



**PENERAPAN MODEL LOPEZ DAN MODEL LOGISTIC
PADA PERTUMBUHAN CABAI RAWIT (*Capsicum
frutescens* Linn.)**

SKRIPSI

sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Statistika

Oleh:
NOVA DELLA KUSUMA DEWI
165090501111014



PROGRAM STUDI SARJANA STATISTIKA
JURUSAN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2020



Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

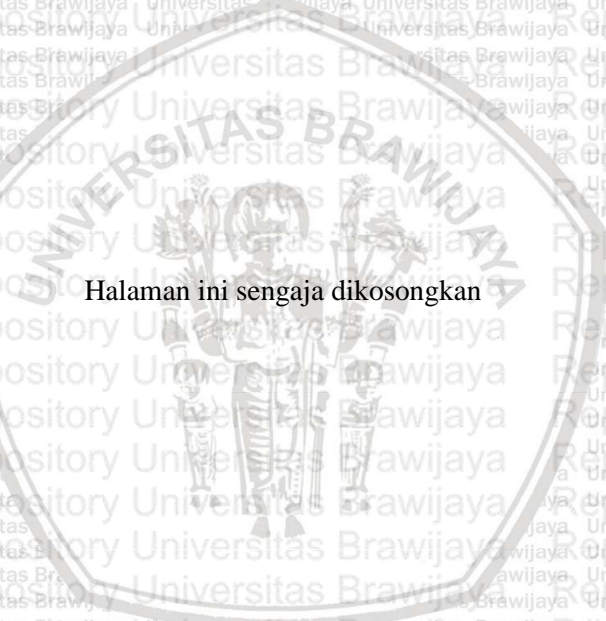
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Halaman ini sengaja dikosongkan



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENERAPAN MODEL *LOPEZ* DAN MODEL *LOGISTIC*
PADA PERTUMBUHAN CABAI RAWIT (*Capsicum
frutescens* Linn.)**

Oleh:

**NOVA DELLA KUSUMA DEWI
165090501111014**

**Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji pada tanggal 15
April 2020 dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh
gelar Sarjana Statistika**

Dosen Pembimbing



**Prof. Dr. Ir. Ni Wayan Surva Wardhani, MS
NIP. 195511021981032001**

Mengetahui,

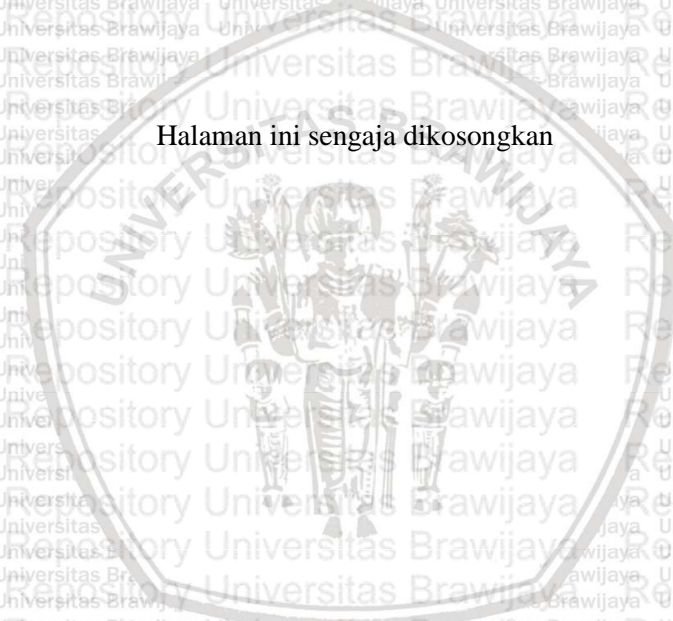
**Ketua Jurusan Statistika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**



**Rahma Fitriani, S. Si., M.Sc., Ph.D
NIP. 197603281999032001**



Halaman ini sengaja dikosongkan





LEMBAR PERNYATAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nova Della Kusuma Dewi

NIM : 165090501111014

Program Studi : Statistika

Penulis Skripsi Berjudul :

PENERAPAN MODEL *LOPEZ* DAN MODEL *LOGISTIC* PADA PERTUMBUHAN CABAI RAWIT (*Capsicum frutescens* Linn.)

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Isi dari skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termasuk di sini dan tertulis di daftar pustaka dalam skripsi ini.
2. Apabila dikemudian hari ternyata skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 25 April 2020

Yang menyatakan,

Nova Della Kusuma Dewi

NIM. 165090501111014



Halaman ini sengaja dikosongkan



PENERAPAN MODEL *LOPEZ* DAN MODEL *LOGISTIC* PADA PERTUMBUHAN CABAI RAWIT (*Capsicum frutescens* Linn.)

ABSTRAK

Model *Lopez* dan model *Logistic* merupakan model regresi nonlinier yang dapat digunakan untuk menduga pola pertumbuhan tinggi tanaman. Tujuan dari penelitian ini adalah membentuk model pertumbuhan serta mengetahui laju pertumbuhan maksimum tanaman Cabai Rawit dengan menggunakan kedua model tersebut. Data yang digunakan merupakan data sekunder dari penelitian tanaman Cabai Rawit yang berumur selama 17 minggu dengan tiga macam media tanam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua model dapat menggambarkan pola pertumbuhan tinggi tanaman Cabai Rawit dengan baik berdasarkan nilai koefisien determinasi yang tinggi. Nilai koefisien determinasi model *Lopez* pada perlakuan P_1 , P_2 dan P_3 berturut-turut sebesar 99,8%; 99,9% dan 99,9%. Pada model *Logistic* nilai koefisien determinasi pada perlakuan P_1 , P_2 dan P_3 berturut-turut sebesar 99,8%; 99,8% dan 99,9%. Kedua model menghasilkan nilai koefisien determinasi yang hampir sama, sehingga digunakan nilai AIC_c untuk memilih model terbaik. Nilai AIC_c pada model *Lopez* untuk perlakuan P_1 , P_2 dan P_3 berturut-turut sebesar 0,832; -10,497 dan -11,108. Pada model *Logistic* untuk perlakuan P_1 , P_2 dan P_3 berturut-turut sebesar 2,596; -4,324 dan -5,542. Berdasarkan nilai AIC_c yang dihasilkan kedua model, model *Lopez* lebih baik daripada model *Logistic* dalam menggambarkan pola pertumbuhan tanaman Cabai Rawit karena memiliki nilai AIC_c yang lebih kecil. Model *Lopez* dan model *Logistic* menjelaskan pola laju pertumbuhan tanaman Cabai Rawit dengan menunjukkan pola lengkung yang menjulur ke kanan dengan laju pertumbuhan maksimum terjadi saat tanaman berumur enam sampai delapan minggu setelah tanam.

Kata kunci: Cabai Rawit, *Logistic*, *Lopez*, Model Pertumbuhan



Halaman ini sengaja dikosongkan

THE APPLICATION OF LOPEZ MODEL AND LOGISTIC MODEL IN CAYENNE (*Capsicum frutescens* Linn.) GROWTH

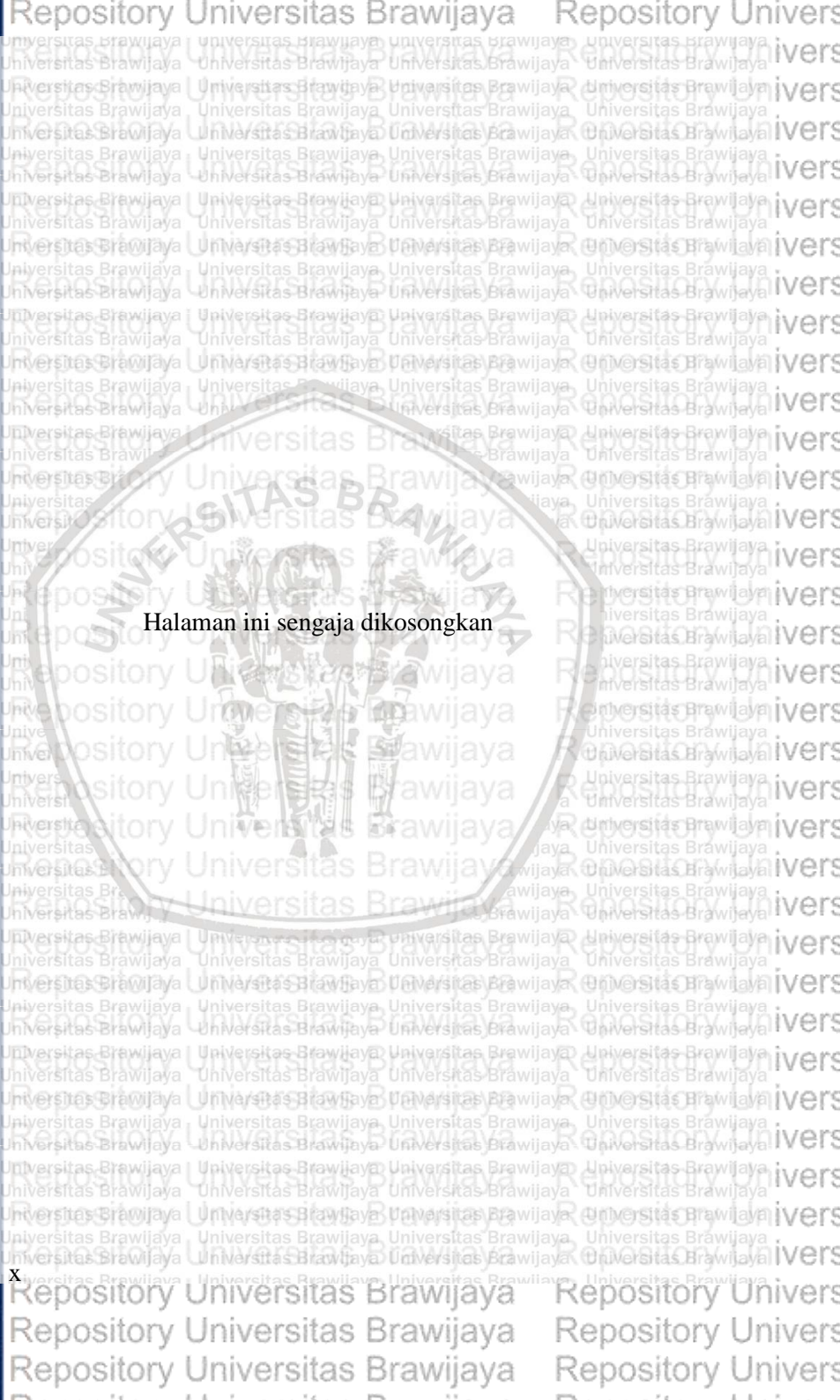
ABSTRACT

Lopez and Logistic model are nonlinear regression models that can be used to estimate plant height growth patterns. The purpose of this study is to form a nonlinear regression equation and determine the maximum growth rate of cayenne plants using both models. The data used are secondary data from the study of cayenne plants for 17 weeks with three kinds of planting media. The results showed that both models can describe the growth pattern of cayenne plant height well based on a coefficient of determination of 99%. The coefficient of determination of the Lopez model at the completion of P_1 , P_2 and P_3 agreed 99.8%; 99.9% and 99.9%. In the Logistic model the coefficient of determination at the completion of P_1 , P_2 and P_3 agreed 99.8%; 99.8% and 99.9%. The second model produces almost the same coefficient of determination, so the AIC_c value is used to choose the best model. The AIC_c value in the Lopez model for training P_1 , P_2 and P_3 was respectively 0.832; -10,497 and -11,108. In the Logistic model for training P_1 , P_2 and P_3 completed 2,596; -4,324 and -5,542. Lopez model is better than Logistic model in describing the growth pattern of cayenne pepper based on the AIC_c value. The maximum growth rate occurring when the plant is six to eight weeks after planting.

Keywords: Cayenne, Growth Model, Logistic, Lopez



Halaman ini sengaja dikosongkan



KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi tanpa adanya halangan yang berarti. Dalam penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, oleh sebab itu penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Ni Wayan Surya Wardhani, MS selaku dosen pembimbing atas bimbingan dan arahan yang telah diberikan.
2. Ibu Dr. Dra. Ani Budi Astuti, M. Si dan Bapak Prof. Dr. Ir. Loekito Adi Soehono, M. Agr selaku dosen penguji I dan II atas bimbingan dan arahan yang telah diberikan.
3. Ibu Rahma Fitriani, S.Si., M.Sc., Ph.D selaku Ketua Jurusan Statistika FMIPA Universitas Brawijaya.
4. Seluruh staf dan karyawan Jurusan Statistika FMIPA Universitas Brawijaya.
5. Orang tua, adik dan keluarga yang telah memberikan dukungan serta motivasi dan doa.
6. Teman-teman statistika UB angkatan 2016 yang telah memberikan dukungan dan doa.

Penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan pembaca. Terima kasih.

Malang, 25 April 2020

Penulis



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
LEMBAR PERNYATAN	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Regresi Nonlinier.....	5
2.2. Model Pertumbuhan.....	5
2.3. Model <i>Lopez</i>	6
2.4. Model <i>Logistic</i>	8
2.5. Pendugaan Parameter.....	11
2.6. Pendugaan Awal Parameter.....	11
2.7. Iterasi <i>Levenberg-Marquardt</i>	12
2.8. Pengujian Signifikansi Parameter.....	13
2.8.1. Uji Simultan	13
2.8.2. Uji Parsial.....	14
2.9. Pengujian Asumsi Regresi Nonlinier.....	15

	Hal
2.9.1. Kenormalan Galat	15
2.9.2. Kehomogenan Ragam Galat.....	16
2.10. Kebaikan Model	17
2.11. Pemilihan Model Terbaik	17
2.12. Tanaman Cabai Rawit.....	18
BAB III METODOLOGI.....	21
3.1. Sumber Data.....	21
3.2. Prosedur Analisis	22
3.3. Diagram Alir	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1. Diagram Pencar.....	25
4.2. Pendugaan Parameter.....	26
4.3. Pengujian Signifikansi Parameter.....	31
4.3.1. Uji Simultan	31
4.3.2. Uji Parsial.....	31
4.4. Pengujian Asumsi Galat.....	33
4.4.1 Asumsi Kenormalan Galat	33
4.4.2. Asumsi Kehomogenan Ragam Galat	33
4.5. Pemeriksaan Kebaikan Model	34
4.6. Laju Pertumbuhan Absolut	35
4.7. Laju Pertumbuhan Relatif	38
4.8. Laju Pertumbuhan Maksimum.....	39
BAB V PENUTUP	43
5.1. Kesimpulan	43
5.2. Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1. Analisis Ragam.....	14
Tabel 3.1. Struktur Data.....	21
Tabel 4.1. Nilai Duga Awal Parameter.....	27
Tabel 4.2. Penduga Parameter Hasil Iterasi.....	27
Tabel 4.3. Model Pertumbuhan <i>Lopez</i> dan <i>Logistic</i>	28
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Simultan.....	31
Tabel 4.5. Hasil Pengujian Parsial.....	32
Tabel 4.6. Hasil Pengujian Kenormalan Galat.....	33
Tabel 4.7. Hasil Pengujian Kehomogenan Ragam Galat.....	33
Tabel 4.8. Nilai R^2	34
Tabel 4.9. Nilai AIC_c	35
Tabel 4.10. Laju Pertumbuhan Maksimum.....	39



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Hal

Gambar 2.1. Kurva model pertumbuhan *Lopez*.....6

Gambar 2.2. Kurva laju pertumbuhan..... 7

Gambar 2.3. Kurva model pertumbuhan *Logistic*..... 9

Gambar 2.4. Selisih maksimum fungsi sebaran.....16

Gambar 3.1. Diagram Alir Metode Analisis.....24

Gambar 4.1. Diagram Pencar Tinggi Tanaman Cabai25

Gambar 4.2. Grafik Nilai Pengamatan dan Pendugaan Model.....30

Gambar 4.3. Kurva Laju Pertumbuhan Absolut.....36

Gambar 4.4. Kurva Laju Pertumbuhan Relatif.....38





Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Tinggi Tanaman Cabai Rawit.....	47
Lampiran 2. Penurunan Model Pertumbuhan <i>Lopez</i>	49
Lampiran 3. Penurunan Model Pertumbuhan <i>Logistic</i>	53
Lampiran 4. Penjabaran Iterasi <i>Levenberg-Marquardt</i>	59
Lampiran 5. Pendugaan Nilai Awal Parameter.....	61
Lampiran 6. <i>Coding Software R</i>	63
Lampiran 7. Nilai Pendugaan Tinggi Tanaman.....	75
Lampiran 8. Hasil Pengujian Kenormalan Galat.....	77
Lampiran 9. Hasil Pengujian Kehomogenan Ragam Galat.....	79
Lampiran 10. Hasil Perhitungan Nilai AIC_c	83
Lampiran 11. Hasil Perhitungan Laju Pertumbuhan Absolut.....	85
Lampiran 12. Hasil Perhitungan Laju Pertumbuhan Relatif.....	87





Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Analisis regresi digunakan untuk mengetahui hubungan antara satu peubah respon dengan satu atau lebih peubah prediktor serta memperhatikan seberapa besar pengaruh antara kedua peubah. Analisis regresi terbagi menjadi dua, yaitu regresi linier dan regresi nonlinier (Kutner dkk., 2005). Analisis regresi nonlinier sering diterapkan pada data pertumbuhan hewan, tumbuhan dan manusia sehingga lebih dikenal dengan model pertumbuhan. Model pertumbuhan memiliki kurva yang berbentuk sigmoid.

Model pertumbuhan telah banyak dikembangkan dan dipelajari seperti model *Logistic*, *Gompertz*, *Von Bertalanffy*, *Richards*, *Weibull*, dan *Morgan-Mercer-Flodin*. Model-model tersebut menggambarkan pola pertumbuhan yang berbentuk sigmoid (kurva yang menyerupai bentuk S). Kurva ini terbentuk oleh peubah pertumbuhan terhadap waktu (Kuhi dkk., 2003).

Model *Lopez* merupakan model yang diperkenalkan oleh Lopez dkk. (2000) untuk menjelaskan pertumbuhan dari beberapa spesies hewan yang berbeda (ikan, tikus, hamster, babi, kuda, sapi, anjing dan daging) yang dibandingkan dengan model *Weibull* tiga parameter dan model *Richards* tiga parameter. Model *Lopez* dan model *Richards* memiliki nilai *Mean Square Error* (MSE) yang hampir sama, sedangkan model *Weibull* memiliki nilai MSE yang berbeda dari keduanya. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa model *Lopez* dan model *Richards* adalah model terbaik dalam menggambarkan pertumbuhan beberapa spesies hewan tersebut.

Pada tahun 2003 melalui penelitian Kuhu dkk., model *Lopez* digunakan untuk menggambarkan model pertumbuhan dari 86 profil daging dan telur ayam, yang dibandingkan dengan model *Gomperzt* tiga parameter, *Logistic* tiga parameter, *Richards* tiga parameter, *France* empat parameter dan *von Bertalanffy* empat parameter. Berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2) yang digunakan untuk memilih model terbaik, model *Lopez* dan model *Logistic* tiga parameter memiliki nilai R^2 yang sama. Namun, model *Gomperzt* dan

model *Richards* adalah model terbaik untuk menggambarkan pertumbuhan 86 profil daging dan telur ayam.

Berdasarkan hasil penelitian Lopez dkk. (2000) dan Kuhi dkk. (2003) model *Lopez* mampu menggambarkan pertumbuhan hewan dengan baik sehingga pada penelitian ini, peneliti akan membandingkan model *Lopez* dengan model *Logistic* empat parameter terhadap pertumbuhan tanaman cabai rawit. Selain itu, peneliti akan menghitung turunan pertama dari model *Lopez* dan *Logistic* untuk mendapatkan persamaan laju pertumbuhan absolut, laju pertumbuhan relatif, waktu terjadinya laju pertumbuhan maksimum dan pertumbuhan saat laju pertumbuhan maksimum yang pada penelitian Lopez dkk. (2000) dan Kuhi dkk. (2003) belum dibahas.

Tinggi tanaman yang dimodelkan pada penelitian ini adalah tanaman Cabai Rawit yang memiliki kandungan yang bermanfaat bagi tubuh. Menurut Kouassi dkk. (2012), tanaman Cabai Rawit merupakan tanaman yang tidak saja memiliki nilai ekonomis tinggi tetapi buahnya memiliki kombinasi warna, rasa dan nutrisi yang lengkap. Produksi buah cabai rawit dipengaruhi oleh tinggi tanaman (92%), diameter buah (89%) dan panjang buah (78%), dengan demikian semakin tinggi tanaman cabai maka produksi cabai akan semakin meningkat (Endjang dan Meksy, 2015). Ketika produksi cabai rawit meningkat maka mutu cabai perlu dipertahankan. Budidaya cabai rawit telah banyak dilakukan, namun tidak sedikit dari petani cabai yang belum mengetahui sistem budidaya cabai dengan tepat yang mengakibatkan produksi cabai menjadi tidak maksimal.

Pada penelitian ini, peneliti menerapkan model *Lopez* untuk menggambarkan pola pertumbuhan cabai rawit (*Capsicum frutescens* Linn.) yang dibandingkan dengan model *Logistic*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Apakah model *Lopez* dan model *Logistic* dapat menggambarkan pola pertumbuhan Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* Linn.)?
2. Manakah dari model pertumbuhan *Lopez* dan *Logistic* yang dapat menggambarkan pertumbuhan Cabai Rawit (*Capsicum*

frutenscens Linn.) dengan baik berdasarkan nilai koefisien determinasi dan AIC_c ?

3. Berdasarkan model pertumbuhan, pada umur berapakah pertumbuhan Cabai Rawit (*Capsicum frutenscens* Linn.) mencapai laju pertumbuhan maksimum?

1.3. Tujuan

Tujuan penelitian adalah:

1. Membentuk model pertumbuhan Cabai Rawit (*Capsicum frutenscens* Linn.) dengan model *Lopez* dan model *Logistic*.
2. Menentukan model pertumbuhan yang lebih baik di antara model *Lopez* dan model *Logistic* dalam menjelaskan pertumbuhan Cabai Rawit (*Capsicum frutenscens* Linn.).
3. Membuat pola laju pertumbuhan tanaman dengan model *Lopez* dan model *Logistic* serta menentukan saat terjadinya laju pertumbuhan maksimum untuk pertumbuhan Cabai Rawit (*Capsicum frutenscens* Linn.).

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan melalui penelitian ini:

1. Dapat menerapkan model *Lopez* dan model *Logistic* serta mengetahui model pertumbuhan yang lebih baik dalam menjelaskan pola pertumbuhan Cabai Rawit (*Capsicum frutenscens* Linn.).
2. Dapat diketahui saat terjadi laju pertumbuhan maksimum pada pertumbuhan Cabai Rawit (*Capsicum frutenscens* Linn.) yang bermanfaat bagi petani untuk dapat dijadikan pertimbangan dalam pemberian perlakuan yang tepat sehingga dapat mengoptimalkan pertumbuhan Cabai Rawit.
3. Dapat diketahui pola laju pertumbuhan tinggi tanaman Cabai Rawit (*Capsicum frutenscens* Linn.).

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Data yang digunakan adalah data tinggi tanaman Cabai Rawit varietas Cempaka, jenis rawit putih F1.



2. Pendugaan parameter model *Lopez* dan model *Logistic* menggunakan Metode Kuadrat Terkecil nonlinier dengan iterasi *Levenberg-Marquardt*.
3. Pemeriksaan kebaikan model berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2) dan *Akaike's Information Criterion* terkoreksi (AIC_c).



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Regresi Nonlinier

Regresi nonlinier digunakan untuk mengetahui hubungan antara peubah respon dan prediktor yang bersifat nonlinier. Menurut Kutner dkk. (2005), bentuk hubungan regresi nonlinier dapat dituliskan seperti persamaan (2.1).

$$Y_i = f(X_i, \beta) + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (2.1)$$

di mana:

Y_i : nilai pengamatan ke- i dari peubah respon

X_i : nilai pengamatan ke- i dari peubah prediktor

β : vektor parameter

ε_i : nilai pengamatan ke- i dari galat

n : banyak pengamatan

Peubah respon pada persamaan (2.1) tidak hanya dipengaruhi oleh peubah prediktor tetapi juga oleh faktor lain yang tidak dapat dijelaskan dalam model atau disebut galat. Galat pada persamaan (2.1) diasumsikan memiliki rata-rata nol, ragam konstan dan saling bebas antar pengamatan (Kutner dkk., 2005).

2.2. Model Pertumbuhan

Model pertumbuhan merupakan suatu model regresi nonlinier untuk menggambarkan perilaku pertumbuhan yang disebabkan oleh adanya korelasi antar dua peubah (Arianto dkk., 2018). Model pertumbuhan dapat menggambarkan perubahan berat atau tinggi makhluk hidup seiring dengan bertambahnya waktu.

Setiap pertumbuhan suatu organisme pada selang waktu tertentu akan menunjukkan perubahan dan dapat digambarkan dalam bentuk kurva. Secara umum, model pertumbuhan digambarkan dengan kurva sigmoid. Kurva sigmoid menunjukkan perubahan yang berbeda-beda setiap waktu. Menurut Lawrence dan Fowler (2002), kurva sigmoid menggambarkan pertumbuhan pada masa awal yang lambat, kemudian mencapai maksimum, hingga bertambahnya umur akan kembali melambat.

Kurva sigmoid memiliki dua asimtot, yaitu asimtot bawah dan asimtot atas. Asimtot bawah terletak pada $\lim_{t \rightarrow -\infty} y(t) = 0$ dan asimtot

atas terletak pada $\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = y(t)_{maks}$ (Madoroba dan Kruger, 2015).

2.3. Model Lopez

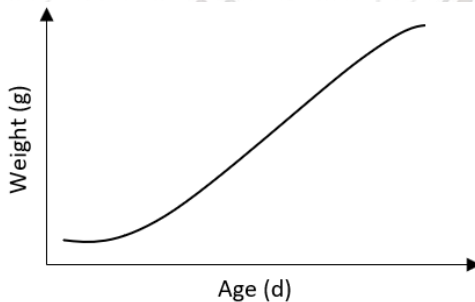
Model Lopez pertama kali dikenalkan oleh Lopez dkk., pada tahun 2000 untuk menjelaskan pertumbuhan dari beberapa spesies hewan yang berbeda (ikan, tikus, hamster, babi, kuda, sapi, anjing dan daging). Model Lopez mampu menggambarkan pertumbuhan berbagai hewan tersebut dengan menunjukkan pola pertumbuhan sigmoid, sebagaimana dinyatakan pada persamaan (2.2).

$$y(t) = \frac{\alpha K^B + Ct^B}{K^B + t^B} \quad (2.2)$$

di mana:

- α : nilai pertumbuhan awal
- B : skala pertumbuhan
- C : nilai pertumbuhan maksimum
- K : umur saat pertumbuhan setengah maksimum
- t : umur tanaman
- $y(t)$: nilai peubah respon pada umur ke- t

Persamaan (2.2) jika dituliskan mengikuti persamaan (2.1) yaitu $Y_t = f(X_t, (\alpha, B, C, K))$ dengan α, B, C, K merupakan parameter model. Pertumbuhan hewan yang dimodelkan pada penelitian Lopez dkk. (2000), ketika diilustrasikan membentuk kurva seperti Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Kurva pertumbuhan Lopez (Lopez dkk., 2000)

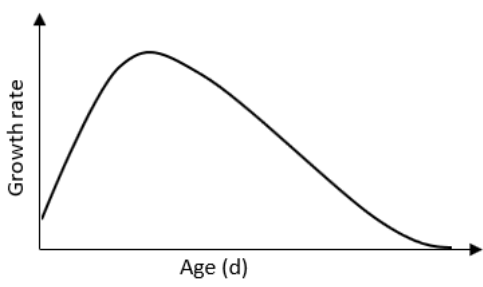
. Pertumbuhan tanaman secara kuantitatif dapat diketahui melalui laju pertumbuhan absolut dan relatif.

a. Laju pertumbuhan absolut

Laju pertumbuhan absolut adalah ukuran perubahan tinggi tanaman setiap satuan waktu (Ma dkk., 2015). Laju pertumbuhan absolut didapatkan dengan menurunkan persamaan (2.2) terhadap t. Laju pertumbuhan absolut model Lopez dinyatakan pada persamaan (2.3).

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{B(C-\alpha)K^B t^{B-1}}{(K^B + t^B)^2} \tag{2.3}$$

Proses penurunan persamaan (2.2) hingga didapatkan persamaan (2.3) dapat dilihat pada Lampiran 2. Gambar 2.2 merupakan gambar kurva laju pertumbuhan.



Gambar 2.2 Kurva laju pertumbuhan (Hunt dkk., 2003)

Secara umum, kurva laju pertumbuhan berbentuk seperti lonceng. Berdasarkan gambar 2.2. laju pertumbuhan meningkat tajam sampai pada waktu tertentu kemudian menurun menjadi nol seiring bertambahnya waktu. Pada pertumbuhan tanaman, kurva laju pertumbuhan mencerminkan perbedaan kemampuan tanaman pada tahap pertumbuhan yang berbeda (Hunt dkk., 2003).

b. Laju pertumbuhan relatif

Laju pertumbuhan relatif merupakan perubahan tinggi tanaman setiap satuan waktu berdasarkan tinggi awal tanaman yang didapatkan dengan membagi persamaan (2.3) dengan persamaan (2.2). Laju pertumbuhan relatif menunjukkan persen perubahan pertumbuhan

setiap amatan (Hunt dkk., 2003). Laju pertumbuhan relatif model *Lopez* dinyatakan pada persamaan (2.4).

$$\frac{dy(t)}{dt} \times \frac{1}{y(t)} = \frac{B(C-\alpha)K^B t^{B-1}}{(K^B + t^B)(\alpha K^B + Ct^B)} \quad (2.4)$$

Proses mendapatkan persamaan (2.4) dapat dilihat pada Lampiran 2.

c. Umur dan pertumbuhan saat laju pertumbuhan maksimum

Laju pertumbuhan tertinggi yang dapat dicapai oleh suatu tanaman disebut laju pertumbuhan maksimum. Laju pertumbuhan maksimum diperoleh dari turunan kedua persamaan (2.2) yang disamadengankan nol, sehingga dapat diketahui saat terjadi laju pertumbuhan maksimum seperti persamaan (2.5).

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} = -\frac{B(C-\alpha)K^B t^{B-2}((B-1)K^B + (B+1)t^B)}{(K^B + t^B)^3} = 0$$

$$t^* = K \left(\frac{B-1}{B+1} \right)^{1/B} \quad (2.5)$$

Pertumbuhan saat laju pertumbuhan maksimum dapat diperoleh dari mensubstitusikan persamaan (2.5) ke persamaan (2.2), sehingga diperoleh persamaan (2.6).

$$y(t^*) = \frac{\alpha K^B + C \left(K \left(\frac{B-1}{B+1} \right)^{1/B} \right)^B}{K^B + \left(K \left(\frac{B-1}{B+1} \right)^{1/B} \right)^B}$$

$$y(t^*) = \frac{\alpha + C \left(\frac{B-1}{B+1} \right)}{1 + \left(\frac{B-1}{B+1} \right)} \quad (2.6)$$

Proses mendapatkan umur dan pertumbuhan saat laju pertumbuhan maksimum dapat dilihat pada Lampiran 2.

2.4. Model *Logistic*

Model *Logistic* pertama kali dikenalkan oleh Pierre Verhulst (1838) yang merupakan seorang ilmuwan dari Belgia. Bentuk persamaan *Logistic* bergantung pada banyak parameter yang

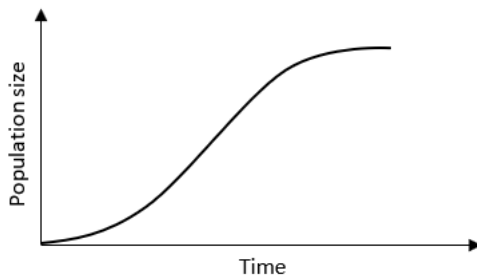
digunakan seperti model 2PL, 3PL, 4PL dan 5PL. Model *Logistic* dengan dua dan tiga parameter telah banyak digunakan, namun model dengan empat dan lima parameter jarang digunakan. Pada penelitian ini digunakan model *Logistic* dengan empat parameter. Menurut Tu dkk. (2007), model *Logistic* empat parameter dapat dituliskan seperti persamaan (2.7).

$$y(t) = \alpha + \frac{C-\alpha}{1+e^{-\beta(t-V)}} \quad (2.7)$$

di mana:

- α : nilai pertumbuhan awal
- β : skala pertumbuhan
- C : nilai pertumbuhan maksimum
- V : umur saat laju perubahan maksimum
- t : umur tanaman
- $y(t)$: nilai peubah respon pada umur ke- t

Gambar 2.3 merupakan gambar kurva pertumbuhan model *Logistic*.



Gambar 2.3 Kurva model pertumbuhan *Logistic* (Hanne dan Neu, 2004)

a. Laju Pertumbuhan Absolut

Laju pertumbuhan absolut menggambarkan kenaikan pertumbuhan tanaman setiap pengamatan (Hunt dkk., 2003). Laju pertumbuhan absolut diperoleh dari turunan pertama persamaan (2.7) terhadap t , sehingga diperoleh persamaan (2.8).

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{(c-\alpha)\beta e^{\beta(t-V)}}{(1+e^{\beta(V-t)})^2} \quad (2.8)$$

Proses penurunan persamaan (2.7) hingga didapatkan persamaan (2.8) dapat dilihat pada Lampiran 3.

b. Laju Pertumbuhan Relatif

Laju pertumbuhan relatif menunjukkan perubahan laju pertumbuhan tiap satuan waktu (Hunt dkk., 2003). Laju pertumbuhan relatif diperoleh dengan membagi persamaan (2.8) dengan persamaan (2.7), sehingga diperoleh persamaan (2.9).

$$\frac{dy(t)}{dt} \times \frac{1}{y(t)} = \frac{(c-\alpha)(\beta e^{-\beta(t-V)})}{(1+e^{-\beta(t-V)})(c+\alpha e^{-\beta(t-V)})} \quad (2.9)$$

Proses mendapatkan persamaan (2.9) dapat dilihat pada Lampiran 3.

c. Umur dan Perubahan saat Laju Pertumbuhan Maksimum

Laju pertumbuhan maksimum terjadi pada saat tanaman mencapai umur pertumbuhan maksimum. Umur saat terjadi laju pertumbuhan maksimum model *Logistic* seperti persamaan (2.10).

$$\frac{d^2y(t)}{dt^2} = \frac{[\beta^2(c-\alpha)e^{-\beta(t-V)}][2(e^{-\beta(t-V)})-(1+e^{-\beta(t-V)})]}{(1+e^{-\beta(t-V)})^3} = 0$$

$$t^* = V \quad (2.10)$$

Pertumbuhan tanaman saat laju pertumbuhan mencapai maksimum $y(t^*)$ dirumuskan seperti persamaan (2.11).

$$y(t^*) = \alpha + \frac{c-\alpha}{1+e^{-\beta(V-V)}}$$

$$y(t^*) = \frac{c+\alpha}{2} \quad (2.11)$$

Proses mendapatkan umur dan pertumbuhan saat laju pertumbuhan maksimum dapat dilihat pada Lampiran 3.

2.5. Pendugaan Parameter

Pendugaan parameter pada model regresi nonlinier dapat dilakukan dengan metode kuadrat terkecil nonlinier yang dihasilkan dengan meminimumkan jumlah kuadrat galat. Menurut Kutner dkk. (2005), jumlah kuadrat galat untuk regresi nonlinier dapat dituliskan dengan persamaan (2.12)

$$JKG = \sum_{i=1}^n [y_i - f(t_i, \hat{\beta})]^2 \quad (2.12)$$

Jumlah kuadrat galat (JKG) diturunkan terhadap $\hat{\beta}$ yang menghasilkan p persamaan normal dengan banyaknya persamaan normal tergantung pada banyak parameter yang digunakan pada model. Persamaan normal tersebut memiliki bentuk seperti persamaan (2.13).

$$\frac{d(JKG)}{d\hat{\beta}} = 0$$

$$\frac{d(\sum_{i=1}^n [y_i - f(t_i, \hat{\beta})]^2)}{d\hat{\beta}} = 0$$

$$-2 \sum_{i=1}^n [y_i - f(t_i, \hat{\beta})] \left[\frac{df(t_i, \hat{\beta})}{d\hat{\beta}} \right] = 0$$

$$\sum_{i=1}^n [y_i - f(t_i, \hat{\beta})] \left[\frac{df(t_i, \hat{\beta})}{d\hat{\beta}} \right] = 0 \quad (2.13)$$

Namun, solusi dari persamaan normal tersebut sukar ditemukan sehingga iterasi perlu dilakukan untuk mendapatkan penduga bagi parameter model.

2.6. Pendugaan Awal Parameter

Levenberg-Marquardt merupakan iterasi yang digunakan untuk menduga parameter model regresi nonlinier. Iterasi *Levenberg-Marquardt* membutuhkan nilai duga awal dalam menduga parameter (Rawling dkk., 1998). Pendugaan awal parameter dalam model regresi nonlinier didapatkan dengan memanfaatkan semua informasi seperti parameter tinggi tanaman maksimum yang diduga terjadi di akhir umur pengamatan.

Pendugaan awal parameter model *Lopez* dilakukan dengan cara:

a. Menduga awal parameter α diperoleh dari nilai awal pertumbuhan.

- Menduga awal parameter C diperoleh dari nilai maksimum pertumbuhan.
- Menduga awal parameter B bergantung pada karakteristik model *Lopez* yaitu $B > 0$.
- Menduga awal parameter K diperoleh dengan persamaan (2.14)

$$K = \frac{c}{2} \quad (2.14)$$

Pendugaan awal parameter model *Logistic* dilakukan dengan cara:

- Menduga awal parameter α diperoleh dari nilai awal pertumbuhan.
- Menduga awal parameter β diperoleh dari persamaan (2.15)

$$\beta = \frac{y_b - y_a}{(t_b - t_a)c} \quad (2.15)$$

di mana:

y_a : nilai peubah respon amatan waktu ke- a

y_b : nilai peubah respon amatan waktu ke- b

- Menduga awal parameter C diperoleh dari nilai maksimum pertumbuhan.
- Menduga awal parameter V diperoleh dari umur saat laju pertumbuhan meningkat.

2.7. Iterasi *Levenberg-Marquardt*

Metode *Levenberg-Marquardt* adalah salah satu metode optimasi untuk menduga parameter model regresi nonlinier. Iterasi *Levenberg-Marquardt* menambahkan perkalian matriks identitas dan nilai eigen pada metode *Gauss-Newton*.

Menurut Panik (2014), secara umum iterasi *Levenberg-Marquardt* dapat dituliskan seperti persamaan (2.16).

$$\theta_{m+1} = \theta_m + (\mathbf{Z}_{\theta(m)}^T \mathbf{Z}_{\theta(m)} + \lambda_m \mathbf{I})^{-1} \mathbf{Z}_{\theta(m)}^T (\mathbf{y}_t - f(t, \theta_m)) \quad (2.16)$$

di mana:

θ_{m+1} : matriks penduga parameter

θ_m : matriks penduga awal parameter

$\mathbf{Z}_{\theta(m)}$: matriks turunan parsial parameter

$\mathbf{Z}_{\theta(m)}^T$: transpose dari matriks $\mathbf{Z}_{\theta(m)}$

λ_m : akar ciri positif terkecil matriks $\mathbf{Z}_{\theta(m)}^T \mathbf{Z}_{\theta(m)}$

I : matriks identitas

m : banyak iterasi

$$Z_{\theta(m)} = \frac{df(t_i, \theta_m)}{d\theta_m} = \begin{bmatrix} \frac{df(t_1, \theta)}{d\theta_1} & \dots & \frac{df(t_1, \theta)}{d\theta_p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{df(t_n, \theta)}{d\theta_1} & \dots & \frac{df(t_n, \theta)}{d\theta_p} \end{bmatrix}_{n \times p}$$

$$Z_{\theta(m)}^T = \begin{bmatrix} \frac{df(t_1, \theta)}{d\theta_1} & \dots & \frac{df(t_n, \theta)}{d\theta_1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{df(t_1, \theta)}{d\theta_p} & \dots & \frac{df(t_n, \theta)}{d\theta_p} \end{bmatrix}_{n \times p}$$

$$\theta_m = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \vdots \\ \theta_p \end{bmatrix}_{p \times 1}$$

$$\theta_{m+1} = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \vdots \\ \theta_p \end{bmatrix}_{p \times 1}$$

$$y_t - f(t, \theta_m) = \begin{bmatrix} y(t_1) - f(t_1, \theta_m) \\ \vdots \\ y(t_n) - f(t_n, \theta_m) \end{bmatrix}_{n \times 1}$$

Proses iterasi untuk kedua model pertumbuhan disajikan pada Lampiran 4. Proses iterasi akan berhenti jika nilai yang dihasilkan konvergen. Proses iterasi konvergen jika selisih antara iterasi ke- m dan ke- $(m+1)$ mendekati nol atau sama dengan 10^{-6} (Kutner dkk., 2005).

2.8. Pengujian Signifikansi Parameter

Pengujian parameter dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter terhadap model. Pengujian dilakukan secara simultan dan parsial.

2.8.1. Uji Simultan

Uji simultan dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter secara bersama-sama terhadap model. Menurut Kutner, dkk. (2005) hipotesis pengujian adalah:

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j = 0 \quad \text{vs}$$

$$H_1 : \text{setidaknya terdapat satu } \beta_j \neq 0 ; j=1,2,\dots,p$$

Uji simultan menggunakan analisis ragam seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Analisis Ragam

Sumber Keragaman	Derajat bebas (db)	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F_{hitung}
Regresi	p	JKR	$KTR=JKR/db$	$\frac{KTR}{KTG}$
Galat	$n-p-1$	JKG	$KTG=JKG/db$	
Total	$n-1$	JKT		

di mana:

β_j : parameter ke- j

JKR : jumlah kuadrat regresi

JKG : jumlah kuadrat galat

JKT : jumlah kuadrat total

p : banyaknya parameter

n : banyaknya pengamatan

dengan

$$JKG = \sum_{t=1}^n (Y(t) - \hat{Y}(t))^2$$

$$JKR = \sum_{t=1}^n (\hat{Y}(t) - \bar{Y}(t))^2$$

$$JKT = \sum_{t=1}^n (Y(t) - \bar{Y}(t))^2$$

Jika $F_{hitung} > F_{\alpha,(p;n-p-1)}$ atau nilai- $p < \alpha$ (0,05) maka H_0 ditolak, artinya seluruh parameter secara bersama-sama memberikan pengaruh yang signifikan terhadap model.

2.8.2. Uji Parsial

Uji parsial digunakan untuk mengetahui pengaruh masing-masing parameter terhadap model. Menurut Kutner dkk. (2004) hipotesis pengujian adalah:

$$H_0 : \beta_j = 0$$

$$H_1 : \beta_j \neq 0 ; j = 1, 2, \dots, p$$

Statistik Uji:

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\beta}_j - \beta_j}{se(\hat{\beta}_j)} \quad (2.17)$$

di mana:

$\hat{\beta}_j$: dugaan parameter ke- j

β_j : parameter ke- j

$se(\hat{\beta}_j)$: standar deviasi nilai dugaan parameter β_j

Apabila $t_{hitung} > t_{(\frac{\alpha}{2}, n-p-1)}$ atau nilai- $p < \alpha$ (0,05) maka H_0 ditolak. Sehingga dapat dikatakan parameter ke- p memberikan pengaruh yang signifikan terhadap model.

2.9. Pengujian Asumsi Regresi Nonlinier

Menurut Kutner dkk, (2005) terdapat dua asumsi yang harus dipenuhi pada model regresi nonlinier, yaitu kenormalan galat dan kehomogenan ragam galat. Data pertumbuhan merupakan data deret waktu yang berbentuk kurva sigmoid dan cenderung berkorelasi satu dengan lainnya sehingga asumsi non-autokorelasi dan linieritas dilanggar.

2.9.1. Kenormalan Galat

Pemeriksaan asumsi kenormalan galat dapat dilakukan dengan uji *Kolmogorov-Smirnov*. Penarikan kesimpulan uji *Kolmogorov-Smirnov* lebih dapat dipercaya, jika dibandingkan dengan uji normalitas menggunakan grafik.

Hipotesis pengujian:

H_0 : galat model menyebar normal vs

H_1 : galat model tidak menyebar normal

Menurut Daniel (1989) statistik uji yang digunakan dituliskan dengan persamaan (2.18).

$$D_{maks} = \max |F_n(e) - F_0(e)| \quad (2.18)$$

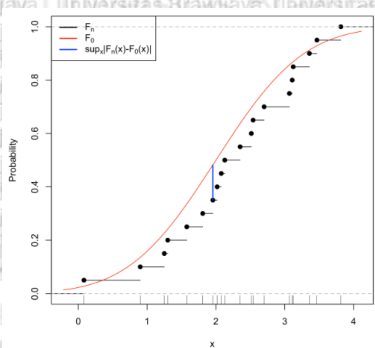
di mana:

D_{maks} : selisih maksimum antara fungsi kumulatif sebaran normal dan fungsi kumulatif sebaran hasil pengamatan

$F_n(e)$: Fungsi kumulatif sebaran hasil pengamatan

$F_0(e)$: Fungsi kumulatif sebaran normal

Berikut ini merupakan gambar selisih maksimum antara fungsi kumulatif sebaran normal dan fungsi kumulatif sebaran hasil pengamatan dengan ukuran pengamatan $n = 20$.



Gambar 2.4. Selisih maksimum fungsi kumulatif sebaran pada Uji Kolmogorov-Smirnov (Eduardo, 2019)

Kriteria pengambilan keputusan yaitu ketika nilai statistik uji $D_{maks} \leq D(\alpha)$ maka H_0 diterima. Jika asumsi kenormalan galat tidak terpenuhi dapat diatasi dengan mentransformasi data.

2.9.2. Kehomogenan Ragam Galat

Ragam galat harus bersifat konstan di setiap pengamatan. Pemeriksaan asumsi kehomogenan ragam galat dapat dilakukan dengan uji *Szroeter* (Dufour dkk., 2001). Uji *Szroeter* diterapkan pada beberapa kasus khusus (seperti model pertumbuhan) dan digunakan untuk banyak pengamatan terbatas.

Hipotesis pengujian:

H_0 : ragam galat model konstan vs

H_1 : ragam galat model tidak konstan

Statistik uji *Szroeter*:

$$Q = \left[\frac{6n}{n^2-1} \right]^{1/2} \left[\frac{\sum_{i=1}^n ie_i^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} - \frac{n+1}{2} \right] \sim Z \quad (2.19)$$

dengan $i = 1, 2, \dots, n$

di mana:

n : banyak amatan

e_i : galat amatan ke- i

Jika $|Q| \leq Z\alpha/2$ maka H_0 diterima, yang berarti bahwa ragam galat konstan.

2.10. Kebaikan Model

Kriteria yang digunakan untuk melihat kebaikan model adalah koefisien determinasi (R^2). Koefisien determinasi mengukur besar keragaman peubah respon yang dapat dijelaskan oleh peubah prediktor (Kutner dkk., 2005). Rumus koefisien determinasi seperti persamaan (2.20).

$$R^2 = 1 - \frac{JKG}{JKT} = \frac{JKR}{JKT} \quad (2.20)$$

di mana:

JKR : jumlah kuadrat regresi

JKG : jumlah kuadrat galat

JKT : jumlah kuadrat total

dengan

$$JKG = \sum_{t=1}^n (Y(t) - \hat{Y}(t))^2$$

$$JKR = \sum_{t=1}^n (\hat{Y}(t) - \bar{Y}(t))^2$$

$$JKT = \sum_{t=1}^n (Y(t) - \bar{Y}(t))^2$$

Jika nilai koefisien determinasi mendekati 1, maka model dapat dikatakan baik dalam menjelaskan data hasil pengamatan (Gujarati, 2008).

2.11. Pemilihan Model Terbaik

Pemilihan model dilakukan untuk memutuskan model yang terbaik. *Akaike's Information Criterion* (AIC) diperkenalkan oleh Akaike pada tahun 1973,1974 yang digunakan untuk memilih dan mendapatkan model terbaik. Rumus AIC dituliskan seperti persamaan (2.21).

$$AIC = n \ln \left(\frac{JKG}{n} \right) + 2p \quad (2.21)$$

Apabila ukuran contoh kecil dibandingkan banyak parameter ($\frac{n}{p} < 40$), maka menggunakan AIC terkoreksi atau AIC_c sebagaimana dituliskan pada persamaan (2.22).

$$AIC_c = AIC + \frac{2p(p+1)}{n-p-1} \quad (2.22)$$

di mana:

p : banyak parameter

n : banyak pengamatan

JKG : jumlah kuadrat galat

AIC_c dapat bernilai positif maupun negatif. Jika nilai JKG mendekati nol, maka akan menghasilkan nilai AIC_c yang bernilai negatif. Model dengan nilai AIC_c terendah adalah model terbaik (Kutner dkk., 2005).

2.12. Tanaman Cabai Rawit

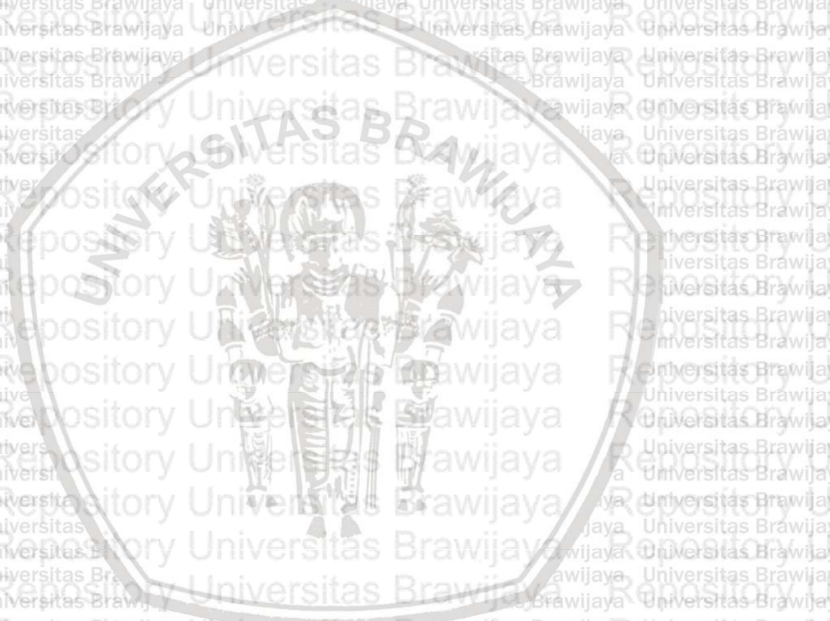
Tanaman cabai merupakan tanaman berbentuk perdu atau setengah perdu. Di Indonesia tanaman cabai yang banyak dibudidayakan diantaranya adalah cabai rawit, cabai merah, cabai keriting, paprika dan cabai hias. Cabai rawit termasuk yang berumur paling panjang dibandingkan dengan jenis lainnya (Haryoto, 2009). Cahyono (2003) mengemukakan bahwa tanaman cabai rawit termasuk tanaman semusim yang tumbuh sebagai perdu atau semak yang tingginya dapat mencapai 1 meter.

Cabai mengandung *capsaicin* yang berfungsi untuk menstimulir detektor panas dalam kelenjar *hypothalmus*. Selain itu, capsaicin dapat menghalangi bahaya pada sel *trachea*, *bronchial*, dan *bronchoconstriction* yang disebabkan oleh asap rokok maupun polutan. *Capsaicin* juga dapat digunakan dalam pembuatan krim gosok antirematik (Prajnanta, 2012).

Buah cabai rawit berbentuk bulat pendek dengan ujung runcing atau berbentuk kerucut. Buah cabai rawit bersifat tunggal pada setiap ruas, warna buah intermediet dan buah masak memiliki warna bervariasi. Buah tumbuh tegak maupun menggantung. Buah tumbuh bergerombol 3-5 buah pada setiap ruas (Djarwaningsih, 2015).

Batang tanaman cabai menjadi tempat tumbuh cabang, dan cabang tanaman cabai tempat tumbuhnya ruas. Batang tanaman yang tinggi akan memungkinkan membentuk cabang yang banyak. Jika batang dan cabang tersebut produktif, maka diharapkan produksi cabai

rawit akan meningkat. Manfaat dari memodelkan tinggi tanaman cabai rawit adalah dapat diketahui waktu terjadinya laju pertumbuhan maksimum, sehingga dapat dijadikan pertimbangan pemberian perlakuan yang tepat untuk mengoptimalkan pertumbuhan tanaman cabai rawit.





Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

3.1. Sumber Data

Data yang digunakan adalah data sekunder yang bersumber dari penelitian berjudul “Pengaruh Media Tanam Terhadap Pertumbuhan Serta Hasil Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* Linn.)” oleh Astri (2015). Penelitian tersebut bertujuan untuk membuktikan bahwa media tanam (tanah dan pasir) dapat memberikan hasil yang baik terhadap pertumbuhan tanaman Cabai Rawit. Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak lengkap (RAL) yang terdiri dari tiga perlakuan dengan masing-masing perlakuan dilakukan 10 kali pengulangan. Parameter yang diamati adalah tinggi (cm), jumlah daun, serta berat buah (gr). Pengukuran tinggi tanaman dilakukan dengan cara mengukur batang tanaman dari batas kotiledon hingga pangkal bawah percabangan pucuk pada tanaman Cabai Rawit. Pengukuran dilakukan setiap minggu mulai dari bulan April 2015. Pengamatan tinggi Cabai Rawit dilakukan selama 17 minggu setelah tanam (mst). Struktur data pada penelitian Astri dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Struktur Data

umur (mst)	Y_1 (cm)	Y_2 (cm)	Y_3 (cm)
1	Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}
2	Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}
⋮	⋮	⋮	⋮
17	Y_{117}	Y_{217}	Y_{317}

Keterangan:

umur : umur tanaman setiap minggu setelah tanam (mst)

Y_1 : Tinggi tanaman Perlakuan 1

Y_2 : Tinggi tanaman Perlakuan 2

Y_3 : Tinggi tanaman Perlakuan 3

Rancangan perlakuan:

P_1 : Perlakuan 1 (25% media tanah, 75% media pasir)

P_2 : Perlakuan 2 (50% media tanah, 50% media pasir)

P_3 : Perlakuan 3 (75% media tanah, 25% media pasir)

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pemberian campuran pasir 25% pada media tanam memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan tinggi tanaman dan jumlah daun, namun tidak berpengaruh terhadap berat buah.

3.2. Prosedur Analisis

Prosedur yang dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Membuat diagram pencar antara umur dan tinggi tanaman cabai rawit.
2. Menentukan penduga awal model *Lopez* dan model *Logistic*.

Pendugaan awal parameter model *Lopez* dilakukan dengan cara:

- a. Menduga awal parameter α diperoleh dari nilai awal pertumbuhan.
- b. Menduga awal parameter C diperoleh dari nilai maksimum pertumbuhan.
- c. Menduga awal parameter B bergantung pada karakteristik model *Lopez*, yaitu $B > 0$.
- d. Menduga awal parameter K diperoleh dengan persamaan (2.14)

Pendugaan awal parameter model *Logistic* dilakukan dengan cara:

- a. Menduga awal parameter α diperoleh dari nilai awal pertumbuhan.
- b. Menduga awal parameter β diperoleh dari persamaan (2.15)
- c. Menduga awal parameter C diperoleh dari nilai maksimum pertumbuhan.
- d. Menduga awal parameter V diperoleh dari umur saat laju pertumbuhan meningkat.

3. Menentukan penduga parameter menggunakan iterasi *Levenberg-Marquardt* yang tercantum pada persamaan (2.16) dengan bantuan *software R*.

4. Membentuk model pertumbuhan dengan penduga iterasi *Levenberg-Marquardt*.

5. Melakukan pengujian signifikansi parameter model dengan uji simultan menggunakan analisis ragam dan uji parsial melalui persamaan (2.17).

6. Melakukan pengujian asumsi kenormalan galat dengan uji *Kolmogorov-Smirnov* yang tercantum pada persamaan (2.18) dan

kehomogenan ragam galat dengan uji *Szroeter* yang tercantum pada persamaan (2.19).

7. Memeriksa kebaikan model menggunakan R^2 melalui persamaan (2.21) dan memilih model terbaik dengan nilai AIC_c melalui persamaan (2.22).

8. Menghitung laju pertumbuhan absolut menggunakan persamaan (2.3) untuk model *Lopez* dan persamaan (2.8) untuk model *Logistic*. Selain itu, menghitung laju pertumbuhan relatif model *Lopez* dengan persamaan (2.4) dan model *Logistic* dengan persamaan (2.9).

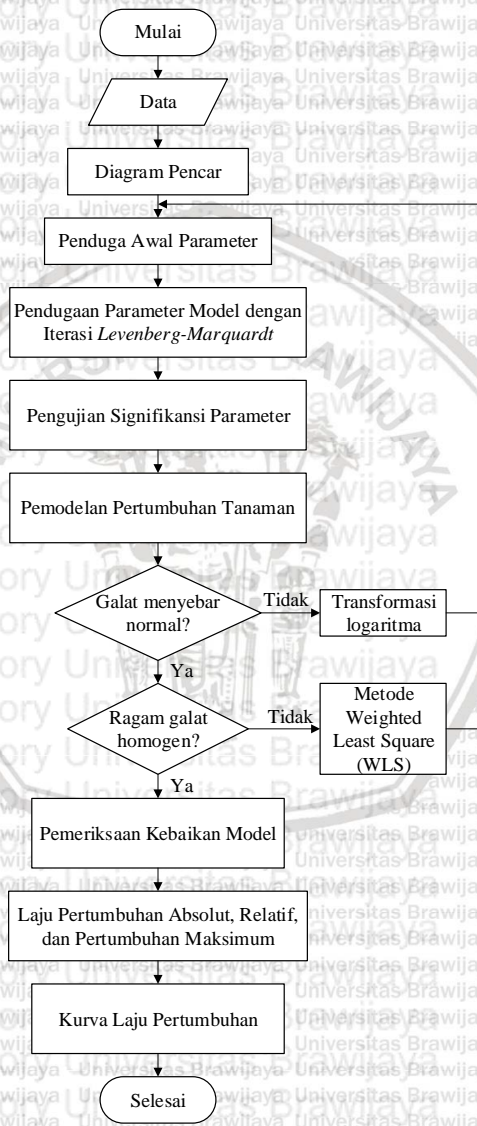
9. Menentukan waktu laju pertumbuhan maksimum untuk model *Lopez* yang tercantum pada persamaan (2.5) dan *Logistic* tercantum pada persamaan (2.10).

10. Membuat kurva laju pertumbuhan pada model *Lopez* dan model *Logistic*.

Seluruh analisis data dilakukan dengan menggunakan *software R*.

3.3. Diagram Alir

Berdasarkan prosedur analisis, dapat dibentuk diagram alir penelitian seperti pada Gambar 3.1.

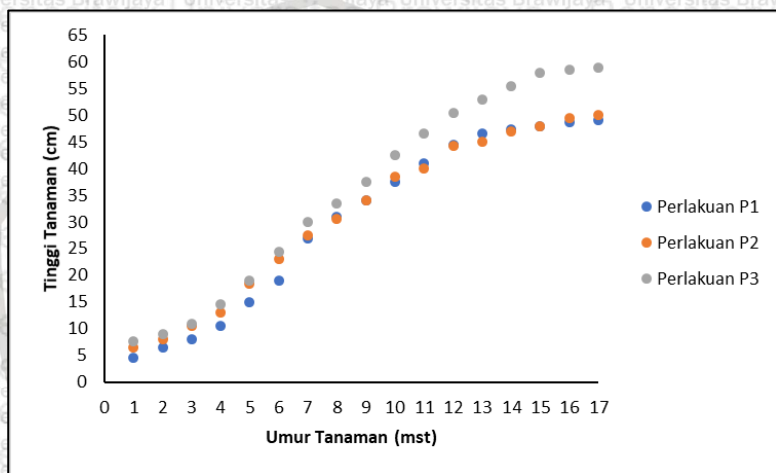


Gambar 3.1. Diagram Alir Metode Analisis

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Diagram Pencar

Diagram pencar digunakan untuk melihat bentuk kurva yang dihasilkan dari tinggi tanaman Cabai Rawit dengan tiga perlakuan terhadap umur tanaman. Diagram pencar tinggi tanaman Cabai Rawit dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Diagram Pencar Tinggi Tanaman Cabai Rawit

Tanaman Cabai Rawit yang digunakan sebagai obyek penelitian adalah tanaman Cabai Rawit varietas Cempaka, jenis rawit putih F1. Berdasarkan Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa pola data tinggi tanaman Cabai Rawit berbentuk sigmoid. Pemberian perlakuan P_3 yang merupakan campuran media pasir 25% dan media tanah 75% menghasilkan tanaman Cabai Rawit yang lebih tinggi dibandingkan P_1 dan P_2 dilihat dari tinggi tanaman Cabai Rawit pada umur 11 mst sampai dengan 17 mst.

Menurut Lawrence dan Fowler (2002), terdapat tiga fase pertumbuhan, yaitu fase vegetatif, fase reproduktif dan fase penuaan. Pada Gambar 4.1, fase vegetatif terjadi pada awal pertumbuhan, yaitu

saat tanaman berumur 1 mst sampai dengan 4 mst. Pada awal pertumbuhan, tanaman Cabai Rawit melakukan penyesuaian terhadap media tanam dan kondisi lingkungan, sehingga pertumbuhan berlangsung lambat. Pada umur 5 mst sampai dengan 14 mst terjadi fase reproduktif, dimana pada fase ini pertumbuhan mulai terlihat jelas karena sel-sel tanaman mulai aktif. Fase penuaan terjadi mulai umur 15 mst sampai dengan 17 mst. Pada fase penuaan, pertumbuhan tanaman kembali melambat dikarenakan tidak terjadi peningkatan yang signifikan pada tinggi tanaman Cabai Rawit.

4.2. Pendugaan Parameter

Pendugaan parameter model regresi nonlinier menggunakan metode kuadrat terkecil nonlinier dengan iterasi *Levenberg-Marquardt*. Sebelum melakukan proses iterasi, dibutuhkan nilai penduga awal parameter.

Nilai duga awal parameter α diperoleh dari tinggi tanaman pada umur 1 mst, pada perlakuan P_1 sebesar 4,5 cm, perlakuan P_2 6,5 cm dan perlakuan P_3 sebesar 7,7 cm. Pendugaan nilai awal parameter C diperoleh dari tinggi tanaman pada minggu ke-17 setelah tanam, pada perlakuan P_1 sebesar 49 cm, perlakuan P_2 sebesar 50 cm dan perlakuan P_3 sebesar 60 cm. Pendugaan nilai awal parameter β diperoleh menggunakan persamaan (2.15) sehingga diperoleh 0,0536 pada perlakuan P_1 , pada perlakuan P_2 0,06 dan 0,047 pada perlakuan P_3 . Nilai duga awal parameter B bergantung pada karakteristik model *Lopez*, yaitu $B > 0$ pada penelitian ini dipilih 0,5 karena menyesuaikan dengan penelitian Lopez dkk. (2003). Parameter K merupakan umur saat pertumbuhan setengah maksimum yang dihitung berdasarkan persamaan (2.14) sehingga nilai duga awal untuk semua perlakuan terjadi pada umur ke-7 setelah tanam. Pendugaan nilai awal parameter V diperoleh dengan memperkirakan waktu ketika tinggi tanaman cabai mulai bertambah secara cepat, yaitu ketika tanaman berumur 5 mst untuk semua perlakuan.

Penentuan nilai duga awal parameter menggunakan persamaan-persamaan pada subbab 2.6 dan disajikan secara lengkap pada Lampiran 5. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Nilai Duga Awal Parameter

Model	Parameter	Perlakuan		
		P ₁	P ₂	P ₃
<i>Lopez</i>	α	4,5	6,5	7,7
	<i>B</i>	0,5	0,5	0,5
	<i>C</i>	49	50	60
	<i>K</i>	7	7	7
<i>Logistic</i>	α	4,5	6,5	7,7
	β	0,0536	0,06	0,047
	<i>C</i>	49	50	60
	<i>V</i>	5	5	5

Nilai duga awal parameter digunakan untuk menduga parameter model dengan menggunakan iterasi *Levenberg-Marquardt*. Proses perhitungan pendugaan parameter hasil iterasi *Levenberg-Marquardt* dapat diketahui dengan menggunakan *coding software R* seperti pada Lampiran 6 dan hasil pendugaan parameter disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Penduga Parameter Hasil Iterasi

Model	Parameter	Perlakuan		
		P ₁	P ₂	P ₃
<i>Lopez</i>	α	5,206	6,242	7,391
	<i>B</i>	3,132	2,423	2,435
	<i>C</i>	53,439	58,046	73,321
	<i>K</i>	7,746	8,267	9,396
<i>Logistic</i>	α	0,464	-2,094	-0,894
	β	0,413	0,316	0,305
	<i>C</i>	49,810	51,782	63,560
	<i>V</i>	7,038	6,604	7,570

Berdasarkan Tabel 4.2, dapat diketahui bahwa model *Lopez* memberikan pendugaan yang lebih tinggi terhadap nilai tinggi awal tanaman (α) dan nilai tinggi maksimum tanaman (*C*) daripada model *Logistic*. Hasil ini serupa dengan hasil penelitian dari Kuhl, dkk. (2003) yang menunjukkan bahwa model *Lopez* memberikan

pendugaan yang lebih tinggi terhadap parameter a dan c daripada model *Logistic*. Parameter α , B dan C pada model *Lopez* setara dengan parameter α , β dan C pada model *Logistic*.

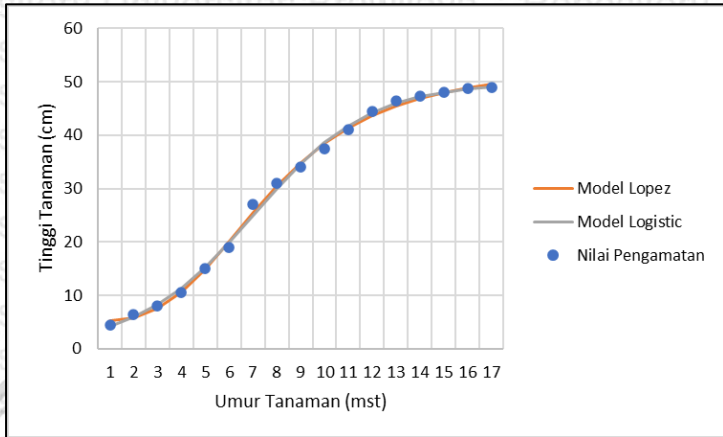
Berdasarkan Tabel 4.2, penduga parameter hasil iterasi *Levenberg-Marquardt* digunakan untuk membentuk model *Lopez* dan model *Logistic* yang disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Model Pertumbuhan *Lopez* dan *Logistic*

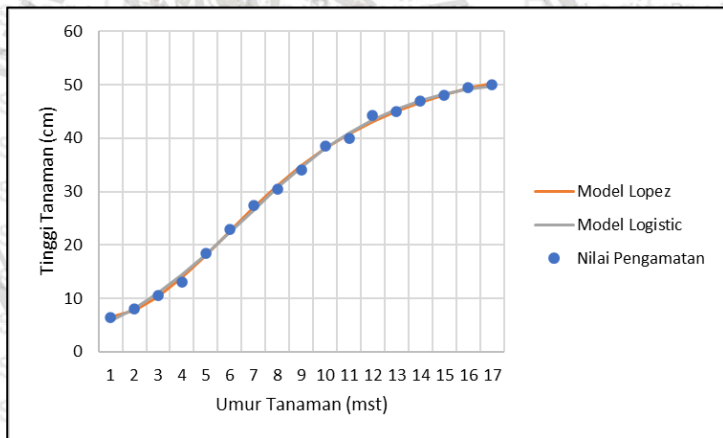
Model	Perlakuan	Persamaan
<i>Lopez</i>	P ₁	$y(t) = \frac{(5,206 \times 7,746^{3,132}) + (53,439 \times t^{3,132})}{7,746^{3,132} + t^{3,132}}$
	P ₂	$y(t) = \frac{(6,242 \times 8,267^{2,423}) + (58,046 \times t^{2,423})}{8,267^{2,423} + t^{2,423}}$
	P ₃	$y(t) = \frac{(7,391 \times 9,396^{2,435}) + (73,321 \times t^{2,435})}{9,396^{2,435} + t^{2,435}}$
<i>Logistic</i>	P ₁	$y(t) = 0,464 + \frac{(49,81 - 0,464)}{1 + \exp(-0,413(t - 7,038))}$
	P ₂	$y(t) = -2,094 + \frac{(51,782 + 2,094)}{1 + \exp(-0,316(t - 6,604))}$
	P ₃	$y(t) = -0,894 + \frac{(63,56 + 0,894)}{1 + \exp(-0,305(t - 7,57))}$

Model *Lopez* dan model *Logistic* pada Tabel 4.3 merupakan satu komponen, sehingga setiap parameter tidak dapat diinterpretasikan satu per satu. Untuk mendapatkan tinggi tanaman pada umur ke- t harus memasukkan nilai t ke dalam model. Hasil pendugaan parameter untuk kedua model pertumbuhan tersebut menunjukkan bahwa perlakuan P₃ menghasilkan tinggi tanaman Cabai Rawit yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan P₁ dan perlakuan P₂. Penduga parameter model merupakan penduga yang telah konvergen, yaitu ketika selisih iterasi ke- m dan ke- $(m+1)$ mendekati nol. Nilai duga

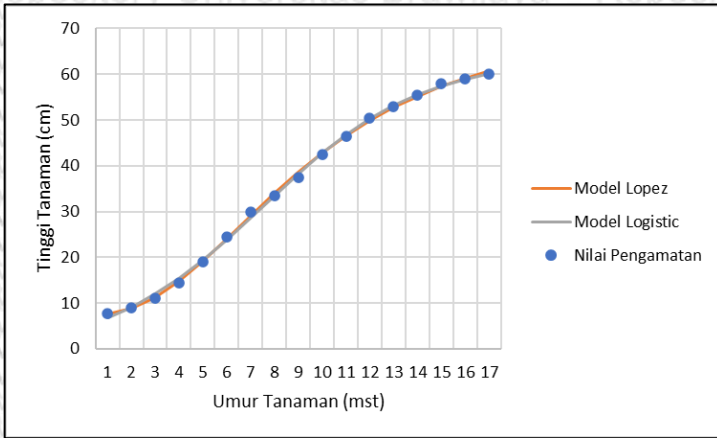
tinggi tanaman setiap minggu dengan data pengamatan disajikan pada Lampiran 7 dan disajikan secara grafis seperti pada Gambar 4.2.



a. Perlakuan P₁



b. Perlakuan P₂



c. Perlakuan P₃

Gambar 4.2. Grafik Nilai Pengamatan dengan Pendugaan Model

Berdasarkan Gambar 4.2, pola pertumbuhan tanaman cabai rawit hasil pendugaan model *Lopez* dan model *Logistic* pada setiap perlakuan saling berhimpit dan mendekati pola hasil pengamatan, sehingga kedua model dapat menjelaskan pola pertumbuhan tinggi tanaman Cabai Rawit dengan baik.

Tinggi awal tanaman pada perlakuan P₁ yang diduga oleh model *Lopez* sebesar 5,285 cm dan model *Logistic* sebesar 4,229 cm. Hasil pendugaan tersebut menunjukkan bahwa nilai dugaan tinggi awal tanaman Cabai Rawit dengan model *Logistic* lebih mendekati data hasil pengamatan dibandingkan model *Lopez*. Tinggi awal tanaman pada perlakuan P₂ dan P₃ yang diduga oleh model *Lopez* berturut-turut sebesar 6,550 cm dan 7,672 sedangkan model *Logistic* sebesar 5,741 cm dan 6,763 cm. Pada perlakuan P₂ dan perlakuan P₃ model *Lopez* memberikan hasil pendugaan tinggi awal tanaman Cabai Rawit yang lebih mendekati hasil pengamatan. Model *Lopez* menduga tinggi maksimum tanaman pada minggu ke-17 perlakuan P₁, P₂ dan P₃ secara berturut-turut sebesar 49,649 cm, 50,356 cm dan 60,731 cm, sedangkan model *Logistic* menduga tinggi maksimum tanaman berturut-turut sebesar 49,017 cm, 49,838 cm dan 60,122 cm. Hasil pendugaan tersebut menunjukkan bahwa model *Logistic* memberikan nilai dugaan tinggi maksimum tanaman yang lebih mendekati data hasil pengamatan dibandingkan dengan model *Lopez*.

4.3. Pengujian Signifikansi Parameter

4.3.1. Uji Simultan

Uji simultan dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter secara bersama-sama terhadap model. Hipotesis uji simultan model *Lopez* sebagai berikut:

$$H_0 : \alpha = B = C = K = 0 \quad \text{vs}$$

H_1 : setidaknya terdapat satu parameter tidak sama dengan nol.

Hipotesis uji simultan model *Logistic* adalah:

$$H_0 : \alpha = \beta = C = V = 0 \quad \text{vs}$$

H_1 : setidaknya terdapat satu parameter tidak sama dengan nol.

Hasil pengujian signifikansi parameter secara simultan dapat disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Secara Simultan

Model	Perlakuan	Nilai-p	Keputusan
<i>Lopez</i>	P ₁	$3,370 \times 10^{-20}$	Tolak H ₀
	P ₂	$6,274 \times 10^{-22}$	
	P ₃	$2,607 \times 10^{-23}$	
<i>Logistic</i>	P ₁	$7,330 \times 10^{-20}$	
	P ₂	$9,543 \times 10^{-21}$	
	P ₃	$3,031 \times 10^{-22}$	

Berdasarkan Tabel 4.4 diketahui bahwa nilai-p dari kedua model pada semua perlakuan menghasilkan nilai yang lebih kecil dari α (0,05) sehingga dapat disimpulkan bahwa keempat parameter model secara bersama-sama memberikan pengaruh yang signifikan terhadap model pertumbuhan *Lopez* dan *Logistic*.

4.3.2. Uji Parsial

Uji parsial digunakan untuk mengetahui pengaruh masing-masing parameter terhadap model regresi. Hipotesis uji parsial parameter α sebagai berikut:

$$H_0 : \alpha = 0 \quad \text{vs}$$

$$H_1 : \alpha \neq 0$$

Hipotesis uji parsial parameter B adalah:

$$H_0 : B = 0 \quad \text{vs}$$

$$H_1 : B \neq 0$$

Hipotesis uji parsial parameter C , yaitu:

$$H_0 : C = 0 \quad \text{vs}$$

$$H_1 : C \neq 0$$

Hipotesis uji parsial parameter K sebagai berikut:

$$H_0 : K = 0 \quad \text{vs}$$

$$H_1 : K \neq 0$$

Hipotesis uji parsial parameter V adalah:

$$H_0 : V = 0 \quad \text{vs}$$

$$H_1 : V \neq 0$$

Hasil pengujian signifikansi parameter secara parsial disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Parameter Secara Parsial

Model	Parameter	P ₁	P ₂	P ₃
		Nilai- p	Nilai- p	Nilai- p
<i>Lopez</i>	α	$4,920 \times 10^{-43}$	$3,644 \times 10^{-44}$	$2,662 \times 10^{-47}$
	B	$6,018 \times 10^{-40}$	$2,066 \times 10^{-40}$	$1,505 \times 10^{-40}$
	C	$3,408 \times 10^{-57}$	$1,008 \times 10^{-59}$	$2,980 \times 10^{-61}$
	K	$1,886 \times 10^{-45}$	$7,142 \times 10^{-48}$	$9,253 \times 10^{-49}$
<i>Logistic</i>	α	$5,043 \times 10^{-28}$	$2,023 \times 10^{-38}$	$1,848 \times 10^{-33}$
	β	$2,563 \times 10^{-27}$	$6,464 \times 10^{-27}$	$6,395 \times 10^{-27}$
	C	$1,884 \times 10^{-56}$	$6,328 \times 10^{-58}$	$2,174 \times 10^{-59}$
	V	$1,490 \times 10^{-44}$	$2,104 \times 10^{-45}$	$1,883 \times 10^{-46}$

Berdasarkan Tabel 4.5, apabila nilai- $p < \alpha$ (0,05) maka H_0 ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa keempat parameter secara

parsial berpengaruh nyata terhadap model *Lopez* dan model *Logistic* dalam menduga pola pertumbuhan tanaman Cabai Rawit.

4.4. Pengujian Asumsi Galat

4.4.1 Asumsi Kenormalan Galat

Asumsi kenormalan galat berpengaruh terhadap hasil pendugaan parameter model. Apabila asumsi kenormalan galat tidak terpenuhi, maka hasil pendugaan parameter model tidak dapat digunakan. Pengujian asumsi kenormalan galat menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov* dengan hipotesis sebagai berikut:

H_0 : galat menyebar normal vs

H_1 : galat tidak menyebar normal

Tabel 4.6. Hasil Pengujian Kenormalan Galat

Model	Perlakuan	Nilai p	Keputusan	Kesimpulan
<i>Lopez</i>	P ₁	0,931	Terima H ₀	Galat menyebar normal
	P ₂	0,210		
	P ₃	0,467		
Logistic	P ₁	0,667		
	P ₂	0,652		
	P ₃	0,464		

Tabel 4.6 menunjukkan hasil pengujian asumsi kenormalan galat. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai p pada model *Lopez* dan model *Logistic* lebih besar dari taraf nyata ($\alpha = 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa asumsi kenormalan galat terpenuhi. Hasil pengujian disajikan secara lengkap pada Lampiran 8.

4.4.2. Asumsi Kehomogenan Ragam Galat

Kehomogenan ragam galat berarti ragam galat konstan dari satu pengamatan ke pengamatan lain. Pengujian asumsi kehomogenan ragam galat menggunakan uji *Szroeter*. Hipotesis untuk menguji asumsi kehomogenan ragam galat adalah:

H_0 : ragam galat konstan vs

H_1 : ragam galat tidak konstan

Tabel 4.7. Hasil Pengujian Kehomogenan Ragam Galat

Model	Perlakuan	Nilai $ Q $	Keputusan	Kesimpulan
<i>Lopez</i>	P ₁	0,348	Terima H ₀	Ragam galat homogen
	P ₂	0,063		
	P ₃	0,693		
<i>Logistic</i>	P ₁	0,927		
	P ₂	1,138		
	P ₃	1,864		

Berdasarkan Tabel 4.7, apabila nilai $|Q| \leq 1,96$ maka H₀ diterima sehingga dapat disimpulkan bahwa ragam galat konstan atau asumsi kehomogenan ragam galat terpenuhi untuk model *Lopez* dan model *Logistic*. Hasil perhitungan nilai Q secara lengkap disajikan pada Lampiran 9.

4.5. Pemeriksaan Keباikan Model

Pemeriksaan kebaikan model *Lopez* dan *Logistic* menggunakan nilai R^2 dan AIC_c . Hasil perhitungan nilai R^2 disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4.8. Nilai R^2

Model	Perlakuan	R^2	Kesimpulan
<i>Lopez</i>	P ₁	0,998	Model Baik
	P ₂	0,999	
	P ₃	0,999	
<i>Logistic</i>	P ₁	0,998	
	P ₂	0,998	
	P ₃	0,999	

Koefisien determinasi (R^2) model *Lopez* dan model *Logistic* menghasilkan nilai yang mendekati 1 sehingga dapat disimpulkan bahwa keragaman peubah tinggi tanaman Cabai Rawit yang dapat dijelaskan oleh peubah umur tanaman sebesar 99% dan dapat dikatakan bahwa kedua model pertumbuhan menjelaskan

pertumbuhan tanaman Cabai Rawit dengan baik. Hal ini menyebabkan kurva hasil penduga untuk kedua model berhimpitan dengan kurva hasil pengamatan. Hasil penelitian ini juga serupa dengan penelitian yang dilakukan Lopez, dkk. (2000) dan Kuhi, dkk. (2003) dimana model *Lopez* dan *Logistic* menghasilkan nilai koefisien determinasi yang tinggi, yaitu lebih dari 99%.

Model *Lopez* dan model *Logistic* sama baiknya untuk menjelaskan pola pertumbuhan tinggi tanaman Cabai Rawit, sehingga untuk memilih model mana yang terbaik dilihat dari nilai AIC_c . Hasil perhitungan nilai AIC_c untuk kedua model dapat dilihat pada Lampiran 10 dan disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Nilai AIC_c

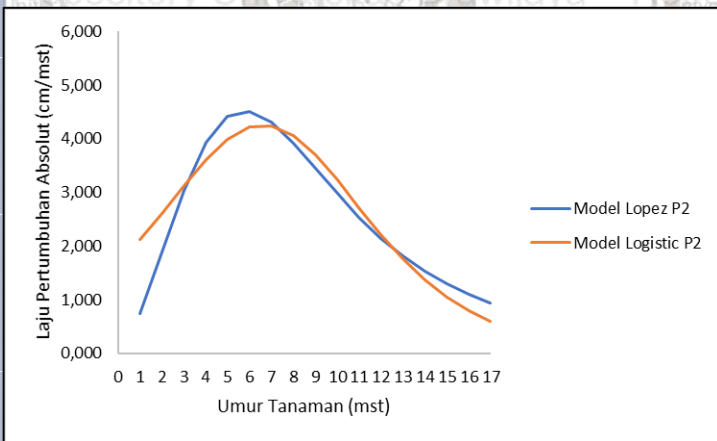
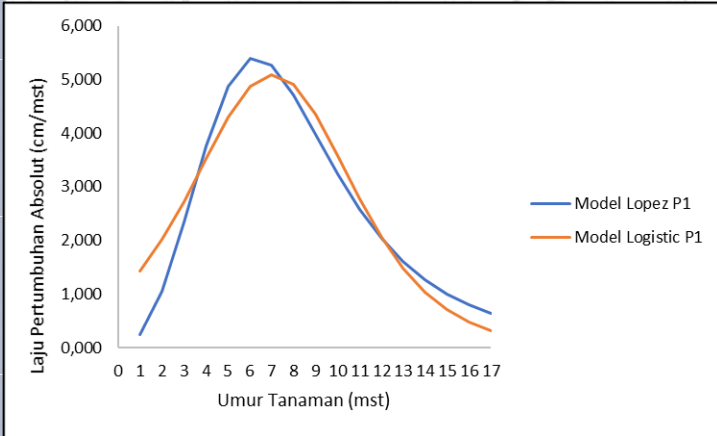
Perlakuan	Model	AIC_c	Kesimpulan
P ₁	<i>Lopez</i>	0,832	Model <i>Lopez</i> lebih baik daripada model <i>Logistic</i>
	<i>Logistic</i>	2,596	
P ₂	<i>Lopez</i>	-10,497	Model <i>Lopez</i> lebih baik daripada model <i>Logistic</i>
	<i>Logistic</i>	-4,324	
P ₃	<i>Lopez</i>	-11,108	Model <i>Lopez</i> lebih baik daripada model <i>Logistic</i>
	<i>Logistic</i>	-5,542	

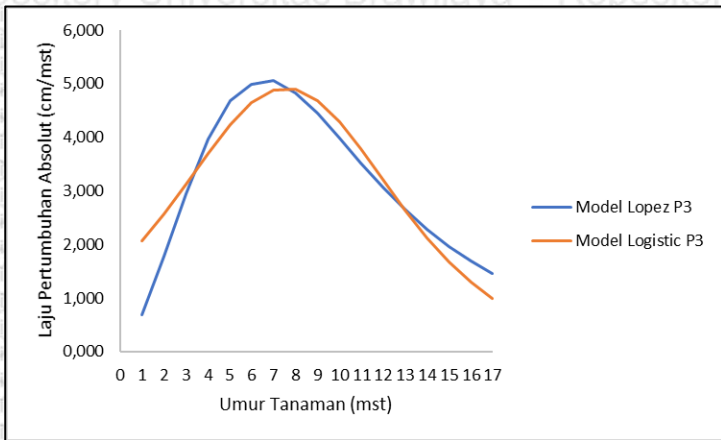
Pada Tabel 4.9 tampak bahwa nilai AIC_c dari model *Lopez* untuk ketiga perlakuan lebih kecil dibandingkan model *Logistic* sehingga dapat dikatakan bahwa model *Lopez* lebih baik dalam menjelaskan pola pertumbuhan tanaman Cabai Rawit. Nilai AIC_c menunjukkan bahwa penerapan model *Lopez* membuat informasi yang hilang lebih sedikit jika dibandingkan dengan model *Logistic*, karena menghasilkan nilai AIC_c yang lebih kecil. Pada perlakuan P₂ dan P₃ menghasilkan nilai AIC_c yang bertanda negatif, namun tetap dipilih nilai yang terkecil.

4.6. Laju Pertumbuhan Absolut

Laju pertumbuhan absolut menggambarkan perubahan kenaikan tinggi tanaman Cabai Rawit setiap waktu. Laju pertumbuhan absolut

diperoleh dari hasil turunan pertama model pertumbuhan terhadap waktu. Laju pertumbuhan absolut model *Lopez* dihitung berdasarkan persamaan (2.3) dan persamaan (2.8) untuk model *Logistic*. Kurva yang terbentuk berdasarkan laju pertumbuhan tanaman Cabai Rawit masing-masing perlakuan disajikan pada gambar berikut:





c. Perlakuan P_3

Gambar 4.3. Kurva Laju Pertumbuhan Absolut

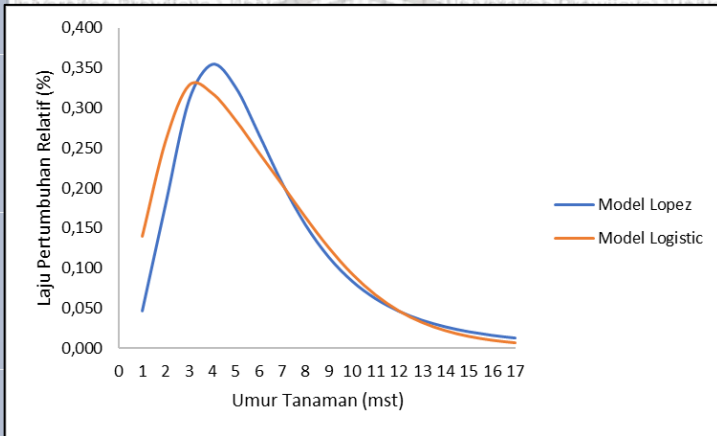
Gambar 4.3 menunjukkan pertambahan tinggi tanaman Cabai Rawit setiap minggu yang membentuk pola lengkung yang menjulur kekanan. Tinggi tanaman Cabai Rawit akan terus meningkat hingga mencapai titik maksimum, hingga laju pertumbuhan tanaman akan berangsur menurun seiring bertambahnya umur tanaman. Sejak berumur 1 minggu setelah tanam, tinggi tanaman Cabai Rawit terus mengalami kenaikan hingga mencapai suatu titik maksimum pada umur 6-8 mst dan setelah itu terus mengalami penurunan, sehingga diperkirakan bahwa titik belok pada kedua model terjadi pada saat tanaman berumur 6-8 mst. Titik belok adalah titik maksimum pertumbuhan yang merupakan peralihan dari pertumbuhan yang berlangsung cepat ke pola pertumbuhan yang melambat (Hunt dkk., 2003).

Model *Lopez* perlakuan P_1 dan P_2 mencapai titik maksimum lebih cepat, yaitu saat berumur 6-7 minggu setelah tanam dengan kecepatan laju pertumbuhan berturut-turut sebesar 5,36 cm/mst dan 4,406 cm/mst, sedangkan perlakuan P_3 mencapai titik maksimum saat berumur 7 minggu setelah tanam dengan kecepatan laju pertumbuhan sebesar 5,056 cm/mst. Model *Logistic* perlakuan P_1 dan P_2 mencapai titik maksimum, yaitu saat berumur 6-7 minggu setelah tanam, sedangkan perlakuan P_3 mencapai titik maksimum lebih lambat, yaitu saat umur 7-8 minggu setelah tanam dengan kecepatan laju

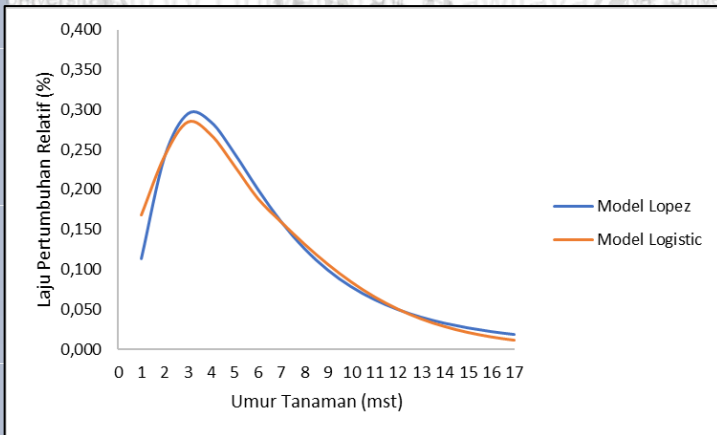
pertumbuhan sebesar 4,894 mst. Hasil perhitungan laju pertumbuhan absolut untuk kedua model dapat dilihat pada Lampiran 11.

4.7. Laju Pertumbuhan Relatif

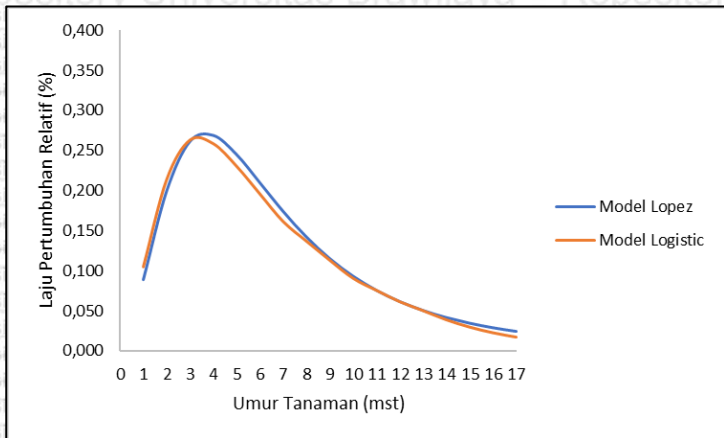
Laju pertumbuhan relatif menggambarkan persen perubahan laju pertumbuhan tinggi tanaman Cabai Rawit pada setiap pengamatan. Laju pertumbuhan relatif untuk model *Lopez* dan model *Logistic* diperoleh berdasarkan persamaan (2.4) dan persamaan (2.9). Laju pertumbuhan relatif untuk model *Lopez* dan model *Logistic* masing-masing disajikan pada Gambar 4.4.



a. Perlakuan P₁



b. Perlakuan P₂



c. Perlakuan P₃

Gambar 4.4. Kurva Laju Pertumbuhan Relatif

Berdasarkan Gambar 4.4 laju pertumbuhan relatif untuk model *Lopez* dan model *Logistic* mengalami kenaikan hingga umur 3-4 mst kemudian terus mengalami penurunan seiring bertambahnya umur tanaman. Laju pertumbuhan tinggi tanaman Cabai Rawit yang tinggi pada umur 3-4 mst dan terus menurun artinya perubahan laju pertumbuhan melambat. Pada minggu ke-17 laju pertumbuhan tanaman Cabai Rawit untuk model *Lopez* dan model *Logistic* mendekati nol yang menunjukkan bahwa tidak terjadi pertumbuhan tinggi pada tanaman. Pada ketiga perlakuan, laju pertumbuhan relatif pada perlakuan P₁ terjadi lebih lambat dibandingkan dengan kedua perlakuan tetapi paling tinggi dibandingkan dua perlakuan lainnya. Laju pertumbuhan relatif tertinggi terjadi pada minggu ke-4 setelah tanam pada perlakuan P₁ Gambar 4.4 (a) menggunakan model *Lopez*, yaitu sebesar 0,354%.

Hasil perhitungan laju pertumbuhan relatif untuk kedua model dapat dilihat pada Lampiran 12.

4.8. Laju Pertumbuhan Maksimum

Laju pertumbuhan maksimum terjadi ketika pertumbuhan tanaman Cabai Rawit mencapai titik belok. Umur dan tinggi tanaman cabai rawit saat terjadi laju pertumbuhan maksimum untuk model *Lopez* diperoleh berdasarkan persamaan (2.5) dan persamaan (2.6),

sedangkan untuk model *Logistic* diperoleh berdasarkan persamaan (2.10) dan (2.11). Umur dan tinggi maksimum tanaman pada saat mencapai laju pertumbuhan maksimum pada model *Lopez* dan model *Logistic* disajikan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Laju Pertumbuhan Maksimum

Model	Perlakuan	Umur (mst)	Tinggi (cm)
<i>Lopez</i>	P ₁	6,271	21,623
	P ₂	6,254	21,460
	P ₃	7,265	28,618
<i>Logistic</i>	P ₁	7,038	25,137
	P ₂	6,604	24,844
	P ₃	7,57	31,333

Berdasarkan Tabel 4.10, dapat diketahui pada model *Lopez*, penggunaan perlakuan P₁ dan P₂ pada tanaman Cabai Rawit mencapai titik belok saat umur 6 minggu lebih 2 hari setelah tanam dengan tinggi tanaman untuk perlakuan P₁ adalah 21,623 cm, sedangkan untuk perlakuan P₂ tinggi tanaman mencapai 21,460 cm. Pada tanaman Cabai Rawit dengan penggunaan perlakuan P₃ mencapai titik belok pada saat umur 7 minggu lebih 2 dengan tinggi tanaman 28,618 cm.

Laju pertumbuhan maksimum untuk model *Logistic* pada penggunaan perlakuan P₁ terjadi saat umur tanaman 7 minggu setelah tanam dengan tinggi tanaman adalah 25,137 cm. Pada penggunaan perlakuan P₂ tanaman Cabai Rawit mengalami laju pertumbuhan maksimum pada umur 6 minggu lebih 6 hari setelah tanam dengan tinggi tanaman sebesar 24,844 cm. Laju pertumbuhan maksimum terjadi pada saat umur 7 minggu lebih 5 hari setelah tanam dengan tinggi tanaman 31,333 cm. Hal ini sesuai dengan kurva laju pertumbuhan absolut di mana pada Gambar 4.3 puncak kurva atau titik maksimum terjadi antara umur enam sampai delapan minggu setelah tanam.

Model *Logistic* menduga tinggi tanaman Cabai Rawit lebih tinggi dibandingkan model *Lopez* dengan tinggi maksimum pada perlakuan P₁ selisih 3 cm, perlakuan P₂ selisih 3 cm, sedangkan untuk perlakuan P₃ selisih 2 cm. Perbedaan tinggi tanaman tersebut dimungkinkan karena perbedaan waktu terjadinya laju pertumbuhan maksimum pada

pertumbuhan tinggi tanaman Cabai Rawit untuk model *Lopez* dan model *Logistic*.

Pada model *Lopez*, diketahui bahwa laju pertumbuhan maksimum untuk ketiga perlakuan yang diberikan pada Cabai Rawit terjadi lebih cepat dibandingkan dengan model *Logistic*. Dari Tabel 4.10 dapat diketahui pula bahwa penggunaan media tanam 75% tanah dan 25% pasir dapat membantu pertumbuhan tinggi tanaman Cabai Rawit agar menghasilkan tinggi tanaman maksimal.

Dugaan tersebut dapat dijadikan referensi bagi para petani agar memberikan perlakuan tambahan yang dapat memaksimalkan pertumbuhan tanaman Cabai Rawit sebelum saat laju pertumbuhan mencapai maksimum. Pada saat berumur 5-6 mst tanaman Cabai Rawit memasuki fase vegetatif (munculnya bunga) karena itu kecepatan pertumbuhan tanaman berpengaruh. Penelitian Astri (2015) pupuk yang digunakan adalah pupuk cair organik yang berasal dari limbah sayuran organik yang diberikan setiap hari dengan dosis 200ml. Pemberian perlakuan tambahan seperti memberikan pupuk NPK yang merupakan salah satu cara untuk meningkatkan kesuburan tanah, zat hara mineral terutama N yang berperan meningkatkan berat kering tanaman dan pemberian hormon pertumbuhan dilakukan sebelum umur 6 mst (Silvia dkk., 2016).



Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V PENUTUP

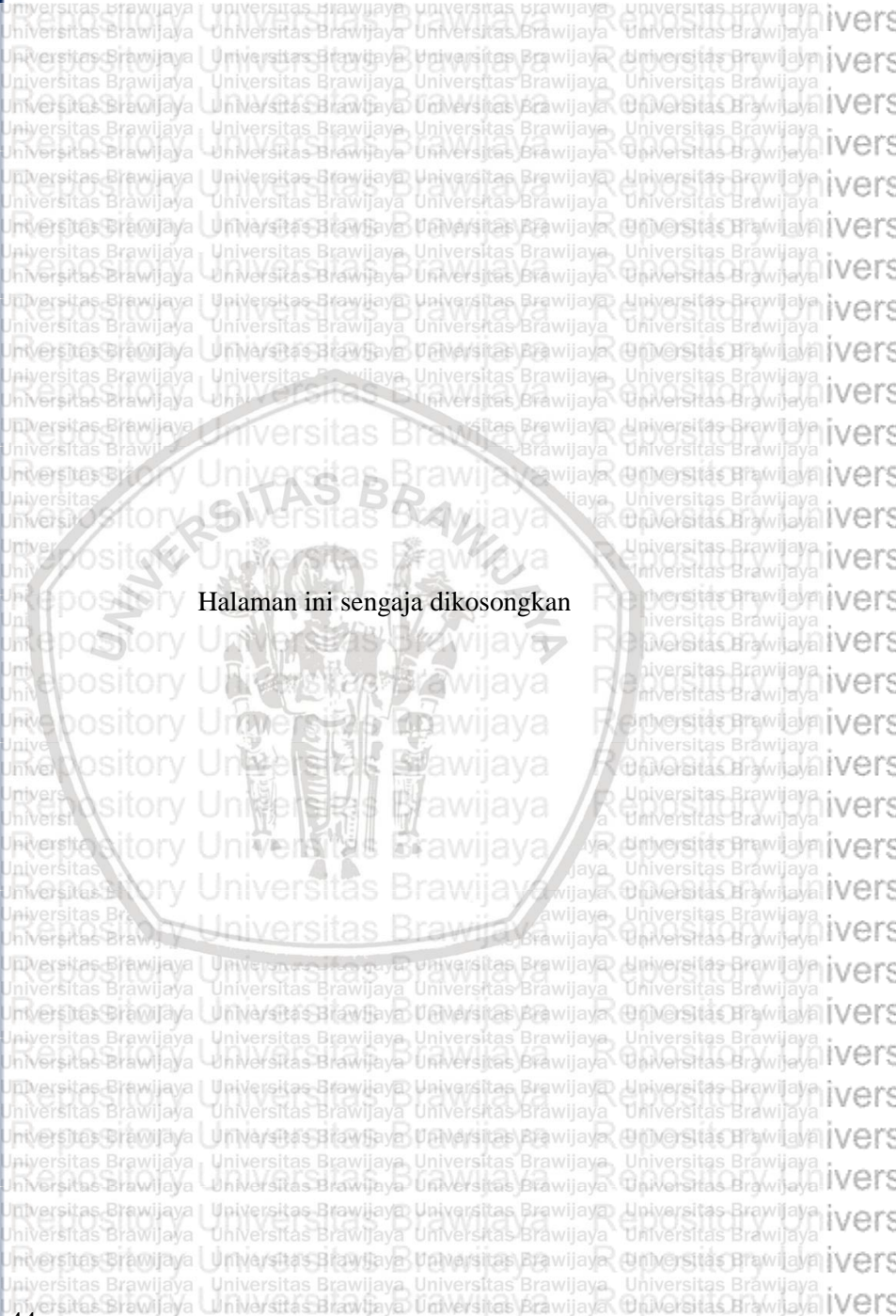
5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini yang hanya berlaku untuk data tinggi tanaman Cabai Rawit varietas Cempaka selama umur tujuh belas minggu adalah:

1. Model *Lopez* dan model *Logistic* dapat menduga tinggi tanaman Cabai Rawit dengan baik yang ditunjukkan dengan nilai koefisien determinasi yang tinggi dan kurva penduga model berhimpitan dengan kurva hasil pengamatan.
2. Model *Lopez* lebih baik daripada model *Logistic* dalam menggambarkan pola pertumbuhan tanaman Cabai Rawit pada ketiga perlakuan dilihat dari nilai AIC_c terkecil.
3. Pada kedua model menunjukkan pola lengkung yang menjulur ke kanan dan laju pertumbuhan maksimum tanaman Cabai Rawit terjadi pada saat umur 6-8 minggu setelah tanam.

5.2. Saran

Model *Lopez* dan model *Logistic* dapat digunakan untuk menduga laju pertumbuhan tanaman serta menggambarkan pola pertumbuhan tanaman dengan baik. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai tambahan informasi bagi para petani mengenai waktu yang baik untuk memberikan perlakuan tambahan agar pertumbuhan tanaman cabai rawit dapat lebih maksimal. Pemberian perlakuan tambahan tersebut seperti memberikan pupuk NPK, pemberian hormon pertumbuhan dan penambahan unsur hara Nitrogen sebaiknya dilakukan sebelum Cabai Rawit berumur 6-8 mst. Diharapkan semakin tinggi tanaman akan menghasilkan buah Cabai Rawit yang banyak. Pada penelitian selanjutnya dapat diterapkan kedua model untuk memodelkan pertumbuhan cabang, daun dan buah Cabai Rawit agar produksinya lebih maksimal. Hasil penelitian diharapkan juga dapat digunakan sebagai tambahan *database* tentang tanaman Cabai Rawit.



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Astri, R. (2015). *Pengaruh Campuran Media Tanam Terhadap Pertumbuhan Serta Hasil Tanaman Cabai Rawit (Capsicum frutescens Linn.)*. [Skripsi] Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta.
- Arianto, T., Wahyuni, H. I., dan Kurnianto, E. 2018. Analisis Parameter Pertumbuhan Ayam Kedu Jengger Merah dan Jengger Hitam Generasi Ke-dua di Balai Pembibitan dan Budidaya Ternak Non Ruminansia. *Jurnal Peternakan Indonesia*, Vol. 21(1): 10-17.
- Cahyono, B. 2003. *Cabai Rawit*. Kanisius. Yogyakarta.
- Daniel, W. W. 1989. *Statistika Nonparametrik Terapan*. Terjemahan Ale, T.K. Gramedia. Jakarta.
- Djarwaningsih, T. 2005. *Capsicum sp. (Cabai): Asal Persebaran dan Nilai Ekonomis*. *Biodiversitas* 6:292-296.
- Dufour, J. M., Khalaf, L., Bernand, J. T., dan Genest, I. 2001. Simulation-based Finite-sample Tests for Heteroskedasticity an ARCH Effects. *Journal of Economics*. Canada.
- Eduardo, G. P. 2019. Notes for Nonparametric Statistics. *MSc in Statistics for Data Sciences at Carlos III University of Madrid*. Spain.
- Endjang, S. dan Meksy, D. 2015. Produksi Panen Berbagai Varietas Unggul Baru Cabai Rawit (*Capsicum frutescens*) Di Lahan Kering Kabupaten Garut, Jawa Barat. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiv Indonesia Volume I*, No (4):874-877.
- Gujarati, D. N. dan Dawn, P. C. 2008. *Basic Econometric*. The McGraw-Hill Companies, Inc. Boston.

Hanne, T. dan Neu, H. 2004. *Simulating Human Resources in Software Development Processes*. Berichte des Fraunhofer ITMW. Germany.

Haryoto. 2009. *Bertanam Cabai Rawit dalam Pot*. Kanisius, Yogyakarta.

Hunt, R., Thomas, B., Murphy, D. J. dan Murray, D. 2003. Growth Analysis, Individual Plants. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences 2*, 579-588. University of Sheffield. UK.

Kouassi, C. K., Koffi-nevry, R. dan Guillaume, L. Y. 2012. Profiles of Bioactive Compounds of Some Pepper Fruit (*Capsicum L.*) Varieties Grown in Cote d'ivoire. *Innovative Romanian Food Biotechnol* 11:23-31.

Kuhi, H. D., Kebreab, E., Lopez, S. dan France, J. 2003. An Evaluation Of Different Growth Functions For Describing The Profile Of Live Weight With Time (Age) In Meat And Egg Strains Of Chicken. *Poultry Science* 82. Spain

Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J. dan Li, W. 2005. *Applied Linier Statistical Models. 5th edition*. McGraw-Hill. New York.

Lawrence, T. L. dan Fowler, V. R. 2002. *Growth Of Farm Animals. 2nd edition*. Cromwell Press. London.

Lopez, S., France, J., Gerrits, W. J., Dhanoa, M. S., Humphries dan Dijkstra, J. 2000. A Generalized Michaelis-Menten Equation For The Analysis Of Growth. *Journal of Animal Science*. United Kingdom.

Ma, Y. Z., Lin, Z. Q., Jin, B. J., Lu, H. D., Guo, B. Q. dan Zheng, Y. 2015. Spatial Changes And Influencing Factors Of Fine Root Carbon, Nitrogen And Phosphorus Stoichiometry Of Plants In China. *Journal Plant Ecol* 39, 159–166. China.

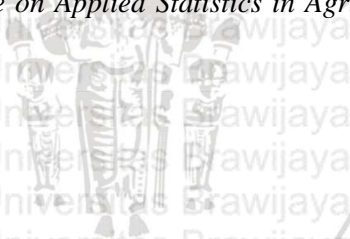
Madoroba, E. dan Kruger, J. 2015. Equity Valuation Meets the Sigmoid Groth Equation: The Gordon Growth Model Revisited. *Proceedings of 30th International Business Research Conference*. Dubai.

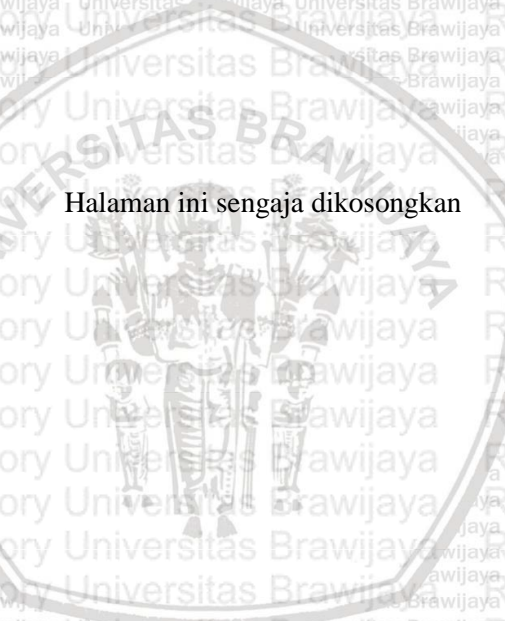
Panik, J. M. 2014. *Growth Curve Modelling, Theory and Applications*. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey.

Prajnanta, F. 2012. *Mengatasi Permasalahan Bertanam Cabai*. Penebar Swadaya. Jakarta.

Rawling, J. O., Pantula, S. G. dan Dickey, D. A. 1998. *Applied Regression Analysis: A Research Tool*. Second Edition. Springer: New York.

Tu, C., Parkhurst, A. M., Durso, L. M. dan Hutkins, R. W. 2007. Using Nonlinier Fixed And Mixed Models With Switching Functions To Allow For Hormosis In Growth of Escherichia Coli. *Conference on Applied Statistics in Agriculture*. Kansas State University.





Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 1. Data Tinggi Tanaman Cabai Rawit

t (MST)	Y_1 (cm)	Y_2 (cm)	Y_3 (cm)
1	4,5	6,5	7,7
2	6,5	8	9
3	8	10,5	11
4	10,5	13	14,5
5	15	18,5	19
6	19	23	24,5
7	27	27,5	30
8	31	30,5	33,5
9	34	34	37,5
10	37,5	38,5	42,5
11	41	40	46,5
12	44,5	44,2	50,5
13	46,5	45	53
14	47,3	47	55,5
15	48	48	58
16	48,7	49,5	59
17	49	50	60

Keterangan:

t : umur tanaman setiap minggu setelah tanam (mst)

Y_1 : Tinggi tanaman Perlakuan 1

Y_2 : Tinggi tanaman Perlakuan 2

Y_3 : Tinggi tanaman Perlakuan 3

Rancangan perlakuan:

P_1 : Perlakuan 1 (25% media tanah, 75% media pasir)

P_2 : Perlakuan 2 (50% media tanah, 50% media pasir)

P_3 : Perlakuan 3 (75% media tanah, 25% media pasir)



Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 2. Penurunan model pertumbuhan Lopez

Model Lopez

$$y(t) = \frac{\alpha K^B + Ct^B}{K^B + t^B}$$

- Turunan pertama terhadap t

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{d}{dt} \frac{\alpha K^B + Ct^B}{K^B + t^B}$$

Misal:

$$u = \alpha K^B + Ct^B$$

$$u' = BCt^{B-1}$$

$$v = K^B + t^B$$

$$v' = Bt^{B-1}$$

$$\frac{d u}{d t v} = \frac{u' v - u v'}{v^2}$$

$$\frac{d u}{d t v} = \frac{(BCt^{B-1})(K^B + t^B) - (\alpha K^B + Ct^B)(Bt^{B-1})}{(K^B + t^B)^2}$$

$$\frac{d u}{d t v} = \frac{BCK^B t^{B-1} + BCt^{2B-1} - B\alpha K^B t^{B-1} - B Ct^{2B-1}}{(K^B + t^B)^2}$$

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{BCK^B t^{B-1} - B\alpha K^B t^{B-1}}{(K^B + t^B)^2}$$

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{B(C - \alpha)K^B t^{B-1}}{(K^B + t^B)^2}$$

- Turunan kedua terhadap t

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} = \frac{d}{dt} \frac{B(C - \alpha)K^B t^{B-1}}{(K^B + t^B)^2}$$

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} = B(C - \alpha)K^B \frac{d}{dt} \frac{t^{B-1}}{(K^B + t^B)^2}$$

Misal:

$$u = t^{B-1}$$

$$u' = (B - 1)t^{B-2}$$

Lampiran 2. (Lanjutan)

$$v = (K^B + t^B)^2 \quad v' = 2(K^B + t^B)Bt^{B-1}$$

$$\frac{d u}{d t v} = \frac{u'v - uv'}{v^2}$$

$$\frac{d u}{d t v} = \frac{((B-1)t^{B-2})((K^B+t^B)^2) - (t^{B-1})(2(K^B+t^B)Bt^{B-1})}{((K^B+t^B)^2)^2}$$

$$\frac{d u}{d t v} = \frac{(B-1)t^{B-2}(K^B+t^B)^2 - 2t^{B-1}Bt^{B-1}(K^B+t^B)}{(K^B+t^B)^4}$$

$$\frac{d u}{d t v} = \frac{(K^B+t^B)((B-1)t^{B-2}(K^B+t^B) - 2t^{B-1}Bt^{B-1})}{(K^B+t^B)^4}$$

$$\frac{d u}{d t v} = \frac{(B-1)t^{B-2}(K^B+t^B) - 2t^{2B-2}B}{(K^B+t^B)^3}$$

$$\frac{d u}{d t v} = \frac{t^{B-2}((K^B+t^B)(B-1) - 2Bt^B)}{(K^B+t^B)^3}$$

$$\frac{d u}{d t v} = \frac{t^{B-2}((B-1)K^B + (B+1)t^B)}{(K^B+t^B)^3}$$

$$\frac{d^2 y(t)}{d t^2} = - \frac{B(C-\alpha)K^B t^{B-2} - ((B-1)K^B + (B+1)t^B)}{(K^B+t^B)^3}$$

- Laju pertumbuhan relatif

$$\frac{d y(t)}{d t} \times \frac{1}{y(t)} = \frac{B(C-\alpha)K^B t^{B-1}}{(K^B+t^B)^2} \times \frac{K^B+t^B}{\alpha K^B + C t^B}$$

$$\frac{d y(t)}{d t} \times \frac{1}{y(t)} = \frac{B(C-\alpha)K^B t^{B-1}}{(K^B+t^B)(\alpha K^B + C t^B)}$$

- Waktu pertumbuhan maksimum

$$\frac{d^2 y(t)}{d t^2} = - \frac{B(C-\alpha)K^B t^{B-2} - ((B-1)K^B + (B+1)t^B)}{(K^B+t^B)^3} = 0$$

$$0 = -B(C-\alpha)K^B t^{B-2} - ((B-1)K^B + (B+1)t^B)$$

$$0 = -(B-1)K^B + (B+1)t^B$$

Lampiran 2. (Lanjutan)

$$(B-1)K^B = (B+1)t^B$$

$$t^B = \frac{B-1}{B+1} K^B$$

$$t^* = K \left(\frac{B-1}{B+1} \right)^{1/B}$$

- Pertumbuhan maksimum

$$y(t^*) = \frac{\alpha K^B + C \left(K \left(\frac{B-1}{B+1} \right)^{1/B} \right)^B}{K^B + \left(K \left(\frac{B-1}{B+1} \right)^{1/B} \right)^B}$$

$$y(t^*) = \frac{\alpha K^B + C K^B \left(\frac{B-1}{B+1} \right)}{K^B + K^B \left(\frac{B-1}{B+1} \right)}$$

$$y(t^*) = \frac{K^B \left(\alpha + C \left(\frac{B-1}{B+1} \right) \right)}{K^B \left(1 + \left(\frac{B-1}{B+1} \right) \right)}$$

$$y(t^*) = \frac{\alpha + C \left(\frac{B-1}{B+1} \right)}{1 + \left(\frac{B-1}{B+1} \right)}$$

- Turunan parsial terhadap a

$$\frac{dy(t)}{da} = \frac{d}{da} \frac{\alpha K^B + Ct^B}{K^B + t^B}$$

$$\frac{dy(t)}{da} = \frac{1}{K^B + t^B} \left(K^B \frac{d}{da} \alpha + \frac{d}{da} C t^B \right)$$

$$\frac{dy(t)}{da} = \frac{K^B}{K^B + t^B}$$

- Turunan parsial terhadap b

$$\frac{dy(t)}{db} = \frac{d}{db} \frac{\alpha K^B + Ct^B}{K^B + t^B}$$

Misal:

$$u = \alpha K^B + Ct^B$$

$$u' = \alpha K^B \ln(K) + Ct^B \ln(t)$$

$$v = K^B + t^B$$

$$v' = K^B \ln(K) + t^B \ln(t)$$

$$\frac{d}{db} \frac{u}{v} = \frac{u'v - uv'}{v^2}$$

Lampiran 2. (Lanjutan)

$$\frac{d u}{d b v} = \frac{(\alpha K^B \ln(K) + C t^B \ln(t))(K^B + t^B) - (\alpha K^B + C t^B)(K^B \ln(K) + t^B \ln(t))}{(K^B + t^B)^2}$$

$$\frac{d u}{d b v} = \frac{\alpha K^{2B} \ln(K) + \alpha K^B t^B \ln(K) + C t^B K^B \ln(t) + C t^{2B} \ln(t) - \alpha K^{2B} \ln(K) - \alpha K^B t^B \ln(t) - C t^B K^B \ln(K) - C t^{2B} \ln(t)}{(K^B + t^B)^2}$$

$$\frac{d u}{d b v} = \frac{K^B t^B (C - \alpha) (\ln(t) - \ln(K))}{(K^B + t^B)^2}$$

$$\frac{d y(t)}{d B} = \frac{K^B t^B (C - \alpha) (\ln(t) - \ln(K))}{(K^B + t^B)^2}$$

➤ Turunan parsial terhadap c

$$\frac{d y(t)}{d C} = \frac{d}{d t} \frac{\alpha K^B + C t^B}{K^B + t^B}$$

$$\frac{d y(t)}{d C} = \frac{1}{K^B + t^B} \left(\frac{d}{d C} \alpha K^B + t^B \frac{d}{d C} C \right)$$

$$\frac{d y(t)}{d C} = \frac{t^B}{K^B + t^B}$$

➤ Turunan parsial terhadap k

$$\frac{d y(t)}{d K} = \frac{d}{d K} \frac{\alpha K^B + C t^B}{K^B + t^B}$$

Misal:

$$u = \alpha K^B + C t^B \quad u' = \alpha B K^{B-1}$$

$$v = K^B + t^B \quad v' = B K^{B-1}$$

$$\frac{d u}{d k v} = \frac{u' v - u v'}{v^2}$$

$$\frac{d u}{d k v} = \frac{\alpha B K^{B-1} (K^B + t^B) - (\alpha K^B + C t^B) (B K^{B-1})}{(K^B + t^B)^2}$$

$$\frac{d u}{d k v} = \frac{B K^{B-1} (\alpha (K^B + t^B) - (\alpha K^B + C t^B))}{(K^B + t^B)^2}$$

$$\frac{d u}{d k v} = \frac{B K^{B-1} t^B (\alpha - C)}{(K^B + t^B)^2}$$

Lampiran 3. Penurunan Model Pertumbuhan Logistic

Model Logistic

$$y(t) = \alpha + \frac{C-\alpha}{1+e^{-\beta(t-V)}}$$

- Turunan pertama terhadap t

$$\frac{d y(t)}{d t} = \frac{d}{d t} \alpha + \frac{d}{d t} \frac{C-\alpha}{1+e^{-\beta(t-V)}}$$

$$\frac{d y(t)}{d t} = 0 + \frac{d}{d t} \frac{(C-\alpha)}{1+e^{-\beta(t-V)}}$$

Misal:

$$u = (C - \alpha) \quad u' = 0$$

$$v = 1 + e^{-\beta(t-V)} \quad v' = -\beta e^{-\beta(t-V)}$$

$$\frac{d u}{d t} = \frac{u'v - uv'}{v^2}$$

$$\frac{d u}{d t} = \frac{0-(C-\alpha)(-\beta e^{-\beta(t-V)})}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2}$$

$$\frac{d u}{d t} = \frac{\beta(C-\alpha)e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2}$$

$$\frac{d y(t)}{d t} = \frac{\beta(C-\alpha)e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2}$$

- Turunan kedua terhadap t

$$\frac{d^2 y(t)}{d t^2} = \frac{d}{d t} \frac{\beta(C-\alpha)e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2}$$

Missal:

$$u = \beta(C - \alpha)e^{-\beta(t-V)} \quad u' = -\beta^2(C - \alpha)e^{-\beta(t-V)}$$

$$v = (1 + e^{-\beta(t-V)})^2 \quad v' = 2(-\beta)e^{-\beta(t-V)}(1 + e^{-\beta(t-V)})$$

Lampiran 3. (Lanjutan)

$$= -2\beta e^{-\beta(t-V)}(1 + e^{-\beta(t-V)})$$

$$\frac{d u}{d t v} = \frac{u'v - uv'}{v^2}$$

$$\frac{d u}{d t v} = \frac{-\beta^2(C-\alpha)e^{-\beta(t-V)}(1+e^{-\beta(t-V)})^2 - (\beta(C-\alpha)e^{-\beta(t-V)})(-2\beta e^{-\beta(t-V)})(1+e^{-\beta(t-V)})}{((1+e^{-\beta(t-V)})^2)^2}$$

$$\frac{d u}{d t v} = \frac{-\beta^2(C-\alpha)e^{-\beta(t-V)}(1+e^{-\beta(t-V)})^2 + 2\beta^2(C-\alpha)(e^{-\beta(t-V)})^2(1+e^{-\beta(t-V)})}{(1+e^{-\beta(t-V)})^4}$$

$$\frac{d u}{d t v} = \frac{[\beta^2(C-\alpha)e^{-\beta(t-V)}(1+e^{-\beta(t-V)})][2(e^{-\beta(t-V)}) - (1+e^{-\beta(t-V)})]}{(1+e^{-\beta(t-V)})^4}$$

$$\frac{d u}{d t v} = \frac{[\beta^2(C-\alpha)e^{-\beta(t-V)}][2(e^{-\beta(t-V)}) - (1+e^{-\beta(t-V)})]}{(1+e^{-\beta(t-V)})^3}$$

$$\frac{d^2 y(t)}{d t^2} = \frac{[\beta^2(C-\alpha)e^{-\beta(t-V)}][2(e^{-\beta(t-V)}) - (1+e^{-\beta(t-V)})]}{(1+e^{-\beta(t-V)})^3}$$

• Laju pertumbuhan relatif

$$\frac{d y(t)}{d t} \times \frac{1}{y(t)} = \frac{\beta(C-\alpha)e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} \times \frac{1}{\alpha + \frac{C-\alpha}{1+e^{-\beta(t-V)}}}$$

$$\frac{d y(t)}{d t} \times \frac{1}{y(t)} = \frac{\beta(C-\alpha)e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} \times \frac{1+e^{-\beta(t-V)}}{\alpha(1+e^{-\beta(t-V)}) + (C-\alpha)}$$

$$\frac{d y(t)}{d t} \times \frac{1}{y(t)} = \frac{\beta(C-\alpha)e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})(\alpha + \alpha e^{-\beta(t-V)} + C - \alpha)}$$

$$\frac{d y(t)}{d t} \times \frac{1}{y(t)} = \frac{\beta(C-\alpha)e^{-\beta(t-V)}}{1+e^{-\beta(t-V)}(\alpha e^{-\beta(t-V)} + C)}$$

• Waktu pertumbuhan maksimum

$$\frac{d^2 y(t)}{d t^2} = \frac{[\beta^2(C-\alpha)e^{-\beta(t-V)}][2(e^{-\beta(t-V)}) - (1+e^{-\beta(t-V)})]}{(1+e^{-\beta(t-V)})^3} = 0$$

Lampiran 3. (Lanjutan)

$$0 = [\beta^2(C - \alpha)e^{-\beta(t-V)}][2(e^{-\beta(t-V)}) - (1 + e^{-\beta(t-V)})]$$

$$0 = [2(e^{-\beta(t-V)}) - (1 + e^{-\beta(t-V)})]$$

$$1 = 2e^{-\beta(t-V)} - e^{-\beta(t-V)}$$

$$1 = e^{-\beta(t-V)}$$

$$\ln(1) = \ln(e^{-\beta(t-V)})$$

$$0 = -\beta(t - V)$$

$$t^* = V$$

- Pertumbuhan maksimum

$$y(t^*) = \alpha + \frac{C - \alpha}{1 + e^{-\beta(V-V)}}$$

$$y(t^*) = \alpha + \frac{C - \alpha}{1 + e^0}$$

$$y(t^*) = \alpha + \frac{C - \alpha}{2}$$

$$y(t^*) = \frac{2\alpha + C - \alpha}{2}$$

$$y(t^*) = \frac{\alpha + C}{2}$$

- Turunan parsial terhadap α

$$\frac{dy(t)}{d\alpha} = \frac{d}{d\alpha} \alpha + \frac{d}{d\alpha} \frac{C - \alpha}{1 + e^{-\beta(t-V)}}$$

$$\frac{dy(t)}{d\alpha} = 1 + \frac{1}{1 + e^{-\beta(t-V)}} \frac{d}{d\alpha} (C - \alpha)$$

$$\frac{dy(t)}{d\alpha} = 1 - \frac{1}{1 + e^{-\beta(t-V)}}$$

$$\frac{dy(t)}{d\alpha} = \frac{1 + e^{-\beta(t-V)}}{1 + e^{-\beta(t-V)}} - \frac{1}{1 + e^{-\beta(t-V)}}$$

$$\frac{dy(t)}{d\alpha} = \frac{e^{-\beta(t-V)}}{1 + e^{-\beta(t-V)}}$$

- Turunan parsial terhadap β

Lampiran 3. (Lanjutan)

$$\frac{d y(t)}{d \beta} = \frac{d}{d \beta} \alpha + \frac{d}{d \beta} \frac{C - \alpha}{1 + e^{-\beta(t-V)}}$$

$$\frac{d y(t)}{d \beta} = \frac{d}{d \beta} \alpha + (C - \alpha) \frac{d}{d \beta} \frac{1}{1 + e^{-\beta(t-V)}}$$

Misal:

$$u = 1 + e^{-\beta(t-V)}$$

$$u' = -(t - V)e^{-\beta(t-V)}$$

$$\frac{d}{d \beta} \frac{1}{u} = -\frac{u'}{u^2}$$

$$\frac{d}{d \beta} \frac{1}{u} = \frac{(t-V)e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2}$$

$$\frac{d y(t)}{d \beta} = (C - \alpha) \frac{(t-V)e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2}$$

➤ Turunan parsial terhadap c

$$\frac{d y(t)}{d c} = \frac{d}{d c} \alpha + \frac{d}{d c} \frac{C - \alpha}{1 + e^{-\beta(t-V)}}$$

$$\frac{d y(t)}{d c} = 0 + \frac{1}{1 + e^{-\beta(t-V)}} \frac{d}{d c} (C - \alpha)$$

$$\frac{d y(t)}{d c} = \frac{1}{1 + e^{-\beta(t-V)}}$$

➤ Turunan parsial terhadap v

$$\frac{d y(t)}{d v} = \frac{d}{d v} \alpha + (C - \alpha) \frac{d}{d v} \frac{1}{1 + e^{-\beta(t-V)}}$$

Misal:

$$u = 1 + e^{-\beta(t-V)}$$

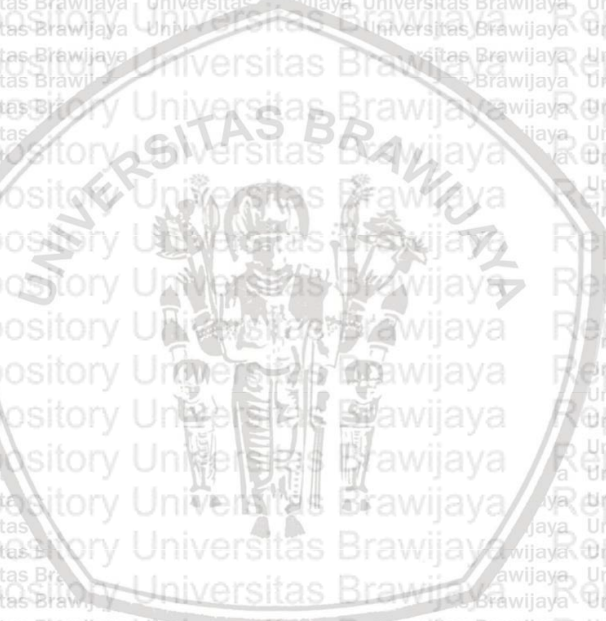
$$u' = \beta e^{-\beta(t-V)}$$

$$\frac{d}{d v} \frac{1}{u} = -\frac{u'}{u^2}$$

Lampiran 3. (Lanjutan)

$$\frac{d}{dv} \frac{1}{u} = -\frac{\beta e^{-\beta(t-v)}}{(1+e^{-\beta(t-v)})^2}$$

$$\frac{dy(t)}{dv} = -(C - \alpha) \frac{\beta e^{-\beta(t-v)}}{(1+e^{-\beta(t-v)})^2}$$





Halaman ini sengaja dikosongkan



Lampiran 4. Penjabaran Iterasi Levenberg-Marquardt

1. Model Lopez

$$\begin{aligned}
 & \begin{bmatrix} \alpha_{0+1} \\ B_{0+1} \\ C_{0+1} \\ K_{0+1} \end{bmatrix}_{4 \times 1} = \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ B_0 \\ C_0 \\ K_0 \end{bmatrix}_{4 \times 1} + \begin{bmatrix} \frac{K^B}{K^B + t^B} & & & \\ \frac{K^B t^B (C - \alpha) (\ln(t) - \ln(K))}{(K^B + t^B)^2} & \dots & & \\ \frac{t^B}{K^B + t^B} & & \ddots & \\ \frac{K^{B-1} t^B (\alpha - C)}{(K^B + t^B)^2} & \dots & & \frac{BK^{B-1} t^B (\alpha - C)}{(K^B + t^B)^2} \end{bmatrix}_{4 \times n} \\
 & \times \begin{bmatrix} \frac{K^B}{K^B + t^B} & \frac{K^B t^B (C - \alpha) (\ln(t) - \ln(K))}{(K^B + t^B)^2} & \frac{t^B}{K^B + t^B} & \frac{BK^{B-1} t^B (\alpha - C)}{(K^B + t^B)^2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{K^B}{K^B + t^B} & \frac{K^B t^B (C - \alpha) (\ln(t) - \ln(K))}{(K^B + t^B)^2} & \frac{t^B}{K^B + t^B} & \frac{BK^{B-1} t^B (\alpha - C)}{(K^B + t^B)^2} \end{bmatrix}_{n \times 4} \\
 & + \begin{bmatrix} \lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda \end{bmatrix}_{4 \times 4} \times \begin{bmatrix} \frac{K^B}{K^B + t^B} & \dots & \frac{K^B}{K^B + t^B} \\ \frac{K^B t^B (C - \alpha) (\ln(t) - \ln(K))}{(K^B + t^B)^2} & \dots & \frac{K^B t^B (C - \alpha) (\ln(t) - \ln(K))}{(K^B + t^B)^2} \\ \frac{t^B}{K^B + t^B} & \dots & \frac{t^B}{K^B + t^B} \\ \frac{K^{B-1} t^B (\alpha - C)}{(K^B + t^B)^2} & \dots & \frac{BK^{B-1} t^B (\alpha - C)}{(K^B + t^B)^2} \end{bmatrix}_{4 \times n} \times \begin{bmatrix} y_1 - \frac{\alpha K^B + Ct_1^B}{K^B + t_1^B} \\ \vdots \\ y_n - \frac{\alpha K^B + Ct_n^B}{K^B + t_n^B} \end{bmatrix}_{n \times 1}
 \end{aligned}$$

Lampiran 4. (lanjutan)

2. Model Logistic

$$\begin{bmatrix} \alpha_{0+1} \\ \beta_{0+1} \\ C_{0+1} \\ 0_{+1} \end{bmatrix}_{4 \times 1} = \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \beta_0 \\ C_0 \\ V_0 \end{bmatrix}_{4 \times 1} + \begin{bmatrix} \frac{e^{-\beta(t-V)}}{1+e^{-\beta(t-V)}} & \dots & \frac{e^{-\beta(t-V)}}{1+e^{-\beta(t-V)}} \\ (C-\alpha) \frac{(t-V)e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} & \dots & (C-\alpha) \frac{(t-V)e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} \\ \frac{1}{1+e^{-\beta(t-V)}} & \dots & \frac{1}{1+e^{-\beta(t-V)}} \\ -(C-\alpha) \frac{\beta e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} & \dots & -(C-\alpha) \frac{\beta e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} \end{bmatrix}_{4 \times n} \times \begin{bmatrix} \frac{e^{-\beta(t-V)}}{1+e^{-\beta(t-V)}} & \dots & \frac{e^{-\beta(t-V)}}{1+e^{-\beta(t-V)}} \\ (C-\alpha) \frac{(t-V)e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} & \dots & (C-\alpha) \frac{(t-V)e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} \\ \frac{1}{1+e^{-\beta(t-V)}} & \dots & \frac{1}{1+e^{-\beta(t-V)}} \\ -(C-\alpha) \frac{\beta e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} & \dots & -(C-\alpha) \frac{\beta e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} \end{bmatrix}_{4 \times n}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{e^{-\beta(t-V)}}{1+e^{-\beta(t-V)}} & \dots & \frac{e^{-\beta(t-V)}}{1+e^{-\beta(t-V)}} \\ (C-\alpha) \frac{(t-V)e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} & \dots & (C-\alpha) \frac{(t-V)e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} \\ \frac{1}{1+e^{-\beta(t-V)}} & \dots & \frac{1}{1+e^{-\beta(t-V)}} \\ -(C-\alpha) \frac{\beta e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} & \dots & -(C-\alpha) \frac{\beta e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} \end{bmatrix}_{4 \times n} + \begin{bmatrix} \frac{e^{-\beta(t-V)}}{1+e^{-\beta(t-V)}} & \dots & \frac{e^{-\beta(t-V)}}{1+e^{-\beta(t-V)}} \\ (C-\alpha) \frac{(t-V)e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} & \dots & (C-\alpha) \frac{(t-V)e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} \\ \frac{1}{1+e^{-\beta(t-V)}} & \dots & \frac{1}{1+e^{-\beta(t-V)}} \\ -(C-\alpha) \frac{\beta e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} & \dots & -(C-\alpha) \frac{\beta e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} \end{bmatrix}_{4 \times n}$$

$$\begin{bmatrix} \lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda \end{bmatrix}_{4 \times 4} \times \begin{bmatrix} \frac{e^{-\beta(t-V)}}{1+e^{-\beta(t-V)}} & \dots & \frac{e^{-\beta(t-V)}}{1+e^{-\beta(t-V)}} \\ (C-\alpha) \frac{(t-V)e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} & \dots & (C-\alpha) \frac{(t-V)e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} \\ \frac{1}{1+e^{-\beta(t-V)}} & \dots & \frac{1}{1+e^{-\beta(t-V)}} \\ -(C-\alpha) \frac{\beta e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} & \dots & -(C-\alpha) \frac{\beta e^{-\beta(t-V)}}{(1+e^{-\beta(t-V)})^2} \end{bmatrix}_{4 \times n}$$

$$\begin{bmatrix} y_1 - \left(\alpha + \frac{C-\alpha}{1+e^{-\beta(t_1-V)}} \right) \\ \vdots \\ y_n - \left(\alpha + \frac{C-\alpha}{1+e^{-\beta(t_n-V)}} \right) \end{bmatrix}_{n \times 1}$$

Lampiran 5. Pendugaan Nilai Awal Parameter

1. Model Lopez

a. Perlakuan P_1

$$\alpha = 4,5$$

$$B = 0,5$$

$$C = 49$$

$$\frac{c}{2} = \frac{49}{2}$$

$$= 24,5$$

$$K = 7$$

b. Perlakuan P_2

$$\alpha = 6,5$$

$$B = 0,5$$

$$C = 50$$

$$\frac{c}{2} = \frac{50}{2}$$

$$= 25$$

$$K = 7$$

c. Perlakuan P_3

$$a = 7,7$$

$$b = 0,5$$

$$c = 60$$

$$\frac{c}{2} = \frac{60}{2}$$

$$= 30$$

$$k = 7$$

2. Model Logistic

a. Perlakuan P_1

$$\alpha = 4,5$$

$$B = \frac{y_5 - y_1}{(t_5 - t_1)C}$$

Lampiran 5. (lanjutan)

$$= \frac{15-4,5}{(5-1)*49}$$

$$= 0,0536$$

$$C = 49$$

$$V = 5$$

b. Perlakuan P₂

$$\alpha = 6,5$$

$$B = \frac{y_5 - y_1}{(t_5 - t_1)c}$$

$$= \frac{18,5 - 6,5}{(5-1)*50}$$

$$= 0,06$$

$$C = 50$$

$$V = 5$$

c. Perlakuan P₃

$$\alpha = 7,7$$

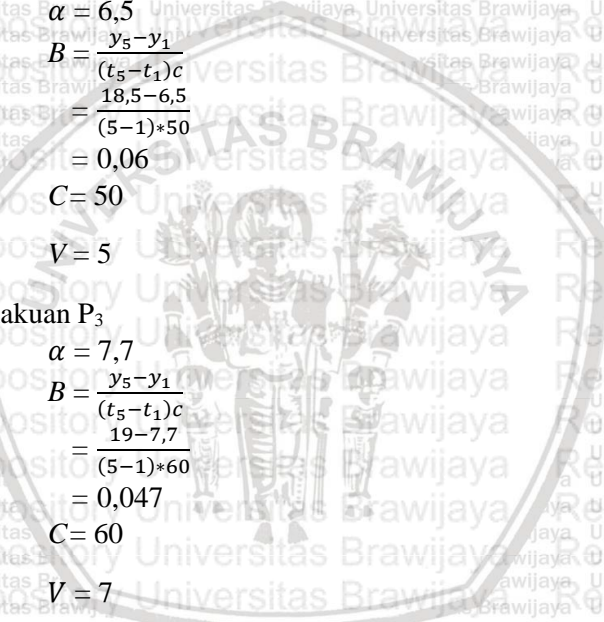
$$B = \frac{y_5 - y_1}{(t_5 - t_1)c}$$

$$= \frac{19 - 7,7}{(5-1)*60}$$

$$= 0,047$$

$$C = 60$$

$$V = 7$$



Lampiran 6. Coding Software R

Panggil data dan Inisialisasi Peubah

```
data=read.table("E:\\CABAIL.txt", header=TRUE)
n=17
p=4
t=c(data[,1])
P1=c(data[,2])
P2=c(data[,3])
P3=c(data[,4])
tmaks=max(t)
```

Perhitungan Nilai Duga Awal Parameter

```
#Lopez_P1
a1=min(P1)
c1=max(P1)
b1=0.5
k1=7
LopezP1=list(a=a1, b=b1, c=c1, k=k1)
#Lopez_P2
a2=min(P2)
c2=max(P2)
b2=0.5
k2=7
LopezP2=list(a=a2, b=b2, c=c2, k=k2)
LopezP2
#Lopez_P3
a3=min(P3)
c3=max(P3)
b3=0.5
k3=7
LopezP3=list(a=a3, b=b3, c=c3, k=k3)
#Logistic_P1
a2=min(P1)
c2=max(P1)
ya1=P1[1]
yb1=P1[5]
ta1=t[1]
tb1=t[5]
b2=(yb1-ya1)/((tb1-ta1)*c2)
v2=5
LogP1=list(a=a2, b=b2, c=c2, v=v2)
#Logistic_P2
```

Lampiran 6. (Lanjutan)

```

a2=min(P2)
c2=max(P2)
ya2=P2[1]
yb2=P2[5]
ta2=t[1]
tb2=t[5]
b2=(yb2-ya2)/((tb2-ta2)*c2)
v2=5
LogP2=list(a=a2, b=b2, c=c2, v=v2)
#Logistic_P3
a2=min(P3)
c2=max(P3)
ya3=P3[1]
yb3=P3[5]
ta3=t[1]
tb3=t[5]
b2=(yb3-ya3)/((tb3-ta3)*c2)
v2=5
LogP3=list(a=a2, b=b2, c=c2, v=v2)

```

Iterasi Levenberg-Marquardt

```

library(minpack.lm)
#LMLopezP1
LM_LopezP1=nlsLM(P1~((a*(k^b)))+(c*(t^b)))/((k^b)+(t
^b)), start=LopezP1, trace=T)
a1P1=coef(LM_LopezP1)[["a"]]
b1P1=coef(LM_LopezP1)[["b"]]
c1P1=coef(LM_LopezP1)[["c"]]
k1P1=coef(LM_LopezP1)[["k"]]
Est1P1=((a1P1*k1P1^b1P1)+(c1P1*t^b1P1))/(k1P1^b1P1+
t^b1P1)
Pred1P1=data.frame(t,P1,Est1P1)
Pred1P1
#LMLopezP2
LM_LopezP2=nlsLM(P2~((a*(k^b)))+(c*(t^b)))/((k^b)+(t
^b)), start=LopezP2, trace=T)
a1P2=coef(LM_LopezP2)[["a"]]
b1P2=coef(LM_LopezP2)[["b"]]
c1P2=coef(LM_LopezP2)[["c"]]
k1P2=coef(LM_LopezP2)[["k"]]
Est1P2=((a1P2*k1P2^b1P2)+(c1P2*t^b1P2))/(k1P2^b1P2+
t^b1P2)

```


Lampiran 6. (Lanjutan)

```

Pred1P2=data.frame(t,P2,Est1P2)
#LMlopezP3
LM_LopezP3=nlsLM(P3~((a*(k^b))+(c*(t^b)))/((k^b)+(t^b)), start=LopezP3, trace=T)
a1P3=coef(LM_LopezP3)[["a"]]
b1P3=coef(LM_LopezP3)[["b"]]
c1P3=coef(LM_LopezP3)[["c"]]
k1P3=coef(LM_LopezP3)[["k"]]
Est1P3=((a1P3*k1P3^b1P3)+(c1P3*t^b1P3))/(k1P3^b1P3+t^b1P3)
Pred1P3=data.frame(t,P3,Est1P3)
#LMLogisticP1
LM_LogP1=nlsLM(P1~a+((c-a)/(1+exp(-b*(t-v))))), start=LogP1, trace=T)
a2P1=coef(LM_LogP1)[["a"]]
b2P1=coef(LM_LogP1)[["b"]]
c2P1=coef(LM_LogP1)[["c"]]
v2P1=coef(LM_LogP1)[["v"]]
Est2P1=a2P1+((c2P1-a2P1)/(1+exp(-b2P1*(t-v2P1))))
Pred2P1=data.frame(t,P1,Est2P1)
#LMLogisticP2
LM_LogP2=nlsLM(P2~a+((c-a)/(1+exp(-b*(t-v))))), start=LogP2, trace=T)
a2P2=coef(LM_LogP2)[["a"]]
b2P2=coef(LM_LogP2)[["b"]]
c2P2=coef(LM_LogP2)[["c"]]
v2P2=coef(LM_LogP2)[["v"]]
Est2P2=a2P2+((c2P2-a2P2)/(1+exp(-b2P2*(t-v2P2))))
Pred2P2=data.frame(t,P2,Est2P2)
#LMLogisticP3
LM_LogP3=nlsLM(P3~a+((c-a)/(1+exp(-b*(t-v))))), start=LogP3, trace=T)
a2P3=coef(LM_LogP3)[["a"]]
b2P3=coef(LM_LogP3)[["b"]]
c2P3=coef(LM_LogP3)[["c"]]
v2P3=coef(LM_LogP3)[["v"]]
Est2P3=a2P3+((c2P3-a2P3)/(1+exp(-b2P3*(t-v2P3))))
Pred2P3=data.frame(t,P3,Est2P3)

```

Pengujian Signifikansi Parameter

#Uji Simultan

#LopezP1

Lampiran 6. (Lanjutan)

$$y1P1bar = \text{mean}(P1)$$

$$JKR1P1 = \text{sum}((\text{Est1P1} - y1P1bar)^2)$$

$$JKG1P1 = \text{sum}((P1 - \text{Est1P1})^2)$$

$$JKT1P1 = \text{sum}((P1 - y1P1bar)^2)$$

$$KTR1P1 = JKR1P1 / p$$

$$KTG1P1 = JKG1P1 / (n - p - 1)$$

$$Fh1P1 = KTR1P1 / KTG1P1$$

$$pvalue1P1 = \text{df}(Fh1P1, p, n - p - 1)$$

#LopezP₂

$$y1P2bar = \text{mean}(P2)$$

$$JKR1P2 = \text{sum}((\text{Est1P2} - y1P2bar)^2)$$

$$JKG1P2 = \text{sum}((P2 - \text{Est1P2})^2)$$

$$JKT1P2 = \text{sum}((P2 - y1P2bar)^2)$$

$$KTR1P2 = JKR1P2 / p$$

$$KTG1P2 = JKG1P2 / (n - p - 1)$$

$$Fh1P2 = KTR1P2 / KTG1P2$$

$$pvalue1P2 = \text{df}(Fh1P2, p, n - p - 1)$$

#LopezP₃

$$y1P3bar = \text{mean}(P3)$$

$$JKR1P3 = \text{sum}((\text{Est1P3} - y1P3bar)^2)$$

$$JKG1P3 = \text{sum}((P3 - \text{Est1P3})^2)$$

$$JKT1P3 = \text{sum}((P3 - y1P3bar)^2)$$

$$KTR1P3 = JKR1P3 / p$$

$$KTG1P3 = JKG1P3 / (n - p - 1)$$

$$Fh1P3 = KTR1P3 / KTG1P3$$

$$pvalue1P3 = \text{df}(Fh1P3, p, n - p - 1)$$

#LogisticP₁

$$y2P1bar = \text{mean}(P1)$$

$$JKR2P1 = \text{sum}((\text{Est2P1} - y2P1bar)^2)$$

$$JKG2P1 = \text{sum}((P1 - \text{Est2P1})^2)$$

$$JKT2P1 = \text{sum}((P1 - y2P1bar)^2)$$

$$KTR2P1 = JKR2P1 / p$$

$$KTG2P1 = JKG2P1 / (n - p - 1)$$

$$Fh2P1 = KTR2P1 / KTG2P1$$

$$pvalue2P1 = \text{df}(Fh2P1, p, n - p - 1)$$

#LogisticP₂

$$y2P2bar = \text{mean}(P2)$$

$$JKR2P2 = \text{sum}((\text{Est2P2} - y2P2bar)^2)$$

$$JKG2P2 = \text{sum}((P2 - \text{Est2P2})^2)$$

$$JKT2P2 = \text{sum}((P2 - y2P2bar)^2)$$

$$KTR2P2 = JKR2P2 / p$$

$$KTG2P2 = JKG2P2 / (n - p - 1)$$



Lampiran 6. (Lanjutan)

```

Fh2P2=KTR2P2/KTG2P2
pvalue2P2=df (Fh2P2, p, n-p-1)
#LogisticP3
y2P3bar=mean (P3)
JKR2P3=sum (( Est2P3-y2P3bar ) ^2)
JKG2P3=sum (( P3-Est2P3 ) ^2)
JKT2P3=sum (( P3-y2P3bar ) ^2)
KTR2P3=JKR2P3/p
KTG2P3=JKG2P3/ (n-p-1)
Fh2P3=KTR2P3/KTG2P3
pvalue2P3=df (Fh2P3, p, n-p-1)
#Uji Parsial
#LopezP1
X=t*t
Par1P1=c (a1P1,b1P1,c1P1,k1P1)
dia=as.matrix (diag (solve (t (X) %*%X) ))
Se=sqrt (KTG1P1*dia)
t1P1=Par1P1/Se
pvalue=dt (t1P1,n-p-1)
#LopezP2
Par1P2=c (a1P2,b1P2,c1P2,k1P2)
dia=as.matrix (diag (solve (t (X) %*%X) ))
Se=sqrt (KTG1P2*dia)
t1P2=Par1P2/Se
pvalue=dt (t1P2,n-p-1)
#LopezP3
Par1P3=c (a1P3,b1P3,c1P3,k1P3)
dia=as.matrix (diag (solve (t (X) %*%X) ))
Se=sqrt (KTG1P3*dia)
t1P3=Par1P3/Se
pvalue=dt (t1P3,n-p-1)
#LogisticP1
Par2P1=c (a2P1,b2P1,c2P1,k2P1)
dia=as.matrix (diag (solve (t (X) %*%X) ))
Se=sqrt (KTG2P1*dia)
t2P1=Par2P1/Se
pvalueP1=dt (t2P1,n-p-1)
#LogisticP2
Par2P2=c (a2P2,b2P2,c2P2,k2P2)
dia=as.matrix (diag (solve (t (X) %*%X) ))
Se=sqrt (KTG2P2*dia)
t2P2=Par2P2/Se
    
```

Lampiran 6. (Lanjutan)

```
pvalueP2=dt (t2P2, n-p-1)
```

```
#LogisticP3
```

```
X=t*t
```

```
Par2P3=c (a2P3, b2P3, c2P3, k2P3)
```

```
dia=as.matrix(diag (solve (t (X) %*% X)))
```

```
Se=sqrt (KTG2P3*dia)
```

```
t2P3=Par2P3/Se
```

```
pvalueP3=dt (t2P3, n-p-1)
```

Uji Asumsi Kenormalan Sisaan

```
#LopezP1
```

```
ks1P1=c (P1-Est1P1)
```

```
ks.test (ks1P1, "pnorm")
```

```
#LopezP2
```

```
ks1P2=c (P2-Est1P2)
```

```
ks.test (ks1P2, "pnorm")
```

```
#LopezP3
```

```
ks1P3=c (P3-Est1P3)
```

```
ks.test (ks1P3, "pnorm")
```

```
#LogisticP1
```

```
ks2P1=c (P1-Est2P1)
```

```
ks.test (ks2P1, "pnorm")
```

```
#LogisticP2
```

```
ks2P2=c (P2-Est2P2)
```

```
ks.test (ks1P2, "pnorm")
```

```
#LogisticP3
```

```
ks2P3=c (P3-Est2P3)
```

```
ks.test (ks2P3, "pnorm")
```

Uji Asumsi Kehomogenan Ragam Sisaan

```
#LopezP1
```

```
Res1P1=c (P1-Est1P1)
```

```
Res1P12=c ((abs (P1-Est1P1))^2)
```

```
iRes1P12=c (t*Res1P12)
```

```
var1P1=data.frame (t, Res1P1, Res1P12, iRes1P12)
```

```
QLOpP1=(((6*tmaks)/(tmaks^2-
```

```
1))^ (1/2))*(((sum (iRes1P12))/(sum (Res1P12))))-
```

```
((tmaks+1)/2))
```

```
#LopezP2
```

```
Res1P2=c (P2-Est1P2)
```

```
Res1P22=c ((abs (P2-Est1P2))^2)
```

```
iRes1P22=c (t*Res1P22)
```


Lampiran 6. (Lanjutan)

```

var1P2=data.frame(t,Res1P2,Res1P22,iRes1P22)
QLogP2=(((6*tmaks)/(tmaks^2-
1))^(1/2))*(((sum(iRes1P22))/(sum(Res1P22)))-
((tmaks+1)/2))
#LopezP3
Res1P3=c(P3-Est1P3)
Res1P32=c((abs(P3-Est1P3))^2)
iRes1P32=c(t*Res1P32)
var1P3=data.frame(t,Res1P3,Res1P32,iRes1P32)
QLogP3=(((6*tmaks)/(tmaks^2-
1))^(1/2))*(((sum(iRes1P32))/(sum(Res1P32)))-
((tmaks+1)/2))
#LogisticP1
Res2P1=c(P1-Est2P1)
Res2P12=c((abs(P1-Est2P1))^2)
iRes2P12=c(t*Res2P12)
var2P1=data.frame(t,Res2P1,Res2P12,iRes2P12)
QLogP1=(((6*tmaks)/(tmaks^2-
1))^(1/2))*(((sum(iRes2P12))/(sum(Res2P12)))-
((tmaks+1)/2))
#LogisticP2
Res2P2=c(P2-Est2P2)
Res2P22=c((abs(P2-Est2P2))^2)
iRes2P22=c(t*Res2P22)
var2P2=data.frame(t,Res2P2,Res2P22,iRes2P22)
QLogP2=(((6*tmaks)/(tmaks^2-
1))^(1/2))*(((sum(iRes2P22))/(sum(Res2P22)))-
((tmaks+1)/2))
#LogisticP3
Res2P3=c(P3-Est2P3)
Res2P32=c((abs(P3-Est2P3))^2)
iRes2P32=c(t*Res2P32)
var2P3=data.frame(t,Res2P3,Res2P32,iRes2P32)
QLogP3=(((6*tmaks)/(tmaks^2-
1))^(1/2))*(((sum(iRes2P32))/(sum(Res2P32)))-
((tmaks+1)/2))

```

Perhitungan Koefisien Determinasi

```

#LopezP1
MeanP1=(sum(P1))/n
JKG1P1=(sum(Res1P12))
JKTP1=(sum((P1-MeanP1)^2))

```

Lampiran 6. (Lanjutan)

$$R1P1=1- (JKG1P1/JKTP1)$$

$$\#LopezP_2$$

$$MeanP2= (sum (P2)) /n$$

$$JKG1P2= (sum (Res1P22))$$

$$JKTP2= (sum ((P2-MeanP2) ^2))$$

$$R1P2=1- (JKG1P2/JKTP2)$$

$$\#LopezP_3$$

$$MeanP3= (sum (P3)) /n$$

$$JKG1P3= (sum (Res1P32))$$

$$JKTP3= (sum ((P3-MeanP3) ^2))$$

$$R1P3=1- (JKG1P3/JKTP3)$$

$$\#LogisticP_1$$

$$Mean2P1= (sum (P1)) /n$$

$$JKG2P1= (sum (Res2P12))$$

$$JKT2P1= (sum ((P1-Mean2P1) ^2))$$

$$R2P1=1- (JKG2P1/JKT2P1)$$

$$\#LogisticP_2$$

$$Mean2P2= (sum (P2)) /n$$

$$JKG2P2= (sum (Res2P22))$$

$$JKT2P2= (sum ((P2-Mean2P2) ^2))$$

$$R2P2=1- (JKG2P2/JKT2P2)$$

$$\#LogisticP_3$$

$$Mean2P3= (sum (P3)) /n$$

$$JKG2P3= (sum (Res2P32))$$

$$JKT2P3= (sum ((P3-Mean2P3) ^2))$$

$$R2P3=1- (JKG2P3/JKT2P3)$$

Perhitungan Nilai AICc

$$\#LopezP_1$$

$$AIC1P1= (n*\log (JKG1P1/n)) + (2*p)$$

$$AICc1P1= (AIC1P1+ ((2*p*(p+1)) / (n-p-1)))$$

$$\#LopezP_2$$

$$AIC1P2= (n*\log (JKG1P2/n)) + (2*p)$$

$$AICc1P2= (AIC1P2+ ((2*p*(p+1)) / (n-p-1)))$$

$$\#LopezP_3$$

$$AIC1P3= (n*\log (JKG1P3/n)) + (2*p)$$

$$AICc1P3= (AIC1P3+ ((2*p*(p+1)) / (n-p-1)))$$

$$\#LogisticP_1$$

$$AIC2P1= (n*\log (JKG2P1/n)) + (2*p)$$

$$AICc2P1= (AIC2P1+ ((2*p*(p+1)) / (n-p-1)))$$

$$\#LogisticP_2$$

$$AIC2P2= (n*\log (JKG2P2/n)) + (2*p)$$

Lampiran 6. (Lanjutan)

$$AICc2P2 = (AIC2P2 + ((2 * p * (p + 1)) / (n - p - 1)))$$

#LogisticP₃

$$AIC2P3 = (n * \log(JKG2P3/n)) + (2 * p)$$

$$AICc2P3 = (AIC2P3 + ((2 * p * (p + 1)) / (n - p - 1)))$$

Perhitungan Laju Pertumbuhan Absolut#LopezP₁

$$Abs1P1 = (b1P1 * (c1P1 - a1P1) * k1P1^{b1P1} * (t^{(b1P1 - 1)})) / ((k1P1^{b1P1} + t^{b1P1})^2)$$

$$Abs1P1 = \text{data.frame}(t, Abs1P1)$$

#LopezP₂

$$Abs1P2 = (b1P2 * (c1P2 - a1P2) * k1P2^{b1P2} * (t^{(b1P2 - 1)})) / ((k1P2^{b1P2} + t^{b1P2})^2)$$

$$Abs1P2 = \text{data.frame}(t, Abs1P2)$$

#LopezP₃

$$Abs1P3 = (b1P3 * (c1P3 - a1P3) * k1P3^{b1P3} * (t^{(b1P3 - 1)})) / ((k1P3^{b1P3} + t^{b1P3})^2)$$

$$Abs1P3 = \text{data.frame}(t, Abs1P3)$$

#LogisticP₁

$$Abs2P1 = ((c2P1 - a2P1) * b2P1 * \exp(b2P1 * (t - v2P1))) / ((1 + \exp(b2P1 * (t - v2P1)))^2)$$

$$Abs12P1 = \text{data.frame}(t, Abs2P1)$$

#LogisticP₂

$$Abs2P2 = ((c2P2 - a2P2) * b2P2 * \exp(b2P2 * (t - v2P2))) / ((1 + \exp(b2P2 * (t - v2P2)))^2)$$

$$Abs12P2 = \text{data.frame}(t, Abs2P2)$$

#LogisticP₃

$$Abs2P3 = ((c2P3 - a2P3) * b2P3 * \exp(b2P3 * (t - v2P3))) / ((1 + \exp(b2P3 * (t - v2P3)))^2)$$

$$Abs12P3 = \text{data.frame}(t, Abs2P3)$$

Perhitungan Laju Pertumbuhan Relatif#LopezP₁

$$Rel1P1 = (b1P1 * (c1P1 - a1P1) * k1P1^{b1P1} * (t^{(b1P1 - 1)})) / ((k1P1^{b1P1} + t^{b1P1}) * ((a1P1 * k1P1^{b1P1}) + (c1P1 * t^{b1P1})))$$

$$Relf1P1 = \text{data.frame}(t, Rel1P1)$$

#LopezP₂

$$Rel1P2 = (b1P2 * (c1P2 - a1P2) * k1P2^{b1P2} * (t^{(b1P2 - 1)})) / ((k1P2^{b1P2} + t^{b1P2}) * ((a1P2 * k1P2^{b1P2}) + (c1P2 * t^{b1P2})))$$

$$Relf1P2 = \text{data.frame}(t, Rel1P2)$$

Lampiran 6. (Lanjutan)

#LopezP3

$$Rel1P3 = (b1P3 * (c1P3 - a1P3) * k1P3^b1P3 * (t^{(b1P3-1)})) / ((k1P3^b1P3 + t^{b1P3}) * ((a1P3 * k1P3^b1P3) + (c1P3 * t^{b1P3})))$$

Relf1P3=data.frame(t,Rel1P3)

#LogisticP1

$$Rel2P1 = ((c2P1 - a2P1) * (b2P1 * \exp(-b2P1 * (t - v2P1)))) / ((1 + \exp(-b2P1 * (t - v2P1))) * (c2P1 + (a2P1 * \exp(-b2P1 * (t - v2P1)))))$$

Relf2P1=data.frame(t,Rel2P1)

#LogisticP2

$$Rel2P2 = ((c2P2 - a2P2) * (b2P2 * \exp(-b2P2 * (t - v2P2)))) / ((1 + \exp(-b2P2 * (t - v2P2))) * (c2P2 + (a2P2 * \exp(-b2P2 * (t - v2P2)))))$$

Relf2P2=data.frame(t,Rel2P2)

#LogisticP3

$$Rel2P3 = ((c2P3 - a2P3) * (b2P3 * \exp(-b2P3 * (t - v2P3)))) / ((1 + \exp(-b2P3 * (t - v2P3))) * (c2P3 + (a2P3 * \exp(-b2P3 * (t - v2P3)))))$$

Relf2P3=data.frame(t,Rel2P3)

Perhitungan Laju Pertumbuhan Maksimum

#LopezP1

$$t1P1 = k1P1 * ((b1P1 - 1) / (b1P1 + 1))^{(1/b1P1)}$$

$$yt1P1 = (a1P1 + (c1P1 * (b1P1 - 1) / (b1P1 + 1))) / (1 + (b1P1 - 1) / (b1P1 + 1))$$

MR1P1=data.frame(t1P1,yt1P1)

#LopezP2

$$t1P2 = k1P2 * ((b1P2 - 1) / (b1P2 + 1))^{(1/b1P2)}$$

$$yt1P2 = (a1P2 + (c1P2 * (b1P2 - 1) / (b1P2 + 1))) / (1 + (b1P2 - 1) / (b1P2 + 1))$$

MR1P2=data.frame(t1P2,yt1P2)

#LopezP3

$$t1P3 = k1P3 * ((b1P3 - 1) / (b1P3 + 1))^{(1/b1P3)}$$

$$yt1P3 = (a1P3 + (c1P3 * (b1P3 - 1) / (b1P3 + 1))) / (1 + (b1P3 - 1) / (b1P3 + 1))$$

MR1P3=data.frame(t1P3,yt1P3)

#LogisticP1

t2P1=v2P1

yt2P1=(c2P1+a2P1)/2

MR2P1=data.frame(t2P1,yt2P1)

#LogisticP2



Lampiran 6. (Lanjutan)

```

t2P2=v2P2
yt2P2=(c2P2+a2P2) / 2
MR2P2=data.frame(t2P2,yt2P2)
#LogisticP3
t2P3=v2P3
yt2P3=(c2P3+a2P3) / 2
MR2P3=data.frame(t2P3,yt2P3)

```



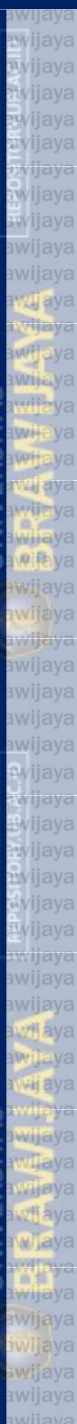


Halaman ini sengaja dikosongkan



Lampiran 7. Nilai Pendugaan Tinggi Tanaman

t	Perlakuan P ₁		Perlakuan P ₂		Perlakuan P ₃	
	<i>Lopez</i>	<i>Logistic</i>	<i>Lopez</i>	<i>Logistic</i>	<i>Lopez</i>	<i>Logistic</i>
1	5,285	4,229	6,550	5,741	7,672	6,763
2	5,890	5,941	7,854	8,102	8,881	9,072
3	7,558	8,297	10,334	10,972	11,242	11,919
4	10,611	11,413	13,853	14,347	14,716	15,338
5	14,971	15,326	18,065	18,160	19,067	19,312
6	20,160	19,928	22,563	22,281	23,953	23,761
7	25,530	24,943	26,993	26,527	29,022	28,539
8	30,540	29,975	31,114	30,691	33,982	33,443
9	34,887	34,620	34,800	34,581	38,629	38,252
10	38,485	38,591	38,012	38,054	42,852	42,757
11	41,379	41,768	40,766	41,031	46,605	46,804
12	43,674	44,179	43,103	43,496	49,894	50,303
13	45,482	45,934	45,078	45,478	52,748	53,229
14	46,907	47,176	46,744	47,036	55,211	55,610
15	48,034	48,035	48,152	48,237	57,333	57,504
16	48,931	48,621	49,344	49,151	59,158	58,983
17	49,649	49,017	50,356	49,838	60,731	60,122



Halaman ini sengaja dikosongkan



Lampiran 8. Hasil Pengujian Kenormalan Galat

1. Model Lopez Perlakuan P_1

One-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: ks1P1

D = 0.12324, p-value = 0.9307

alternative hypothesis: two-sided

2. Model Lopez Perlakuan P_2

One-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: ks1P2

D = 0.24776, p-value = 0.2095

alternative hypothesis: two-sided

3. Model Lopez Perlakuan P_3

One-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: ks1P3

D = 0.19676, p-value = 0.4674

alternative hypothesis: two-sided

4. Model Logistic Perlakuan P_1

One-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: ks2P1

D = 0.16748, p-value = 0.6666

alternative hypothesis: two-sided

5. Model Logistic Perlakuan P_2

One-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: ks2P2

D = 0.16963, p-value = 0.6515

alternative hypothesis: two-sided

6. Model Logistic Perlakuan P_3

One-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: ks2P3

D = 0.19738, p-value = 0.4635

alternative hypothesis: two-sided



Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 9. Hasil Pengujian Kehomogenan Ragam Galat

a. Perlakuan P₁

t	Model <i>Lopez</i>			Model <i>Logistic</i>		
	<i>e</i>	<i>e</i> ²	<i>ie</i> ²	<i>e</i>	<i>e</i> ²	<i>ie</i> ²
1	-0,785	0,616	0,616	0,271	0,073	0,073
2	0,610	0,371	0,743	0,559	0,313	0,625
3	0,442	0,196	0,587	-0,297	0,088	0,264
4	-0,111	0,012	0,049	-0,913	0,834	3,337
5	0,029	0,001	0,004	-0,326	0,106	0,531
6	-1,160	1,345	8,071	-0,928	0,861	5,167
7	1,470	2,162	15,131	2,057	4,230	29,607
8	0,460	0,212	1,693	1,025	1,051	8,407
9	-0,887	0,787	7,085	-0,620	0,384	3,460
10	-0,985	0,970	9,701	-1,091	1,190	11,901
11	-0,379	0,144	1,582	-0,768	0,590	6,491
12	0,826	0,683	8,195	0,321	0,103	1,240
13	1,018	1,037	13,479	0,566	0,320	4,162
14	0,393	0,155	2,165	0,124	0,015	0,217
15	-0,034	0,001	0,017	-0,035	0,001	0,018
16	-0,231	0,053	0,851	0,079	0,006	0,100
17	-0,649	0,421	7,162	-0,017	0,000	0,005
Jumlah		9,166	77,133		10,167	75,606

Model *Lopez*

$$Q = \left[\frac{6n}{n^2-1} \right]^{1/2} \left[\frac{\sum_{i=1}^n ie_i^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} - \frac{n+1}{2} \right]$$

$$Q = \left[\frac{6(17)}{17^2-1} \right]^{1/2} \left[\frac{77,133}{9,166} - \frac{17+1}{2} \right]$$

$$Q = -0,348$$

Model *Logistic*

$$Q = \left[\frac{6n}{n^2-1} \right]^{1/2} \left[\frac{\sum_{i=1}^n ie_i^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} - \frac{n+1}{2} \right]$$

Lampiran 9. (lanjutan)

$$Q = \left[\frac{6(17)}{17^2-1} \right]^{1/2} \left[\frac{75,606}{10,167} - \frac{17+1}{2} \right]$$

$$Q = -0,381$$

b. Perlakuan P₂

t	Model <i>Lopez</i>			Model <i>Logistic</i>		
	<i>e</i>	<i>e</i> ²	<i>ie</i> ²	<i>e</i>	<i>e</i> ²	<i>ie</i> ²
1	-0,050	0,003	0,003	0,759	0,575	0,575
2	0,146	0,021	0,043	-0,102	0,010	0,021
3	0,166	0,027	0,082	-0,472	0,223	0,670
4	-0,853	0,727	2,907	-1,347	1,813	7,253
5	0,435	0,189	0,946	0,340	0,116	0,580
6	0,437	0,191	1,146	0,719	0,517	3,102
7	0,507	0,257	1,799	0,973	0,946	6,624
8	-0,614	0,377	3,019	-0,191	0,037	0,292
9	-0,800	0,641	5,767	-0,581	0,338	3,039
10	0,488	0,238	2,377	0,446	0,199	1,989
11	-0,766	0,586	6,447	-1,031	1,064	11,699
12	1,097	1,204	14,446	0,704	0,495	5,946
13	-0,078	0,006	0,079	-0,478	0,229	2,976
14	0,256	0,065	0,916	-0,036	0,001	0,018
15	-0,152	0,023	0,346	-0,237	0,056	0,844
16	0,156	0,024	0,392	0,349	0,122	1,952
17	-0,356	0,127	2,153	0,162	0,026	0,447
Jumlah		4,707	42,866		6,768	48,025

Model *Lopez*

$$Q = \left[\frac{6n}{n^2-1} \right]^{1/2} \left[\frac{\sum_{i=1}^n ie_i^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} - \frac{n+1}{2} \right]$$

$$Q = \left[\frac{6(17)}{17^2-1} \right]^{1/2} \left[\frac{42,866}{4,707} - \frac{17+1}{2} \right]$$

$$Q = 0,063$$

Lampiran 9. (lanjutan)

Model *Logistic*

$$Q = \left[\frac{6n}{n^2-1} \right]^{1/2} \left[\frac{\sum_{i=1}^n ie_i^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} - \frac{n+1}{2} \right]$$

$$Q = \left[\frac{6(17)}{17^2-1} \right]^{1/2} \left[\frac{48,025}{6,768} - \frac{17+1}{2} \right]$$

$$Q = -1,138$$

c. Perlakuan P₃

t	Model <i>Lopez</i>			Model <i>Logistic</i>		
	<i>e</i>	<i>e</i> ²	<i>ie</i> ²	<i>e</i>	<i>e</i> ²	<i>ie</i> ²
1	0,028	0,001	0,001	0,937	0,878	0,878
2	0,119	0,014	0,029	-0,072	0,005	0,010
3	-0,242	0,059	0,176	-0,919	0,845	2,534
4	-0,216	0,047	0,187	-0,838	0,702	2,807
5	-0,067	0,005	0,023	-0,312	0,097	0,486
6	0,547	0,299	1,792	0,739	0,546	3,275
7	0,978	0,956	6,689	1,461	2,135	14,948
8	-0,482	0,232	1,858	0,057	0,003	0,026
9	-1,129	1,276	11,480	-0,752	0,565	5,084
10	-0,352	0,124	1,237	-0,257	0,066	0,662
11	-0,105	0,011	0,122	-0,304	0,093	1,018
12	0,606	0,368	4,413	0,197	0,039	0,466
13	0,252	0,064	0,828	-0,229	0,053	0,684
14	0,289	0,083	1,166	-0,110	0,012	0,170
15	0,667	0,445	6,677	0,496	0,246	3,697
16	-0,158	0,025	0,402	0,017	0,000	0,005
17	-0,731	0,534	9,084	-0,122	0,015	0,252
Jumlah		4,541	46,162		6,300	37,001

Model *Lopez*

$$Q = \left[\frac{6n}{n^2-1} \right]^{1/2} \left[\frac{\sum_{i=1}^n ie_i^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} - \frac{n+1}{2} \right]$$

Lampiran 9. (lanjutan)

$$Q = \left[\frac{6(17)}{17^2-1} \right]^{1/2} \left[\frac{46,162}{4,541} - \frac{17+1}{2} \right]$$

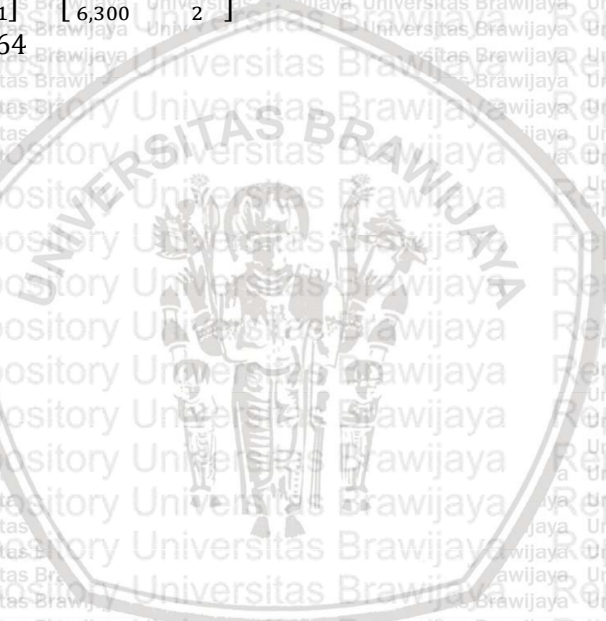
$$Q = 0,693$$

Model Logistic

$$Q = \left[\frac{6n}{n^2-1} \right]^{1/2} \left[\frac{\sum_{i=1}^n ie_i^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} - \frac{n+1}{2} \right]$$

$$Q = \left[\frac{6(17)}{17^2-1} \right]^{1/2} \left[\frac{37,001}{6,300} - \frac{17+1}{2} \right]$$

$$Q = -1,864$$



Lampiran 10. Hasil Perhitungan Nilai AIC_c

$$AIC_c = 2p + n \ln \left(\frac{JKG}{n} \right) + \frac{2p(p+1)}{n-p-1}$$

1. Model Lopez

a. Perlakuan P_1

$$AIC_c = 2(4) + 17 \ln \left(\frac{9,166}{17} \right) + \frac{2(4)(5)}{17-4-1}$$

$$AIC_c = 0,832$$

b. Perlakuan P_2

$$AIC_c = 2(4) + 17 \ln \left(\frac{4,707}{17} \right) + \frac{2(4)(5)}{17-4-1}$$

$$AIC_c = -10,497$$

c. Perlakuan P_3

$$AIC_c = 2(4) + 17 \ln \left(\frac{4,541}{17} \right) + \frac{2(4)(5)}{17-4-1}$$

$$AIC_c = -11,108$$

2. Model Logistic

a. Perlakuan P_1

$$AIC_c = 2(4) + 17 \ln \left(\frac{10,168}{17} \right) + \frac{2(4)(5)}{17-4-1}$$

$$AIC_c = 2,596$$

b. Perlakuan P_2

$$AIC_c = 2(4) + 17 \ln \left(\frac{6,768}{17} \right) + \frac{2(4)(5)}{17-4-1}$$

$$AIC_c = -4,324$$

c. Perlakuan P_3

$$AIC_c = 2(4) + 17 \ln \left(\frac{6,300}{17} \right) + \frac{2(4)(5)}{17-4-1}$$

$$AIC_c = -5,542$$



Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 11. Hasil Perhitungan Laju Pertumbuhan Absolut

t	Model Lopez			Model Logistic		
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃
1	0,247	0,743	0,680	1,436	2,116	2,058
2	1,057	1,892	1,773	2,011	2,612	2,570
3	2,336	3,044	2,943	2,721	3,128	3,131
4	3,758	3,733	3,964	3,519	3,610	3,704
5	4,878	4,022	4,679	4,289	3,994	4,231
6	5,386	4,314	4,933	4,868	4,218	4,643
7	5,262	4,406	5,056	5,095	4,240	4,878
8	4,709	4,092	4,829	4,899	4,056	4,894
9	3,973	3,550	4,447	4,342	3,700	4,688
10	3,232	2,977	3,990	3,580	3,233	4,297
11	2,575	2,537	3,518	2,780	2,719	3,782
12	2,033	2,147	3,065	2,060	2,216	3,212
13	1,601	1,812	2,651	1,475	1,759	2,646
14	1,263	1,529	2,285	1,030	1,368	2,126
15	1,002	1,293	1,966	0,707	1,046	1,674
16	0,800	1,096	1,692	0,479	0,791	1,297
17	0,643	0,933	1,459	0,322	0,592	0,993



Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 12. Hasil Perhitungan Laju Pertumbuhan Relatif

t	Model Lopez			Model Logistic		
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃
1	0,047	0,113	0,089	0,140	0,169	0,104
2	0,179	0,241	0,200	0,238	0,222	0,193
3	0,309	0,295	0,262	0,328	0,285	0,263
4	0,354	0,284	0,269	0,308	0,252	0,251
5	0,326	0,245	0,245	0,280	0,220	0,229
6	0,267	0,200	0,210	0,244	0,189	0,195
7	0,206	0,160	0,174	0,204	0,160	0,171
8	0,154	0,126	0,142	0,163	0,132	0,146
9	0,114	0,099	0,115	0,125	0,107	0,123
10	0,084	0,078	0,093	0,093	0,085	0,100
11	0,062	0,062	0,075	0,067	0,066	0,081
12	0,047	0,050	0,061	0,047	0,051	0,064
13	0,035	0,040	0,050	0,032	0,039	0,050
14	0,027	0,033	0,041	0,022	0,029	0,038
15	0,021	0,027	0,034	0,015	0,022	0,029
16	0,016	0,022	0,029	0,010	0,016	0,022
17	0,013	0,019	0,024	0,007	0,012	0,017