter dan pemeriksaan kesahihan (validasi) model, hasilnya disajikan pada Tabel 5.1 dan 5.2.

Merujuk pada Tabel 5.1 diketahui bahwa model logistik memiliki R^2 di atas 95% dan uji F signifikan pada $\alpha = 5\%$ untuk semua dosis pemupukan nitrogen dan seluruh ketinggian tempat. Dengan demikian, model logistik dikatakan sah (valid). Sedangkan model linier dan kuadrat tidak sah, sebab walaupun uji F signifikan pada $\alpha = 5\%$, akan tetapi koefisien determinasinya rendah, $R^2 < 95\%$.

Oleh karena itu, model empiris logistik layak diterapkan untuk mendekati data hasil percobaan metode Nieto *et al.* (1968) pada perlakuan bebas gulma.

Pada perlakuan bergulma (Tabel 5.2) pendugaan parameter model logistik tidak konvergen. Di samping itu, untuk model kuadrat dan linier walaupun uji F signifikan pada $\alpha = 5\%$, akan tetapi koefisien determinasinya rendah, $R^2 < 95\%$. Dengan demikian, pada perlakuan bergulma tidak diperoleh model sah.

Tabel 5.1 Hasil Pendugaan Parameter dan Koefisien Determinasi Model Empiris Logistik, Linier dan Kuadrat pada Perlakuan Bebas Gulma

Ketinggian tempat	Jenis Model	Dosis N	b ₁	b ₂	b ₃	R ²	F _{hitung}	F _{tabel} 5 %
Batu	Logistik	0	117.181	0.639	0.021	0.992	793.74	3.16 (3, 18)
		50	132.770	0.618	0.018	0.992	749.33	
		100	124.695	0.718	0.021	0.991	628.10	
		150	141.555	0.620	0.017	0.994	993.85	
	Linier	0	40.281	0.578		0.840	121.85	3.13 (1, 19)
		50	47.384	0.586		0.863	112.34	
		100	43.374	0.471		0.856	113.87	
		150	47.963	0.486		0.870	138.25	
	Kuadrat	0	39.613	0.635	-0.0007	0.841	57.72	3.55 (2, 18)
		50	47.131	0.599	-0.0002	0.862	53.24	
		100	43.289	0.478	k	0.856	54.26	
		150	57.866	0.494	k	0.870	65.75	
Dau	Logistik	0	125.462	0.630	0.020	0.993	903.67	3.16 (3, 18)
		50	196.025	0.753	0.023	0.992	778.94	
		100	221.504	0.628	0.018	0.995	1106.5	
		150	236.984	0.582	0.016	0.995	1096.6	
	Linier	0	44.552	0.600		0.885	140.07	4.38 (1, 19)
		50	74.309	1.034		0.888	151.07	
		100	98.132	0.948		0.879	159.37	
		150	115.883	0.934		0.886	139.36	
	Kuadrat	0	44.252	0.626	-0.0003	0.885	69.19	3.55 (2, 18)
		50	54.219	1.042	k	0.888	71.59	
		100	98.075	0.953	k	0.879	75.70	
		150	115.842	0.938	k	0.886	66.22	
Malang	Logistik	0	73.622	1.188	0.047	0.989	435.19	3.29 (3, 15)
		50	95.737	1.862	0.070	0.984	315.01	
		100	111.209	1.435	0.053	0.975	191.92	
		150	116.453	1.392	0.051	0.972	176.72	
	Linier	0	20.556	0.680		0.907	130.31	4.49 (1, 16)
		50	19.383	1.091		0.896	104.96	
		100	29.230	1.060		0.904	75.11	
		150	35.939	1.015		0.891	65.65	
	Kuadrat	0	18.155	0.937	-0.0036	0.918	62.81	4.68 (2, 15)
		50	15.949	1.460	-0.0052	0.905	52.67	
		100	25.386	1.472	-0.0058	0.916	33.71	
		150	31.600	1.480	-0.0066	0.907	30.82	

Keterangan : 1) k = nilainya sangat kecil

2) angka dalam tanda kurung menunjukkan derajat bebas

Tabel 5.2 Hasil Pendugaan Parameter dan Koefisien Determinasi Model Empiris Logistik, Linier dan Kuadratik Pada Perlakuan Bergulma

Ketinggian tempat	Jenis Model	Dosis N	b_1	b_2	b_3	R^2	F_{hitung}	F_{tabel} 5 %
Batu	Logistik	0	tk	tk	tk	-		
		50	tk	tk	tk	-		
		100	tk	tk	tk	-		
		150	tk	tk	tk	-		
	Linier	0	81.655	-0.533		0.862	118.27	4.35 (1, 19)
		50	91.185	-0.537		0.882	142.22	
		100	86.762	-0.578		0.887	149.38	
		150	97.772	-0.613		0.894	160.58	
	Kuadratik	0	87.138	-1.003	0.0056	0.917	99.96	3.55 (2, 18)
		50	95.826	-0.985	0.0047	0.922	107.10	
		100	92.041	-1.030	0.0054	0.932	124.14	
		150	102.732	-1.043	0.0051	0.931	120.66	
Dau	Logistik	0	tk	tk	tk	-		
		50	tk	tk	tk	-		
		100	tk	tk	tk	-		
		150	tk	tk	tk	-		
	Linier	0	89.901	-0.529		0.840	99.79	4.38 (1, 19)
		50	152.358	-0.985		0.844	102.79	
		100	171.716	-0.967		0.871	128.12	
		150	187.26	-0.907		0.915	203.38	
	Kuadratik	0	96.136	-1.064	0.0063	0.911	92.28	3.55 (2, 18)
		50	162.912	-1.890	0.0107	0.903	84.04	
		100	179.363	-1.617	0.0078	0.905	85.25	
		150	192.379	-1.346	0.0052	0.932	124.05	
Malang	Logistik	0	tk	tk	tk	-		
		50	112.718	2.035	0.049	0.982		
		100	150.768	1.667	0.035	0.988		
		150	155.399	1.508	0.032	0.982		
	Linier	0	58.805	-0.639		0.741	45.81	4.49 (1, 16)
		50	87.451	-1.072		0.881	118.67	
		100	99.776	-1.104		0.900	143.33	
		150	106.182	-1.128		0.887	125.94	
	Kuadratik	0	65.831	-1.392	0.0102	0.829	36.29	3.68 (2, 15)
		50	87.575	-1.079	9.474	1.000	69.79	
		100	99.889	-1.110	8.623	0.994	86.21	
		150	106.305	-1.134	9.341	0.992	68.91	

Keterangan : 1) tk = proses iterasi tidak konvergen

2) angka dalam kurung menunjukkan derajat bebas

Pengujian model untuk aplikasi di bidang pertanian juga harus mempertimbangkan kemudahan interpretasi parameternya. Interpretasi tersebut digunakan untuk mempelajari periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma. Parameter b_1 , baik pada model linier maupun pada model

kuadratik menunjukkan perpotongan kurva dengan ordinat (sumbu W) pada absis $t = 0$, yang dapat diartikan sebagai keadaan tanpa pengaruh t . Interpretasi terhadap parameter tersebut dalam konteks penyelidikan periode kritis tanaman sulit dilakukan. Parameter b_2 menunjukkan unit perubahan W berkaitan dengan perubahan t , dan parameter b_3 pada model kuadratik menunjukkan kecekungan (kecembungan) kurvanya. Tampaknya parameter-parameter tersebut juga kurang dapat diinterpretasi.

Pada model logistik, parameter b_1 dapat diinterpretasi sebagai kapasitas daya dukung lingkungan. Dalam konteks kajian periode kritis, besaran ini dapat digunakan untuk mendekati hasil maksimal. Nisbah antara b_2 dan b_3 adalah titik balik (*inflection point*). Diketahui bahwa model logistik merupakan model simetris pada titik tersebut. Pada titik ini, variabel $W = b_1/2$ dan LPH mencapai maksimal. Dengan diketahuinya nilai b_1 dan b_2/b_3 maka model logistik berpeluang dapat digunakan untuk mempelajari periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma.

Berdasarkan uraian di atas, dapat dikatakan bahwa model empiris logistik merupakan model yang berpeluang dapat diterapkan untuk mendekati data hasil percobaan metode Nieto *et al.* (1968) pada perlakuan bebas gulma. Pengkajian periode kritis tanaman bawang merah melalui pendekatan Biometri dapat menerapkan model tersebut. Di samping itu, penyelidikan periode kritis tanaman bawang merah juga dicoba didekati melalui model pertumbuhan.

Percobaan pertumbuhan menghasilkan sekuens data pertumbuhan. Data tersebut digunakan untuk menguji model pertumbuhan hipotetik logistik dan model pertumbuhan empiris eksponensial polinomial berderajat dua. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Fakta empiris pada Tabel 5.3 menunjukkan bahwa koefisien determinasi (R^2) sangat tinggi baik pada model pertumbuhan hipotetik logistik maupun pada model pertumbuhan empiris eksponensial polinomial berderajat dua, di atas 99 %. Di samping itu, uji F juga signifikan pada $\alpha = 5\%$ untuk semua dosis pemupukan nitrogen dan seluruh ketinggian tempat. Hal ini menunjukkan bahwa secara empiris (induktif) kedua model tersebut adalah sah dan dapat diterapkan untuk mendekati data percobaan pertumbuhan. Akan tetapi jika dikaitkan dengan interpretasi terhadap parameternya, maka penerapan model pertumbuhan logistik berpeluang lebih besar. Parameter b_1 , b_2 dan b_3 pada model pertumbuhan eksponensial secara analisis matematis belum banyak diungkapkan, sehingga interpretasinya pada bidang produksi pertanian juga belum dapat dilakukan.

Tabel 5.3 Hasil Pendugaan Parameter dan Koefisien Determinasi Model Pertumbuhan Hipotetik Logistik dan Model Pertumbuhan Empiris Eksponensial Polinomial Derajat Dua

Ketinggian tempat	Jenis Model	Dosis N	Koef1*)	Koef2*)	-Koef3*)	R ²	F _{hitung}	F _{tabel} 5 %
Batu	Logistik	0	88.519	5.271	0.126	0.997	1847.75	3.34 (3, 14)
		50	92.936	4.969	0.123	0.999	3318.00	
		100	95.648	6.378	0.164	0.996	1226.75	
		150	91.975	5.381	0.142	0.997	1794.37	
	Eksp.	0	0.684	0.104	-0.001	0.983	572.73	3.34 (3, 14)
		50	0.758	0.104	-0.001	0.991	613.09	
		100	0.556	0.111	-0.001	0.992	311.44	
		150	0.707	0.110	0.001	0.990	468.61	
Dau	Logistik	0	89.942	5.422	0.129	0.992	885.89	3.29 (3, 15)
		50	139.671	6.871	0.165	0.998	2806.33	
		100	148.644	6.280	0.150	0.997	1630.51	
		150	143.144	7.559	0.182	0.998	2148.10	
	Eksp.	0	0.186	0.118	-0.001	0.990	540.89	3.29 (3, 15)
		50	0.342	0.127	-0.001	0.991	446.07	
		100	0.555	0.119	-0.001	0.993	433.27	
		150	0.219	0.132	-0.001	0.993	425.60	
Malang	Logistik	0	57.752	4.726	0.126	0.995	675.16	3.59 (3, 11)
		50	66.277	6.117	0.169	0.998	1936.00	
		100	68.315	6.641	0.188	0.994	6041.03	
		150	66.601	6.469	0.186	0.997	1325.56	
	Eksp.	0	-0.311	0.141	-0.001	0.989	647.96	3.59 (3, 11)
		50	-0.757	0.159	-0.001	0.996	530.28	
		100	-0.099	0.135	-0.001	0.990	193.65	
		150	-0.205	0.143	-0.001	0.993	272.89	

Keterangan : 1) Eksp. = eksponensial polinomial derajat dua

2) angka dalam kurung menunjukkan derajat bebas

3) Koef1*) = K untuk model logistik dan = b_1 untuk model eksponensial

4) Koef2*) = b untuk model logistik dan = b_2 untuk model eksponensial

5) Koef3*) = r untuk model logistik dan = b_3 untuk model eksponensial

Pengujian model menghasilkan suatu kriteria kesahihan (validasi) masing-masing model. Kriteria tersebut digunakan sebagai tolok ukur pemilihan (seleksi) model. Berdasarkan fakta empiris hasil analisis data dan analisis matematis, diperoleh bahwa model logistik berpotensi diterapkan untuk mendekati baik

terhadap data hasil percobaan metode Nieto *et al.* (1968) maupun terhadap data pertumbuhan. Perancangan metode interpretasi agronomis didasarkan pada konsep perubahan LPH model empiris logistik dan atau konsep perubahan LPM model pertumbuhan hipotetik logistik.

5.2 Interpretasi Agronomis (Penentuan Periode Kritis)

Model logistik simetris terhadap titik balik dan titik tersebut tercapai saat tanaman umur $t = b/r$ atau $= b_2/b_3$. Pada saat itu LPH/LPM maksimal dan semakin menurun sejalan dengan umur tanaman yang bertambah tua (muda). Terdapat suatu umur saat LPH/LPM berubah dari tinggi ke rendah. Umur tersebut dapat didekati melalui kriteria penurunan hasil secara nyata terhadap hasil maksimal. Dengan mempertimbangkan sifat simetris model logistik dan diperolehnya nilai b/r atau b_2/b_3 , maka periode kritis tanaman akibat kompetisi gulma dapat ditentukan. Nilai b/r dan b_2/b_3 hasil analisis disajikan pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Nilai b_2/b_3 Model Empiris Logistik dan b/r Model Pertumbuhan Hipotetik Logistik

Ketinggian tempat	Dosis N	Nilai b_2/b_3 Model empiris	Nilai b/r Model hipotetik
Batu	0	30.4286	41.8333
	50	32.5263	40.3984
	100	34.1905	38.9451
	150	36.4706	37.8944
Dau	0	31.5000	42.0310
	50	32.7391	41.6424
	100	34.8889	41.8667
	150	36.3750	41.5330
Malang	0	25.2766	37.5079
	50	26.6000	36.1953
	100	27.0755	35.3245
	150	27.2941	34.7796

Penentuan periode kritis melalui pendekatan model logistik memerlukan dua kriteria, yaitu nilai b_2/b_3 atau b/r dan titik saat terjadi perubahan LPH/LPM dari tinggi ke rendah. Titik tersebut dapat diidentifikasi melalui metode limit dengan bantuan kriteria penurunan hasil secara nyata (Nieto *et al.* 1968). Analisis matematis untuk pendekatan tersebut diuraikan sebagai berikut.

Pada model pertumbuhan hipotetik logistik

$$W = \frac{K}{1 + e^{b-rt}} \quad (5.1)$$

untuk t menuju ∞ , maka W menuju K , artinya untuk setiap $\varepsilon > 0$ terdapat bilangan $m > 0$ sehingga pada $t > m$ terdapat

$$|W - K| < \varepsilon \quad (5.2)$$

Substitusi persamaan (5.1) ke dalam persamaan (5.2) menghasilkan

$$\left| \frac{K}{1 + e^{b-rt}} - K \right| < \varepsilon$$

kemudian dijabarkan menjadi

$$\left| \frac{-K e^{b-rt}}{1 + e^{b-rt}} \right| < \varepsilon$$

$$K e^{b-rt} < \varepsilon + \varepsilon e^{b-rt}$$

$$(K - \varepsilon) e^{b-rt} < \varepsilon$$

$$e^{b-rt} < \frac{\varepsilon}{K - \varepsilon} < \varepsilon$$

Dengan cara melakukan logaritma terhadap kedua ruas, diperoleh

$$\ln e^{b-rt} < \ln \varepsilon$$

$$b - rt < \ln \varepsilon$$

$$t > \frac{b - \ln \varepsilon}{r}$$

Berarti untuk $t > \frac{b - \ln \varepsilon}{r}$ maka W menuju K dan $\frac{dW}{dt}$ menuju 0, artinya sesaat

setelah t dan seterusnya LPH/LPM sangat kecil.

Untuk $t^* = \frac{b + \ln \frac{1}{\varepsilon}}{r}$ diperoleh

$$\begin{aligned} W &= \frac{K}{1 + e^{b-r\left(\frac{b - \ln \varepsilon}{r}\right)}} \\ &= \frac{K}{1 + e^{b-b + \ln \varepsilon}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{K}{1 + e^{\ln \varepsilon}} \\
 &= \frac{K}{1 + \varepsilon}
 \end{aligned}
 \tag{5.3}$$

Jika $W^* = \frac{K^*}{1 + \varepsilon}$ dengan kriteria $K^* = W_{\text{maksimal}}$ dan $t^* =$ akhir periode

kritis dari konsep Nieto *et al.* (1968), maka nilai ε dapat ditentukan. Jadi dengan bantuan t^* dari konsep Nieto *et al.* (1968) nilai ε dapat diperoleh, selanjutnya untuk memprakirakan periode kritis, nilai t^* dapat dihitung. Merujuk pada sifat model logistik yang simetris, dan nilai t^* (dari perhitungan yang diturunkan melalui ε), maka dapat ditentukan bahwa

$$A = t^* - b/r \tag{5.4}$$

dan periode kritis ditentukan berdasarkan kriteria

$$b/r - A \text{ sampai dengan } b/r + A \tag{5.5}$$

Untuk perhitungan berdasarkan model empiris logistik analog dengan cara tersebut, yaitu dengan mengganti b/r dengan b_2/b_3 .

Nilai ε dan A hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 5.5. Dalam hal ini, ε adalah suatu nilai di mana W sudah menurun secara nyata terhadap W_{maksimal} . Pada saat pertumbuhan mencapai W^* , terjadi perubahan LPM/LPH dari tinggi ke rendah. Keadaan itu terjadi saat tanaman berumur t^* , di mana merupakan saat berakhirnya periode kritis. Sedangkan A adalah selang waktu antara LPM/LPH maksimal dengan saat berakhirnya periode kritis. Mengingat model logistik seimetris pada titik balik (b/r atau b_2/b_3), maka saat awal periode kritis dapat

ditentukan dengan cara mengurangi b/r atau b_2/b_3 dengan A , saat itu terjadi perubahan LPM/LPH dari rendah ke tinggi.

Tabel 5.5 Nilai ε dan A Model Empiris Logistik dan Model Pertumbuhan Hipotetik Logistik

Ketinggian tempat	Dosis N	Model empiris		Model hipotetik	
		ε	A	ε	A
Batu	0	0.584499	25.5714	0.167797	14.1667
	50	0.640184	23.4737	0.146754	15.6016
	100	0.632547	21.8095	0.060993	17.0549
	150	0.717487	19.5294	0.076459	18.1056
Dau	0	0.612626	24.5000	0.164969	13.9690
	50	0.585669	23.2609	0.093574	14.3576
	100	0.683861	21.1111	0.120032	14.1333
	150	0.730519	19.6250	0.071863	14.4670
Malang	0	0.455664	16.7234	0.567792	4.4921
	50	0.340275	15.4000	0.374936	5.8047
	100	0.453391	14.9245	0.285076	6.6755
	150	0.472367	14.7059	0.261061	7.2204

Berdasarkan nilai b/r atau b_2/b_3 pada Tabel 5.4 dan nilai A pada Tabel 5.5, maka periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma dapat ditentukan. Hasil analisis periode kritis dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Fakta empiris (Tabel 5.6) menunjukkan bahwa periode kritis tanaman bawang merah dapat dipelajari dan ditentukan melalui model empiris logistik, mengingat simpangannya terhadap metode Nieto *et al.* (1968) kecil. Sedangkan model pertumbuhan hipotetik tampaknya kurang dapat diterapkan, karena simpangannya cukup besar.

Tabel 5.6 Periode Kritis Tanaman Bawang Merah akibat Kompetisi Gulma Hasil perhitungan Menggunakan Model Empiris Logistik, Model Pertumbuhan Hipotetik Logistik dan Metode Nieto *et al.* (1968)

Ketinggian tempat	Dosis N	Periode Kritis (hari setelah tanam)		
		Model empiris	Model hipotetik	Metode Nieto
Batu	0	4.85 - 56	27.66 - 56	14 - 56
	50	9.05 - 56	24.79 - 56	14 - 56
	100	12.38 - 56	21.89 - 56	14 - 56
	150	16.94 - 56	19.78 - 56	14 - 56
Dau	0	7.00 - 56	28.06 - 56	14 - 56
	50	9.47 - 56	27.28 - 56	14 - 56
	100	13.77 - 56	27.73 - 56	14 - 56
	150	16.75 - 56	27.06 - 56	14 - 56
Malang	0	8.55 - 42	33.01 - 42	14 - 42
	50	11.20 - 42	30.39 - 42	14 - 42
	100	12.15 - 42	28.64 - 42	14 - 42
	150	12.58 - 42	27.55 - 42	14 - 42

Keterangan : - = sampai dengan

Simpangan yang terjadi pada hasil perhitungan melalui model empiris logistik tampaknya bukan merupakan simpangan terhadap periode kritis yang sebenarnya. Hal ini dapat dimengerti, karena metode Nieto *et al.* (1968) menghasilkan perhitungan pergeseran periode kritis sesuai dengan interval waktu perlakuan. Jadi kalau interval waktu perlakuan dua mingguan, maka pergeseran periode kritis juga dua mingguan. Penerapan model empiris logistik menghasilkan pergeseran periode kritis dengan interval lebih sempit, misalnya harian. Dengan demikian simpangan tersebut berpeluang dapat diinterpretasi sebagai koreksi terhadap metode Nieto *et al.* (1968).

Merujuk pada hasil analisis data tersebut, maka dapat dikatakan bahwa model yang berpeluang diterapkan untuk menganalisis, mempelajari dan menentukan periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma adalah

model empiris logistik. Model ini layak diterapkan terhadap data hasil percobaan metode Nieto *et al.* (1968) pada perlakuan bebas gulma.

5.3 Perancangan Model Empiris (untuk Prakiraan Periode Kritis)

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa ketinggian tempat (E) dan pemupukan nitrogen (N) berpengaruh nyata terhadap pola pertumbuhan dan pola perubahan hasil (Tabel 5.7).

Tabel 5.7 Nilai F_{hitung} dan p Hasil Analisis Ragam Data Percobaan Pertumbuhan dan Percobaan Metode Nieto *et al.* (1968) pada Perlakuan Bebas Gulma

Umur tanaman (hari)	Percobaan pertumbuhan				Bebas gulma s/d umur	Percobaan metode Nieto			
	Perlk. E		Perlk. N(E)			Perlk. E		Perlk. N(E)	
	F_{hitung}	p	F_{hitung}	p		F_{hitung}	p	F_{hitung}	p
14	1.82	0.184	0.40	0.92	0	694.75	0.000	43.67	0.000
28	3.83	0.036	2.54	0.033	14	1322.56	0.000	87.91	0.000
42	162.89	0.000	53.94	0.000	28	1408.25	0.000	118.43	0.000
56	422.04	0.000	32.89	0.000	42	1422.58	0.000	329.86	0.000
70	282.51	0.000	19.08	0.000	56	1189.80	0.000	171.17	0.000
					70	1075.34	0.000	149.28	0.000

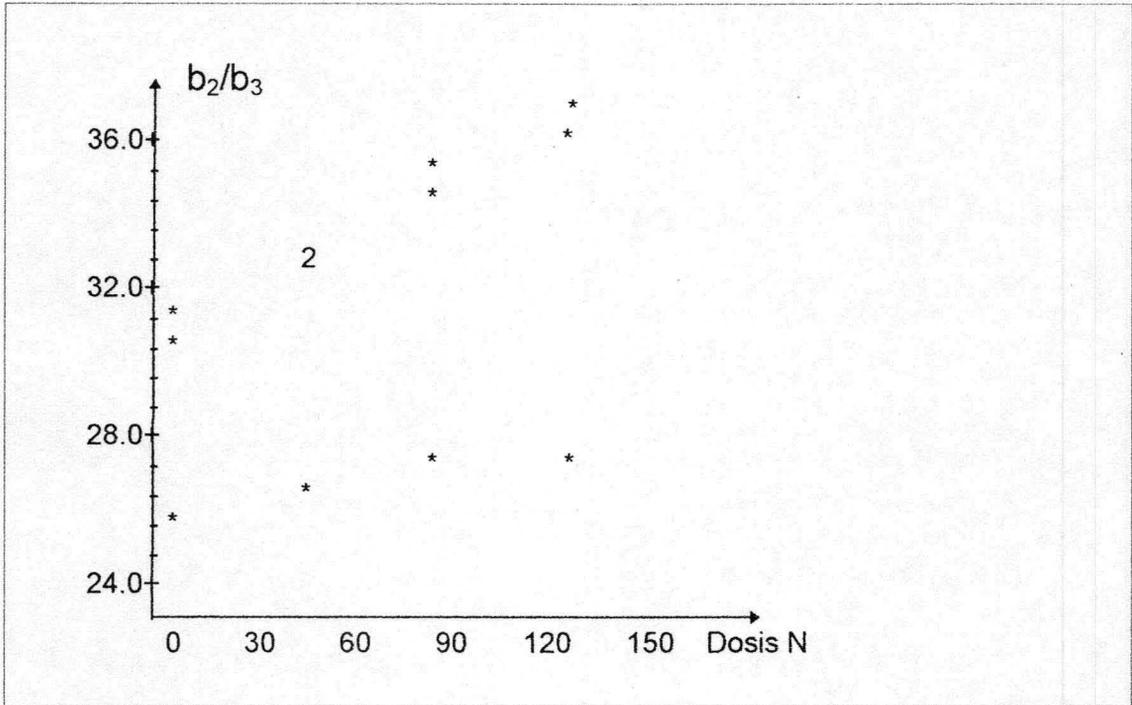
Oleh karena perubahan pola tersebut berpengaruh terhadap pergeseran periode kritis, maka model empiris hubungan antara koefisien model empiris logistik dengan E dan N berpeluang dapat dirancang. Hasil perancangan ini berpeluang digunakan untuk memprakirakan periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma.

Nisbah antara b_2 dan b_3 (b_2/b_3) tampaknya memegang peranan penting dalam perhitungan penentuan periode kritis. Karena model logistik simetris pada b_2/b_3 , dengan diketahuinya besaran ini dan saat terjadinya perubahan dari LPH tinggi ke rendah maka dapat diidentifikasi terjadinya perubahan LPH dari rendah ke tinggi. Oleh karena itu, dapat dipahami bahwa pergeseran nilai b_2/b_3 akan mempengaruhi pergeseran periode kritis. Dengan demikian, dalam upaya melakukan prakiraan periode kritis pada variasi dosis pemupukan nitrogen dan ketinggian tempat, maka perancangan model empiris,

$$b_2/b_3 = f(N, E) \quad (5.6)$$

berpeluang dan layak dilakukan.

Perancangan model matematika tersebut didekati melalui pemeriksaan pola tebaran data (*scatter diagram*). Pola tebaran data hasil percobaan disajikan pada Gambar 5.1 dan 5.2.



Gambar 5.1 Pola Tebaran Data antara b_2/b_3 dengan Dosis N
Keterangan : angka 2 menunjukkan bahwa pada tempat tersebut terdapat 2 titik yang berimpit.

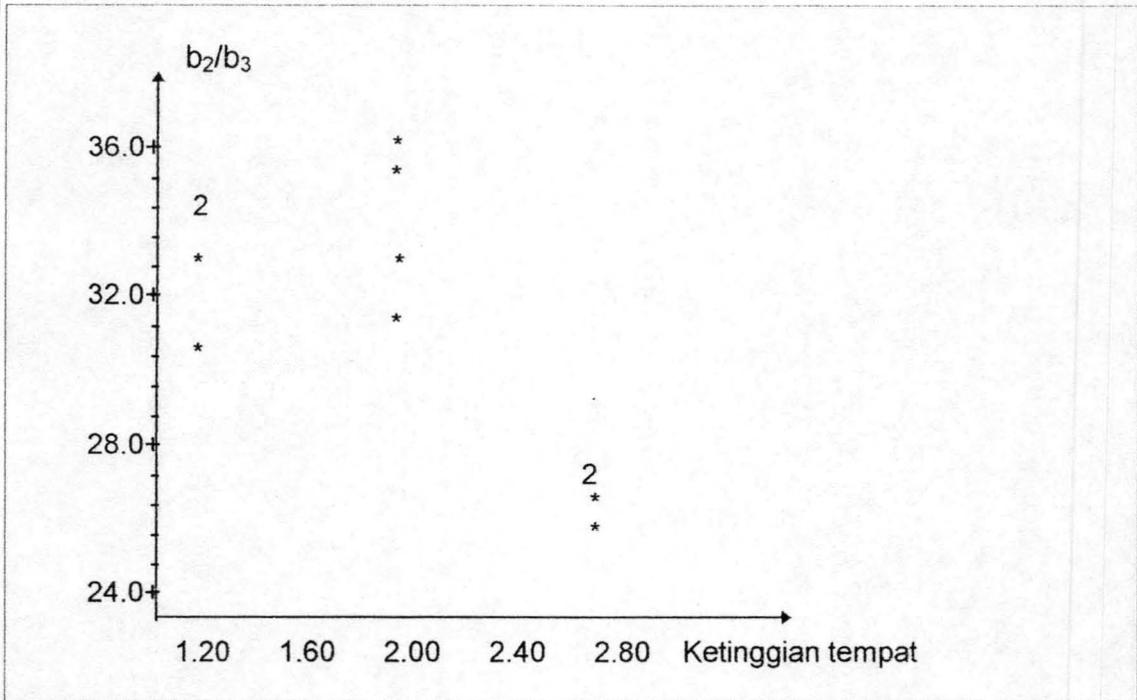
Fakta empiris Gambar 5.1 dan 5.2 menunjukkan bahwa antara b_2/b_3 dengan dosis pemupukan N mempunyai bentuk hubungan berpola linier. Sedangkan pola hubungan antara b_2/b_3 dengan ketinggian tempat berbentuk kuadratik. Dengan demikian dapat dirancang model matematika,

$$b_2/b_3 = 23.0 + 0.0287 N + 12.2 E - 3.89 E^2 \quad (5.7)$$

dalam hal ini N adalah dosis pemupukan nitrogen dan E adalah ketinggian tempat.

Model tersebut memiliki $R^2 = 96.9\%$ dan uji F dengan nilai $p = 0.00001$ sehingga

lisebut sah (valid). Hasil analisis data secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4.



Gambar 5.2 Pola Tebaran Data antara b_2/b_3 dengan Ketinggian Tempat
Keterangan : angka 2 menunjukkan bahwa pada tempat tersebut terdapat 2 titik yang berimpit.

Berdasarkan model persamaan (5.7) dan kriteria ϵ (Tabel 5.5), maka dapat dilakukan prakiraan periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma. Untuk mempermudah pelaksanaan prakiraan, nilai ϵ dipilih berdasarkan kriteria sebagai berikut,

untuk dosis $N < 25$ kg/ha digunakan ϵ dosis $N = 0$;

untuk dosis 25 kg/ha $< N < 75$ kg/ha digunakan ϵ dosis $N = 50$ kg/ha;

untuk dosis $75 \text{ kg/ha} < N < 125 \text{ kg/ha}$ digunakan ε dosis $N = 100 \text{ kg/ha}$;

untuk dosis $N > 125 \text{ kg/ha}$ digunakan ε dosis $N = 150 \text{ kg/ha}$.

Hasil prakiraan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Fakta empiris hasil prakiraan periode kritis pada Tabel 5.8 menunjukkan bahwa perancangan model empiris berpeluang dilakukan dan hasilnya layak diterapkan. Model matematika hasil perancangan tersebut selain menyediakan metode analisis data juga menyediakan metode prakiraan periode kritis bawang merah berkaitan dengan variasi dosis pemupukan N dan ketinggian tempat.

Bertitik tolak dari hasil penelitian yang didukung oleh fakta empiris dan analisis matematis, maka didapatkan model yang berpeluang layak diterapkan untuk menganalisis dan mempelajari kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman bawang merah adalah model empiris logistik. Data yang dapat didekati model tersebut adalah data hasil percobaan metode Nieto *et al.* (1968) pada perlakuan bebas gulma.

Tabel 5.8 Periode Kritis hasil Prakiraan dan Hasil Perhitungan

Ketinggian tempat	Dosis N	Periode kritis (hari setelah tanam)	
		Hasil prakiraan	Hasil perhitungan model empiris
Batu	0	5.740 - 56.880	4.8571 - 56
	10	6.027 - 57.167	
	20	6.314 - 57.454	
	30	8.701 - 55.641	
	40	8.988 - 55.928	
	50	9.275 - 56.215	9.0526 - 56
	60	9.562 - 56.502	
	70	9.849 - 56.789	
	80	11.796 - 55.416	
	90	12.083 - 55.703	
	100	12.370 - 55.990	12.3810 - 56
	110	12.657 - 56.277	
	120	12.944 - 56.564	
	130	15.511 - 54.571	
	140	15.798 - 54.858	
150	16.085 - 55.145	16.9412 - 56	
Dau	0	7.340 - 56.340	7.0000 - 56
	10	7.627 - 56.627	
	20	7.914 - 56.914	
	30	9.441 - 55.961	
	40	9.728 - 56.248	
	50	10.015 - 56.535	9.4783 - 56
	60	10.302 - 56.822	
	70	10.589 - 57.109	
	80	13.026 - 55.246	
	90	13.313 - 55.533	
	100	13.600 - 55.820	13.7778 - 56
	110	13.887 - 56.107	
	120	14.174 - 56.394	
	130	15.951 - 55.191	
	140	16.238 - 55.478	
150	16.525 - 55.765	16.7500 - 56	
Malang	0	7.870 - 41.310	8.5532 - 42
	10	8.157 - 41.597	
	20	8.444 - 41.884	
	30	10.051 - 40.851	
	40	10.338 - 41.138	
	50	10.625 - 41.425	11.2000 - 42
	60	10.912 - 41.712	
	70	11.199 - 41.999	
	80	11.966 - 41.806	
	90	12.253 - 42.093	
	100	12.540 - 42.380	12.1509 - 42
	110	12.827 - 42.667	
	120	13.114 - 42.954	
	130	13.611 - 43.031	
	140	13.898 - 43.318	
150	14.185 - 43.605	12.5882 - 42	

BAB 6

PEMBAHASAN

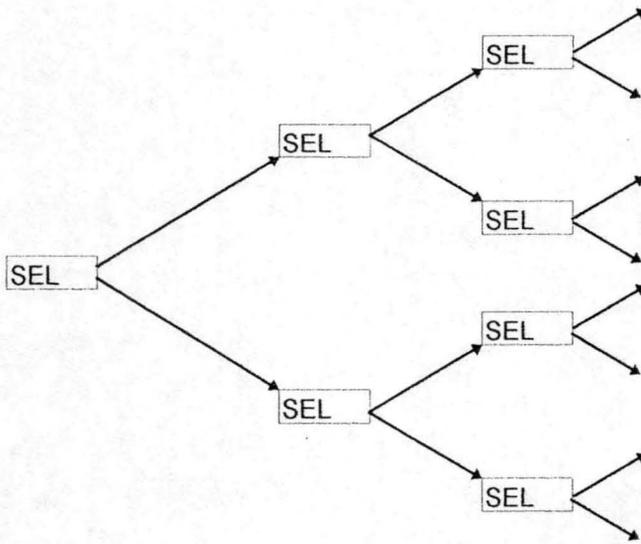
6.1 Pengujian Model

Tujuan pengujian model adalah memeriksa kesahihan (validasi) model terhadap data empiris. Hal ini merupakan upaya mencari tolok ukur pemilihan (seleksi) model. Di sisi lain, pemilihan model harus mempertimbangkan realistik atau tidaknya, yaitu kelayakan (kemudahan) interpretasi terhadap parameternya. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Cousens *et al.* (1996), bahwa penerapan model matematika di bidang biologi harus realistik.

Hasil analisis data (Tabel 5.1 dan 5.3) menunjukkan bahwa model logistik sah untuk mendekati baik terhadap data pertumbuhan maupun data hasil percobaan metode Nieto *et al.* (1968) pada perlakuan bebas gulma. Namun demikian, jika ingin diterapkan maka fakta empiris ini harus didukung oleh konsep biologi.

Pertumbuhan tanaman merupakan fungsi dari perkembangan sel. Konsep fisiologi tanaman mengenai perkembangan sel mitosis dapat dilihat pada Gambar

6.1.



Gambar 6.1 Dendrogram Perkembangan Sel secara Mitosis

Bila proses tersebut diamati, maka menghasilkan dua variabel, yaitu variabel jumlah sel (W) dan variabel waktu (t). Bentuk hubungan antara kedua variabel tersebut mengikuti model eksponensial

$$W = e^{rt} \quad (6.1)$$

Parameter r dapat diinterpretasi sebagai laju pertumbuhan intrinsik (*intrinsic growth rate*).

Di sisi lain, proses perkembangan yang naik monoton tersebut dibatasi oleh kapasitas daya dukung lingkungan (tumbuh tanaman). Hal ini sesuai dengan

konsep ekologi, yaitu proses perlambatan pertumbuhan terjadi setelah mendekati daya dukung lingkungan.

Berdasarkan uraian di atas, dapat dikatakan bahwa model logistik dengan kurva sigmoid merupakan model yang layak untuk mendekati data pertumbuhan. Di samping itu, model logistik tampaknya juga layak diterapkan pada data hasil percobaan metode Nieto *et al.* (1968) pada perlakuan bebas gulma. Kelayakan ini didukung oleh kemudahan dan kebermaknaan interpretasi terhadap parameternya berkaitan dengan studi kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman bawang merah.

Di lain pihak, fakta empiris (Tabel 5.2) menunjukkan bahwa model logistik tidak layak untuk mendekati data hasil percobaan metode Nieto *et al.* (1968) pada perlakuan bergulma. Jika data empiris menunjukkan pola tidak sesuai dengan pola pertumbuhan, maka pendugaan parameter model tidak dapat dilakukan. Implikasinya proses iterasi tidak konvergen, seperti dapat dilihat pada Tabel 5.2.

6.2 Interpretasi Agronomis (Penentuan Periode Kritis)

Studi kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman bawang merah pada prinsipnya merupakan bidang kajian Ilmu Biologi. Berdasarkan konsep fisiologi, diketahui bahwa laju pertumbuhan mutlak (LPM) naik secara lambat pada awal pertumbuhan, selanjutnya bertambah cepat dan mencapai pertumbuhan tercepat pada umur $t = b/r$, yaitu LPM mencapai maksimal. Setelah itu, pertumbuhan menurun kembali sesuai dengan pola sebelum LPM maksimal. Dengan demikian,

identifikasi pola perubahan LPM dapat dilakukan. Pada awal pertumbuhan LPM rendah kemudian terdapat periode LPM tinggi dan menurun kembali pada akhir pertumbuhan.

Dalam konsep ekologi, jika lingkungan tumbuh tidak menyediakan kebutuhan yang mencukupi maka akan terjadi kompetisi antartanaman dalam hal memperebutkan kebutuhan hidupnya. Unsur-unsur yang dikompetisikan termasuk unsur hara dalam tanah. Pada periode LPM tinggi, tanaman memerlukan unsur hara dari tanah dalam jumlah besar. Oleh karena itu, jika pada periode tersebut pertanaman bawang merah ditumbuhi gulma maka pengaruhnya akan sangat merugikan. Dengan kata lain periode tersebut kritis terhadap kompetisi gulma, sehingga disebut periode kritis.

Konsep ekologi tersebut tampaknya didukung oleh hasil analisis matematis sebagai berikut. Untuk mengidentifikasi pola perubahan LPM model logistik dapat didekati melalui konsep turunan,

$$W = \frac{K}{1 + e^{b - rt}}$$

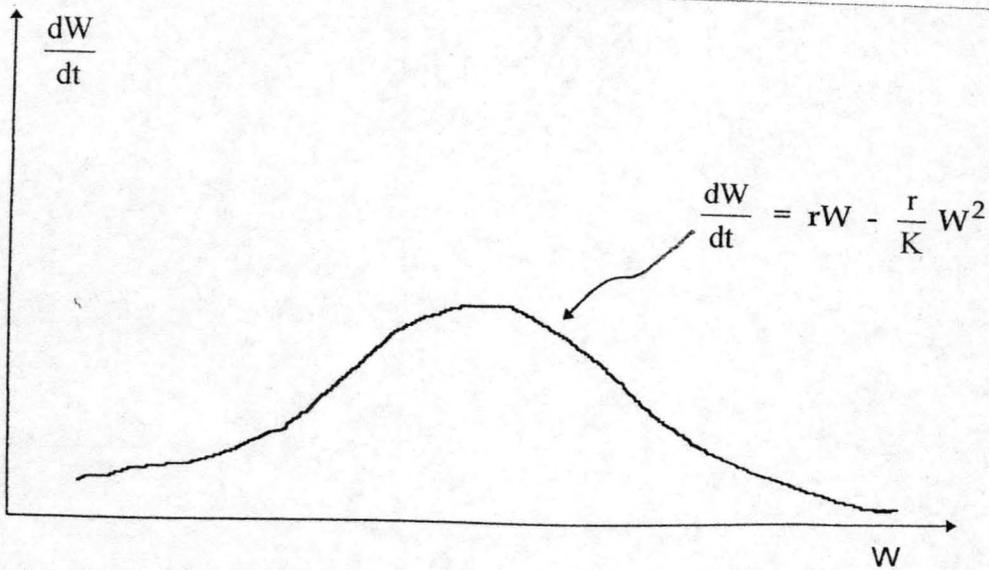
$$\frac{dW}{dt} = \frac{K r e^{b - rt}}{(1 + e^{b - rt})^2}$$

$$= \frac{K}{(1 + e^{b - rt})^2} r e^{b - rt} .$$

Karena $e^{b - rt} = \frac{K - W}{W}$, maka

$$\begin{aligned}\frac{dW}{dt} &= \frac{K}{\left(1 + \frac{K - W}{W}\right)^2} r \frac{K - W}{W} \\ &= \frac{K}{\left(\frac{W + K - W}{W}\right)^2} r \frac{K - W}{W} \\ &= \frac{K}{K^2} W^2 r \frac{K - W}{W} \\ &= \frac{r}{K} W^2 \left(\frac{K - W}{W}\right) \\ &= rW - \frac{r}{K} W^2\end{aligned}$$

adalah LPM model logistik. Pola LPM tersebut berbentuk kurva parabola menghadap ke bawah (cembung),



Gambar 6.2 Pola Perubahan LPM pada Model Logistik Berdasarkan Hasil Analisis Matematis

Dengan merujuk pada Gambar 6.2, maka dapat diidentifikasi nilai ekstrim LPM minimal dan LPM maksimal. Identifikasi tersebut dengan cara melakukan turunan kedua,

$$\begin{aligned}
 \frac{d^2W}{dt^2} &= r \frac{dW}{dt} - 2 \frac{r}{K} W \frac{dW}{dt} \\
 &= r \left(rW - \frac{r}{K} W^2 \right) - 2 \frac{r}{K} W \left(rW - \frac{r}{K} W^2 \right) \\
 &= r^2 W - \frac{r^2}{K} W^2 - 2 \frac{r^2}{K} W^2 + 2 \frac{r^2}{K^2} W^2 \\
 &= r^2 W - 3 \frac{r^2}{K} W^2 + 2 \frac{r^2}{K^2} W^3
 \end{aligned}$$

lain ekstrim ditentukan dengan cara membuat $\frac{d^2W}{dt^2} = 0$,

$$r^2 W - 3 \frac{r^2}{K} W^2 + 2 \frac{r^2}{K^2} W^3 = 0$$

$$r^2 W \left(1 - 3 \frac{W}{K} + 2 \frac{W^2}{K^2} \right) = 0$$

$$r^2 W \left(2 \frac{W}{K} - 1 \right) \left(\frac{W}{K} - 1 \right) = 0$$

diperoleh LPM minimal pada $W = 0$ dan pada $W = K$, sedangkan LPM maksimal pada $W = K/2$. Diketahui pula bahwa $W = K$ tercapai pada akhir umur tanaman dan $W = 0$ pada tanaman mulai tumbuh ($t = 0$). Di lain pihak, LPM maksimal pada $W = K/2$ tercapai saat tanaman umur $t = b/r$. Hasil analisis matematis ini tampaknya sesuai dengan konsep biologi.

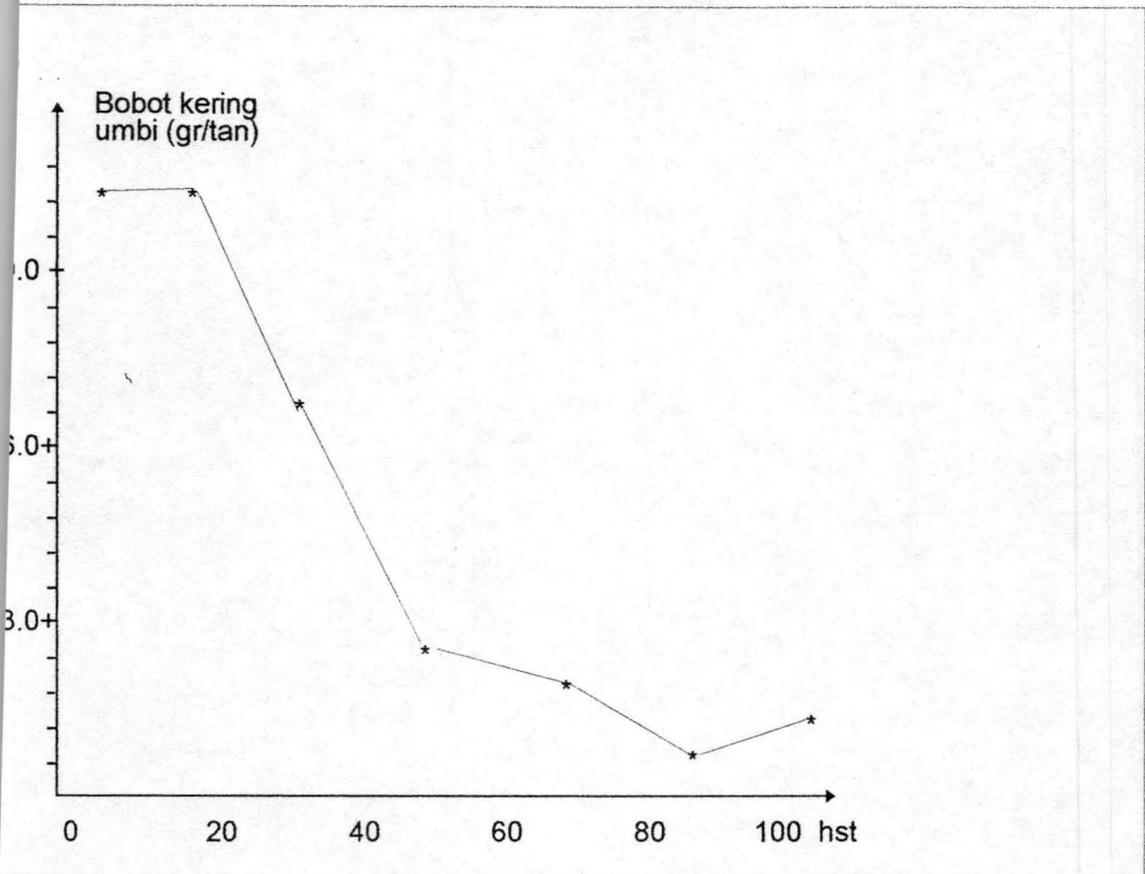
Kesesuaian ini memberikan dukungan terhadap penerapan model logistik untuk menganalisis dan mempelajari kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman bawang merah. Kesesuaian pola perubahan LPM tersebut memperkuat pemakaian konsep perubahan LPM dalam studi penentuan periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma.

Aplikasi model logistik untuk menganalisis dan mempelajari periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma juga harus didukung oleh konsep yang telah luas diterapkan, yaitu konsep Nieto *et al.* (1968). Periode kritis tanaman akibat kompetisi gulma dapat diidentifikasi dan ditentukan berdasarkan saat gulma dapat menurunkan hasil secara nyata dan saat gulma menurunkan

asil tidak secara nyata. Untuk mencapai tujuan tersebut, diperlukan percobaan dengan bentuk perlakuan setangkup antara keadaan tanaman bebas gulma dan bergulma. Ilustrasi konsep tersebut dapat dilihat pada fakta empiris hasil penelitian Siswanto dan Moenandir (1986) sebagai berikut.

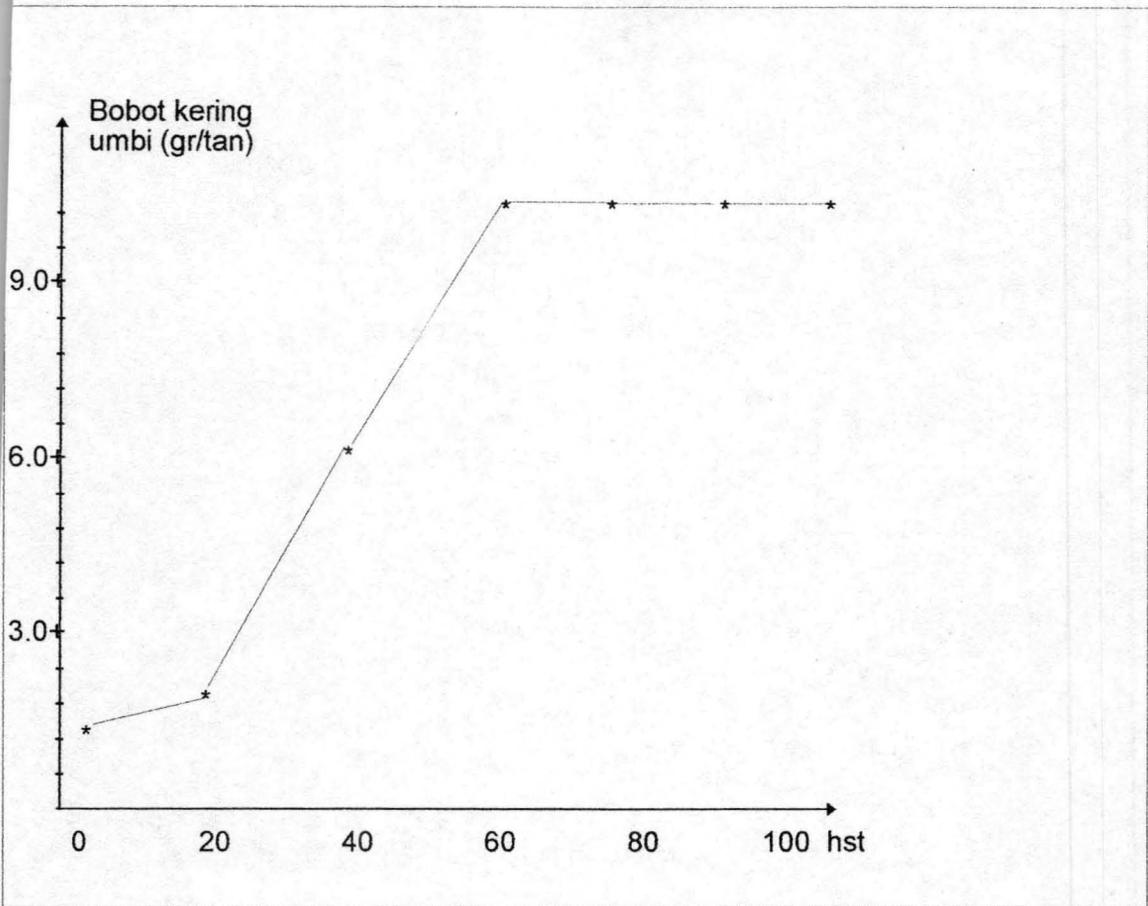
Dari hasil analisis ragam dengan uji lanjutan Duncan didapatkan bahwa perlakuan bergulma 0 hari (bebas gulma sampai panen) berbeda tidak nyata dengan perlakuan bergulma sampai 15 hst (hari setelah tanam). Terjadi penurunan hasil yang nyata pada perlakuan bergulma sampai 30 hst. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 6.3.

Di sisi lain, hasil analisis ragam pada perlakuan bebas gulma menunjukkan bahwa bebas gulma sejak tanam sampai panen berbeda tidak nyata dengan bebas gulma sampai 75, 60 dan 45 hst. Penurunan hasil yang nyata didapatkan pada perlakuan bebas gulma sampai 30 hst. Didapatkan pula bahwa perlakuan bebas gulma 0 hst (bergulma sampai panen) berbeda tidak nyata dengan perlakuan bebas gulma sampai 15 hst. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 6.4.



Gambar 6.3 Pola Perubahan Hasil pada Perlakuan Bergulma (Siswanto dan Moenandir, 1986)

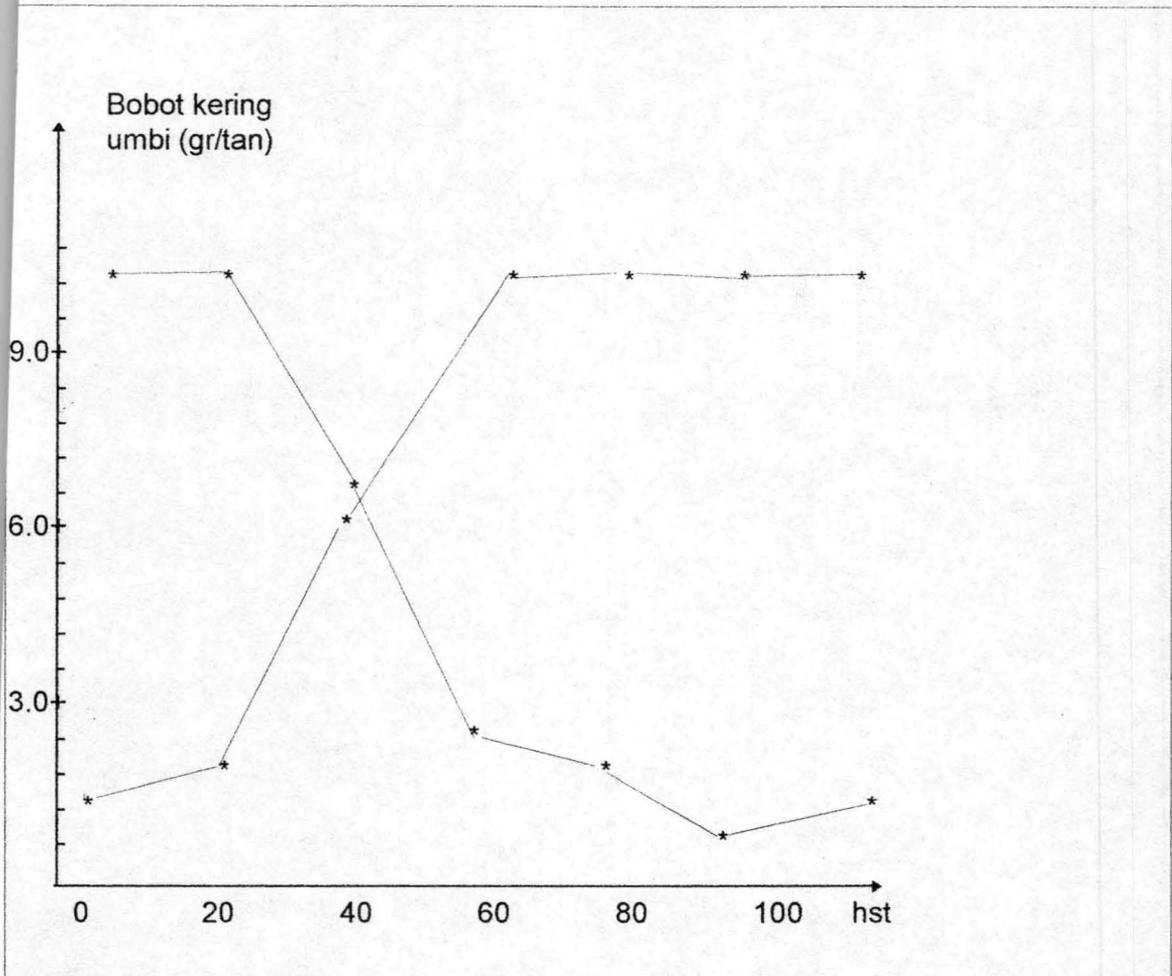
Keterangan : hst menunjukkan perlakuan tanaman bergulma sampai dengan absis



Gambar 6.4 Pola Perubahan Hasil pada Perlakuan Bebas Gulma (Siswanto dan Moenandir, 1986)

Keterangan : hst menunjukkan perlakuan tanaman bebas gulma sampai dengan absis

Apabila Gambar 6.3 dan 6.4 dijadikan satu, maka diperoleh Gambar 6.5.



Gambar 6.5 Pola Perubahan Hasil pada Perlakuan Bebas Gulma dan Bergulma (Siswanto dan Moenandir, 1986)

Keterangan : hst menunjukkan perlakuan tanaman bebas gulma dan bergulma sampai dengan absis

Dengan memperhatikan Gambar 6.5, dapat diketahui bahwa penurunan hasil yang tidak nyata antara perlakuan bebas gulma sampai panen (bergulma 0 hst) dengan bergulma sampai 15 hst ternyata bersesuaian dengan kenaikan hasil yang tidak nyata antara bergulma sampai panen (bebas gulma 0 hst) dengan

bebas gulma sampai 15 hst. Hal ini mengisyaratkan bahwa penentuan periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma berpeluang didekati melalui satu pola perlakuan saja, yaitu perlakuan bebas gulma.

Fakta empiris (Gambar 6.4) juga menunjukkan bahwa kurvanya berpola sigmoid. Dengan mengacu pada landasan empiris ini, maka model logistik dapat dipertimbangkan untuk mendekati data tersebut. Model empiris logistik ini mempunyai pola perubahan LPH sesuai dengan pola perubahan LPM model pertumbuhan hipotetik logistik.

Kesesuaian antara konsep biologi dengan hasil analisis matematis yang juga didukung oleh konsep Nieto *et al.* (1968) memberikan peluang model logistik diterapkan untuk menganalisis dan mempelajari kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman bawang merah. Namun demikian, walaupun konsep biologi mengenai pola pertumbuhan memberikan dukungan terhadap penerapan model pertumbuhan hipotetik logistik, akan tetapi fakta empiris (Tabel 5.6) melemahkan hal tersebut. Keadaan ini didukung oleh konsep Agronomi sebagai berikut.

Periode kritis akan bergeser ke belakang (pada umur tanaman lebih tua) jika diberikan pemupukan nitrogen. Akan tetapi, jika tanaman bebas kompetisi gulma maka pemupukan akan mempengaruhi pola pertumbuhan tanaman yaitu akan menggeser terjadinya LPM maksimal pada umur lebih muda (Gambar 4.2). Dapat dijelaskan bahwa pergeseran LPM maksimal maju akan menghasilkan perhitungan periode kritis bergeser maju (pada umur lebih muda). Sehingga

terdapat ketidaksesuaian antara pendekatan model matematika dengan konsep Agronomi. Padahal penerapan model harus realistik, yang berarti harus sesuai dengan konsep bidang ilmu yang dikaji (Cousens *et al.*, 1987).

Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Pendekatan model pertumbuhan hipotetik logistik untuk menganalisis dan menyelidiki periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma belum melibatkan unsur kompetisi. Data yang digunakan berasal dari tanaman bawang merah yang tumbuh bebas kompetisi gulma. Oleh karena itu, di samping sekuens data pertumbuhan tanaman bawang merah bebas gulma, juga diperlukan sekuens data pertumbuhan tanaman yang berkompetisi dengan gulma. Data tersebut dapat digunakan untuk menguji model pertumbuhan. Model pertumbuhan pada kedua keadaan tersebut secara kombinasi berpeluang digunakan untuk menganalisis dan mempelajari kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman bawang merah.

Aplikasi model empiris logistik terhadap data hasil percobaan Nieto *et al.* (1968) pada perlakuan bebas gulma untuk menganalisis dan mempelajari kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman bawang merah dipertegas oleh fakta empiris hasil penelitian (Tabel 5.6), didukung oleh hasil analisis matematis, dan dikuatkan oleh konsep Nieto *et al.* (1968).

Awal periode kritis ditentukan dengan cara melakukan identifikasi perubahan LPH dari rendah ke tinggi, sedangkan akhir periode kritis ditentukan dengan cara mengidentifikasi perubahan LPH dari tinggi ke rendah. Mengingat model logistik simetris dan dengan diketahuinya saat LPH maksimal, maka

penentuan periode kritis dapat didekati melalui identifikasi saat terjadinya perubahan LPH dari tinggi ke rendah saja. Identifikasi ini dilakukan melalui metode limit dengan kriteria dari konsep Nieto *et al.* (1968).

5.3 Pendekatan Biometri

Aspek kajian kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman bawang merah meliputi mekanisme kompetisi, fisiologi pertumbuhan tanaman dan ekologi (yang berkaitan dengan lingkungan tumbuh tanaman). Sedangkan ditinjau dari segi substansi yang mempengaruhi derajat kompetisi (Gambar 2.3), maka terdapat tiga faktor yang terlibat, yaitu sifat tanaman (budidaya), sifat gulma dan keadaan lingkungan tumbuhnya.

Mekanisme kompetisi gulma dapat dipahami bila sifat-sifat tanaman dan gulma diketahui, keadaan lingkungan tumbuh dapat diidentifikasi dan interaksi ketiganya dapat dipahami. Hal ini menyangkut konsep fisiologi dan taksonomi gulma dan tanaman serta ekologinya. Apabila ditinjau dari sisi tanaman, tampaknya dimensi waktu (umur tanaman) juga memegang peranan penting. Untuk itu, pemahaman terhadap fisiologi pertumbuhan tanaman mutlak diperlukan.

Interaksi tanaman dan gulma dengan lingkungannya berpengaruh terhadap sifat-sifat tanaman dan gulma, dan mekanisme tersebut merupakan sistem kompleks. Oleh karena itu, penelitian kompetisi gulma terhadap tanaman yang

elah dilakukan hingga saat ini umumnya bersifat parsial untuk masing-masing substansi atau masing-masing aspek.

Upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut berpeluang ditempuh melalui pendekatan Biometri. Pendekatan Biometri pada prinsipnya adalah upaya mempelajari kehidupan (bio) melalui pengukuran terhadap variabel-variabel yang relevan. Pengukuran variabel tersebut menghasilkan data, yang juga disebut metriks.

Pendekatan Biometri diawali dengan rekayasa metode percobaan untuk menghasilkan data, kemudian pemilihan pendekatan untuk analisis data dan diakhiri dengan interpretasi hasil analisis. Di samping itu, jika memungkinkan Biometri juga menyediakan metode prakiraan.

Rekayasa Rancangan Percobaan untuk kompetisi telah banyak dilakukan. Hal ini dapat dilihat pada beberapa tulisan yang termuat di beberapa jurnal (McGilcrist, 1965; Nieto, Gonzalez dan Brondo, 1968 ; McGilchrist dan Trenbath, 1971). Di samping itu, Rancangan Percobaan baku seperti *Completly Randomise Design* (RAL), *Block Randomise Design* (RAK), *Latin Square Design* (RBSL) dan lain sebagainya juga sering digunakan.

Teknik analisis data dalam Biometri dapat dibedakan menjadi tiga golongan, yaitu analisis perbandingan (komparasi), analisis hubungan (asosiasi) dan campuran antara keduanya. Analisis perbandingan untuk persaingan dapat dilihat pada tulisan McGilchrist (1965) dan kemudian direvisi bersama Trenbath (1971). Di samping itu, analisis ragam (ANOVA) dengan uji lanjutan seperti BNT,

BNJ, Duncan dan lain-lainya juga sering diterapkan, misalnya oleh Nieto *et al.* (1968). Analisis hubungan umumnya menerapkan model matematika (Cousens, 1985; Pike, Stoller dan Wax, 1990; Wiles dan Wikerson, 1991; Graft dan Hill, 1992; Knezevic, Weise dan Swanton, 1995; Barbour dan Bridges, 1995; Dieleman *et al.*, 1995; Dunan *et al.*, 1996; Wiles *et al.*, 1996; Singh *et al.*, 1996). Sedangkan analisis campuran antara komparasi dan asosiasi dapat dilihat pada tulisan Iriani (1993).

Pendekatan Biometri pada penelitian ini ditujukan untuk mempelajari kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman bawang merah. Rancangan percobaan yang diterapkan ada dua, yaitu yang dikembangkan oleh Nieto *et al.* (1968) dan metode percobaan pertumbuhan dengan memanfaatkan rancangan baku RAL. Teknik analisis data yang diterapkan adalah pendekatan model matematika. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model matematika yang berpeluang diterapkan adalah model empiris logistik yang sah (*valid*) untuk mendekati data hasil percobaan metode Nieto *et al.* (1968) pada perlakuan bebas gulma.

Berdasarkan uraian tersebut dapat dikemukakan bahwa pendekatan Biometri untuk menganalisis dan mempelajari kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman bawang merah memerlukan data yang dapat digunakan untuk pengujian model. Data ini dapat diperoleh dari hasil percobaan metode Nieto *et al.* (1968) yang sudah dimodifikasi. Modifikasi yang dilakukan adalah mengurangi jumlah perlakuan menjadi separuh, yaitu cukup menggunakan perlakuan bebas

gulma. Sedangkan yang separuh dari perlakuan setangkup, yaitu perlakuan bergulma diabaikan.

Metode percobaan Nieto *et al.* termodifikasi tersebut pada hakekatnya sama dengan yang belum dimodifikasi, kecuali jumlah perlakuannya lebih sedikit. Modifikasi ini diharapkan memberikan keuntungan sebagai berikut.

- 1). Berkurangnya jumlah perlakuan menjadi separuh mempunyai beberapa keuntungan, yaitu pelaksanaan percobaan membutuhkan bahan lebih sedikit dan memerlukan lahan lebih sempit.
- 2). Dampak positif terhadap pelaksanaan percobaan tersebut adalah meningkatkan presisi pengamatan. Hal ini akan meningkatkan kualitas hasil penelitian.
- 3). Metode pengamatan (pengukuran) dan pemilihan variabel telah tersedia, yaitu sesuai dengan konsep yang dikembangkan oleh Nieto *et al.* (1968).

Berkenaan dengan teknik analisis data menerapkan model matematika, maka data harus diperoleh dari percobaan yang tidak melibatkan penyebab variasi selain pengaruh perlakuan. Implikasinya adalah rancangan yang digunakan harus RAL. Oleh karena itu, metode percobaan Nieto *et al.* (1968) termodifikasi memiliki kelemahan seperti kelemahan penerapan RAL.

Teknik analisis data pada penelitian ini melalui pendekatan model matematika. Hal ini diharapkan memberikan keuntungan sebagai berikut.

- 1). Hasil perhitungan pergeseran periode kritis tidak mengikuti interval waktu sesuai perlakuan, misalnya dua mingguan atau lima belas harian, akan tetapi dengan interval lebih sempit, misalnya harian.
- 2). Analisis data melalui model matematika menyediakan metode prakiraan.

Di samping keuntungan tersebut, model matematika sebagai pendekatan teknik analisis data juga memiliki kelemahan. Kelemahannya adalah ketidakmampuannya menghindari (mengeliminasi) pengaruh variasi data yang disebabkan oleh selain perlakuan.

Prosedur Biometri selanjutnya adalah interpretasi hasil analisis. Dalam penelitian ini interpretasi mengenai periode kritis tanaman bawang merah akibat kompetisi gulma didekati melalui konsep perubahan LPH. Metode yang diterapkan adalah pendekatan limit dengan kriteria dari konsep Nieto *et al.* (1968).

Akhir prosedur Biometri adalah pelaksanaan prakiraan, dengan catatan masih memungkinkan. Sesuai dengan pendapat Grant (1986), bahwa model empiris adalah suatu model dengan tujuan untuk prakiraan dan bukan untuk penjelasan, maka metode prakiraan pada penelitian ini juga menerapkan model empiris.

Cara budidaya tanaman bawang merah yang ingin diketahui pengaruhnya terhadap pergeseran periode kritis adalah variasi dosis pemupukan nitrogen dan ketinggian tempat. Hasil analisis ragam (Tabel 5.7) menunjukkan bahwa ketinggian tempat dan dosis pemupukan nitrogen berpengaruh terhadap pola pertumbuhan tanaman. Hal ini mempertegas landasan empiris (konsep agronomi)

seperti disajikan pada Gambar 2.4 dan 2.5. Di samping itu, pola perubahan hasil tampaknya juga dipengaruhi oleh ketinggian tempat dan dosis pemupukan nitrogen. Perubahan pola tersebut berpengaruh terhadap koefisien model dan akhirnya berpengaruh terhadap pergeseran periode kritis.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa b_2/b_3 mempunyai potensi mempengaruhi pergeseran periode kritis. Oleh karena itu, model empiris yang dirancang adalah bentuk hubungan antara b_2/b_3 dengan dosis pemupukan nitrogen (N) dan ketinggian tempat (E). Metode yang digunakan teknik eksplorasi, yaitu dengan cara melihat pola tebaran data melalui diagram pencaran (*scatter diagram*). Dari pola tersebut diidentifikasi model (kurva) pendekatannya.

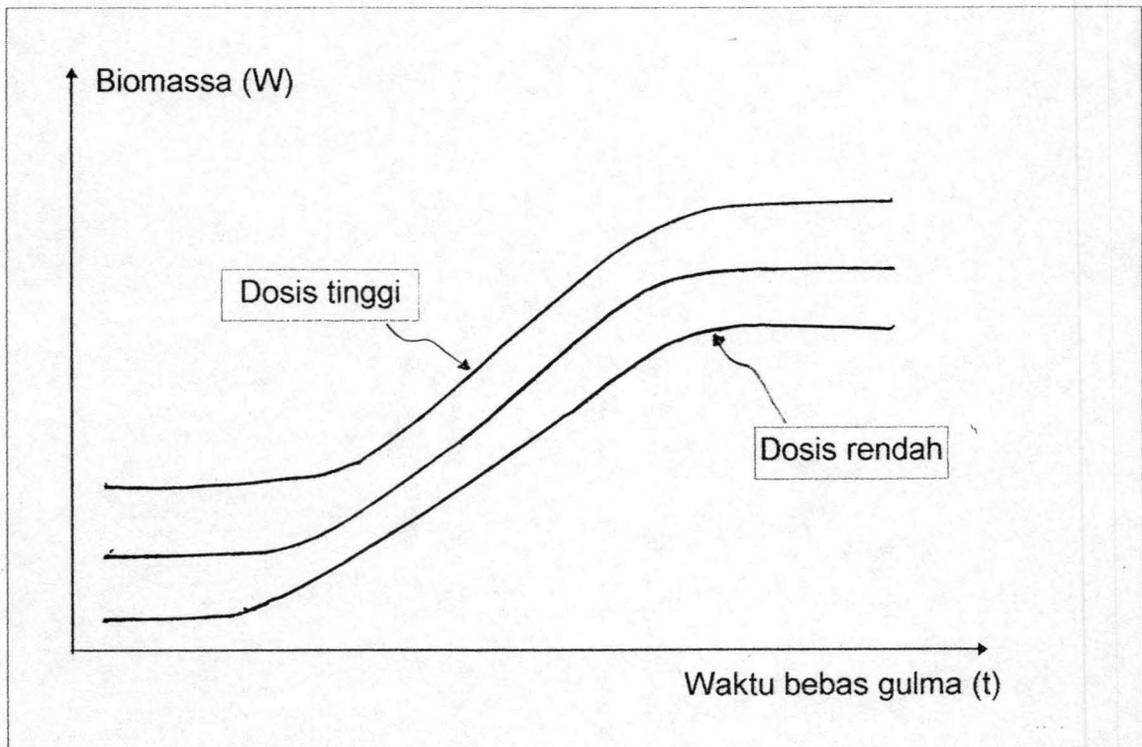
Hasil penelitian menunjukkan bahwa model pendekatan yang diperoleh berpola linier menaik untuk pengaruh N dan berpola kuadratik cembung menurun untuk pengaruh E,

$$b_2/b_3 = 23.0 + 0.0287 N + 12.2 E - 3.89 E^2.$$

Model tersebut sah dan berpeluang layak diterapkan. Kelayakan tersebut didukung oleh hasil prakiraan, yaitu memiliki simpangan kecil terhadap hasil perhitungan (Tabel 5.7).

Fakta empiris hasil penelitian tampaknya mempertegas konsep Agronomi. Umur tanaman dipengaruhi oleh ketinggian tempat, yaitu semakin panjang dengan bertambahnya ketinggian tempat. Dengan demikian, ketinggian tempat berpengaruh terhadap pola pertumbuhan tanaman (Gambar 2.5), sehingga berpengaruh terhadap pergeseran periode kritis, yaitu semakin mundur dan

panjang sesuai dengan pertambahan ketinggian tempat. Di sisi lain, dosis pemupukan N berpengaruh terhadap ketersediaan hara tersebut dalam tanah, yaitu dengan semakin meningkatnya dosis pemupukan nitrogen, maka semakin menambah unsur hara tanah, sehingga terjadinya kompetisi semakin mundur. Hal ini berpengaruh terhadap pola perubahan hasil (Gambar 6.6), sehingga berpengaruh terhadap pergeseran periode kritis. Dengan pengertian umur tanaman relatif tidak dipengaruhi dosis pemupukan N, maka semakin tinggi dosis pemupukan N berpengaruh terhadap semakin memendeknya periode kritis. Hal ini sesuai dengan hasil perhitungan dan prakiraan seperti dapat dilihat pada Tabel 5.8.



Gambar 6.6 Pola Perubahan Hasil pada variasi Dosis Pemupukan Nitrogen.

Faktor yang sering diperebutkan antara tanaman dan gulma adalah unsur hara, air dan cahaya (Zimdahl, 1980; Moody, 1976). Dengan demikian faktor-faktor tersebut juga berpengaruh terhadap pergeseran periode kritis. Di antara unsur hara esensial, nitrogen merupakan unsur yang paling diperebutkan (Zimdahl, 1980; Mercado, 1979; Patterson, 1985), sehingga dapat dipahami bahwa unsur tersebut juga sangat berpengaruh terhadap pergeseran periode kritis. Hal ini dipertegas oleh landasan empiris beberapa hasil penelitian (Sukarwo, 1987; Moenandir dan Mardiaty, 1991). Merujuk pada konsep dan landasan empiris tersebut, maka pada penelitian ini faktor yang ingin diselidiki pengaruhnya terhadap pergeseran periode kritis adalah dosis pemupukan nitrogen dan ketinggian tempat. Dalam hal ini yang tercakup dalam ketinggian tempat adalah faktor intensitas cahaya dan suhu. Sedangkan faktor air tampaknya lebih mudah ditoleransi, misalnya dengan cara menanam pada musim penghujan atau pada daerah yang berpengairan. Dengan demikian, pada penelitian ini faktor air dan beberapa faktor yang kurang berpengaruh terhadap pergeseran periode kritis diabaikan.

Konsep Biologi, analisis matematis dan konsep Agronomi yang dipertegas hasil penelitian menunjukkan bahwa model empiris logistik realistik dan layak diterapkan untuk menganalisis dan mempelajari kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman bawang merah. Kelayakan aplikasi metode analisis data tidak terlepas dari batasan terpenuhinya asumsi yang dikehendaki. Demikian halnya dengan model matematika hasil penelitian ini, adalah layak diaplikasikan untuk

menganalisis data jika asumsi yang dikehendaki (seperti pada Sub Bab 4.3) terpenuhi. Di samping itu, syarat lain yang diperlukan adalah percobaan harus dilakukan dengan RAL. Oleh karena itu, semua asumsi dan persyaratan berlakunya RAL juga harus terpenuhi.

Akhirnya didapatkan bahwa model matematika berpeluang digunakan untuk menganalisis dan mempelajari kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman bawang merah. Hal ini mempertegas pendapat Boote, Jones dan Pickering (1996), bahwa salah satu potensi penerapan model matematika adalah dapat membantu mensintesis pengertian dalam riset mengenai interaksi genetik, fisiologis dan lingkungan serta menyediakan metode organisasi data. Studi mengenai kehidupan (BIO) tanaman melalui pendekatan pengukuran variabel untuk mendapatkan data (METRIKS) ini dinamakan BIOMETRI. Algoritma pada penelitian ini berpeluang digunakan untuk studi kompetisi pada berbagai jenis tanaman, terutama yang memiliki pola pertumbuhan mirip dengan bawang merah.

BAB 7

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1. Kesimpulan

1. Model pertumbuhan hipotetik logistik,

$$W = \frac{K}{1 + e^{b-rt}}$$

dan model eksponensial polinomial berderajat dua,

$$W = e^{b_1 + b_2t + b_3t^2}$$

adalah sah dan layak digunakan untuk mendekati data pertumbuhan tanaman bawang merah, akan tetapi keduanya tidak layak diterapkan untuk menganalisis dan mempelajari kompetisi gulma terhadap periode kritis tanaman bawang merah.

2. Model matematika yang dapat diterapkan untuk menganalisis dan mempelajari periode kritis bawang merah akibat kompetisi gulma adalah model logistik,

$$W = \frac{b_1}{1 + e^{b_2 - b_3t}}$$

yaitu model empiris berdasarkan data percobaan metode Nieto *et al.* (1968) pada perlakuan bebas gulma.

3. Perancangan metode interpretasi agronomis dapat dilakukan dengan cara identifikasi saat perubahan LPH dari rendah ke tinggi (awal periode kritis) dan perubahan LPH dari tinggi ke rendah (akhir periode kritis) melalui

metode limit. Pendekatan ini menggunakan kriteria penurunan hasil secara nyata dari konsep Nieto *et al.* (1968).

4. Ketinggian tempat berpengaruh terhadap pola pertumbuhan tanaman, dan dosis pemupukan nitrogen berpengaruh terhadap pola perubahan hasil. Hal ini berpengaruh terhadap nilai b_2/b_3 dan akhirnya berpengaruh terhadap pergeseran periode kritis. Oleh karena itu, model empiris hubungan antara b_2/b_3 dengan dosis pemupukan nitrogen (N) dan ketinggian tempat (E),

$$b_2/b_3 = 23.0 + 0.0287 N + 12.2 E - 3.89 E^2$$

layak dirancang dan digunakan untuk memprakiraan periode kritis tanaman bawang merah. Dengan demikian dapat dibuat jadwal penyiangan.

7.2 Saran

1. Perlu memperluas penerapan model matematika berbentuk kurva sigmoid, yaitu turunan dari model logistik misalnya model Richards dan model Gompertz, terhadap data hasil percobaan pertumbuhan dan data hasil percobaan metode Nieto *et al.* (1968).
2. Keterbatasan metode analisis data melalui pendekatan model matematika, yaitu ketidakmampuannya menghindari variasi data akibat pengaruh selain perlakuan, disarankan dicari pemecahannya. Dengan demikian metode analisis data tersebut dapat diterapkan secara luas.

3. Percobaan pertumbuhan pada studi kompetisi harus melibatkan unsur kompetisi. Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan perancangan metode percobaan yang dapat memecahkan masalah tersebut.
4. Apabila telah tersedia data pertumbuhan yang melibatkan unsur kompetisi (hasil percobaan seperti pada saran butir 3), maka disarankan melakukan perancangan metode interpretasi agronomis penentuan periode kritis.
5. Apabila faktor lingkungan tumbuh yang berpengaruh terhadap pergeseran periode kritis (misalnya intensitas cahaya, suhu dan kadar CO_2) dapat dikendalikan (misalnya dengan cara menanam di dalam *glass house*), maka dapat dilakukan perancangan model matematika yang dapat digunakan untuk memprakirakan pengaruh faktor tersebut terhadap pergeseran periode kritis.

DAFTAR PUSTAKA

- Adisarwanto, T. W., 1983. Hasil dan Pertumbuhan Tiga Varietas Kentang di Tiga Ketinggian Tempat di Kabupaten Malang. FPS. IPB. p. 59.
- Aspinal, D. 1959. An Analysis of Competition between Barley and White Persicaria I. The Effects on Growth. Ann. appl. Biol. 47(1) : 156-172.
- _____. 1960. An Analysis of Competition between Barley and White Persicaria II. Factors Determining the Course of Competition. Ann. appl. Biol. 48(3): 637-654.
- Barbour, J.C. and D.C. Bridges. 1995. A Model of Competition for Light Between Peanut (*Arachis hypogaea*) and Broadleaf Weeds. Weed Science. 43 : 247-257.
- Boote, K.J., J.W. Jones, and N.B. Pickering. 1996. Potential Uses and Limitations of Crop Models. Agronomy Journal. 88 : 704-716.
- Braun, M., C.S. Coleman and D.A. Drew. 1983. Differential Equation Models. Modul in Applied Mathematics Vol. 1. Springer-Verlag. New York. pp. 53-90.
- Buchanan, G.A. and R.D. McLaughlin. 1975. Influence of Nitrogen on Weed Competition in Cotton. Weed Sci. 23 : 324-328.
- _____. 1977. Weed Biology and Competition. Research Method in Weed Sci. Ed. by Bryan. Southern Weed Sci. Soc. pp. 26-37.
- Carlson, H.L. and J.E. Hill. 1985. Wild Oat (*Avena fatua*) Competition with Spring Wheat : Effects of Nitrogen Fertilization. Weed Sci. 34 : 29-33.
- Causton, D.R. and J.C. Venus. 1981. The Biometry of Plant Growth. Edward Arnold Ltd. London. pp. 1-64.
- Chism, W.J., J.B. Birch and S.W. Bingham. 1992. Nonlinear Regressions for Analyzing Growth Stage and Quinclorac Interactions. Weed Tech. 6 : 898-903.
- Cordes, R.C. and T.T. Bauman. 1984. Field Competition between Ivyleaf Morningglory (*Ipomea bederacea*) and Soybeans (*Glycine max*). Weed Sci. 32 : 364-370.

- Cousens, R. 1985. An Empirical Model Relating Crop Yield to Weed and Crop Density and a Statistical Comparison with Other Models. *J. Agric. Sci.* 105 : 513-521.
- _____, P. Brain, J.T. O'donovan, and P.A. O'sullivan. 1987. The Use of Biologically Realistic Equations to Describe the Effects of Weed Density and Relative Time of Emergence on Crop Yield. *Weed Science.* 35 : 720-725.
- Crook, T.M. and K.A. Renner. 1990. Common Lambsquarters (*Chenopodium album*) Competition and Time of Removal in Soybean (*Glycine max*). *Weed Sci.* 38 : 358-364.
- Cushing, J.M. 1980. Two Species Competition in a Periodic Environment. *Journal Mathematical Biology.* 10 : 385-400.
- De, S.S. 1987. Stochastic Model of Population Growth and Spread. *Bulletin of Mathematical Biology.* 49 : 1-11.
- De Wit, C.T. 1960. On Competition. *Versl. Landbouwk. Onderzoek. Wageningen.* 66(8) : 1-81.
- _____, and J.P. Van Den Bergh. 1965. Competition between Herbage Plants. *Neth. J. Agric. Sci.* 13(2) : 212-221.
- Dieleman, A., A.S. Hamill, S.F. Weise, and C.J. Swanton. 1995. Emperical Models of Pigweed (*Amaranthus spp.*) Interference in Soybean (*Glycine max*). *Weed Science.* 43 : 612-618.
- Direktorat Bina Produksi Hortikultura. 1985. Bercocok Tanam Sayur-sayuran, Seri : Bawang Putih, Bawang Merah, Lombok dan Kentang. p. 21.
- Diperta Propinsi Dati I Jatim. 1991. Laporan Tahunan 1991. p. 252 (lampiran 12.e).
- Donald, C.M. 1963. Competition Among Crop and Pasture Plants. *Adv. Agron.* 15 : 1-117.
- Draper, N.R., and H. Smith. 1981. *Applied Regression Analysis.* John Wiley & Sons. New York. p. 709.
- Dunan, C.M., P. Westra, F. Moore, and P. Chapman. 1996. Modelling the Effect of Duration of Weed Competition, Weed Density and Weed Competitiveness on Seeded, Irrigated Onion. *Weed Research.* 36 : 259-269.

- Eriatno dan S. Ma'arif. 1987. Penerapan Ilmu Sistem untuk Pengelolaan Lingkungan. Kursus Dasar-dasar AMNDAL. Dept. Transmigrasi dan PPLH-IPB. p. 15
- _____. 1991. Permodelan Sistem. Fakultas Pascasarjana IPB. p. 16 (tidak dipublikasikan).
- Evans, G.C. 1972. The Quantitative Analysis of Plant Growth. Blackwell Sci. Publ. Oxford. pp. 39-539.
- Federer, W.T. 1955. Experimental Design. Oxford & IBH Publishing Co. Calcuta-Bombay-New Delhi. p. 544.
- France, J. and J.H.M. Thornley. 1984. Mathematical Models in Agriculture. Butterworths. Toronto-Sydney. pp. 1-39.
- Gilchrist, W. 1984. Statistical Modelling. John Wiley & Sons. New York. p. 336.
- Giordano, F.R. and M.D. Weir. 1985. A First Course in Mathematical Modelling. Brooks/Cole Publ. Company. California. p. 382.
- Graft, B., A.P. Gutierrez, O. Rakotobe, P. Zahner, and V. Delucchi. 1990. A Simulation Model for the Dynamics of Rice Growth and Development : Part II - The Competition with Weeds for Nitrogen and Light. Agricultural Systems. 32 : 367-392.
- _____, M. Dingkuhn, F.Schnier, V. Coronel, and S. Akita. 1991. A Simulation Model for the Dynamics of Rice Growth and Development : Part III - Validation of the Model with High- Yielding Varieties. Agricultural Systems. 36 : 329-349.
- _____, and J.E. Hill. 1992. Modelling the Competition for Light and Nitrogen Between Rice and *Echinochloa Crusgalli*. Agricultural System. 40 : 345-359.
- Grant, W.E. 1986. System Analysis in Wildlife and Fisheries Sciences. John Wiley & Sons. New York. p. 333.
- Grundy, A.C., A. Mead, and W. Bond. 1996. Modelling the Effect of Weed-Seed Distribution in the Soil Profile on Seedling Emergence. Weed Research. 36 : 375-384.

- Laberman, R. 1977. **MATHEMATICAL MODELS** : Mechanical Vibrations, Population Dynamics, and Traffic Flow. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs. New Jersey. p. 402.
- Larysaksono, S. 1989. Periode Kritis Bawang Merah karena adanya Persaingan dengan Gulma dan Pemberian Pupuk Kandang. Tesis Pascasarjana KPK UGM-Unibraw. p. 132 (tidak dipublikasikan).
- Hasibuan, K.M. 1989. **Pemodelan Matematika**. PAU Ilmu Hayati IPB. p. 156.
- Hewson, R.T. and H.A. Roberts. 1973. Some Effects of Weeds Competition on the Growth of Onions. *J. Hort. Sci.* 48 : 51- 57.
- Holt, J.S. and D.R. Orcutt. 1991. Functional Relationships of Growth and Competitiveness in Perennial Weeds and Cotton (*Gossypium hirsutum*). *Weed Sci.* 39 : 575-584.
- Horie, T. 1987. Dynamic Models for Evaluating and Predicting the Growth and Yield of Rice and Sunflower Crops from Weather. *Tec. Bul.* (99) : 1-13.
- Hsu, S.B. 1980. A Competition Model for a Seasonally Fluctuating Nutrient. *Journal of Mathematical Biology.* 9 : 115-132.
- Huang, Y., L. Gao, Z. Jin, and H. Chen. 1996. A Software Package for Optimizing Rice Production Management Based on Growth Simulation and Feedback Control. *Agricultural Systems.* 50 : 335-354.
- Iriani, A. 1993. Analisis Persaingan Antara Tanaman Jagung dengan Tanaman Kacang-kacangan. Tesis S2 PPS. IPB. p. 43.
- Jagtap, S.S., M. Mornu, and B.T. Kang. 1993. Simulation of Growth, Development and Yield of Maize in the Transition Zone of Nigeria. *Agricultural System.* 41 : 215-229.
- Jones, J.W., J.W. Mishoe and K.J. Boote. 1987. Introduction to Simulation and Modelling. *Tec. Bul.* (100) : 1-19.
- Kapur, J.N. 1985. **Mathematical Models in Biology and Medicine**. Affiliated East-West. Press PVT LTD New Delhi. pp. 49-217.
- Kasasian, L. and J. Seeyave. 1969. Critical Periods for Weeds Competition. *PANS* 15(2) : 208-215.

- Keeley, P.E. and R.J.Thullen. 1991. Growth and Interaction of Barnyardgrass (*Echinochloa crusgalli*) with Cotton. *Weed Sci.* 39 : 369-375.
- Klemke, T. and A. Moll. 1990. Model for Simulation of Potato Growth from Planting to Emergence. *Agricultural Systems.* 32 : 295-304.
- Knezevic, S.Z., S.F. Weise, and C.J. Swanton. 1995. Comparison of Empirical Models Depicting Density of *Amaranthus retroflexus* L. and Relative Leaf Area as Predictors of Yield Loss in Maize (*Zea mays* L.). *Weed Research.* 35 : 207-214.
- Klingman, G.C. 1973. *Weed Control : As a Science.* John Wiley & Sons, Inc. New York. pp. 1-27.
- Lawless, J. F. 1982. *Statistical Models and Methods for Lifetime Data.* John Wiley & Sons. New York. p.573.
- Levin, S.A., T.G. Hallam, L.J. Gross. 1989. *Applied Mathematical Ecology.* Springer Verlag. Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo. p. 491.
- McGiffen, M.E., J.B. Masiunas, and J.D. Hesketh. 1992. Competition for Light between Tomatoes and Nightshades (*Solanum nigrum* or *S. ptycanthum*). *Weed Sci.* 40 : 220-226.
- McGilchrist, C.A. 1965. Analysis of Competition Experiments. *BIOMETRICS.* 21 : 975-985.
- _____ and B.R. Trenbath. 1971. A Revised Analysis of Plant Competition Experiment. *BIOMETRICS.* 27 : 659-671.
- Mercado, B.L. 1979. *Introduction to Weed Science.* Southeast Asian Regional Center for Graduate and Research in Agriculture. pp. 1-36.
- Meyer, W.J. 1987. *Concepts of Mathematical Modelling.* McGraw-Hill Inc. New York. p. 439.
- Mimbar, S. M., 1990. Pola Pertumbuhan dan Hasil Panen Jagung Kretek Karena Pengaruh Pupuk N. *AGRIVITA* 13(3) : 82-89.
- Moenandir, J. 1985. *Weed-Crops Interaction in the Sugarcane-Peanut Intercropping System.* Thesis Doctor University of Brawijaya, Malang. p. 228 (tidak dipublikasikan).

- _____. 1986. Pengantar Ilmu dan Pengendalian Gulma (Ilmu Gulma Buku I). Rajawali Pres. Jakarta. p. 122.
- _____. 1988. Persaingan Tanaman Budidaya dengan Gulma (Ilmu Gulma Buku III). Rajawali Pres. Jakarta. p. 101.
- _____. dan E. Mardiaty. 1991. Pengaruh Legum pada Periode Kritis Kacang Tanah Var. Gajah karena Persaingan Gulma. AGRIVITA. 13 : 34-40.
- _____. dan S. Handayani. 1990. Periode Kritis Tanaman kacang Hijau (*Vigna radiata*) Var. Walet pada Beberapa Jarak Tanam karena Persaingan dengan Gulma. AGRIVITA. 13(4) : 1- 5.
- _____, Sarjono dan Budiwati. 1990. Periode Kritis kacang Hijau Var. Walet karena adanya Persaingan dengan Gulma dan Jenis Pengolahan Tanah. Pros 1. Konf. X HIGI: 156-167.
- Mood, A.M., F.A. Graybill and D.C. Boes. 1974. Introduction to Theory of Statistics. McGraw-Hill Inc. Book-Company. New York. p. 564.
- Moody, K. 1976. Crop-Weed Competition. Biotrop Fourth Weeds Sci. Training Course : 38-51.
- Mulyono, S. 1991. Analisis Jalur (Path Analysis). Penataran Metodologi Penelitian, Statistika dan Komputer Tingkat Lanjut. Lemlit Universitas Airlangga. p. 26.
- Murray, J.D. 1990. Mathematical Biology. Springer-Verlag. New York. pp. 1-33.
- Musa, S. dan A.H.Nasution. 1988. PERANCANGAN DAN ANALISIS PERCOBAAN ILMIAH Volume II : Pengantar Model Linier dan Teknik Regresi. Diklat FMIPA IPB. p. 383.
- Nieto, J., M.A. Brondo and J.T. Gonzalez. 1968. Critical Periods of the Crop Growth Cycle for Competition from Weeds. PANS (c) 14(2) : 159-166.
- Onwueme, I.C. and A.J. Haverkort. 1991. Modelling Growth and Productivity of Yams (*Dioscorea Spp*): Prospects and Problems. Agricultural Systems. 36 : 351-367.
- Pachepsky, L.B., J.D. Hasket, and B. Acock. 1996. An Adequate Model of Photosynthesis-I. Parameterization, Validation and Comparison of Models. Agricultural Systems. 50 : 209-225.

- _____. and B. Acock. 1996. An Adequate Model of Photosynthesis-II. Dependence of Parameters on Environmental Factors. *Agricultural Systems*. 50 : 227-238.
- Pantone, D.J. and J.B. Baker. 1991. Reciprocal Yield Analysis of Red Rice (*Oryza sativa*) Competition in Cultivated Rice. *Weed Sci.* 39 : 42-47.
- Patterson, D.T. 1985. Comparative Ecophysiology of Weeds and Crops. In *Weed Physiology* Ed. by Duke. Boca Raton. USA. pp. 101-129
- Pike, D.R., E.W. Stoller and L.M. Wax. 1990. Modeling Soybean Growth and Canopy Apportionment in Weed-Soybean (*Glycine max*) Competition. *Weed Sci.* 38 : 522-527.
- Prawiranata, W., S. Haran dan P. Tjondronegoro. 1989. Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan. FMIPA IPB. pp. IX 1-41
- Rasmussen, J. 1991. A Model for Prediction of Yield Response in Weed Harrowing. *Weed Res.* 31 : 401-408.
- Retta, A., R.L. Vanderlip, R.A. Higgins, L.J. Moshier, and A.M. Feyerherm. 1991. Suitability of Corn Growth Models for Incorporation of Weed and Insect Stresses. *Agronomy Journal*. 83 : 757-765.
- Riyanto, M. Dawam, Soewarno dan Soetono. 1981. Pengaruh Jarak Tanam dan Berat Umbi Bibit terhadap Pertumbuhan dan Produksi Dua Varietas Bawang merah. Makalah Penunjang Konggres Hortikultura Nasional I. p. 10.
- Sarono, M.B.T. 1991. An Investigation of A Growth Model for Lettuce Adapted to Australian Field Conditions. Thesis PhD. The University of Sydney. p. 170. (tidak dipublikasikan).
- Shasha'a, N. S., W. F. Campbell and W.P. Nye. 1976. Effects of Fertilizer and Moisture on Seed Yield of Onion. *HortScience* 11(4) : 425-426.
- Singh, M., M.C. Saxena, B.E. Abu-Irmaileh, S.A. Al-Thahabi, and N.I. Hoddad. 1996. Estimation of Critical Period of Weed Control. *Weed Science*. 44 : 273-283.
- Siswanto, B. dan J. Moenandir. 1986. Periode Kritis Tanaman Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.) Karena adanya Persaingan dengan Gulma. *Pross. Konf. VII. HIGI* : 41-53.

- Soetrisno, E. Widaryanto and J. Moenandir. 1981. Competition Study of Upland Rice and *Digitaria ciliaris*. *AGRIVITA*. 4(4) : 6-10.
- Soemarno, Solimun, Sudarto, B. Parasetya dan Z. Kusuma. 1992. Model Simulasi Komputer Pola Tanam Lahan Kering Konservasi. di Sub Das lesti. Kab. Malang. Laporan Hasil Penelitian. Unibraw. p. 55. (tidak dipublikasikan).
- Soetanto, S. 1990. Kajian Kultivar Bawang Putih (*Allium sativum* L.) pada Berbagai Lokasi dan Elevasi di Jember. Pross. Simposium Hortikultura. Malang. pp. 443-448.
- Sokal, R. R., and F. J. Rohlf. 1981. *BIOMETRY*. W. H. Freeman and Company. USA. pp. 1-19, 271-320.
- Sudarwati, H. 1990. Studi Terhadap Pendugaan Model Kurva Laktasi Pada Sapi Perah. Tesis Pascasarjana IPB. p. 54. (tidak dipublikasikan).
- Sukarwo, P. 1987. Periode Kritis Padi gogo terhadap Persaingan Gulma pada Beberapa Tingkat Pemupukan Nitrogen. Tesis Pascasarjana KPK UGM-Unibraw. p. 156 (tidak dipublikasikan).
- Sulasmu, S. 1990. Pengaruh Pemberian Pupuk Organik dan Nitrogen terhadap Pertumbuhan dan Hasil Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.). FP Unibraw Malang. p. 58.
- SYSTAT. 1990. Manuals. SYSTAT, Inc. 1800 Sherman Avenue Evanston, IL. p. 676.
- Tampubolon, M. dkk. 1986. Laporan Survei Inventarisasi Permasalahan Tanaman Hortikultura di Jawa Timur. Komunikasi No 10. Kelompok Studi Hortikultura, FP Unibraw, Malang. pp. 1-19 dan lampiran.
- Thornton, P.K., J.B. Dent, and Z. Bacsi. 1991. A Framework for Crop Growth Simulation Model Applications. *Agricultural Systems*. 37 : 327-340.
- Utomo, I.H., Purwono dan A. Mahendra. 1990. Periode Kritis padi gogo terhadap Persaingan Gulma *Borreria alata*. Pross. Konf. X. HIGI : 176-182.
- Weaver, S.E.; N. Smith and C.S. Tan. 1987. Estimating Yield Losses of Tomatos caused by Nightshade Interference. *Weed Sci*. 35: 163-168.

- Vieks, G.H, D.N. Johnston, D.S. Nanland and E.J Kinsbacker. 1973. Competition between Annual Weeds and Sweed Spanish Onion. *Weed Sci.* 21 : 436-439.
- Wijayanto, M., Rosilawati and J. Moenandir. 1988. Critical Period of Garlic for the Presence of Weeds. *Pross. Konf. XI. HIGI.* 347-355.
- Wiles, L.J. and G.G. Wilkerson. 1991. Modelling Competiton for Light between Soybean and Broadleaf Weeds. *Agricultural Systems.* 35 : 37-51.
- _____, R.P. King, E.E. Schweizer, D.W. Lybecker, and S.M. Swinton. 1996. GWM : General Weed Management Model. *Agricultural System.* 50 : 355-376.
- William, R.D. and G.F. Warren. 1975. Competition between Purple Nutsedge and Vegetables. *Weed Sci.* 23(4) : 317-323.
- Wilson, B.J. and K.J. Wright. 1990. Predicting the Growth and Competitive Effects of Annual Weeds in Wheat. *Weed Res.* 30: 201-211.
- Wiroatmodjo, J., I.H. Utomo dan A.P. Lontoh. 1990. Perilaku Kompetisi antara Gulma-Kacang hijau dan Gulma-Jagung Manis. *Buletin Agronomi.* IPB. 19(2): 9-16.
- Yitnosumarto, S. 1987. ANALISIS REGRESI DAN KORELASI Teori dan Terapannya. Universitas Brawijaya Malang. p. 356.
- Yitnosumarto, S. 1991. PERCOBAAN Perancangan, Analisis, dan Interpretasinya. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. p. 298.
- Zimdahl, R.L. 1980. Weed-Crop Competition. IPPC. Oregon State Univ. Corvalis, Oregon USA. p. 195.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil analisis vegetasi sebelum dilakukan pengolahan tanah
(tanam)

Tabel Lampiran 1a. Hasil analisis vegetasi habitat Batu

Nama spesies	Kerapatan relatif	Frekuensi relatif	Dominansi relatif	SDR
<i>Ageratum conyzoides</i>	21.7420	7.40741	7.40741	9.7466
<i>Ageratum nontonianum</i>	0.5894	5.55556	5.55556	2.2305
<i>Cynodon dactylon</i>	3.6673	7.40741	7.40741	4.5612
<i>Cyperus rotundus</i>	5.5010	9.25926	9.25926	5.4473
<i>Elephantopus scaber</i>	5.3045	5.55556	5.55556	3.6562
<i>Eleusine indica</i>	0.5239	3.70370	3.70370	2.1492
<i>Emilia sonchifolia</i>	1.3752	5.55556	5.55556	2.3512
<i>Eraghatis japonica</i>	1.3752	1.85185	1.85185	1.0904
<i>Euphorbia hirta</i>	4.5187	7.40741	7.40741	3.9799
<i>Imperata cylindrica</i>	0.9823	7.40741	7.40741	2.8110
<i>Mimosa invisa</i>	1.5062	9.25926	9.25926	8.4525
<i>Oxialis corniculata</i>	19.7773	5.55556	5.55556	13.7954
<i>Panicum ripens</i>	2.5540	9.25926	9.25926	4.2378
<i>Paspalum conjugatum</i>	0.9168	5.55556	5.55556	3.3648
<i>Phyllanthus ninuli</i>	29.3386	5.55556	5.55556	11.6422
<i>Polithias amanon</i>	0.3274	3.70370	3.70370	20.4837

Tabel Lampiran 1b. Hasil analisis vegetasi habitat Dau

Nama spesies	Kerapatan relatif	Frekuensi relatif	Dominansi relatif	SDR
<i>Ageratum conyzoides</i>	2.4051	11.6279	0.1084	4.7138
<i>Althenenthera philoxeoides</i>	4.6835	6.9767	9.2070	6.9558
<i>Amarantus sp.</i>	0.6329	2.3256	0.2266	1.0617
<i>Bidens pilosa</i>	1.1392	4.6512	10.7384	5.5096
<i>Commelina mediflora</i>	0.7595	4.6512	3.4840	2.9649
<i>Cynodon dactylon</i>	4.1772	6.9767	8.5058	6.5533
<i>Cyperus ceproides</i>	8.6076	9.3023	1.1932	6.3677
<i>Cyperus difformis</i>	10.1266	11.6279	37.3931	19.7159
<i>Cyperus rotundus</i>	58.4810	11.6279	11.5721	27.2270
<i>Digitaria adscendens</i>	0.7595	2.3256	4.2348	2.4400
<i>Eleusine indica</i>	3.4177	11.6279	7.7182	7.5879
<i>Emilia sonchifolia</i>	0.2532	2.3256	2.2858	1.6215
<i>Imperata cylindrica</i>	0.6329	2.3256	0.8365	1.2650
<i>Portulaca oleraceae</i>	3.9241	11.6279	2.4959	6.0160

Tabel Lampiran 1c. Hasil analisis vegetasi habitat Malang

Nama spesies	Kerapatan relatif	Frekuensi relatif	Dominansi relatif	SDR
<i>Ageratum conizoides</i>	4.4355	9.67742	0.0040	4.7056
<i>Commelina nudiflora</i>	2.0161	6.45161	0.2686	2.9121
<i>Cynodon dactylon</i>	33.2661	9.67742	11.8613	18.2683
<i>Cyperus difformis</i>	4.2339	9.67742	18.8788	10.9300
<i>Cyperus iria</i>	4.0323	9.67742	0.0027	4.5708
<i>Cyperus rotundus</i>	3.8306	9.67742	0.0996	4.5359
<i>Echinochloa crusgalli</i>	1.0081	3.22581	0.0341	1.4227
<i>Eleusine indica</i>	1.0081	3.22581	0.0241	1.4193
<i>Emilia sonchiflora</i>	1.0081	3.22581	0.0218	1.4186
<i>Hiptochloa chinensis</i>	0.2016	3.22581	27.9236	10.4504
<i>Imperata cylindrica</i>	19.1532	3.22581	0.0341	7.4711
<i>Mimosa invisa</i>	4.0323	9.67742	0.0075	4.5724
<i>Mimosa pudica</i>	1.8145	6.45161	31.0324	13.0995
<i>Paspalum conjugatum</i>	0.4032	3.22581	4.9159	2.8483
<i>Phyllanthus ninuri</i>	19.5565	9.67742	4.8913	11.3751

Lampiran 2. Hasil analisis contoh tanah

Lokasi	pH	N total (%)	P Olsen (me/kg)	K (me/100 g)
Batu	6.4	0.11	34	1.58
Dau	7.0	0.13	51	0.52
Malang	7.0	0.12	16	0.35

Keterangan : pengambilan contoh tanah secara komposit

ampiran 3. Hasil analisis ragam model percobaan tersarang

ercobaan Pertumbuhan

actor	Type	Levels	Values
KT	fixed	3	1 2 3
N(KT)	fixed	4	0 1 2 3

Analysis of Variance for umur-14

Source	DF	SS	MS	F	P
KT	2	3.0883	1.5442	1.82	0.184
N(KT)	9	3.0323	0.3369	0.40	0.925
Error	24	20.3953	0.8498		
Total	35	26.5160			

Analysis of Variance for umur-28

Source	DF	SS	MS	F	P
KT	2	32.745	16.372	3.83	0.036
N(KT)	9	97.781	10.865	2.54	0.033
Error	24	102.547	4.273		
Total	35	233.073			

Analysis of Variance for umur-42

Source	DF	SS	MS	F	P
KT	2	2220.683	1110.342	162.89	0.000
N(KT)	9	3309.347	367.705	53.94	0.000
Error	24	163.599	6.817		
Total	35	5693.629			

Analysis of Variance for umur-56

Source	DF	SS	MS	F	P
KT	2	18462.47	9231.23	422.04	0.000
N(KT)	9	6474.89	719.43	32.89	0.000
Error	24	524.95	21.87		
Total	35	25462.31			

Analysis of Variance for umur-70

Source	DF	SS	MS	F	P
KT	2	23953.02	11976.51	282.51	0.000
N(KT)	9	7281.08	809.01	19.08	0.000
Error	24	1017.45	42.39		
Total	35	32251.55			

Percobaan metode Nieto *et al.* (1968) perlakuan bebas gulma

Factor	Type	Levels	Values
KT	fixed	3	1 2 3
N(KT)	fixed	4	0 1 2 3

Analysis of Variance for BBS-0

Source	DF	SS	MS	F	P
KT	2	13553.0	6776.5	694.75	0.000
N(KT)	9	3834.0	426.0	43.67	0.000
Error	24	234.1	9.8		
Total	35	17621.1			

Analysis of Variance for BBS-14

Source	DF	SS	MS	F	P
KT	2	13243.4	6621.7	1322.56	0.000
N(KT)	9	3961.2	440.1	87.91	0.000
Error	24	120.2	5.0		
Total	35	17324.8			

Analysis of Variance for BBS-28

Source	DF	SS	MS	F	P
KT	2	11466.8	5733.4	1408.25	0.000
N(KT)	9	4339.6	482.2	118.43	0.000
Error	24	97.7	4.1		
Total	35	15904.1			

Analysis of Variance for BBS-42

Source	DF	SS	MS	F	P
KT	2	7053.1	3526.5	1422.58	0.000
N(KT)	9	7359.4	817.7	329.86	0.000
Error	24	59.5	2.5		
Total	35	14471.9			

Analysis of Variance for BBS-56

Source	DF	SS	MS	F	P
KT	2	16205.4	8102.7	1189.80	0.000
N(KT)	9	10491.4	1165.7	171.17	0.000
Error	24	163.4	6.8		
Total	35	26860.2			

Analysis of Variance for BBS-70

Source	DF	SS	MS	F	P
KT	2	17450.1	8725.0	1075.34	0.000
N(KT)	9	10900.7	1211.2	149.28	0.000
Error	24	194.7	8.1		
Total	35	28545.5			

ampiran 4. Hasil analisis data untuk merancang model empiris

The regression equation is

$$b_2/b_3 = 23.0 + 0.0287 N + 12.2 E - 3.89 E^2$$

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p
Constant	22.992	1.812	12.69	0.000
N	0.028729	0.004226	6.80	0.000
E	12.151	2.025	6.00	0.000
E ²	-3.8930	0.5012	-7.77	0.000

s = 0.8184 R-sq = 96.9% R-sq(adj) = 95.7%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	3	165.002	55.001	82.12	0.000
Error	8	5.358	0.670		
Total	11	170.360			

lampiran 5. Hasil analisis data berdasarkan konsep Nieto *et al.* (1968).

Habitat Batu, Perlakuan Bebas Gulma

Analysis of Variance for b-bkttn0

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	6	6697.2	1116.2	103.86	0.000
Error	14	150.5	10.7		
Total	20	6847.7			

Analysis of Variance for b-bkttn1

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	6	6445.3	1074.2	90.15	0.000
Error	14	166.8	11.9		
Total	20	6612.1			

Analysis of Variance for b-bkttn2

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	6	7346.4	1224.4	405.97	0.000
Error	14	42.2	3.0		
Total	20	7388.6			

Analysis of Variance for b-bkttn3

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	6	6424.9	1070.8	206.15	0.000
Error	14	72.7	5.2		
Total	20	6497.6			

Tabel Lampiran 5.a Hasil Uji BNJ Perlakuan Bebas Gulma pada Lokasi Batu

Perlakuan	Nilai rerata (g/tanaman) pada dosis N			
	0	50	100	150
0	45.070 c	51.997 c	47.793 c	55.480 c
14	41.550 c	52.557 c	47.143 c	54.623 c
28	46.987 c	55.990 c	48.210 c	58.680 c
42	63.077 b	67.217 b	66.110 b	71.923 b
56	82.487 a	90.883 a	87.753 a	92.340 a
70	83.210 a	91.113 a	88.333 a	94.790 a
84	83.230 a	91.247 a	88.187 a	94.450 a
BNJ 5 %	9.122	9.620	4.830	6.359

Habitat Batu, Perlakuan Bergulma

Analysis of Variance for g-bkttn0

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	6	5352.78	892.13	161.92	0.000
Error	14	77.13	5.51		
Total	20	5429.92			

Analysis of Variance for g-bkttn1

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	6	5284.43	880.74	126.64	0.000
Error	14	97.36	6.95		
Total	20	5381.79			

Analysis of Variance for g-bkttn2

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	6	6142.43	1023.74	265.47	0.000
Error	14	53.99	3.86		
Total	20	6196.42			

Analysis of Variance for g-bktn3

Source	DF	SS	MS	F	P
perlak	6	6829.40	1138.23	166.58	0.000
Error	14	95.66	6.83		
Total	20	6925.06			

Tabel Lampiran 5.b Hasil Uji BNJ Perlakuan Bergulma pada Lokasi Batu

Perlakuan	Nilai rerata (g/tanaman) pada dosis N			
	0	50	100	150
0	44.240 a	53.217 a	45.550 a	53.897 a
14	44.313 a	52.297 a	46.343 a	53.833 a
28	45.477 b	55.237 b	47.080 b	55.670 b
42	50.537 c	61.977 c	55.353 c	66.597 c
56	66.773 c	76.280 cd	70.133 d	79.490 d
70	81.560 c	90.550 d	86.200 d	97.057 d
84	81.963 c	90.867 d	86.797 d	97.277 d
BNJ 5 %	6.546	7.351	5.479	7.288

Dari Tabel Lampiran 5.a dan 5.b diperoleh hasil perhitungan periode kritis seperti disajikan pada Tabel Lampiran 5.c.

Tabel Lampiran 5.c Hasil Perhitungan Periode Kritis pada Lokasi Batu

Dosis Pemupukan Nitrogen	Periode Kritis (hst)
0 kg/ha	14 sampai dengan 56
50 kg/ha	14 sampai dengan 56
100 kg/ha	14 sampai dengan 56
150 kg/ha	14 sampai dengan 56

Habitat Dau, Perlakuan Bebas Gulma

Analysis of Variance for b-bkttn0

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	6	6621.1	1103.5	168.66	0.000
Error	14	91.6	6.5		
Total	20	6712.7			

Analysis of Variance for b-bkttn1

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	6	19737.8	3289.6	464.94	0.000
Error	14	99.1	7.1		
Total	20	19836.9			

Analysis of Variance for b-bkttn2

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	6	16431.3	2738.5	259.39	0.000
Error	14	147.8	10.6		
Total	20	16579.1			

Analysis of Variance for b-bkttn3

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	6	16188.0	2698.0	248.77	0.000
Error	14	151.8	10.8		
Total	20	16339.9			

Tabel Lampiran 5.d Hasil Uji BNJ Perlakuan Bebas Gulma pada Lokasi Dau

Perlakuan	Nilai rerata (g/tanaman) pada dosis N			
	0	50	100	150
0	49.367 c	72.55 c	85.55 c	93.35 c
14	49.393 c	74.37 c	86.71 c	94.01 c
28	53.467 c	77.16 c	92.48 c	101.13 c
42	68.527 b	106.14 b	113.09 b	117.37 b
56	87.890 a	138.65 a	145.43 a	154.19 a
70	89.100 a	140.91 a	149.67 a	156.26 a
84	89.927 a	142.87 a	149.87 a	156.26 a
BNJ 5 %	7.110	7.430	9.079	9.164

Habitat Dau, Perlakuan Bergulma

Analysis of Variance for g-bkttn0

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	6	5460.92	910.15	309.76	0.000
Error	14	41.14	2.94		
Total	20	5502.05			

Analysis of Variance for g-bkttn1

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	6	18804.48	3134.08	315.31	0.000
Error	14	139.16	9.94		
Total	20	18943.63			

Analysis of Variance for g-bkttn2

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	6	17197.75	2866.29	126.77	0.000
Error	14	316.54	22.61		
Total	20	17514.29			

Analysis of Variance for g-bkttn3

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	6	14782.40	2463.73	660.17	0.000
Error	14	52.25	3.73		
Total	20	14834.65			

Tabel Lampiran 5.e Hasil Uji BNJ Perlakuan Bergulma pada Lokasi Dau

Perlakuan	Nilai rerata (g/tanaman) pada dosis N			
	0	50	100	150
0	53.033 a	83.99 a	102.49 a	121.07 a
14	53.677 a	83.64 a	103.51 a	121.98 a
28	53.687 b	84.59 b	107.98 b	123.22 b
42	57.333 c	91.53 c	115.25 c	144.20 c
56	74.350 c	128.48 c	150.03 c	165.22 c
70	90.870 c	152.02 c	169.57 c	183.68 c
84	90.583 c	152.54 c	170.20 c	184.55 c
BNJ 5 %	4.781	8.790	13.260	5.386

Dari Tabel Lampiran 5.d dan 5.e diperoleh hasil perhitungan periode kritis seperti disajikan pada Tabel Lampiran 5.f.

Tabel Lampiran 5.f Hasil Perhitungan Periode Kritis pada Lokasi Dau

Dosis Pemupukan Nitrogen	Periode Kritis (hst)
0 kg/ha	14 sampai dengan 56
50 kg/ha	14 sampai dengan 56
100 kg/ha	14 sampai dengan 56
150 kg/ha	14 sampai dengan 56

Habitat Malang, Perlakuan Bebas Gulma

Analysis of Variance for b-bkttn0

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	5	5469.2	1093.8	341.76	0.000
Error	12	38.4	3.2		
Total	17	5507.6			

Analysis of Variance for b-bkttn1

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	5	14543.6	2908.7	884.80	0.000
Error	12	39.4	3.3		
Total	17	14583.0			

Analysis of Variance for b-bkttn2

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	5	16162.0	3232.4	324.20	0.000
Error	12	119.6	10.0		
Total	17	16281.6			

Analysis of Variance for b-bkttn3

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	5	16428.4	3285.7	1117.10	0.000
Error	12	35.3	2.9		
Total	17	16463.7			

Tabel Lampiran 5.g Hasil Uji BNJ Perlakuan Bebas Gulma pada Lokasi Malang

Perlakuan	Nilai rerata (g/tanaman) pada dosis N			
	0	50	100	150
0	22.543 c	23.650 c	29.303 c	35.327 c
14	24.027 c	24.273 c	33.663 cb	35.107 c
28	32.873 b	40.490 b	39.140 b	39.983 b
42	57.317 a	82.463 a	92.407 a	96.147 a
56	61.733 a	86.420 a	94.070 a	97.363 a
70	62.693 a	86.643 a	94.563 a	97.893 a
BNJ 5 %	4.906	4.982	8.672	4.670

Habitat Malang, Perlakuan Bergulma

Analysis of Variance for g-bkttn0

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	5	5433.9	1086.8	52.58	0.000
Error	12	248.0	20.7		
Total	17	5681.9			

Analysis of Variance for g-bkttn1

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	5	13383.5	2676.7	670.19	0.000
Error	12	47.9	4.0		
Total	17	13431.4			

Analysis of Variance for g-bkttn2

Source	DF	SS	MS	F	P
perlk	5	13913.6	2782.7	669.60	0.000
Error	12	49.9	4.2		
Total	17	13963.4			

Analysis of Variance for g-bktn3

Source	DF	SS	MS	F	P
Perlk	5	14653.0	2930.6	343.09	0.000
Error	12	102.5	8.5		
Total	17	14755.5			

Tabel Lampiran 5.h Hasil Uji BNJ Perlakuan Bergulma pada Lokasi Malang

Perlakuan	Nilai rerata (g/tanaman) pada dosis N			
	0	50	100	150
0	21.210 a	22.613 a	32.667 a	37.38 a
14	23.250 a	23.007 a	32.497 a	37.39 a
28	25.123 b	27.123 b	40.443 b	44.55 b
42	27.200 b	57.397 b	67.517 c	75.39 c
56	60.663 b	84.703 c	96.217 d	103.27 d
70	61.040 b	84.643 c	97.297 d	102.23 d
BNJ 5 %	12.477	5.485	5.620	7.995

Dari Tabel Lampiran 5.g dan 5.h diperoleh hasil perhitungan periode kritis seperti disajikan pada Tabel Lampiran 5.i.

Tabel Lampiran 5.i Hasil Perhitungan Periode Kritis pada Lokasi Malang

Dosis Pemupukan Nitrogen	Periode Kritis (hst)
0 kg/ha	14 sampai dengan 42
50 kg/ha	14 sampai dengan 42
100 kg/ha	14 sampai dengan 42
150 kg/ha	14 sampai dengan 42