PENGGUNAAN MODEL *BI-LOGISTIC*
UNTUK MENGETAHUI MODEL PERTUMBUHAN
POHON JATI BELANDA (*Guazuma ulmifolia*)

SKRIPSI

oleh :
EVA MUFIDAH
0510950022

PROGRAM STUDI STATISTIKA
JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2009

PENGGUNAAN MODEL *BI-LOGISTIC* UNTUK MENGETAHUI MODEL PERTUMBUHAN POHON JATI BELANDA (*Guazuma ulmifolia*)

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Statistika

oleh :
EVA MUFIDAH
0510950022-95

PROGRAM STUDI STATISTIKA
JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2009

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

PENGGUNAAN MODEL *BI-LOGISTIC*
UNTUK MENGETAHUI MODEL PERTUMBUHAN
POHON JATI BELANDA (*Guazuma ulmifolia*)

oleh :
EVA MUFIDAH
0510950022-95

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal 4 Mei 2009
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang statistika

Pembimbing I	Pembimbing II
Ir. Soepraptini, MSc.	**Eni Sumarminingsih, SSi., MM**
NIP. 130 518 968	**NIP. 132 300 241**

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Dr. Agus Suryanto, MSc.
NIP. 132 126 049

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama	**: Eva Mufidah**
NIM	**: 0510950022-95**
Program Studi	**: Statistika**
Penulisan Skripsi	
Berjudul	**:**

Penggunaan Model *Bi-logistic*
untuk Mengetahui Model Pertumbuhan
Pohon Jati Belanda (*Guazuma ulmifolia*)

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 termaktub di isi 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 segala resiko yang akan saya terima.**

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 4 Mei 2009
Yang menyatakan,

EVA MUFIDAH
NIM. 0510950022

PENGGUNAAN MODEL *BI-LOGISTIC*
UNTUK MENGETAHUI MODEL PERTUMBUHAN
POHON JATI BELANDA *(Guazuma ulmifolia)*

ABSTRAK

Model pertumbuhan *Bi-logistic* merupakan gabungan dari dua model logistik yang terdiri dari dua tahap pertumbuhan sigmoid. Metode yang digunakan untuk menduga parameter model adalah metode iteratif non linier dengan algoritma Levenberg-Marquardt. Pemeriksaan keakuratan model menggunakan koefisien determinasi disesuaikan $\left(R^2_{adjusted}\right)$. Data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari UPT Balai Konservasi Tumbuhan Kebun Raya Purwodadi Pasuruan yang terdiri dari dua perlakuan yaitu tanpa dan dengan pemberian pupuk daun. Berdasarkan nilai koefisien determinasi, kedua model sudah dapat dikatakan sesuai karena mempunyai nilai $R^2_{adjusted} \geq 0{,}98$. Hasil analisis menunjukkan bahwa tinggi maksimum yang dicapai pohon Jati Belanda pada perlakuan dengan pemberian pupuk daun lebih tinggi daripada tanpa pemberian pupuk daun, yaitu 50,85 cm pada model logistik pertama dan 20,37 cm pada model logistik ke dua. Sedangkan pada perlakuan yang tidak diberi pupuk daun memiliki tinggi maksimum sebesar 44,59 dan 12,09 cm. Laju pertumbuhan maksimum pohon Jati Belanda untuk perlakuan tanpa pupuk daun terjadi pada waktu 33 hst (hari setelah tanam) dan 68 hst, sedangkan pada perlakuan dengan pupuk daun terjadi pada waktu 30 hst dan 68 hst, sehingga laju pertumbuhan maksimum rata-rata untuk kedua perlakuan terjadi pada waktu 31 hst dan 68 hst. Waktu efektif pertumbuhan terjadi pada saat tanaman berumur 9-39 hst dan 37-69 hst.

Kata kunci: model *Bi-logistic*, metode Levenberg-Marquardt, pohon Jati Belanda

THE UTILIZATION OF BI-LOGISTIC MODEL TO DETERMINED GROWTH MODEL OF DUTCH TEAK TREE (*Guazuma ulmifolia*)

ABSTRACT

Bi-logistic growth model is combining two logistic models which consists of two sigmoid growth stages. The estimation of parameter model used an iterative non linear method with Levenberg-Marquardt algorithm. The accuration of model by using adjusted coefficient of determination $\left(R^2_{adjusted}\right)$. This research used the secondary data which was taken from Purwodadi's Botanical Garden-Pasuruan, wich consisted of two treatment, that are with and without leaf-fertilizer. Based on the coefficient of determination, both model are suitable in describing the dutch teak tree growth, because of the value of $R^2_{adjusted}$ is more than 0,98. The result of analysis show that the maximum height reached by dutch teak tree on treatment with leaf-fertilizer was higher than without leaf fertilizer, that are 50,85 cm for the first logistic model and 20,37 cm for the second; meanwhile, maximum height reached by the tree without leaf-fertilizer were 44,59 cm and 12,09 cm. The maximum growth rate of dutch teak tree with and without leaf-fertilizer were at 33 dap (days after planting) and 68 dap, and 30 dap and 68 dap, so that the maximum rate of growth for two treatment are quite even happen in 31 dap and 68 dap. The effective growth time occurred when the plant was aged 9-39 dap and 37-69 dap.

Keywords: Bi-logistic model, Levenberg-Marquardt method, Dutch teak tree

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **Penggunaan Model *Bi-logistic* untuk Mengetahui Model Pertumbuhan Pohon Jati Belanda (*Guazuma ulmifolia*).**

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Skripsi ini telah banyak pihak yang membantu, baik berupa bimbingan, saran maupun motivasi. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr.Ir. Ni Wayan W., MS. atas saran dan motivasi yang diberikan dan bimbingan yang terputus.
2. Ibu Ir. Soepraptini, MSc. selaku dosen pembimbing I atas konsultasi dan bimbingan dalam penyusunan Skripsi.
3. Ibu Eni Sumarminingsih, SSi., MM selaku dosen pembimbing II atas bimbingan dan saran dalam penyusunan Skripsi.
4. Bapak Dr.Ir. Henny Pramoedyo, MS; Ibu Suci Astutik, SSi., MSi. dan Bapak Adji Achmad Rinaldo Fernandes, SSi., MSc. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan pada Skripsi ini.
5. Kedua orang tua tercinta dan Mbak Evi serta Dewanta atas kasih sayang, doa yang tulus serta dukungan yang diberikan.
6. Teman-teman Statistika angkatan 2005 atas kebersamaan dan bantuan yang diberikan.
7. Seluruh staf dan karyawan Jurusan Matematika Universitas Brawijaya.
8. Semua pihak yang telah membantu penyelesaian penyusunan Skripsi.

Penulis menyadari bahwa hasil penyusunan Skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik dari semua pihak untuk perbaikan penyusunan selanjutnya. Semoga Skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Malang, Mei 2009

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

DAFTAR LAMPIRAN

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan merupakan suatu fase yang terjadi pada makhluk hidup, termasuk tanaman. Proses pertumbuhan tanaman tidak dapat dipelajari dengan cara yang sederhana, tetapi kurva pertumbuhan tanaman dapat dipelajari melalui analisis regresi nonlinier, yaitu analisis statistika yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara produk pertumbuhan terhadap waktu. Produk pertumbuhan tanaman dapat berupa tinggi tanaman, panjang akar, luas daun, diameter batang, dan lain-lain. Laju pertumbuhan tanaman dapat diketahui dengan melihat pola pertumbuhan tanaman. Pola pertumbuhan tanaman umumnya berbentuk sigmoid.

Salah satu model pertumbuhan yang berbentuk sigmoid adalah model logistik. Namun, seringkali pada penelitian yang dilakukan dalam jangka waktu yang lama akan dihasilkan pola pertumbuhan yang kompleks. Permasalahan tersebut akan dicoba untuk diselesaikan menggunakan model sigmoid ganda yang merupakan gabungan dua model pertumbuhan.

Pada penelitian ini akan diterapkan model pertumbuhan *Bi-logistic* pada pertumbuhan tinggi Pohon Jati Belanda tanpa dan dengan pemberian pupuk daun. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai model pertumbuhan Pohon Jati Belanda, sekaligus mengetahui saat terjadinya laju pertumbuhan maksimum.

Pohon Jati Belanda merupakan tanaman tahunan yang proses pertumbuhannya lambat dibandingkan tanaman musiman. Tanaman ini bisa hidup puluhan tahun, sehingga proses pertumbuhan terjadi bervariasi yaitu mengalami pertumbuhan yang pesat dan lambat (hampir konstan) secara bergantian selama masa pertumbuhan. Kondisi tersebut menyebabkan pentingnya mempertahankan dan meningkatkan kualitas produk dengan cara memperhatikan unsur hara dalam media tanam. Penelitian ini menggunakan pengamatan selama tiga bulan pada saat tanaman mengalami proses pembentukan akar dan batang yang kuat sebelum ditanam di area terbuka. Setelah ditanam di area terbuka tidak dilakukan pengukuran tinggi tanaman lagi karena ditakutkan terjadi selisih pengukuran yang besar dalam menentukan batas ukur. Bentuk kurva yang dihasilkan pada penelitian selama tiga bulan terdiri dari dua model pertumbuhan logistik sehingga disebut model *Bi-logistic*.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang terkait dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah model pertumbuhan *Bi-logistic* dapat menggambarkan pertumbuhan Pohon Jati Belanda dengan baik?
2. Kapan terjadinya laju pertumbuhan maksimum pada setiap perlakuan?
3. Kapan terjadinya waktu efektif pertumbuhan tanaman tersebut?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Model pertumbuhan yang dipelajari adalah model *Bi-logistic.*
2. Peubah yang diamati adalah tinggi tanaman dengan perlakuan:
   a. diberi pupuk daun
   b. tanpa diberi pupuk daun
3. Metode pendugaan parameter menggunakan metode Levenberg-Marquardt.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menerapkan model *Bi-logistic* pada pertumbuhan Pohon Jati Belanda.
2. Mengetahui terjadinya laju pertumbuhan maksimum pada setiap perlakuan.
3. Mengetahui terjadinya waktu efektif pada pertumbuhan tanaman tersebut.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dengan mengetahui laju pertumbuhan maksimum dan waktu efektif pertumbuhan Pohon Jati Belanda, dapat dilakukan usaha-usaha yang dapat mempercepat tinggi tanaman tersebut.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pertumbuhan Tanaman

Menurut Sitompul dan Guritno (1995), pertumbuhan tanaman merupakan proses dalam kehidupan tanaman yang mengakibatkan perubahan ukuran tanaman semakin besar atau secara sederhana didefinisikan sebagai suatu proses dalam tanaman yang menyebabkan perubahan ukuran, pertambahan berat, volume, dan diameter tanaman. Pertambahan ukuran tanaman secara keseluruhan merupakan hasil dari pertambahan ukuran bagian-bagian (organ-organ) tanaman akibat dari pertambahan jaringan sel yang dihasilkan oleh pertambahan ukuran sel. Faktor-faktor lingkungan harus dimanfaatkan secara maksimal pada saat tanaman mengalami proses pertumbuhan. Oleh karena itu, waktu di mana tanaman mengalami laju pertumbuhan maksimum merupakan faktor penting yang perlu diketahui agar dihasilkan pertumbuhan yang maksimal.

Model pertumbuhan tanaman menggambarkan kurva pertumbuhan dan terjadinya proses pertumbuhan. Berdasarkan kurva pertumbuhan dapat diketahui laju pertumbuhan tanaman. Laju pertumbuhan tanaman dapat diketahui dengan berbagai cara, diantaranya dengan mengukur luas daun, tinggi tanaman, panjang akar, diameter batang, dan lain-lain. Sebagai contoh, berat kering tanaman (W) yang dinyatakan sebagai fungsi (f) dari waktu (t) dirumuskan:

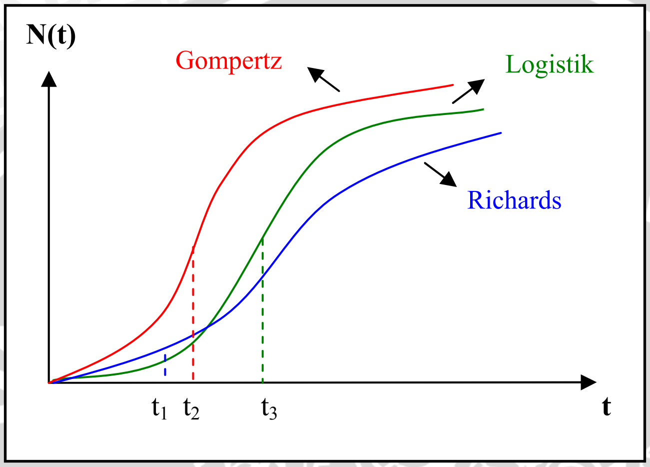
$$W=f(t) \tag{2.1}$$

Kebanyakan model pertumbuhan pada masa lampau bersifat empiris, yaitu fungsi *f* dipilih dengan melihat data dan membuat suatu penduga secara langsung, sehingga parameter model sering kurang atau tidak mempunyai arti. Untuk itu diperlukan suatu fungsi dengan parameter-parameter yang dapat menggambarkan proses pertumbuhan (Sitompul dan Guritno, 1995).

2.2 Model Logistik

Analisis statistika yang banyak diterapkan dalam bidang pertanian adalah regresi nonlinier. Banyak bentuk kurva nonlinier yang dapat digunakan untuk menyatakan hubungan antara pertumbuhan terhadap waktu. Oleh karena itu, dalam menganalisis suatu hasil penelitian harus ditentukan terlebih dahulu bentuk kurva yang paling tepat dalam mengekspresikan data (Sugiarto, 1992).

Menurut Sitompul dan Guritno (1995), suatu hasil pengamatan pertumbuhan tanaman yang sering dijumpai adalah biomassa tanaman yang menunjukkan pertumbuhan mengikuti bentuk S (sigmoid) seiring dengan pertambahan waktu. Biomassa tanaman mula-mula meningkat perlahan, kemudian cepat dan akhirnya perlahan sampai konstan seiring dengan pertambahan umur tanaman. Beberapa model pertumbuhan yang mengikuti model sigmoid tampak seperti gambar berikut:



Gambar 2.1 Beberapa kurva pertumbuhan sigmoid

Model gompertz merupakan model pertumbuhan berbentuk sigmoid yang tidak simetris karena titik belok terjadi pada waktu 1/e dari pertumbuhan. Model gompertz lebih sesuai digunakan untuk pertumbuhan binatang dibandingkan tanaman (Draper dan Smith, 1992). Menurut (Sitompul dan Guritno, 1995), model richards merupakan model pertumbuhan yang fleksibel karena dapat membentuk beberapa pola pertumbuhan tanaman seperti monomolekuler jika $v = -1$, gompertz jika $v = 0$ dan logistik jika $v=1$ di mana v adalah parameter model. Sedangkan model logistik lebih banyak diterapkan untuk menggambarkan pola pertumbuhan tanaman. Tanaman tahunan mempunyai pola pertumbuhan yang sangat dekat dengan model logistik. Selain itu, pertumbuhan tanaman yang diikuti dari proses perkecambahan sampai penuaan akan cenderung sedemikian kompleks dan ketidaktentuan pertumbuhan akan menyebabkan model yang terbentuk tidak cukup sederhana (Causton, 1993).

Model logistik merupakan model pertumbuhan yang berbentuk sigmoid yang simetris di antara kedua asimtotnya, dengan asimtot pada *N(t)*=0 dan *N(t)=k*. Model logistik dapat ditulis sebagai berikut (Kucharavy, 2008):

$$N(t) = \frac{k}{1 + \exp(-at - b)} \tag{2.2}$$

di mana:

N(t) : tinggi tanaman pada umur ke-t
k : tinggi maksimum yang dicapai oleh tanaman
a : konstanta laju pertumbuhan
b : tetapan waktu saat kurva mencapai titik tengah pertumbuhan
t : umur tanaman

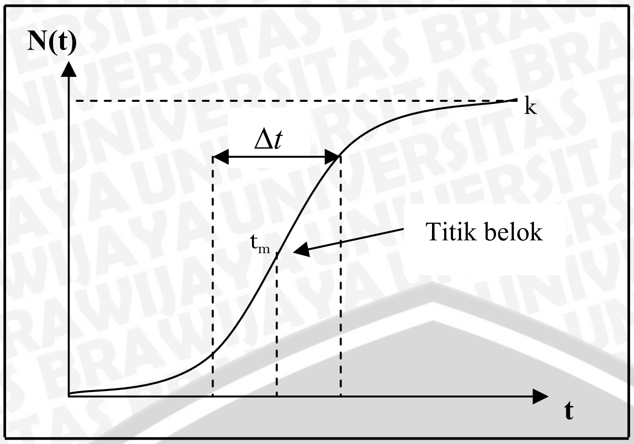
Pengembangan dari persamaan (2.2) dengan substitusi $a = \ln(81)/\Delta t$ dan $b = -t_m a$, dapat ditulis sebagai (Meyer, 1994):

$$N(t) = \frac{k}{1 + \exp\left[-\frac{\ln(81)}{\Delta t}(t - t_m)\right]} \tag{2.3}$$

di mana:

N(t) : tinggi tanaman pada umur ke-t
k : tinggi maksimum yang dicapai oleh tanaman
ln (81) : nilai tetapan
Δt : interval waktu laju pertumbuhan
t_m : waktu yang merupakan titik tengah pertumbuhan
t : umur tanaman

Berdasarkan persamaan (2.3), model logistik mempunyai tiga parameter yang harus diketahui yaitu tinggi maksimum yang dicapai oleh tanaman, interval waktu laju pertumbuhan dan waktu yang merupakan titik tengah pertumbuhan. Berikut gambar model logistik:

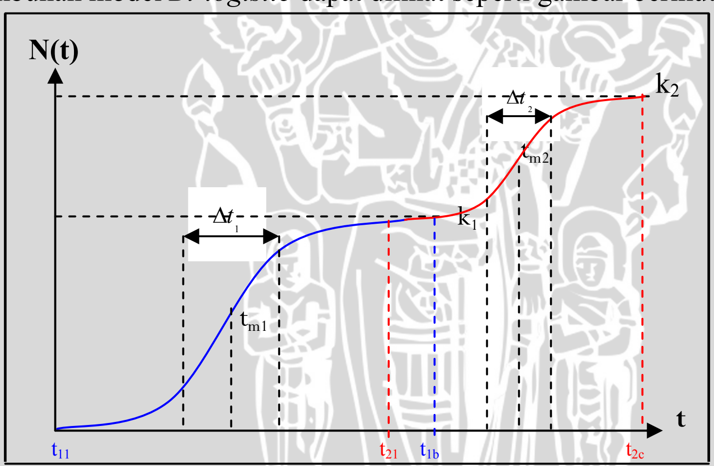


Gambar 2.2 Kurva pertumbuhan logistik

Gambar 2.2 menunjukkan bahwa titik belok pada model logistik terjadi pada titik tengah pertumbuhan (t_m) yang menggambarkan laju pertumbuhan maksimum.

2.3 Model *Bi-Logistic*

Model *Bi-logistic* merupakan gabungan dari dua model logistik yang terdiri dari dua tahap pertumbuhan sigmoid. Model logistik ke dua dimulai sebelum model logistik pertama berakhir. Pertumbuhan model *Bi-logistic* dapat dilihat seperti gambar berikut:



Gambar 2.3 Kurva pertumbuhan *Bi-logistic*

keterangan :
t_{11} : batas awal pada model logistik pertama
t_{1b} : batas terakhir pada model logistik pertama
t_{21} : batas awal pada model logistik ke dua
t_{2c} : batas terakhir pada model logistik ke dua

Dari Gambar 2.3 terlihat bahwa model pertumbuhan *Bi-logistic* merupakan gabungan dari dua model logistik yang dirumuskan sebagai (Meyer *et al*, 1999):

$$N(t) = N_1(t) + N_2(t) \tag{2.4}$$

di mana:

$$N_1(t) = \frac{k_1}{1 + \exp\left[-\frac{\ln(81)}{\Delta t_1}\left(t - t_{m_1}\right)\right]}$$

yang merupakan model logistik pertama yang dimulai dari t_{11} sampai t_{1b}

$$N_2(t) = \frac{k_2}{1 + \exp\left[-\frac{\ln(81)}{\Delta t_2}\left(t - t_{m_2}\right)\right]}$$

yang merupakan model logistik ke dua yang dimulai dari t_{21} sampai t_{2c}

Gabungan dari dua model pertumbuhan logistik yang membentuk model *Bi-logistic* dapat ditulis sebagai (Meyer, 1994):

$$N(t) = \frac{k_1}{1 + \exp\left[-\frac{\ln(81)}{\Delta t_1}\left(t - t_{m_1}\right)\right]} + \frac{k_2}{1 + \exp\left[-\frac{\ln(81)}{\Delta t_2}\left(t - t_{m_2}\right)\right]} \tag{2.5}$$

di mana:
N(t) : tinggi tanaman pada umur ke-t
k_1 dan k_2 : tinggi maksimum yang dicapai oleh tanaman pada model logistik pertama dan ke dua
ln (81) : nilai tetapan
Δt_1 dan Δt_2 : interval waktu laju pertumbuhan pada model logistik pertama dan ke dua
t_{m_1} dan t_{m_2} : waktu yang merupakan titik tengah pertumbuhan pada model logistik pertama dan ke dua
t : umur tanaman

Persamaan (2.5) menunjukkan bahwa model pertumbuhan *Bi-logistic* mempunyai enam parameter yaitu k_1, k_2, Δt_1, Δt_2, t_{m_1} dan t_{m_2}. Meyer (1994) merumuskan dua komponen model logistik yang terbentuk setelah parameter-parameter model diketahui sebagai berikut:

$$N_1(t) = N(t) - \frac{k_2}{1 + \exp\left[-\frac{\ln(81)}{\Delta t_2}\left(t - t_{m_2}\right)\right]} \quad (2.6)$$

$$N_2(t) = N(t) - \frac{k_1}{1 + \exp\left[-\frac{\ln(81)}{\Delta t_1}\left(t - t_{m_1}\right)\right]} \quad (2.7)$$

Menurut Meyer *et al*. (1999), laju pertumbuhan masing-masing model logistik yang menyusun model *Bi-logistic* dinyatakan sebagai:

$$\frac{dN_1(t)}{dt} = \frac{\frac{\ln(81)}{\Delta t_1} k_1 \exp\left(-\frac{\ln(81)}{\Delta t_1}\left(t - t_{m_1}\right)\right)}{\left[1 + \exp\left(-\frac{\ln(81)}{\Delta t_1}\left(t - t_{m_1}\right)\right)\right]^2} \quad (2.8)$$

$$\frac{dN_2(t)}{dt} = \frac{\frac{\ln(81)}{\Delta t_2} k_2 \exp\left(-\frac{\ln(81)}{\Delta t_2}\left(t - t_{m_2}\right)\right)}{\left[1 + \exp\left(-\frac{\ln(81)}{\Delta t_2}\left(t - t_{m_2}\right)\right)\right]^2} \quad (2.9)$$

Kurva yang terbentuk dari persamaan (2.8) dan (2.9) menyerupai bentuk lonceng dan puncak dari kurva laju pertumbuhan merupakan titik belok pada kurva pertumbuhan tanaman.

Berdasarkan Gambar (2.3), akan sulit menjelaskan hubungan dari kedua model logistik yang menyusun model *Bi-logistic*. Untuk mempermudah interpretasi, model pertumbuhan *Bi-logistic* diubah dalam bentuk linier dengan transformasi Fisher & Pry (Meyer *et al*., 1999). Dari kedua model logistik, masing-masing ditransformasi dengan persamaan:

$$FP(t) = \frac{F(t)}{1 - F(t)} \tag{2.10}$$

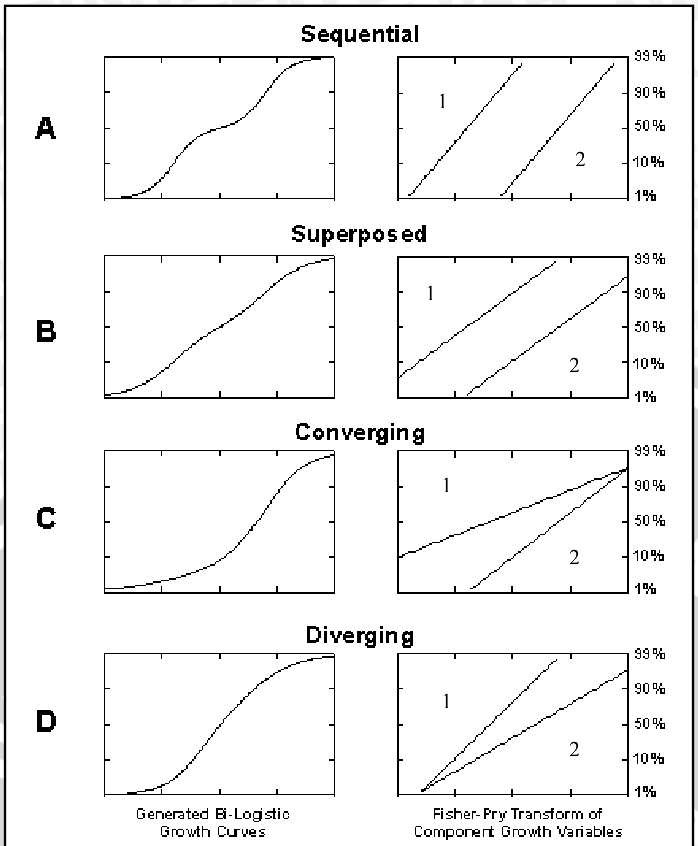
di mana $F(t) = \frac{N(t)}{k}$

Transformasi pada kedua model logistik dapat dituliskan dengan persamaan $FP_1(t) = \frac{F_1(t)}{1 - F_1(t)}$ dengan $F_1(t) = \frac{N_1(t)}{k_1}$ untuk model logistik pertama dan $FP_2(t) = \frac{F_2(t)}{1 - F_2(t)}$ dengan $F_2(t) = \frac{N_2(t)}{k_2}$ untuk model logistik ke dua. Untuk mengetahui persentase pertumbuhan yang dicapai pada kedua model logistik, maka persamaan (2.10) disubstitusikan kedalam persamaan (2.3) kemudian dihitung menggunakan persamaan:

$$N(t) = \frac{k}{1 + \exp\left[-\ln\left(FP(t)\right)\right]} \; x100\% \tag{2.11}$$

di mana $\ln FP(t) = \frac{\ln(81)}{\Delta t}\left(t - t_m\right)$

Persentase pada masing-masing model logistik dapat dituliskan sebagai $N_1(t) = \frac{k_1}{1 + \exp\left[-\ln\left(FP_1(t)\right)\right]} \; x100\%$ untuk model logistik pertama dan $N_2(t) = \frac{k_2}{1 + \exp\left[-\ln\left(FP_2(t)\right)\right]} \; x100\%$ untuk model logistik ke dua. Bermacam-macam bentuk kurva *Bi-logistic* dan hasil transformasi Fisher & Pry dapat dilihat seperti gambar berikut (Meyer, 1994).



Gambar 2.4 Bentuk-bentuk kurva *Bi-logistic* dan transformasi Fisher & Pry

Kurva A disebut *Sequential Bi-logistic*, di mana dua model logistik hampir terjadi secara berurutan. *Sequential Bi-logistic* terjadi apabila kedua model logistik yang menyusun model *Bi-logistic* mempunyai interval laju pertumbuhan yang sama dan model logistik ke dua dimulai pada saat model logistik pertama hampir berakhir (mencapai 99% dari tinggi maksimum tanaman, k_1). Kurva B menggambarkan model *Bi-logistic* di mana kedua model logistik bergerak dengan laju pertumbuhan yang sama namun model logistik ke dua dimulai saat model logistik pertama mencapai 50% dari tinggi maksimum tanaman (k_1). Kurva ini dinamakan *Superposed Bi-logistic*. Kurva C merupakan *Converging Bi-logistic* yang menunjukkan proses di mana model logistik ke dua mengalami akhir pertumbuhan yang hampir bersamaan dengan model pertumbuhan logistik pertama karena proses pertumbuhan yang cepat. Bentuk kurva ini terjadi apabila model logistik ke dua mempunyai interval pertumbuhan yang lebih pendek daripada model logistik pertama. Sedangkan kurva D dinamakan *Diverging Bi-logistic*, di mana kedua proses pertumbuhan logistik yang dimulai pada waktu yang hampir bersamaan tetapi tumbuh dengan laju pertumbuhan yang berbeda. Model logistik pertama pada kurva ini mempunyai interval pertumbuhan yang lebih pendek daripada model logistik ke dua.

2.4 Pendugaan Parameter Model Nonlinier

Menurut Sanjoyo (2006), secara umum model nonlinier dapat ditulis sebagai berikut:

$$\mathbf{Y} = f(\mathbf{X}, \boldsymbol{\theta}) + \mathbf{e} \tag{2.12}$$

di mana:

$\mathbf{Y} = (y_1, y_2, ..., y_n)'$

$f(\mathbf{X}, \boldsymbol{\theta}) = [f(x_1, \theta), f(x_2, \theta), ..., f(x_n, \theta)]'$

$\mathbf{e} = (e_1, e_2, ..., e_n)'$

Jumlah Kuadrat Sisa (JKS) untuk model nonlinier adalah:

$$\text{JKS} = \mathbf{e'e} = [\mathbf{Y} - f(\mathbf{X}, \boldsymbol{\theta})]'[\mathbf{Y} - f(\mathbf{X}, \boldsymbol{\theta})] \tag{2.13}$$

Pendugaan parameter θ dapat dilakukan dengan meminimumkan JKS. Untuk mendapatkan $\hat{\theta}$, persamaan (2.13) diturunkan relatif terhadap θ, sehingga menghasilkan *p* persamaan normal yang harus dipecahkan, di mana *p* bergantung pada banyaknya parameter yang menyusun model. Persamaan normal yang terbentuk dapat ditulis sebagai:

$$\frac{\partial JKS}{\partial \theta} = -2\left[\frac{\partial f(X,\theta)'}{\partial \theta}\right][Y - f(X,\theta)] = 0$$

$$[Y - f(X,\theta)]\left[\frac{\partial f(X,\theta)'}{\partial \theta}\right] = 0 \qquad (2.14)$$

Model nonlinier pada model pertumbuhan *Bi-logistic* dapat ditulis sebagai $\mathbf{N(t)} = f(\mathbf{T},\boldsymbol{\theta}) + \mathbf{e}$ yang memiliki jumlah kuadrat sisa, JKS = $\mathbf{e'e} = [\mathbf{N(t)} - f(\mathbf{T},\boldsymbol{\theta})]'[\mathbf{N(t)} - f(\mathbf{T},\boldsymbol{\theta})]$, sehingga persamaan normal yang terbentuk adalah $[N(t) - f(T,\theta)]\left[\frac{\partial f(T,\theta)'}{\partial \theta}\right] = 0$

Penentuan nilai duga parameter melalui persamaan normal untuk model nonlinier tidak mudah. Oleh karena itu, untuk menduga parameter model nonlinier digunakan metode iterasi, yaitu suatu proses perhitungan yang diulang-ulang sampai ditemukan penduga yang konvergen. Namun metode iterasi memerlukan nilai duga awal bagi parameter model. Nilai duga awal yang baik dapat menghasilkan proses iterasi yang lebih cepat untuk mendapatkan hasil penduga parameter yang konvergen.

Menurut Draper dan Smith (1992), ada beberapa cara untuk menentukan nilai duga awal parameter dalam model nonlinier yaitu:

1. Mensubstitusikan nilai x_i mendekati nol atau tak hingga ke dalam model untuk menduga parameter model. Selanjutnya mensubstitusikan nilai parameter yang telah diduga dan nilai x_i tertentu ke dalam model untuk mendapatkan nilai parameter lain yang belum diduga.
2. Mencari nilai duga awal parameter dari θ buah parameter dengan cara mensubstitusikan p pasangan amatan (x_i, y_i) sebanyak parameter ke dalam model. Selanjutnya p buah persamaan tersebut diselesaikan untuk mendapatkan nilai duga parameter model.

Pada model pertumbuhan *Bi-logistic*, untuk mempermudah menentukan nilai duga awal parameter, maka data pada masing-masing perlakuan dibagi menjadi dua sekumpulan data, sehingga masing-masing kelompok membentuk model logistik. Selanjutnya dilakukan pendugaan awal parameter dari kedua kelompok data secara terpisah. Kemudian hasil pendugaan parameter dari kedua kelompok tersebut akan diperbaiki dengan metode penduga parameter model nonlinier secara bersama-sama, salah satunya adalah metode Levenberg-Marquardt. Metode ini menghasilkan konvergensi yang cepat (Draper dan Smith, 1992). Menurut Sanjoyo (2006), bentuk iterasi metode ini adalah:

$$\boldsymbol{\theta}_{\mathbf{j+1}} = \boldsymbol{\theta}_{\mathbf{j}} - \left[\mathbf{z}(\boldsymbol{\theta}_{\mathbf{j}})' \mathbf{z}(\boldsymbol{\theta}_{\mathbf{j}}) + \lambda_j \mathbf{I}\right]^{-1} \mathbf{z}(\boldsymbol{\theta}_{\mathbf{j}})' \left(\mathbf{Y} - \mathbf{f}(\mathbf{X},\boldsymbol{\theta})\right) \qquad (2.15)$$

di mana:

j : iterasi, j=1,2,...,m
$\boldsymbol{\theta}$: parameter-parameter yang diduga
$\boldsymbol{I}$: matriks identitas
λ : nilai positif terkecil yang dihitung dari akar ciri matriks $\left[\mathbf{z}(\boldsymbol{\theta}_{\mathbf{j}})' \mathbf{z}(\boldsymbol{\theta}_{\mathbf{j}})\right]$

$$Z(\theta) = \frac{\partial f(X,\theta)}{\partial \theta} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(x_1,\theta)}{\partial \theta_1} & \cdots & \frac{\partial f(x_1,\theta)}{\partial \theta_p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f(x_n,\theta)}{\partial \theta_1} & \cdots & \frac{\partial f(x_n,\theta)}{\partial \theta_p} \end{bmatrix}$$

Iterasi metode Levenberg-Marquardt yang diterapkan pada model *Bi-logistic* dapat ditulis sebagai:

$$\begin{bmatrix} \theta_1^{j+1} \\ \vdots \\ \theta_6^{j+1} \end{bmatrix}_{6x1} = \begin{bmatrix} \theta_1^{j} \\ \vdots \\ \theta_6^{j} \end{bmatrix}_{6x1} - \left[\begin{bmatrix} \frac{\partial f(t_1,\theta)}{\partial \theta_1} & \cdots & \frac{\partial f(t_n,\theta)}{\partial \theta_1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f(t_1,\theta)}{\partial \theta_6} & \cdots & \frac{\partial f(t_n,\theta)}{\partial \theta_6} \end{bmatrix}_{6xn} \begin{bmatrix} \frac{\partial f(t_1,\theta)}{\partial \theta_1} & \cdots & \frac{\partial f(t_1,\theta)}{\partial \theta_6} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f(t_n,\theta)}{\partial \theta_1} & \cdots & \frac{\partial f(t_n,\theta)}{\partial \theta_6} \end{bmatrix}_{nx6} + \lambda \mathbf{I}_{6x6} \right]^{-1} x$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f(t_1,\theta)}{\partial \theta_1} & \cdots & \frac{\partial f(t_n,\theta)}{\partial \theta_1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f(t_1,\theta)}{\partial \theta_6} & \cdots & \frac{\partial f(t_n,\theta)}{\partial \theta_6} \end{bmatrix}_{6xn} \begin{bmatrix} N(t)_1 - f(t_1,\theta) \\ \vdots \\ N(t)_n - f(t_n,\theta) \end{bmatrix}_{nx1}$$

di mana:

$\theta_1 : k_1$ $\theta_4 : k_2$

$\theta_2 : \Delta t_1$ $\theta_5 : \Delta t_2$

$\theta_3 : t_{m_1}$ $\theta_6 : t_{m_2}$

2.5 Pengujian Asumsi

Menurut Draper dan Smith (1992), sisaan adalah bagian yang tidak dapat dijelaskan oleh persamaan regresi yang merupakan bagian yang penting dalam setiap analisis data. Secara matematis, sisaan didefinisikan sebagai :

$$\varepsilon_t = y_t - \hat{y}_t \tag{2.16}$$

di mana:

ε_t : sisaan pada waktu ke-t, t = 1, 2,…, n

y_t : nilai amatan ke-t

$\hat{y}_t$: nilai dugaan ke-t yang diperoleh dari persamaan regresi

Sebelum memutuskan untuk menggunakan model yang telah didapatkan, sebaiknya dilakukan pengujian asumsi terlebih dahulu. Asumsi yang harus dipenuhi adalah sisaan saling bebas dan menyebar normal (Prajneshu, 1998). Selain itu, menurut Motulsky *and* Christopoulos (2003), asumsi sisaan yang harus dipenuhi dalam regresi nonlinier adalah ragam sisaan homogen.

2.5.1 Asumsi Kenormalan Sisaan

Uji asumsi kenormalan sisaan dilakukan untuk membuktikan bahwa sisaan data yang digunakan berdistribusi normal karena asumsi kenormalan berkaitan dengan penggunaan statistik uji F dan t, jika asumsi kenormalan tidak terpenuhi maka kesimpulan dari uji serempak dan individu menjadi tidak valid. Salah satu metode untuk menguji kenormalan sisaan adalah uji *Kolmogorov Smirnov*. Hipotesis yang diuji adalah:

H_0 : sisaan menyebar normal

H_1 : sisaan tidak menyebar normal

Uji *Kolmogorov Smirnov* menggunakan sebaran kumulatif normal dan fungsi peluang kumulatif contoh dengan statistik uji (Dwahjudi, 2008):

$$D_{maks} = \sup\left[\left|F_n(t) - F_0(t)\right|\right] \tag{2.17}$$

di mana:

D_{maks} : nilai deviasi absolut maksimum antara $F_n(t)$ dan $F_0(t)$

$F_n(t)$: fungsi peluang kumulatif yang diamati dengan n adalah banyaknya pengamatan

$F_0(t)$: fungsi sebaran kumulatif distribusi normal

Berdasarkan uji ini, Ho ditolak pada taraf α apabila $D_{maks} > D(\alpha)$. Nilai-nilai $D(\alpha)$ dengan berbagai taraf nyata disajikan pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Nilai kritis uji *Kolmogorov Smirnov*

α	0,01	0,05	0,1
$D(\alpha)$	1,63 / $\sqrt{n}$	1,36 / $\sqrt{n}$	1,22 / $\sqrt{n}$

H_0 diterima jika $D_{maks} < D(\alpha)$, artinya sisaan menyebar normal.

2.5.2 Asumsi Kehomogenan Ragam Sisaan

Pengujian asumsi ini bertujuan untuk mengetahui apakah sisaan mempunyai ragam yang homogen atau tidak. Homogen dalam asumsi ini adalah ragam sisaan konstan dan dapat mendekati nilai sebenarnya. Dampak dari tidak terpenuhinya asumsi kehomogenan ragam sisaan adalah penduga parameter yang diperoleh menjadi tidak efisien, hal ini dikarenakan ragam menyimpang dari nilai sebenarnya sehingga memberikan kesimpulan yang salah (Darma, 2008):

Secara garis besar ada dua cara yang dapat digunakan, yaitu cara analitis dan grafis. Menurut Gujarati (1995), secara grafis dilakukan plotting data antara dugaan peubah respon dengan e_t^2, kemudian dilihat pola sebaran titik-titiknya. Apabila plot membentuk suatu trend atau pola tertentu maka dapat dikatakan terdapat keheterogenan dalam sisaan, namun jika sebaran titik-titiknya tidak membentuk suatu pola (bersifat acak) maka data tersebut memenuhi asumsi kehomogenan ragam sisaan. Secara analitis dapat dihitung menggunakan uji J. Szroeter. Menurut Dielman (1991), statistik uji J.Szroeter didefinisikan sebagai:

$$Q = \left[\frac{6n}{n^2 - 1}\right]^{\frac{1}{2}} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} i e_i^2}{\sum_{i=1}^{n} e_i^2} - \frac{n+1}{2}\right] \qquad (2.18)$$

di mana:

n : banyaknya pengamatan

e_i : sisaan ke-i, di mana i merupakan urutan pengamatan, i = 1, 2, ..., n

Hipotesis yang melandasi pengujian ini adalah:

H_0 : ragam sisaan konstan

H_1 : ragam sisaan tidak konstan

Pada taraf nyata sebesar α, maka H_0 ditolak apabila $Q > Z_{\alpha/2}$, sedangkan jika $Q \leq Z_{\alpha/2}$ H_0 diterima, yang berarti ragam sisaan homogen.

2.5.3 Asumsi Autokorelasi

Autokorelasi merupakan korelasi ketinggalan waktu suatu deretan tertentu dengan serialnya sendiri yang tertinggal oleh sejumlah unit waktu. Menurut Gujarati (1995), autokorelasi dapat didefinisikan sebagai korelasi antar anggota serangkaian pengamatan yang diurutkan menurut waktu. Dalam analisis regresi, sisaan antar pengamatan harus saling bebas. Jika terjadi autokorelasi, maka sulit diketahui pengaruh peubah prediktor terhadap peubah respon pada periode tertentu karena kesalahan pengganggu dari periode tertentu berkorelasi dengan kesalahan pengganggu dari periode sebelumnya. Terjadinya autokorelasi menyebabkan:

1. Ragam sisaan menaksir terlalu rendah dari keadaan sebenarnya.
2. Penduga parameter menyimpang dari nilai populasi yang sebenarnya.

3. Selang kepercayaan dari penduga parameter menjadi lebar sehingga pengujian kurang meyakinkan.

Secara grafis, pemeriksaan asumsi autokorelasi dapat dilakukan dengan membuat plot antara sisaan terhadap waktu. Jika pola yang terbentuk acak (tidak berpola tertentu), maka dapat dikatakan tidak terdapat autokorelasi. Secara analitis dapat digunakan statistik *d* dari Durbin Watson, yaitu:

$$d = \frac{\sum_{i=2}^{N}\left(e_i - e_{i-1}\right)^2}{\sum_{i=1}^{N} e_i^2} \tag{2.19}$$

di mana:

e_i : sisaan pada pengamatan ke-i, i = 1, 2, ..., n

e_{i-1} : sisaan pada pengamatan ke-(i-1)

Hipotesis yang digunakan adalah:

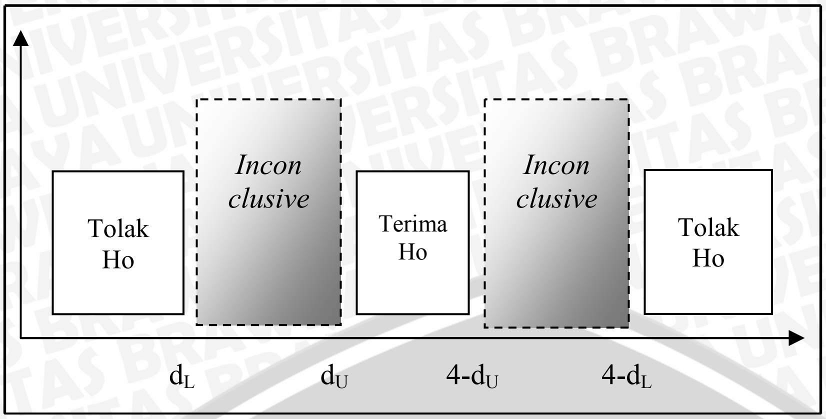
H_0 : tidak ada korelasi antar sisaan

H_1 : ada korelasi antar sisaan

Kaidah keputusan yang digunakan berdasarkan titik-titik kritis d_L dan d_U dengan prosedur sebagai berikut:

1. $d < d_L$ atau $d > \left(4 - d_L\right)$, maka tolak H_0.
2. $d_U < d < \left(4 - d_U\right)$, maka terima H_0.
3. $d_L \le d \le d_U$ atau $\left(4 - d_U\right) \le d \le \left(4 - d_L\right)$, maka belum menghasilkan keputusan yang pasti.

Prosedur keputusan secara sederhana dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.5 Kaidah keputusan pada statistik d

Apabila hubungan antar sisaan mempunyai sifat tidak saling bebas, maka dikatakan terdapat autokorelasi. Autokorelasi dapat diatasi dengan beberapa cara, yaitu (Kutner *et al.*, 2004):

1. Menambah peubah prediktor.
2. Melakukan transformasi peubah.

   Transformasi dilakukan untuk semua peubah, yaitu peubah respon dan peubah prediktor dengan rumus:

   $$N(t)_i^{'} = N(t)_i - \rho N(t)_{i-1} \quad (2.20)$$

   $$t_i^{'} = t_i - \rho t_{i-1} \quad (2.21)$$

   Transformasi dapat dilakukan dengan terlebih dahulu menduga parameter ρ yang nilainya belum diketahui. Penduga parameter ρ dinotasikan dengan *r*, sehingga transformasi dirumuskan sebagai:

   $$N(t)_i^{'} = N(t)_i - rN(t)_{i-1} \quad (2.22)$$

   $$t_i^{'} = t_i - rt_{i-1} \quad (2.23)$$

   Terdapat tiga cara untuk mendapatkan penduga ρ, yaitu:

   1) Prosedur *Cochrane-Orcutt*
      Prosedur ini dilakukan dengan menghitung besarnya korelasi sisaan dari data. Langkah-langkah menggunakan transformasi *Cochrane-Orcutt* adalah:

a. menduga nilai ρ

Penduga ρ diperoleh dengan cara menghitung nilai r dengan rumus:

$$r = \frac{\sum_{i=2}^{n} e_{i-1} e_i}{\sum_{i=2}^{n} e_{i-1}^2} \qquad (2.24)$$

b. mensubstitusikan nilai r kedalam persamaan (2.22) dan persamaan (2.23) untuk mendapatkan data transformasi.

c. Melakukan uji asumsi pada data transformasi.

2) Prosedur *Hildreth-Lu*

Penduga ρ diperoleh dengan menduga besarnya r dengan cara mencoba-coba besarnya r diantara -1 sampai dengan +1 sedemikian hingga model mempunyai JKS (Jumlah Kuadrat Sisa) minimum.

$$JKS = \sum_{i=1}^{n} \left(N(t)_i^{'} - \hat{N}(t)_i^{'} \right)^2 \qquad (2.25)$$

3) Prosedur Beda Pertama

Penduga ρ diperoleh dengan menganggap ρ mempunyai nilai yang tinggi yaitu mendekati 1, sehingga persamaan (2.22) dan (2.23) berubah menjadi:

$$N(t)_i^{'} = N(t)_i - N(t)_{i-1} \qquad (2.26)$$

$$t_i^{'} = t_i - t_{i-1} \qquad (2.27)$$

Apabila pendugaan model regresi dari data transformasi telah menghilangkan autokorelasi pada sisaan, maka model regresi dapat dikembalikan ke dalam bentuk peubah asli dengan rumus $\theta = \frac{\theta^{'}}{1-r}$ dan $S(\theta) = \frac{S(\theta^{'})}{1-r}$.

2.6 Pengujian Parameter Model Nonlinier

Langkah selanjutnya setelah diperoleh pendugaan model nonlinier adalah melakukan uji signifikansi kurva dan parameter regresi dengan menggunakan uji serempak dan uji individu.

2.6.1 Uji Serempak

Uji serempak (Uji F) dilakukan untuk mengetahui keberartian model secara bersama-sama dan mengetahui apakah kurva dan seluruh parameter model nonlinier yang terbentuk dapat menggambarkan data sepenuhnya.

$H_0 : \theta_1 = \theta_2 = \cdots = \theta_p = 0$

H_1 : paling tidak ada satu $\theta_k \neq 0$ $\quad ,k = 1, \; 2, \cdots, \; p$

Tabel 2.2 Analisis ragam uji serempak model nonlinier

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah kuadrat	Kuadrat Tengah Sisaan	F_{hitung}
Regresi Sisaan	p n–p	JKR JKS	KTR = JKR / p KTS = JKR / (n–p)	$\frac{KTR}{KTS}$
Total terkoreksi	n–1	JKT		

di mana:

Jumlah Kuadrat Regresi, JKR = $\left(\hat{Y} - \overline{Y}\right)'\left(\hat{Y} - \overline{Y}\right)$

Jumlah Kuadrat Sisaan, JKS = $\left(Y - \hat{Y}\right)'\left(Y - \hat{Y}\right)$

Jumlah Kuadrat Total, JKT = $\left(Y - \overline{Y}\right)'\left(Y - \overline{Y}\right)$

n = banyaknya pengamatan
p = banyaknya parameter

Kriteria pengambilan keputusan adalah tolak H_o jika $F_{hitung} > F_{\alpha(p,n-p)}$, maka dapat dikatakan bahwa model tersebut dapat menjelaskan data.

2.6.2 Uji Individu

Pengujian parameter dilakukan untuk mengetahui keberartian hasil dugaan masing-masing parameter dalam menyusun model. Hipotesis yang digunakan adalah:

$H_0 : \theta_k = 0$

$H_1 : \theta_k \neq 0$

Menurut Kutner *et al.* (2004), pengujian parameter dapat menggunakan uji t yang dirumuskan sebagai:

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\theta}_k - \theta_k}{s\left\{\hat{\theta}_k\right\}} \sim t_{(n-p)}^{\alpha/2} \tag{2.28}$$

di mana :

$\hat{\theta}_k$: parameter dugaan ke-k ,k = 1, 2,..., p

θ_k : parameter populasi ke-k

$s\left(\hat{\theta}_k\right) = \sqrt{KTSxC_{kk}}$, C_{kk} adalah unsur diagonal matriks $\left[\mathbf{z}(\boldsymbol{\theta})'\mathbf{z}(\boldsymbol{\theta})\right]^{-1}$ dan KTS merupakan Kuadrat Tengah Sisa

Kaidah keputusan yang digunakan adalah tolak H_0 pada taraf nyata α apabila $t_{hitung} > t_{(n-p)}^{\alpha/2}$ yang berarti parameter dugaan memberikan kontribusi terhadap model yang terbentuk.

Dalam berbagai situasi, penduga titik dianggap belum memberikan informasi yang cukup tentang parameter populasi, untuk itu dapat dibuat selang kepercayaan 100(1-α)% bagi θ yang dapat ditulis sebagai berikut (Kutner *et al.*, 2004):

$$\hat{\theta}_k - t_{\alpha/2(n-p)} s\left(\hat{\theta}_k\right) \leq \theta_k \leq \hat{\theta}_k + t_{\alpha/2(n-p)} s\left(\hat{\theta}_k\right) = 100(1-\alpha)\% \tag{2.29}$$

Berdasarkan selang kepercayaan diatas, dengan tingkat kepercayaan sebesar 100(1-α)%, diharapkan parameter model yang diduga berada dalam selang, sehingga dapat dikatakan $\hat{\theta}$ dapat mewakili nilai θ yang sebenarnya.

2.7 Pemeriksaan Keakuratan Model

Pemeriksaan keakuratan model perlu dilakukan untuk mengetahui kesesuaian model terhadap data. Nilai sisaan yang relatif besar menunjukkan bahwa model yang terbentuk belum sesuai. Pemeriksaan keakuratan model dapat dilakukan dengan menghitung koefisien determinasi.

Koefisien determinasi (R^2) merupakan ukuran dari total keragaman yang dapat diterangkan oleh model. Menurut Motulsky *and* Christopoulos (2003), koefisien determinasi dalam regresi nonlinier disamakan dengan koefisien determinasi regresi linier yang didefinisikan sebagai:

$$R^2 = 1 - \frac{JKS}{JKT} \tag{2.30}$$

di mana:
JKS : Jumlah Kuadrat Sisaan
JKT : Jumlah Kuadrat Total

Menurut Motulsky *and* Christopoulos (2003), nilai R^2 mempunyai batas $0 \le R^2 \le 1$. Jika $R^2 = 0$, maka model yang terbentuk belum sesuai dan nilai peubah prediktor tidak dapat memprediksi nilai peubah respon. Sedangkan jika $R^2 = 1$, maka peubah prediktor dapat memprediksi nilai peubah respon dengan baik. Nilai R^2 yang tinggi mengindikasikan bahwa kurva mendekati data dengan baik.

Menurut Draper dan Smith (1992), ada statistik lain yang erat hubungannya dengan R^2, yaitu koefisien determinasi yang disesuaikan $\left(R^2_{adjusted}\right)$ yang didefinisikan sebagai:

$$R^2_{adjusted} = 1 - \frac{JKS/(n-p)}{JKT/(n-1)} = 1 - \left(1 - R^2\right)\left(\frac{n-1}{n-p}\right) \tag{2.31}$$

di mana:
JKS : Jumlah Kuadrat Sisa
p : Banyaknya parameter model
n : Banyaknya pengamatan

Pada $R^2_{adjusted}$ telah dilakukan penyesuaian terhadap derajat bebas JKS dan JKT. Penyesuaian dilakukan agar $R^2_{adjusted}$ dapat digunakan tidak hanya untuk membandingkan beberapa persamaan regresi yang diterapkan pada segugus data, tetapi juga untuk membandingkan persamaan regresi dari dua atau lebih gugus data (Draper dan Smith, 1992).

2.8 Uji Kesamaan Dua Model Regresi

Uji ini dilakukan untuk mengetahui apakah dua model regresi sama atau berbeda. Salah satu uji kesamaan model yang dapat digunakan adalah uji *Chow.* Pada uji *Chow,* Kedua model regresi yang dibandingkan mempunyai peubah prediktor dan peubah respon yang sama, namun berasal dari data yang berbeda. Uji ini dapat digunakan untuk menguji kesamaan dua model regresi baik pada regresi linier maupun regresi nonlinier (Lee, 2008). Hipotesis yang di uji adalah:

H_0 : kedua model regresi sama
H_1 : kedua model regresi berbeda

Uji *Chow* menggunakan statistik uji F dengan rumus (Lee, 2008):

$$F = \frac{(JKS - JKS_1 - JKS_2)/P}{(JKS_1 + JKS_2)/(n_1 + n_2 - 2p)} \sim F^{\alpha}_{[p,(n_1+n_2-2p)]} \qquad (2.32)$$

di mana:

JKS : Jumlah Kuadrat Sisa data gabungan
JKS_1 : Jumlah Kuadrat Sisa data pertama
JKS_2 : Jumlah Kuadrat Sisa data ke dua
p : banyaknya parameter
n_1 : banyaknya pengamatan pada data pertama
n_2 : banyaknya pengamatan pada data ke dua

H_0 ditolak pada taraf nyata α apabila $F > F^{\alpha}_{[p,(n_1+n_2-2p)]}$. Sedangkan jika $F \le F^{\alpha}_{[p,(n_1+n_2-2p)]}$ H_0 diterima, yang berarti kedua model regresi sama.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari UPT Balai Konservasi Tumbuhan Kebun Raya Purwodadi Pasuruan, yaitu pertumbuhan tanaman Pohon Jati Belanda dengan dan tanpa pemberian pupuk daun yang diamati tiga kali dalam seminggu selama 84 hari. Pupuk daun yang digunakan adalah Benvite dengan kandungan Sulfamide 6,15%, Nitrogen 0,56%, dan Phospor 0,01% yang diberikan tiap minggu. Peubah yang diamati adalah tinggi tanaman yang merupakan peubah respon, sedangkan waktu (Hari Setelah Tanam) merupakan peubah penjelas. Data selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1. Perhitungan analisis data menggunakan bantuan *software* SPSS dan Loglet Lab.

3.2 Metode Penelitian

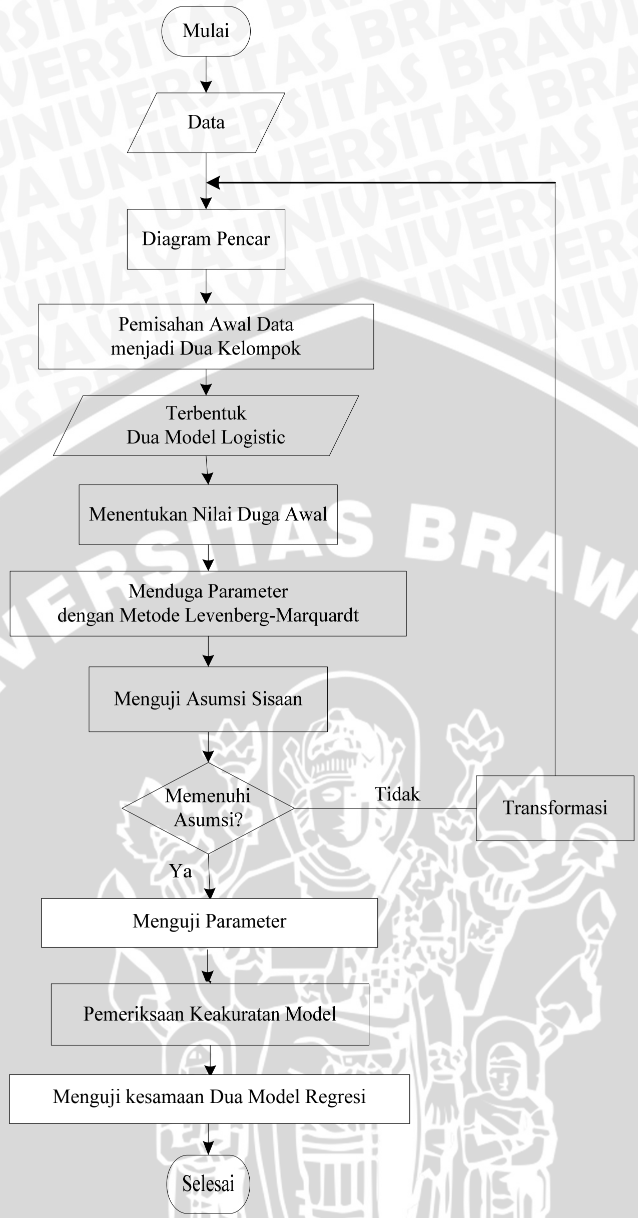
Tahapan analisis sebagai berikut :

1. Membuat diagram pencar antara tinggi tanaman terhadap waktu.
2. Memisahkan setiap perlakuan menjadi dua sekumpulan data, sehingga masing-masing bagian dapat di duga dengan model logistik.
3. Untuk mempermudah pendugaan awal parameter, titik pertama pada model logistik ke dua ditempatkan sedemikian rupa sehingga mempunyai tinggi tanaman yang sama seperti titik pertama pada model logistik pertama.
4. Menentukan nilai duga awal bagi parameter setiap model pertumbuhan logistik $\left(k^{(0)}, \Delta t^{(0)}, t_m^{(0)}\right)$. Prosesnya sebagai berikut:
   a. Menghitung $k^{(0)} = \lim_{t \to \infty} N(t)$
   b. Mensubstitusikan dua pasangan amatan (t_i, $N(t_i)$) dari data ke dalam persamaan (2.2).
   c. Mensubstitusikan kedua persamaan yang terbentuk untuk mendapatkan $a^{(0)}$ dan $b^{(0)}$.
   d. Mensubstitusikan nilai $a^{(0)}$ ke dalam persamaan $a = \ln(81)/\Delta t$ untuk mendapatkan $\Delta t^{(0)}$.

e. Mensubstitusikan nilai $b^{(0)}$ ke dalam persamaan $b = -t_m a$ untuk mendapatkan t_m.

5. Melakukan pendugaan parameter model pertumbuhan *Bi-logistic* dengan cara menggabungkan nilai duga awal dari kedua model logistik menggunakan metode Levenberg-Marquardt.
6. Melakukan pengujian asumsi terhadap sisaan (asumsi kenormalan sisaan, kehomogenan ragam sisaan, dan autokorelasi).
7. Menguji parameter model.
8. Melakukan pemeriksaan keakuratan model.
9. Menguji kesamaan dua model regresi yang terbentuk.

Diagram alir metode analisis disajikan pada Gambar 3.1.

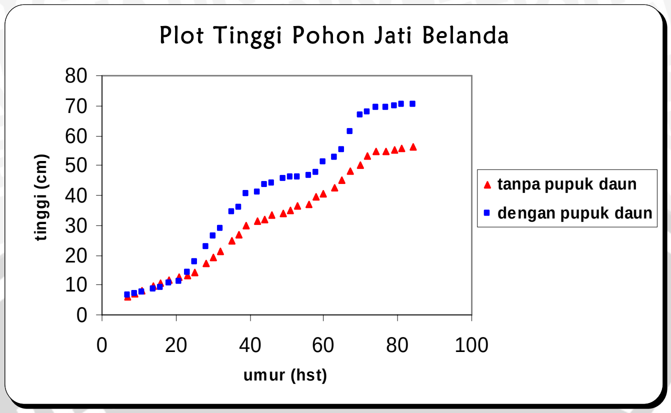


Gambar 3.1 Diagram alir metode analisis

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Diagram Pencar

Diagram pencar data tinggi Pohon Jati Belanda pada kedua perlakuan disajikan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram pencar tinggi Pohon Jati Belanda pada kedua perlakuan

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa tinggi Pohon Jati Belanda pada perlakuan tanpa pemberian pupuk daun cenderung naik seiring dengan bertambahnya umur. Pola kurva seperti ini juga terjadi pada perlakuan dengan pemberian pupuk daun. Tinggi kedua pohon pada umur 45 hingga 55 hst dan 75 sampai 85 hst cenderung konstan. Pada umur 25 sampai 45 hst dan 60 hingga 75 hst tinggi pohon pada perlakuan dengan pemberian pupuk daun mengalami pertumbuhan yang pesat dibandingkan pada perlakuan tanpa pemberian pupuk daun. Hal ini diduga pemberian pupuk daun dapat mempercepat tinggi pohon.

Diagram pencar dari kedua perlakuan mempunyai penyebaran yang mengikuti model sigmoid ganda, sehingga dapat dikatakan bahwa model *Bi-logistic* sesuai digunakan untuk mendekati pola data pertumbuhan tinggi Pohon Jati Belanda.

4.2 Pendugaan Parameter

Sebelum melakukan pendugaan parameter, langkah awal yang harus dilakukan adalah menentukan nilai duga awal parameter model pertumbuhan *Bi-logistic*. Untuk mempermudah menentukan nilai duga awal, maka pada setiap perlakuan dilakukan pemisahan data menjadi dua sekelompok data sehingga masing-masing dapat diduga dengan model logistik. Pada perlakuan tanpa pemberian pupuk daun, pemisahan data menjadi dua kelompok dilakukan pada saat tanaman berumur 7 hingga 53 hst yang akan diduga sebagai model logistik pertama dan 46 sampai 84 hst yang akan diduga sebagai model logistik ke dua. Sedangkan pada perlakuan dengan pemberian pupuk daun, model logistik pertama digunakan untuk menduga model tanaman pada saat berumur 7 sampai 53 hst dan model logistik ke dua digunakan untuk menduga model tanaman pada saat berumur 44 hingga 84 hst. Untuk mempermudah menentukan nilai duga awal, titik pertama pada model logistik ke dua ditempatkan sedemikian sehingga mempunyai tinggi tanaman yang sama seperti titik pertama pada model logistik pertama. Pemisahan data dan bentuk kurva seperti pada Lampiran 2. Langkah-langkah menentukan nilai duga awal parameter pada perlakuan tanpa pemberian pupuk daun dapat dilihat pada Lampiran 3. Nilai duga awal untuk perlakuan dengan pemberian pupuk daun didapatkan dengan cara yang sama dan nilai duga awal untuk kedua perlakuan secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Nilai duga awal parameter model pertumbuhan *Bi-logistic*

Parameter	Perlakuan	
	Tanpa Pupuk Daun	Pemberian Pupuk Daun
$k_1^{(0)}$	42,800	46,300
$\Delta t_1^{(0)}$	43,083	29,692
$t_{m1}^{(0)}$	31,971	28,182
$k_2^{(0)}$	25,000	33,200
$\Delta t_2^{(0)}$	68,663	16,967
$t_{m2}^{(0)}$	32,031	61,317

Nilai duga awal pada Tabel 4.1 digunakan sebagai nilai duga parameter pada model *Bi-logistic* yang akan diperbaiki dalam proses iterasi metode Levenberg-Marquardt dengan bantuan *software* SPSS dan Loglet Lab. Hasil pendugaan parameter model *Bi-logistic* dapat dilihat pada Lampiran 4 dan dapat dirangkum pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Hasil pendugaan parameter model pertumbuhan *Bi-logistic*

Parameter	Perlakuan	
	Tanpa Pupuk Daun	Pemberian Pupuk Daun
k_1	44,01	50,17
Δt_1	56,95	38,14
t_{m1}	32,06	29,21
k_2	12,68	19,98
Δt_2	12,30	9,23
t_{m2}	67,08	66,42

Dua komponen model logistik yang menyusun model pertumbuhan *Bi-logistic* dapat dilihat pada Lampiran 5, sedangkan hasil transformasi Fisher & Pry disajikan pada Lampiran 6. Berdasarkan hasil transformasi Fisher & Pry pada kedua perlakuan, kurva *Bi-logistic* yang terbentuk adalah *Converging Bi-logistic* walaupun pada perlakuan dengan pemberian pupuk daun, ujung kedua model logistik belum saling bertemu di satu titik. Bentuk kurva *Converging Bi-logistic* ini disebabkan interval laju pertumbuhan pada model logistik ke dua lebih pendek daripada model logistik pertama, sehingga kedua model logistik berakhir pada waktu yang hampir bersamaan.

4.3 Pengujian Asumsi

Untuk mengetahui kesesuaian model regresi yang diperoleh, maka diperlukan pengujian asumsi sisaan yang melandasi model regresi. Pengujian yang dilakukan memberikan hasil sebagai berikut:

1. Asumsi kenormalan sisaan
   Hasil pengujian asumsi kenormalan sisaan menggunakan uji *Kolmogorov Smirnov* dengan bantuan *software* SPSS dapat

dilihat pada Lampiran 7. Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa kedua perlakuan menghasilkan nilai $p>0,05$, maka H_0 diterima sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa pada taraf nyata 5% sisaan kedua perlakuan menyebar normal.

2. Asumsi kehomogenan ragam sisaan
   Hasil pengujian asumsi kehomogenan ragam sisaan pada kedua perlakuan disajikan pada Lampiran 8. Hasil pengujian menggunakan uji J. Szroeter dapat diketahui bahwa pada taraf nyata 5% kedua perlakuan memiliki nilai $Q < Z_{0,025}$, di mana $Z_{0,025} = 1,96$, sehingga keputusan yang diambil adalah terima H_0 yang berarti asumsi kehomogenan ragam sisaan kedua perlakuan terpenuhi.
3. Asumsi autokorelasi
   Lampiran 9 menampilkan hasil pengujian autokorelasi menggunakan statistik uji durbin watson. Kedua perlakuan menghasilkan nilai $d<d_L$, maka tolak H_0 pada taraf nyata 0,05 dan dapat dikatakan bahwa terdapat korelasi antar sisaan. Oleh karena itu perlu dilakukan transformasi agar asumsi tidak terdapat autokorelasi terpenuhi. Transformasi yang digunakan adalah transformasi *Cochrane-Orcutt*.

4.4 Pendugaan Parameter Data Transformasi

Hasil transformasi *Cochrane-Orcutt* dengan penduga ρ yang dihitung dengan persamaan (2.24) menghasilkan nilai korelasi $r = 0,63$ pada perlakuan tanpa pemberian pupuk daun dan $r = 0,54$ pada perlakuan dengan pemberian pupuk daun. Kemudian nilai r yang dihasilkan pada kedua perlakuan disubstitusikan kedalam persamaan (2.22) dan persamaan (2.23) untuk mendapatkan data transformasi. Nilai duga awal untuk kedua perlakuan pada data transformasi dan hasil pendugaan parameter model *Bi-logistic* dengan metode Levenberg-Marquardt (Lampiran 10) dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.3 Nilai duga awal dan hasil pendugaan parameter model pertumbuhan *Bi-logistic* pada data transformasi

Parameter	Nilai Duga Awal		Hasil Pendugaan Parameter Model	
	Tanpa Pupuk Daun	Pemberian Pupuk Daun	Tanpa Pupuk Daun	Pemberian Pupuk Daun
k_1	14,113	21,519	16,50	23,39
Δt_1	17,233	10,010	20,12	16,31
t_{m1}	10,769	0,525	12,07	13,71
k_2	10,997	14,735	4,47	9,37
Δt_2	14,947	11,750	0,31	1,63
t_{m2}	21,133	28,374	25,18	31,26

Dua komponen model logistik yang menyusun model pertumbuhan *Bi-logistic* pada data transformasi dapat dilihat pada Lampiran 11, sedangkan kurva linier yang terbentuk disajikan pada Lampiran 12. Berdasarkan hasil transformasi Fisher & Pry, kurva *Bi-logistic* yang terbentuk pada kedua perlakuan adalah *Converging Bi-logistic* di mana kedua model logistik berakhir pada waktu yang hampir bersamaan. Walaupun ujung kedua model logistik pada perlakuan dengan pemberian pupuk daun belum saling bertemu di satu titik, tetapi kedua perlakuan memberikan perilaku yang sama, yaitu interval laju pertumbuhan pada model logistik ke dua lebih pendek daripada model logistik pertama.

4.5 Pengujian Asumsi Data Transformasi

Hasil uji asumsi kenormalan sisaan (Lampiran 13) dan asumsi kehomogenan ragam sisaan (Lampiran 14) pada data transformasi dapat diringkas pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Hasil uji asumsi kenormalan dan kehomogenan ragam sisaan pada data transformasi

Asumsi		Perlakuan	
		Tanpa Pupuk Daun	Pemberian Pupuk Daun
Kenormalan (Uji *Kolmogorov Smirnov*)	p-value	0,951	0,608
	α	0,05	0,05
	Keputusan	Terima H_0	Terima H_0
Kehomogenan Ragam Sisaan (Uji J. Szroeter)	Q	1,476	1,405
	$Z_{0,025}$	1,96	1,96
	Keputusan	Terima H_0	Terima H_0

Berdasarkan Tabel 4.4, data transformasi pada kedua perlakuan menyebar normal dan mempunyai ragam sisaan yang homogen pada taraf nyata 5%. Sedangkan asumsi autokorelasi menggunakan statistik uji durbin watson pada Lampiran 15 menghasilkan nilai $d_U < d < (4 - d_U)$, maka H_0 diterima pada taraf nyata 5% dan didapatkan kesimpulan bahwa tidak terdapat autokorelasi antar sisaan pada kedua perlakuan.

4.6 Pengujian Parameter Model Nonlinier

Berdasarkan *output* SPSS pada Lampiran 10, hasil pengujian parameter model memberikan hasil sebagai berikut:

1. Uji Serempak

   Pengujian parameter regresi secara serempak digunakan untuk mengetahui apakah model regresi yang didapatkan sudah sesuai. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

Tabel 4.5 Analisis ragam pada perlakuan tanpa pemberian pupuk daun

SK	db	JK	KT	F_{hit}	$F^{0,05}_{dbR,dbs}$
Regresi	6	6548,246	1091,374	2050,29	2,462
Sisa	27	14,372	0,532		
Total	33	6562,618	198,867		
Total terkoreksi	32	9037,890			

Tabel 4.6 Analisis ragam pada perlakuan dengan pemberian pupuk daun

SK	db	JK	KT	F_{hit}	$F_{dbR,dbs}^{0,05}$
Regresi	6	16119,276	2686,546	2155,43	2,462
Sisa	27	33,653	1,246		
Total	33	16152,929	489,483		
Total terkoreksi	32	15874,767			

Berdasarkan tabel analisis ragam kedua perlakuan, dihasilkan $F_{hitung} > F_{(dbR,dbS)}^{\alpha}$, sehingga dapat dikatakan bahwa pada taraf nyata 5% model regresi yang terbentuk pada kedua perlakuan sudah sesuai dalam mendekati pola data tinggi Pohon Jati Belanda dan umur tanaman bisa digunakan untuk memprediksi tinggi pohon.

2. Uji Individu

Pengujian Parameter regresi secara individu dilakukan untuk mengetahui apakah setiap parameter memberikan kontribusi terhadap model yang terbentuk. Pengujian parameter model dihitung dengan persamaan (2.28) dan hasil perhitungan dapat diringkas seperti Tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7 Hasil uji parameter

Parameter	Tanpa Pupuk Daun		Pemberian Pupuk Daun	
	t_{hitung}	$t_{27}^{0,025}$	t_{hitung}	$t_{27}^{0,025}$
k_1	21,108	2,052	38,148	2,052
Δt_1	33,847	2,052	44,912	2,052
t_{m1}	51,507	2,052	19,006	2,052
k_2	2,220	2,052	6,788	2,052
Δt_2	0,480	2,052	2,242	2,052
t_{m2}	610,738	2,052	181,968	2,052

Berdasarkan Tabel 4.7, dapat diketahui bahwa keenam parameter pada perlakuan dengan pemberian pupuk daun menghasilkan statistik uji $t_{hitung} > t_{(n-p)}^{\alpha/2}$, maka tolak H_0 dan dapat disimpulkan bahwa keenam parameter tersebut memberikan kontribusi pada model *Bi-logistic*. Sedangkan pada perlakuan tanpa pemberian pupuk daun, hanya parameter Δt_2 yang tidak signifikan, sehingga parameter tersebut tidak memberikan kontribusi terhadap model yang terbentuk. Selang kepercayaan 95% untuk keenam parameter yang dihitung menggunakan persamaan (2.29) disajikan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Selang kepercayaan 95% untuk keenam parameter pada kedua perlakuan

Parameter	Tanpa Pupuk Daun		Pemberian Pupuk Daun	
	Batas Bawah	Batas Atas	Batas Bawah	Batas Atas
k_1	14,904	18,114	22,136	24,653
Δt_1	15,996	24,263	13,481	19,146
t_{m1}	10,850	13,290	12,970	14,460
k_2	3,135	5,810	7,875	10,866
Δt_2	-0,178	0,803	0,165	3,103
t_{m2}	25,101	25,273	30,914	31,622

4.7 Pemeriksaan Keakuratan Model

Pemeriksaan keakuratan model berdasarkan nilai $R^2_{adjusted}$ yang dirangkum pada Tabel 4.9 menunjukkan bahwa model *Bi-logistic* yang didapatkan sesuai digunakan untuk mendekati model pertumbuhan pohon Jati Belanda karena nilai $R^2_{adjusted}$ pada kedua perlakuan $\geq 0{,}98$. Hal tersebut berarti bahwa $\pm 98\%$ total keragaman tinggi pohon Jati Belanda dapat dijelaskan oleh model regresi yang didapatkan.

Tabel 4.9 Hasil perhitungan $R^2_{adjusted}$ untuk kedua perlakuan

Perlakuan	$R^2_{adjusted}$
Tanpa pemberian pupuk daun	0,9875
Dengan pemberian pupuk daun	0,9894

Berdasarkan nilai $R^2_{adjusted}$, model regresi yang terbentuk pada kedua perlakuan dapat dikatakan akurat dalam mendekati pola data tinggi Pohon Jati Belanda karena nilai koefisien determinasi mendekati 1.

4.8 Uji Kesamaan Kedua Model Regresi

Untuk menguji kesamaan kedua model regresi menggunakan uji *Chow* seperti persamaan (2.32), maka harus dihitung terlebih dahulu jumlah kuadrat sisa dari data gabungan seperti pada Lampiran 16. Hasil analisis ragam data gabungan disajikan pada Tabel 4.10.

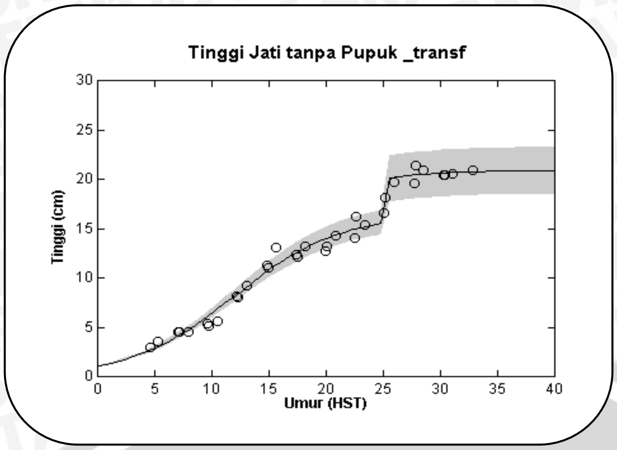
Tabel 4.10 Analisis ragam pada data gabungan

SK	db	JK	KT	F_{hit}	$F^{0,05}_{dbR,dbs}$
Regresi	6	22359,016	3726,503	627,13	2,25
Sisa	60	356,530	5,942		
Total	66	32715,546			
Total terkoreksi	65	5141,725			

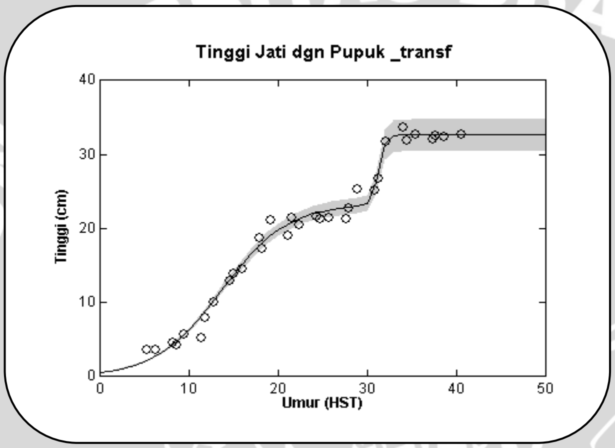
Hasil perhitungan uji *Chow,* didapatkan nilai F = 360,353 dan $F^{0,05}_{6,54} = 2,274$, maka tolak H_0 dan dapat diambil kesimpulan bahwa kedua model regresi yang terbentuk dari kedua perlakuan berbeda pada taraf nyata 5%. Sehingga dapat dikatakan bahwa pemberian pupuk daun memberikan pengaruh yang berbeda terhadap tinggi Pohon Jati Belanda.

4.9 Model Pertumbuhan Pohon Jati Belanda

Kurva pertumbuhan *Bi-logistic* pada kedua perlakuan disajikan pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Kurva model *Bi-logistic* pada perlakuan tanpa pemberian pupuk daun



Gambar 4.3 Kurva model *Bi-logistic* pada perlakuan dengan pemberian pupuk daun

Berdasarkan kurva model *Bi-logistic* dapat dilihat bahwa model pertumbuhan pohon Jati Belanda pada kedua perlakuan tampak memiliki pola pertumbuhan yang hampir sama. Tinggi Pohon Jati Belanda cenderung naik seiring dengan bertambahnya umur. Pada perlakuan tanpa pemberian pupuk daun, tinggi pohon pada umur 10 hingga 20 hst dan 25 sampai 27 hst mengalami pertumbuhan yang pesat, sedangkan pada umur 20 sampai 25 hst dan 27 sampai 35 hst, tinggi tanaman cenderung konstan. Tinggi pohon pada perlakuan dengan pemberian pupuk daun pada saat berumur 25 hingga 30 hst dan 35 sampai 40 hst cenderung konstan dan mengalami pertumbuhan yang pesat pada saat umur tanaman 10 sampai 25 hst dan 30 hingga 35 hst.

Model *Bi-logistic* yang terbentuk pada kedua perlakuan setelah diubah ke dalam bentuk peubah asli disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Model pertumbuhan *Bi-logistic* pada pohon Jati Belanda

Perlakuan	Model *Bi-logistic*
Tanpa pemberian pupuk daun	$N(t)=\frac{44{,}59}{1+\exp\left[-\frac{\ln(81)}{54{,}38}(t-32{,}62)\right]}+\frac{12{,}09}{1+\exp\left[-\frac{\ln 81}{0{,}85}(t-68{,}05)\right]}$
Dengan pemberian pupuk daun	$N(t)=\frac{50{,}85}{1+\exp\left[-\frac{\ln(81)}{35{,}46}(t-29{,}80)\right]}+\frac{20{,}37}{1+\exp\left[-\frac{\ln 81}{3{,}55}(t-67{,}96)\right]}$

Pada Tabel 4.11, tinggi maksimum yang dapat dicapai pohon Jati Belanda pada perlakuan dengan pemberian pupuk daun lebih tinggi daripada tanpa pemberian pupuk daun, yaitu 50,85 cm pada model logistik pertama dan 20,37 cm pada model logistik ke dua. Sedangkan pada perlakuan yang tidak diberi pupuk daun memiliki tinggi maksimum sebesar 44,59 dan 12,09 cm. Hal ini membuktikan bahwa pemberian pupuk daun Benvite dengan kandungan Sulfamide 6,15%, Nitrogen 0,56%, dan Phospor 0,01% dapat mempercepat tinggi pohon. Laju pertumbuhan maksimum pada perlakuan yang diberi pupuk daun untuk pertama kali terjadi pada waktu 30 hst dengan interval waktu selama 35 hari selanjutnya terjadi pada waktu 68 hst dengan interval waktu selama 4 hari. Pada perlakuan yang tidak diberi pupuk daun, laju pertumbuhan maksimum untuk pertama kali terjadi pada waktu 33 hst dengan interval waktu selama 54 hari selanjutnya terjadi pada waktu 68 hst.

Pada Lampiran 17 disajikan kurva laju pertumbuhan untuk kedua perlakuan. Bentuk kurva tersebut tampak seperti lonceng. Laju pertumbuhan maksimum terjadi pada saat tanaman tumbuh secara maksimal atau saat terjadi titik belok. Waktu dan tinggi tanaman saat terjadi laju pertumbuhan maksimum untuk setiap perlakuan disajikan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Waktu dan tinggi yang dicapai tanaman pada saat laju pertumbuhan maksimum

Perlakuan	$Waktu_1$ (hst)	$Tinggi_1$ (cm)	$Waktu_2$ (hst)	$Tinggi_2$ (cm)
Tanpa pemberian pupuk daun	32,62	22,30	68,05	50,64
Dengan pemberian pupuk daun	29,80	25,43	67,96	61,04
Rata-rata	31	23,87	68	55,84

Berdasarkan Tabel 4.12, laju pertumbuhan maksimum pohon Jati Belanda untuk kedua perlakuan rata-rata terjadi pada waktu 31 hst dengan tinggi yang dicapai 24 cm dan 68 hst dengan tinggi yang dicapai 56 cm. Selang waktu disekitar titik belok disebut waktu efektif. Waktu efektif pertumbuhan pada kedua perlakuan dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Titik belok dan waktu efektif pertumbuhan pohon Jati Belanda

Perlakuan	Tanpa pemberian pupuk daun	Dengan pemberian pupuk daun	Rata-rata
Titik Belok 1 (hst)	32,62	29,8	31
Titik Belok 2 (hst)	68,05	67,96	68
Interval 1 (hari)	54,38	35,46	45
Interval 2 (hari)	0,85	3,55	2
Waktu Efektif 1 (hst)	5-60	12-18	9-39
Waktu Efektif 2 (hst)	67-68	66-70	37-69

Berdasarkan Tabel 4.13, waktu efektif pada pohon Jati Belanda terjadi disekitar titik belok, yaitu pada waktu 9-39 hst dan 37-69 hst. Hal itu menandakan bahwa pada kedua interval waktu tersebut dapat dilakukan usaha-usaha yang dapat mempercepat tinggi pohon Jati Belanda, seperti pemberian pupuk, pengairan, dan sebagainya. Selain itu kesehatan tanaman dan keadaan lingkungan dapat lebih diperhatikan lagi.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa:

1. Model pertumbuhan *Bi-logistic* sesuai diterapkan pada tinggi pohon Jati Belanda berdasarkan nilai $R^2_{adjusted}$ sebesar $\geq 0{,}98$ untuk kedua model.
2. Laju pertumbuhan maksimum pohon Jati Belanda untuk perlakuan tanpa pupuk daun terjadi pada waktu 33 dan 68 hst, sedangkan pada perlakuan dengan pupuk daun terjadi pada waktu 30 dan 68 hst, sehingga laju pertumbuhan maksimum rata-rata untuk kedua perlakuan terjadi pada waktu 31 dan 68 hst.
3. Waktu efektif pertumbuhan pohon Jati Belanda terjadi pada saat tanaman berumur 9-39 hst dan 37-69 hst.

5.2 Saran

1. Untuk pihak Kebun Raya Purwodadi hendaknya lebih memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi proses pertumbuhan Pohon Jati Belanda, seperti: kadar nutrisi dalam tanah, tekanan air, dan sebagainya pada saat tanaman berumur 9-39 hst dan 37-69 hst, karena pada umur-umur tersebut tanaman tumbuh dengan cepat.
2. Agar diperoleh kesimpulan yang lebih baik, dapat digunakan model pertumbuhan *Multi-logistic* dengan pengamatan yang lebih lama pada tanaman tahunan atau dapat diterapkan pada tanaman musiman dengan melakukan pengamatan pada seluruh fase pertumbuhan. Selain itu, untuk mendapatkan model pertumbuhan yang terbaik dapat dibandingkan antara regresi nonlinier dengan regresi nonparametrik.

DAFTAR PUSTAKA

Causton, D. R. 1993. *Matematika Dasar untuk Biologiwan*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Darma. 2008. *Uji Asumsi Klasik*. http://fe.unwar.ac.id/id/berita-terbaru/uji-asumsi-klasik-kt.-darma.html. Tanggal akses 6 Februari 2009.

Dielman, T. E. 1991. *Applied Regression Analysis for Bussiness and Econometrics*. PWS-KENT Publishing Company. Boston.

Draper N. R. and H. Smith. 1992. *Analisis Regresi Terapan*. Edisi kedua. Terjemahan Bambang Sumantri. Gramedia. Jakarta.

Dwahjudi. 2008. *Power dari Uji Kenormalan Data.* http://fportfolio.petra.ac.id/userfiles/93-015/Power%20Dari%20Uji %20Kenormalan%20Data.pdf. Tanggal akses 2 September 2008.

Gujarati, D. 1995. *Ekonometrika Dasar*. Edisi keempat. Terjemahan Sumarno Zain. Erlangga. Jakarta.

Kucharavy, D. 1991. *Logistic Substitution Model and Technological Forecasting.* http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/33/81/05/PDF /tfc2008_lsm.pdf. Tanggal akses 13 September 2008.

Kutner, M. H; C. J. Nachtsheim and J. Neter. 2004. *Applied Linear Statistical Models*. Fifth edition. McGraw-Hill. New York.

Lee, H. B. 2008. *Analyzing Data from a Regression Discontinuity Study*. www.scientificjournals.org/journals2008/articles/1364.pdf. Tanggal akses 23 Februari 2009.

Meyer, P. S. 1994. *Bi-Logistic Growth*. http://phe.rockefeller.edu/Bi-Logistic.html. Tanggal akses 13 September 2008.

Meyer, P. S.; J. W. Yung and J. H. Ausubel. 1999. *A Primer on Logistic Growth and Substitution: The Mathematics of the Loglet Lab Software*. http://phe.rockefeller.edu/LogletLab/LogletLab.pdf. Tanggal akses 11 Desember 2008.

Motulsky, H. *and* A. Christopoulos. 2003. *Fitting Models to Biological Data using Linear and Nonlinear Regression*. GraphPad Software Inc. San Diego.

Prajneshu. 1998. *Non-linear Regression Models and Their Applications*. http://www.iasri.res.in/ebook/EB_SMAR/e-book_pdf%20files/ Manual%20IV/1-Nonlinear%20Regression.pdf. Tanggal akses 11 Desember 2008.

Sanjoyo. 2006. *Non-Linear Estimation*. http://mhs.blog.ui.edu/sanj55/files/2008/11/non-linier.pdf. Tanggal akses 15 Desember 2008.

Sitompul, S. M. dan B. Guritno. 1995. *Analisis Pertumbuhan Tanaman.* Gajah Mada University Press. Yogyakarta.

Sugiarto. 1992. *Analisis Regresi*. Andi Offset. Yogyakarta.

Lampiran 1. Data Tinggi Pohon Jati Belanda

Umur (hst)	Tinggi (cm)		Umur (hst)	Tinggi (cm)	
	Tanpa Pupuk Daun	Pemberian Pupuk Daun		Tanpa Pupuk Daun	Pemberian Pupuk Daun
7	6,3	6,4	46	38,4	44,1
9	7,1	7,2	49	39,9	45,5
11	8,1	7,6	51	42,7	45,9
14	9,8	8,8	53	42,8	46,3
16	10,8	9,1	56	44,2	46,4
18	11,4	10,8	58	44,8	47,8
21	12,7	11,2	60	45,0	51,1
23	13,3	14,1	63	45,8	52,7
25	14,1	17,8	65	46,3	55,2
28	15,7	22,7	67	48,7	61,5
30	17,8	26,2	70	50,6	66,8
32	21,1	28,7	72	54,1	67,9
35	23,3	34,3	74	55,5	69,3
37	27,4	35,8	77	55,9	69,5
39	29,2	40,6	79	56,2	70,0
42	31,5	41,0	81	56,5	70,2
44	33,5	43,7	84	57,1	70,5

Ket:
hst : hari setelah tanam

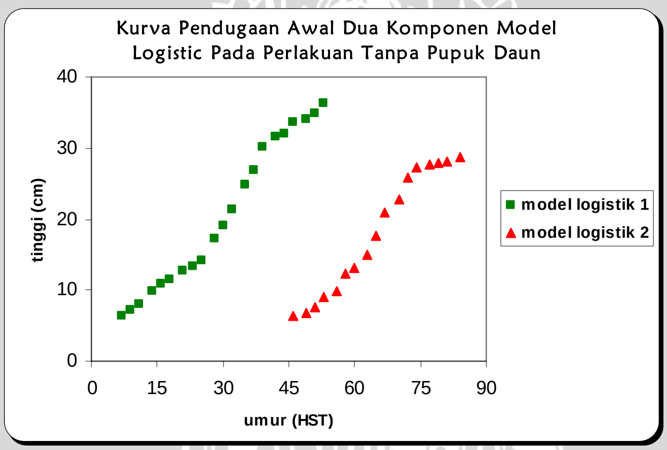
Lampiran 2. Pemisahan Data menjadi Dua Komponen Model Logistik untuk Kedua Perlakuan

Tanpa Pupuk Daun				Pemberian Pupuk Daun			
Model Logistik 1		Model Logistik 2		Model Logistik 1		Model Logistik 2	
Umur (hst)	Tinggi (cm)	Umur (hst)	Tinggi (cm)	Umur (hst)	Tinggi (cm)	Umur (hst)	Tinggi (cm)
7	6,3	7		7	6,4	7	
9	7,1	9		9	7,2	9	
11	8,1	11		11	7,6	11	
14	9,8	14		14	8,8	14	
16	10,8	16		16	9,1	16	
18	11,4	18		18	10,8	18	
21	12,7	21		21	11,2	21	
23	13,3	23		23	14,1	23	
25	14,1	25		25	17,8	25	
28	15,7	28		28	22,7	28	
30	17,8	30		30	26,2	30	
32	21,1	32		32	28,7	32	
35	23,3	35		35	34,3	35	
37	27,4	37		37	35,8	37	
39	29,2	39		39	40,6	39	
42	31,5	42		42	41,0	42	
44	33,5	44		44	43,7	44	6,4
46	38,4	46	6,3	46	44,1	46	6,8
49	39,9	49	7,8	49	45,5	49	8,2
51	42,7	51	10,6	51	45,9	51	8,6
53	42,8	53	10,7	53	46,3	53	9,0
56		56	12,1	56		56	9,1
58		58	12,7	58		58	10,5
60		60	12,9	60		60	13,8

Lampiran 2 (Lanjutan)

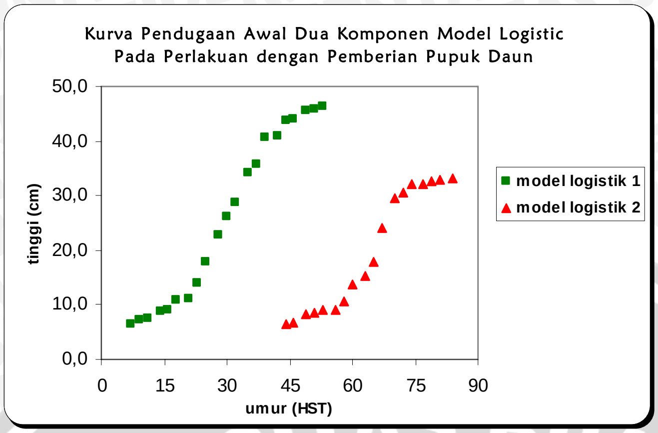
Tanpa Pupuk Daun				Pemberian Pupuk Daun			
Model Logistik 1		Model Logistik 2		Model Logistik 1		Model Logistik 2	
Umur (hst)	Tinggi (cm)	Umur (hst)	Tinggi (cm)	Umur (hst)	Tinggi (cm)	Umur (hst)	Tinggi (cm)
63		63	13,7	63		63	15,4
65		65	14,2	65		65	17,9
67		67	16,6	67		67	24,2
70		70	18,5	70		70	29,5
72		72	22,0	72		72	30,6
74		74	23,4	74		74	32,0
77		77	23,8	77		77	32,2
79		79	24,1	79		79	32,7
81		81	24,4	81		81	32,9
84		84	25,0	84		84	33,2

Data 1. Perlakuan tanpa pemberian pupuk daun



Lampiran 2 (Lanjutan)

Data2. Perlakuan dengan pemberian pupuk daun



Lampiran 3. Langkah-langkah Menentukan Nilai Duga Awal Parameter pada Perlakuan Tanpa Pemberian Pupuk Daun.

1. Model logistik pertama

a. $t = \infty$ $\quad k_1^{(0)} = \lim_{t\to\infty} N(t) = 42{,}8$

b. mengambil dua titik dari sekumpulan data pada model logistik pertama, sehingga terbentuk dua persamaan.

$\Rightarrow t = 25 \quad , N(t) = 14{,}1$

$$N(t) = \frac{k}{1+\exp(-at-b)}$$

$$14{,}1 = \frac{42{,}8}{1+\exp(-25a-b)}$$

$$14{,}1 + 14{,}1\exp(-25a-b) = 42{,}8$$

$$\exp(-25a-b) = 2{,}035$$

$$-25a-b = 0{,}711 \qquad (1)$$

$\Rightarrow t = 42 \quad , N(t) = 31{,}5$

$$N(t) = \frac{k}{1+\exp(-at-b)}$$

$$31{,}5 = \frac{42{,}8}{1+\exp(-42a-b)}$$

$$31{,}5 + 31{,}5\exp(-42a-b) = 42{,}8$$

$$\exp(-42a-b) = 0{,}359$$

$$-42a-b = -1{,}025 \qquad (2)$$

c. mensubstitusikan persamaan (1) dan (2), sehingga didapatkan nilai $a_1^{(0)} = 0{,}102$ dan $b_1^{(0)} = -3{,}261$.

d. mensubstitusikan nilai $a_1^{(0)}$ untuk mendapatkan nilai $\Delta t_1^{(0)}$.

$$a = \frac{\ln(81)}{\Delta t}$$
$$0{,}102 = \frac{\ln(81)}{\Delta t}$$
$$\Delta t_1^{(0)} = 43{,}083$$

e. mensubstitusikan nilai $b_1^{(0)}$ untuk mendapatkan nilai $t_{m1}^{(0)}$.

$$b = -t_m a$$
$$-3{,}261 = -t_m(0{,}102)$$
$$t_{m1}^{(0)} = 31{,}971$$

2. Model logistik ke dua

a. $t = \infty$ $\quad k_2^{(0)} = \lim_{t \to \infty} N(t) = 25$

b. mengambil dua titik dari sekumpulan data pada model logistik ke dua, sehingga terbentuk dua persamaan.

$\Rightarrow t = 60 \quad , N(t) = 12{,}9$

$$N(t) = \frac{k}{1 + \exp(-at - b)}$$
$$12{,}9 = \frac{25}{1 + \exp(-60a - b)}$$
$$12{,}9 + 12{,}9\exp(-60a - b) = 25$$
$$\exp(-60a - b) = 0{,}938$$
$$-60a - b = -1{,}790 \tag{3}$$

$\Rightarrow t = 74 \quad , N(t) = 23{,}4$

$$N(t) = \frac{k}{1 + \exp(-at - b)}$$

$$23{,}4 = \frac{25}{1 + \exp(-74a - b)}$$

$$23{,}4 + 23{,}4\exp(-74a - b) = 25$$

$$\exp(-74a - b) = 0{,}068$$

$$-74a - b = -2{,}688 \qquad (4)$$

c. mensubstitusikan persamaan (3) dan (4), sehingga didapatkan nilai $a_2^{(0)} = 0{,}064$ dan $b_2^{(0)} = -2{,}05$.

d. mensubstitusikan nilai $a_2^{(0)}$ untuk mendapatkan nilai $\Delta t_2^{(0)}$.

$$a = \frac{\ln(81)}{\Delta t}$$

$$0{,}064 = \frac{\ln(81)}{\Delta t}$$

$$\Delta t_2^{(0)} = 68{,}663$$

e. mensubstitusikan nilai $b_2^{(0)}$ untuk mendapatkan nilai $t_{m2}^{(0)}$.

$$b = -t_m a$$

$$-2{,}05 = -t_m(0{,}064)$$

$$t_{m2}^{(0)} = 32{,}031$$

Lampiran 4. Hasil Pendugaan Parameter Model Pertumbuhan *Bi-logistic*

Data 1. Perlakuan tanpa pemberian pupuk daun

***Output* SPSS:**

Non-linear Regression

Iteration	Residual SS	K1 TM1	K2 TM2	DT1	DT2
1	5220,484999	42,8000000 31,9710000	25,0000000 32,0310000	43,0830000	68,6630000
1.1	836,0360770	35,9316518 32,8684379	28,2654968 57,1487122	24,5671357	187,685926
2	836,0360770	35,9316518 32,8684379	28,2654968 57,1487122	24,5671357	187,685926
2.1	10002,34817	19,0431407 35,2563124	52,1297575 54,7181107	26,6614889	2,90215825
2.2	239,9361713	34,8899247 35,3456931	27,8133430 59,0356240	32,3637319	179,487448
3	239,9361713	34,8899247 35,3456931	27,8133430 59,0356240	32,3637319	179,487448
3.1	74,65167250	33,6141697 37,9718737	32,6170429 59,8430319	40,4029994	129,641150
4	74,65167250	33,6141697 37,9718737	32,6170429 59,8430319	40,4029994	129,641150
4.1	70,50618681	27,2449361 37,3063388	46,4661359 68,0640038	36,9601123	137,906147
5	70,50618681	27,2449361 37,3063388	46,4661359 68,0640038	36,9601123	137,906147
5.1	47,50480886	23,2996918 36,8196346	52,2257288 64,4403677	31,3698973	130,727927
6	47,50480886	23,2996918 36,8196346	52,2257288 64,4403677	31,3698973	130,727927
6.1	85,70129958	12,6895587 35,9379009	59,4817224 52,2744284	18,0521874	106,683997
6.2	44,75691854	22,0816738 36,8313750	53,6198994 64,1071219	28,6605770	130,469384
7	44,75691854	22,0816738 36,8313750	53,6198994 64,1071219	28,6605770	130,469384
7.1	41,62169352	19,6235869 36,6280996	56,4567714 62,6354741	24,9886466	126,851296
8	41,62169352	19,6235869 36,6280996	56,4567714 62,6354741	24,9886466	126,851296
8.1	48,81279113	14,2159350 36,2856872	56,5173772 52,7777803	18,2508480	107,992901
8.2	40,79938972	18,7750557 36,6196929	57,4078198 62,1816637	23,2998055	125,870328
9	40,79938972	18,7750557 36,6196929	57,4078198 62,1816637	23,2998055	125,870328
9.1	40,33074400	16,8013064 36,4662359	58,6546844 59,9739831	20,5571640	120,993257
10	40,33074400	16,8013064 36,4662359	58,6546844 59,9739831	20,5571640	120,993257
10.1	40,28798186	17,7462687 36,5858488	59,3241660 62,3221320	21,5716644	125,614849
11	40,28798186	17,7462687 36,5858488	59,3241660 62,3221320	21,5716644	125,614849

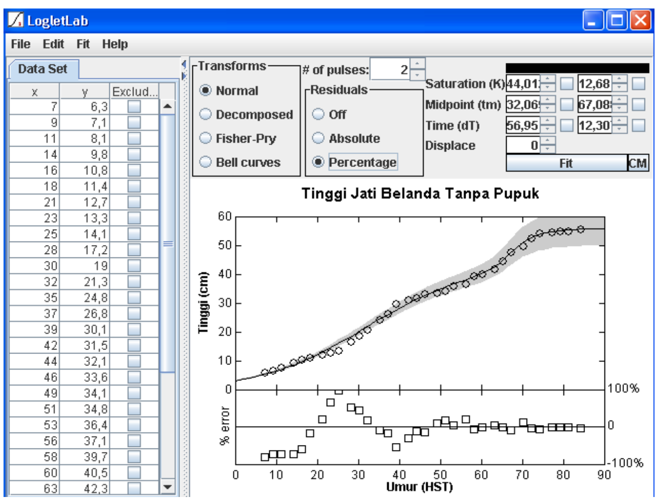
Lampiran 4 (Lanjutan)

Iteration	Residual SS	K1 / TM1	K2 / TM2	DT1	DT2
11.1	40,30282972	16,6807654 / 36,5144958	58,0494539 / 59,1647580	20,4351469	119,788945
11.2	40,26863052	17,0019575 / 36,5240623	58,5986699 / 60,3056879	20,7272737	121,786284
12	40,26863052	17,0019575 / 36,5240623	58,5986699 / 60,3056879	20,7272737	121,786284
12.1	40,26476079	17,5137864 / 36,5721550	59,1096641 / 61,7227323	21,3051321	124,457477
13	40,26476079	17,5137864 / 36,5721550	59,1096641 / 61,7227323	21,3051321	124,457477
13.1	40,26584446	16,9540656 / 36,5333731	58,4651424 / 60,0917246	20,7078498	121,412409
13.2	40,26266076	17,0373061 / 36,5357904	58,6007693 / 60,3786945	20,7841690	121,921935
14	40,26266076	17,0373061 / 36,5357904	58,6007693 / 60,3786945	20,7841690	121,921935
14.1	40,25958922	17,2954119 / 36,5640015	58,8249032 / 61,0557085	21,0892915	123,219016
15	40,25958922	17,2954119 / 36,5640015	58,8249032 / 61,0557085	21,0892915	123,219016
15.1	40,25928020	17,1651859 / 36,5484360	58,7499983 / 60,7596920	20,9243891	122,620854
16	40,25928020	17,1651859 / 36,5484360	58,7499983 / 60,7596920	20,9243891	122,620854
16.1	40,25929837	17,3253139 / 36,5593503	58,9282012 / 61,2189049	21,0963140	123,482584
16.2	40,25900263	17,2759518 / 36,5579493	58,8550241 / 61,0578509	21,0503418	123,189617
17	40,25900263	17,2759518 / 36,5579493	58,8550241 / 61,0578509	21,0503418	123,189617
17.1	40,25898269	17,2056078 / 36,5509809	58,7953965 / 60,8764708	20,9680149	122,837941
18	40,25898269	17,2056078 / 36,5509809	58,7953965 / 60,8764708	20,9680149	122,837941
18.1	40,25891389	17,2606159 / 36,5557813	58,8484617 / 61,0255400	21,0303130	123,121991
19	40,25891389	17,2606159 / 36,5557813	58,8484617 / 61,0255400	21,0303130	123,121991
19.1	40,25890963	17,2257039 / 36,5523242	58,8185134 / 60,9350600	20,9895049	122,946999
20	40,25890963	17,2257039 / 36,5523242	58,8185134 / 60,9350600	20,9895049	122,946999
20.1	40,25889296	17,2531538 / 36,5547093	58,8451289 / 61,0095864	21,0205585	123,088925
21	40,25889296	17,2531538 / 36,5547093	58,8451289 / 61,0095864	21,0205585	123,088925
21.1	40,25889202	17,2354492 / 36,5529764	58,8296454 / 60,9633628	20,9999531	122,999760
22	40,25889202	17,2354492 / 36,5529764	58,8296454 / 60,9633628	20,9999531	122,999760
22.1	40,25888773	17,2491948 / 36,5541782	58,8429285 / 61,0006319	21,0155216	123,070767
23	40,25888773	17,2491948 / 36,5541782	58,8429285 / 61,0006319	21,0155216	123,070767
23.1	40,25888748	17,2404588 / 36,5533135	58,8353556 / 60,9778920	21,0053238	123,026873
24	40,25888748	17,2404588 / 36,5533135	58,8353556 / 60,9778920	21,0053238	123,026873
24.1	40,25888644	17,2473197 / 36,5539097	58,8420134 / 60,9965240	21,0130859	123,062351

Lampiran 4 (Lanjutan)

```
Iteration  Residual SS          K1          K2          DT1         DT2
                                TM1         TM2

    25       40,25888644  17,2473197  58,8420134  21,0130859  123,062351
                          36,5539097  60,9965240
    25.1     40,25888639  17,2428810  58,8381074  21,0079249  123,039964
                          36,5534760  60,9849057
    26       40,25888639  17,2428810  58,8381074  21,0079249  123,039964
                          36,5534760  60,9849057
    26.1     40,25888612  17,2463176  58,8414281  21,0118181  123,057716
                          36,5537768  60,9942228
    27       40,25888612  17,2463176  58,8414281  21,0118181  123,057716
                          36,5537768  60,9942228
    27.1     40,25888610  17,2441210  58,8395106  21,0092580  123,046660
                          36,5535602  60,9884899


Nonlinear Regression Summary Statistics     Dependent Variable TINGGI

  Source                    DF  Sum of Squares  Mean Square

  Regression                 6    46888,14111     7814,69019
  Residual                  28       40,25889        1,43782
  Uncorrected Total         34    46928,40000

  (Corrected Total)         33    10192,23059

  R squared = 1 - Residual SS / Corrected SS =     ,99605
```

Output Loglet Lab:



Lampiran 4 (Lanjutan)

Nilai Prediksi dan Sisaan pada Perlakuan Tanpa Pemberian Pupuk Daun

Umur	Tinggi	Prediksi	Sisaan	Umur	Tinggi	Prediksi	Sisaan
7	6,3	7,505715	-1,205720	46	38,4	36,872940	1,527061
9	7,1	8,002508	-0,902508	49	39,9	39,271800	0,628201
11	8,1	8,534387	-0,434387	51	42,7	40,670370	2,029630
14	9,8	9,410744	0,389256	53	42,8	41,959690	0,840311
16	10,8	10,059990	0,740014	56	44,2	43,759880	0,440122
18	11,4	10,776340	0,623665	58	44,8	44,903260	-0,103258
21	12,7	12,020560	0,679440	60	45,0	46,017710	-1,017710
23	13,3	13,005330	0,294670	63	45,8	47,652150	-1,852150
25	14,1	14,160260	-0,060258	65	46,3	48,722890	-2,422890
28	15,7	16,319050	-0,619054	67	48,7	49,780390	-1,080390
30	17,8	18,112490	-0,312488	70	50,6	51,341800	-0,741800
32	21,1	20,220130	0,879868	72	54,1	52,364900	1,735099
35	23,3	23,902680	-0,602681	74	55,5	53,372150	2,127846
37	27,4	26,560020	0,839981	77	55,9	54,849820	1,050178
39	29,2	29,208580	-0,008582	79	56,2	55,810390	0,389606
42	31,5	32,872810	-1,372810	81	56,5	56,749470	-0,249474
44	33,5	35,002690	-1,502690	84	57,1	58,114600	-1,014600

Data 2. Perlakuan dengan pemberian pupuk daun

Output **SPSS:**

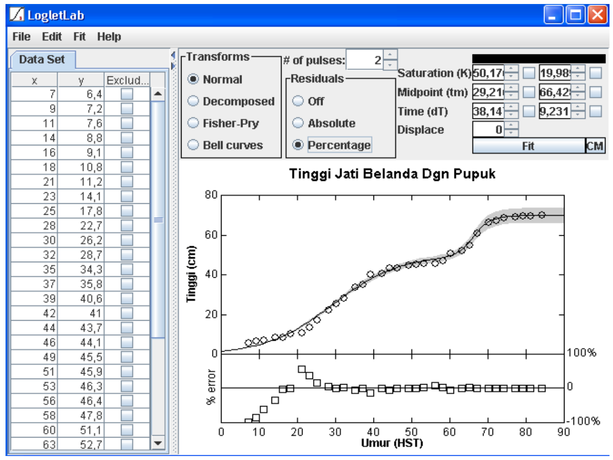
Non-linear Regression

```
Iteration  Residual SS          K1          K2         DT1         DT2
                               TM1         TM2

     1      1401,580950  46,3000000  33,2000000  29,6920000  16,9670000
                         28,1820000  61,3170000
     1.1    124,1922032  51,8836476  18,8765223  38,6778837  15,7471033
                         29,8938087  65,9192430
     2      124,1922032  51,8836476  18,8765223  38,6778837  15,7471033
                         29,8938087  65,9192430
     2.1    71,76476808  51,5992036  18,1381793  39,2510242  5,34122463
                         29,8052216  67,0135456
     3      71,76476808  51,5992036  18,1381793  39,2510242  5,34122463
                         29,8052216  67,0135456
     3.1    57,76530377  50,6778383  19,3415543  38,7751838  8,30963191
                         29,4399369  66,5846354
     4      57,76530377  50,6778383  19,3415543  38,7751838  8,30963191
                         29,4399369  66,5846354
```

```
Iteration  Residual SS           K1           K2          DT1          DT2
                                TM1          TM2

     4.1    56,96340791  50,1954009  19,9522795  38,1918700  9,15099041
                         29,2170382  66,4277114
     5      56,96340791  50,1954009  19,9522795  38,1918700  9,15099041
                         29,2170382  66,4277114
     5.1    56,95851359  50,1787503  19,9854535  38,1547800  9,22373066
                         29,2165386  66,4278116
     6      56,95851359  50,1787503  19,9854535  38,1547800  9,22373066
                         29,2165386  66,4278116
     6.1    56,95847165  50,1762327  19,9889306  38,1482405  9,22998914
                         29,2157015  66,4279800
     7      56,95847165  50,1762327  19,9889306  38,1482405  9,22998914
                         29,2157015  66,4279800
     7.1    56,95847113  50,1760568  19,9891752  38,1475552  9,23046141
                         29,2156860  66,4280050


Nonlinear Regression Summary Statistics     Dependent Variable TINGGI

  Source                 DF  Sum of Squares  Mean Square

  Regression              6    69159,01153    11526,50192
  Residual               28       56,95847        2,03423
  Uncorrected Total      34    69215,97000

  (Corrected Total)      33    15874,76735

  R squared = 1 - Residual SS / Corrected SS =     ,99641


                                              Asymptotic 95 %
                          Asymptotic      Confidence Interval
  Parameter   Estimate    Std. Error      Lower          Upper

  K1       50,176056769  1,080842963 47,962050324 52,390063215
  K2       19,989175189  1,315432732 17,294633386 22,683716993
  DT1      38,147555166  2,023407961 34,002791848 42,292318484
  DT2       9,230461412  1,968371659  5,198434848 13,262487976
  TM1      29,215686045   ,609968167 27,966222895 30,465149195
  TM2      66,428004957   ,486715824 65,431012787 67,424997127
```

Lampiran 4 (Lanjutan)

***Output* Loglet Lab:**

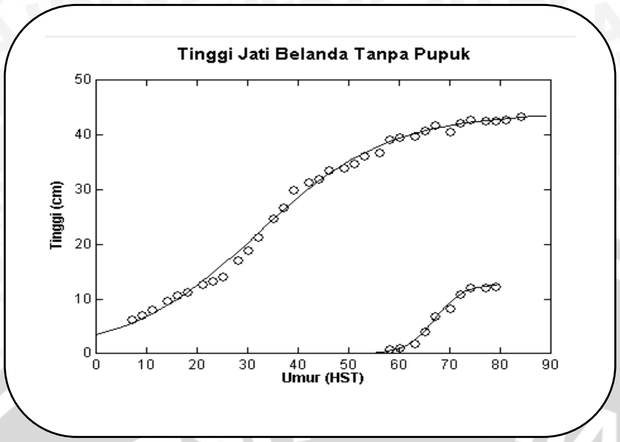


Nilai Prediksi dan Sisaan pada Perlakuan Dengan Pemberian Pupuk Daun

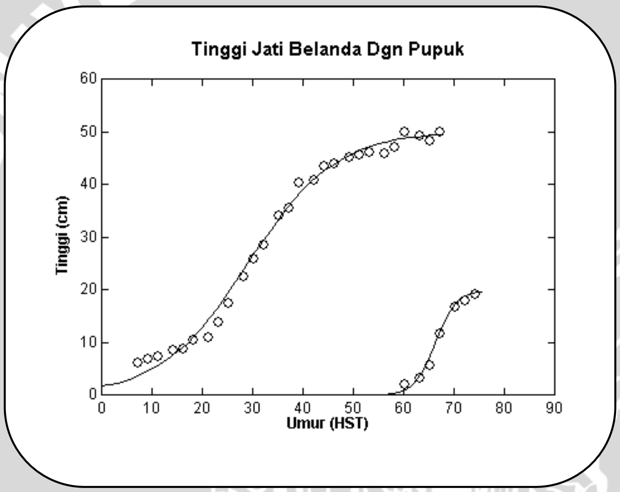
Umur	Tinggi	Prediksi	Sisaan	Umur	Tinggi	Prediksi	Sisaan
7	6,4	3,603318	2,796682	46	44,1	43,836750	0,263251
9	7,2	4,454042	2,745958	49	45,5	45,521150	-0,021147
11	7,6	5,481974	2,118026	51	45,9	46,415860	-0,515863
14	8,8	7,410801	1,389199	53	46,3	47,165680	-0,865679
16	9,1	8,986987	0,113013	56	46,4	48,121360	-1,721360
18	10,8	10,813640	-0,013640	58	47,8	48,773470	-0,973474
21	11,2	14,029550	-2,829550	60	51,1	49,664930	1,435074
23	14,1	16,471260	-2,371260	63	52,7	52,441870	0,258127
25	17,8	19,113240	-1,313240	65	55,2	56,098020	-0,898017
28	22,7	23,334200	-0,634202	67	61,5	60,885420	0,614578
30	26,2	26,220610	-0,020609	70	66,8	66,626000	0,174003
32	28,7	29,077280	-0,377282	72	67,9	68,489010	-0,589014
35	34,3	33,150370	1,149628	74	69,3	69,349360	-0,049360
37	35,8	35,638840	0,161159	77	69,5	69,832480	-0,332482
39	40,6	37,898320	2,701679	79	70,0	69,953480	0,046522
42	41,0	40,816790	0,183212	81	70,2	70,017420	0,182583
44	43,7	42,446320	1,253679	84	70,5	70,069610	0,430390

Lampiran 5. Dua Komponen Model Logistik yang Menyusun Model Pertumbuhan *Bi-logistic*

Data 1. Perlakuan tanpa pemberian pupuk daun

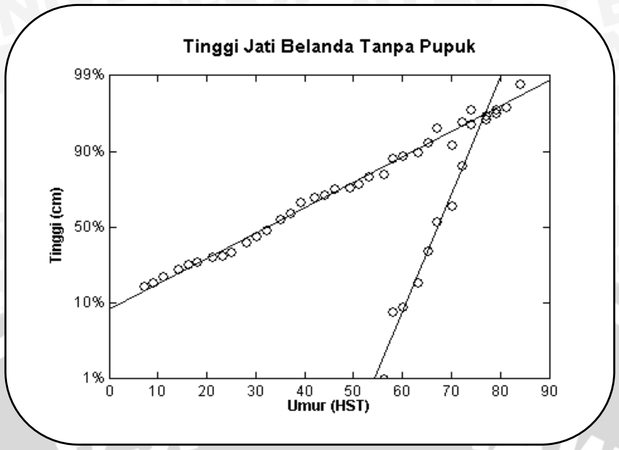


Data 2. Perlakuan dengan pemberian pupuk daun

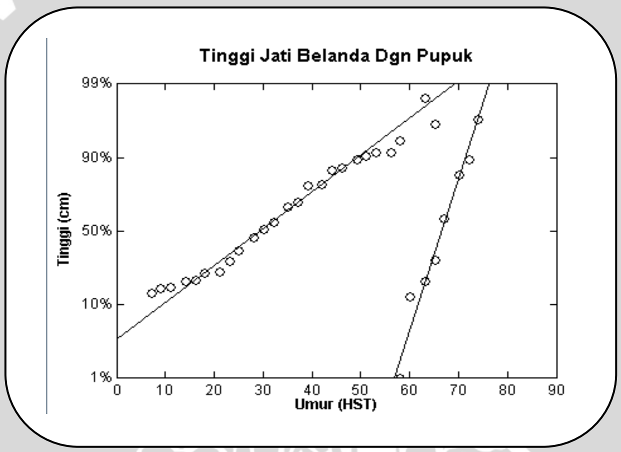


Lampiran 6. Hasil Transformasi Fisher & Pry pada Dua Komponen Model Logistik

Data 1. Perlakuan tanpa pemberian pupuk daun



Data 2. Perlakuan dengan pemberian pupuk daun



Lampiran 7. Hasil Pengujian Asumsi Kenormalan Sisaan *Kolmogorov Smirnov*

Data 1. Perlakuan tanpa pemberian pupuk daun

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residuals
N		34
Normal Parameters a,b	Mean	-,0085
	Std. Deviation	1,10449
Most Extreme Differences	Absolute	,082
	Positive	,064
	Negative	-,082
Kolmogorov-Smirnov Z		,477
Asymp. Sig. (2-tailed)		,977

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Data 2. Perlakuan dengan pemberian pupuk daun

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residuals
N		34
Normal Parameters a,b	Mean	,13208130
	Std. Deviation	1,3069201
Most Extreme Differences	Absolute	,166
	Positive	,166
	Negative	-,092
Kolmogorov-Smirnov Z		,967
Asymp. Sig. (2-tailed)		,307

a. Test distribution is Normal.

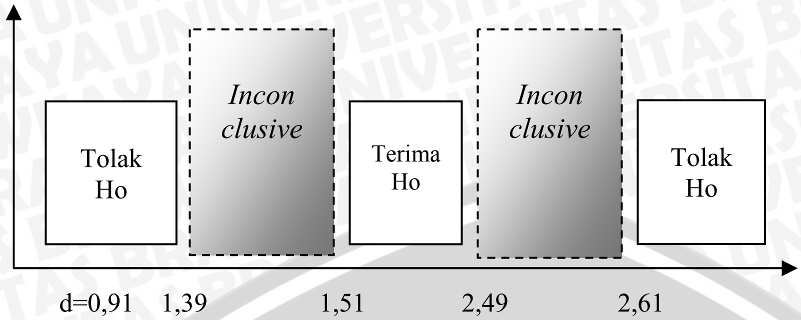
b. Calculated from data.

Lampiran 8. Hasil Pengujian Asumsi Kehomogenan Ragam Sisaan J. Szroeter

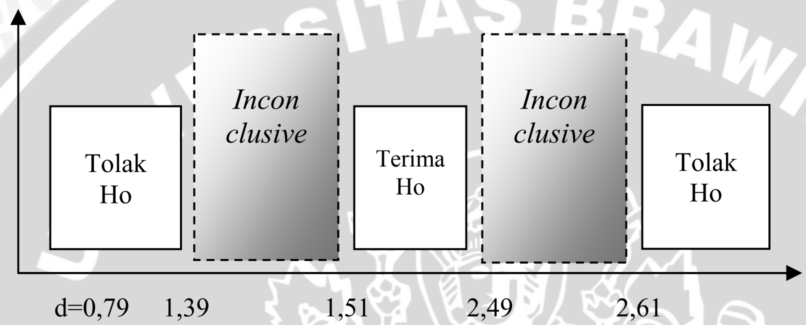
Perlakuan	Q	$Z_{0,025}$	Keputusan
Tanpa pupuk daun	1,740	1,96	Terima H_0
Dengan pupuk daun	1,835	1,96	Terima H_0

Lampiran 9. Hasil Pengujian Asumsi Autokorelasi

Data 1. Perlakuan tanpa pemberian pupuk daun



Data 2. Perlakuan dengan pemberian pupuk daun



Lampiran 10. Hasil Pendugaan Parameter Model Pertumbuhan *Bi-logistic* pada Data Transformasi

Data 1. Perlakuan tanpa pemberian pupuk daun

***Output* SPSS:**

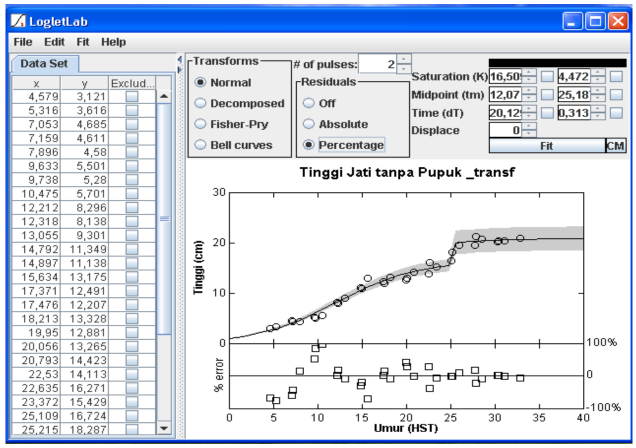
Non-linear Regression

Iteration	Residual SS	K1	K2	DT1	DT2
		TM1	TM2		
1	297,1642897	14,1130000	10,9970000	17,2330000	14,9470000
		10,7690000	21,1330000		
1.1	71996,84153	69,4765494	-49,420282	43,8200154	-16,332792
		32,9303351	43,2105362		
1.2	76,83449467	18,8130221	3,74200576	19,9016004	15,8447639
		12,7864255	26,2611445		
2	76,83449467	18,8130221	3,74200576	19,9016004	15,8447639
		12,7864255	26,2611445		
2.1	392,6114577	23,4015283	-9,0969863	20,1616526	-69,703454
		13,6375413	20,9840309		
2.2	22,87402251	17,8461347	3,89843884	22,1753232	2,95772722
		12,8226095	26,4747741		
3	22,87402251	17,8461347	3,89843884	22,1753232	2,95772722
		12,8226095	26,4747741		
3.1	17,08089542	15,9250470	4,94591793	19,4048238	4,68886423
		11,6802737	24,6583157		
4	17,08089542	15,9250470	4,94591793	19,4048238	4,68886423
		11,6802737	24,6583157		
4.1	15,50235529	16,2070617	4,83423686	19,4383397	3,16509764
		11,8586536	25,2649650		
5	15,50235529	16,2070617	4,83423686	19,4383397	3,16509764
		11,8586536	25,2649650		
5.1	15,00003504	16,3666638	4,62735038	19,7600950	1,83794687
		11,9691250	25,2172701		
6	15,00003504	16,3666638	4,62735038	19,7600950	1,83794687
		11,9691250	25,2172701		
6.1	14,82086985	16,4092918	4,60698797	19,8593994	1,28851577
		11,9985210	25,2782960		
7	14,82086985	16,4092918	4,60698797	19,8593994	1,28851577
		11,9985210	25,2782960		
7.1	14,79161561	16,4067964	4,59705208	19,8786544	1,18004440
		11,9976714	25,2473529		
8	14,79161561	16,4067964	4,59705208	19,8786544	1,18004440
		11,9976714	25,2473529		
8.1	14,77937811	16,4199887	4,57863302	19,9128049	1,06778653
		12,0070902	25,2417489		
9	14,77937811	16,4199887	4,57863302	19,9128049	1,06778653
		12,0070902	25,2417489		
9.1	14,76224325	16,4318888	4,56005120	19,9465484	,949487179
		12,0156713	25,2319961		
10	14,76224325	16,4318888	4,56005120	19,9465484	,949487179
		12,0156713	25,2319961		
10.1	14,69790904	16,4526663	4,52972004	20,0024641	,744423753
		12,0306507	25,2163827		
11	14,69790904	16,4526663	4,52972004	20,0024641	,744423753
		12,0306507	25,2163827		
11.1	14,38342068	16,4763521	4,49147230	20,0643388	,287981197
		12,0473513	25,1833888		

```
Iteration  Residual SS          K1          K2         DT1         DT2
                                TM1         TM2

    12      14,38342068  16,4763521  4,49147230  20,0643388  ,287981197
                         12,0473513  25,1833888
    12.1    14,37219810  16,5085063  4,47297636  20,1253779  ,310700921
                         12,0694764  25,1869229
    13      14,37219810  16,5085063  4,47297636  20,1253779  ,310700921
                         12,0694764  25,1869229
    13.1    14,37214463  16,5093414  4,47249700  20,1289529  ,312532660
                         12,0698516  25,1872030
    14      14,37214463  16,5093414  4,47249700  20,1289529  ,312532660
                         12,0698516  25,1872030
    14.1    14,37214460  16,5094422  4,47243052  20,1293162  ,312546527
                         12,0699121  25,1872056


Nonlinear Regression Summary Statistics     Dependent Variable TINGGI

  Source                 DF  Sum of Squares  Mean Square

  Regression              6     6548,24557     1091,37426
  Residual               27       14,37214         ,53230
  Uncorrected Total      33     6562,61772

  (Corrected Total)      32     1153,63628

  R squared = 1 - Residual SS / Corrected SS =     ,98754


                                             Asymptotic 95 %
                         Asymptotic        Confidence Interval
  Parameter   Estimate   Std. Error        Lower          Upper

  K1        16,509442219   ,782193352 14,904514029 18,114370409
  K2         4,472430521   ,651780316  3,135087778  5,809773265
  DT1       20,129316248  2,014620552 15,995656320 24,262976175
  DT2         ,312546527   ,239188857  -,178228469   ,803321524
  TM1       12,069912110   ,594625949 10,849840443 13,289983778
  TM2       25,187205583   ,041863347 25,101309089 25,273102077
_
```

Lampiran 10 (Lanjutan)

***Output* Loglet Lab:**



Nilai Prediksi dan Sisaan pada Perlakuan Tanpa Pemberian Pupuk Daun (Data Transformasi)

Umur	Tinggi	Prediksi	Sisaan	Umur	Tinggi	Prediksi	Sisaan
4,579413	3,1	2,692878	0,428594	18,21345	13,3	13,086830	0,241622
5,316388	3,6	3,075373	0,540889	19,95043	12,9	14,002990	-1,121810
7,053363	4,7	4,138034	0,546716	20,05589	13,3	14,051550	-0,786119
7,158826	4,6	4,209836	0,401342	20,79287	14,4	14,369480	0,053892
7,895801	4,6	4,733972	-0,154306	22,52984	14,1	14,982360	-0,869415
9,632776	5,5	6,109123	-0,608365	22,6353	16,3	15,013970	1,256917
9,738239	5,3	6,197992	-0,918200	23,37228	15,4	15,218850	0,210111
10,47521	5,7	6,832161	-1,131280	25,10925	16,7	16,724100	-0,000351
12,21219	8,3	8,382909	-0,087235	25,21472	18,3	18,286710	0,000313
12,31765	8,1	8,477892	-0,339906	25,95169	19,8	20,221270	-0,439330
13,05463	9,3	9,138595	0,162669	27,68867	19,7	20,453700	-0,792597
14,7916	11,3	10,637400	0,711381	27,79413	21,5	20,465340	0,995884
14,89706	11,1	10,724220	0,414271	28,53111	21,0	20,540050	0,426638
15,63404	13,2	11,313390	1,862076	30,26808	20,5	20,676910	-0,194339
17,37102	12,5	12,561040	-0,069563	30,37354	20,5	20,683730	-0,153760
17,47648	12,2	12,629790	-0,422430	31,11052	20,6	20,727350	-0,086839
18,21345	13,3	13,086830	0,241622				

Lampiran 10 (Lanjutan)

Data 2. Perlakuan dengan pemberian pupuk daun

***Output* SPSS:**

Non-linear Regression

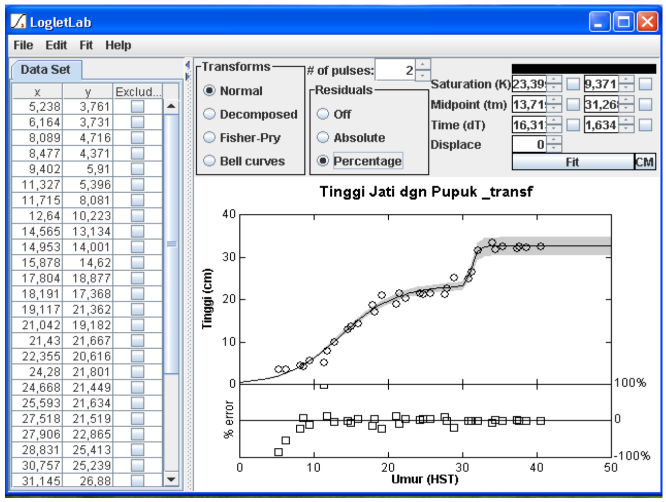
```
Iteration  Residual SS          K1          K2         DT1         DT2
                               TM1         TM2

     1      370,2006585  21,5190000  14,7350000  10,0100000  11,7500000
                         11,6130000  28,3740000
     1.1    59,80800367  23,8871634  9,28548908  16,3733520  6,68087269
                         13,4238099  31,8279103
     2      59,80800367  23,8871634  9,28548908  16,3733520  6,68087269
                         13,4238099  31,8279103
     2.1    56,48563149  23,0933242  9,04827559  15,9453442  2,14247007
                         13,5765019  30,4952821
     3      56,48563149  23,0933242  9,04827559  15,9453442  2,14247007
                         13,5765019  30,4952821
     3.1    40,90628313  22,9009787  9,99758663  15,6556215  5,15642372
                         13,5051856  30,8838108
     4      40,90628313  22,9009787  9,99758663  15,6556215  5,15642372
                         13,5051856  30,8838108
     4.1    35,98652701  23,2416092  9,51646152  16,0446497  3,02410383
                         13,6513818  31,2253607
     5      35,98652701  23,2416092  9,51646152  16,0446497  3,02410383
                         13,6513818  31,2253607
     5.1    33,70262291  23,3540301  9,38548189  16,2341974  1,75386782
                         13,6987351  31,2592443
     6      33,70262291  23,3540301  9,38548189  16,2341974  1,75386782
                         13,6987351  31,2592443
     6.1    33,65348896  23,3879708  9,37723800  16,2988320  1,64573012
                         13,7124756  31,2664752
     7      33,65348896  23,3879708  9,37723800  16,2988320  1,64573012
                         13,7124756  31,2664752
     7.1    33,65294571  23,3941087  9,37143641  16,3112338  1,63545269
                         13,7146049  31,2675770
     8      33,65294571  23,3941087  9,37143641  16,3112338  1,63545269
                         13,7146049  31,2675770
     8.1    33,65293630  23,3948451  9,37072438  16,3130850  1,63419488
                         13,7148224  31,2677292
     9      33,65293630  23,3948451  9,37072438  16,3130850  1,63419488
                         13,7148224  31,2677292
     9.1    33,65293613  23,3949505  9,37062188  16,3133687  1,63402954
                         13,7148535  31,2677487
```

```
Nonlinear Regression Summary Statistics     Dependent Variable TINGGI

  Source                 DF  Sum of Squares  Mean Square

  Regression              6    16119,27568     2686,54595
  Residual               27       33,65294        1,24641
  Uncorrected Total      33    16152,92861

  (Corrected Total)      32     3172,59444

  R squared = 1 - Residual SS / Corrected SS =     ,98939
```

Lampiran 10 (Lanjutan)

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval Lower	Upper
K1	23,394950515	,613375531	22,136407883	24,653493148
K2	9,370621875	,728905765	7,875030782	10,866212968
DT1	16,313368727	1,380370201	13,481083025	19,145654430
DT2	1,634029538	,716142666	,164626162	3,103432914
TM1	13,714853494	,363208847	12,969610499	14,460096490
TM2	31,267748671	,172648587	30,913503032	31,62199431

***Output* Loglet Lab:**



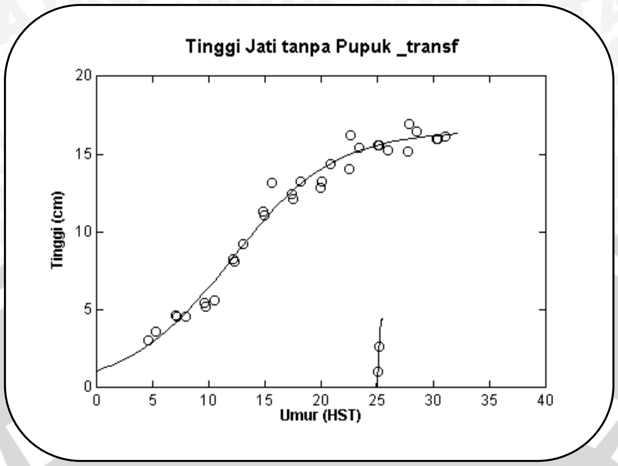
Lampiran 10 (Lanjutan)

Nilai Prediksi dan Sisaan pada Perlakuan Dengan Pemberian Pupuk Daun (Data Transformasi)

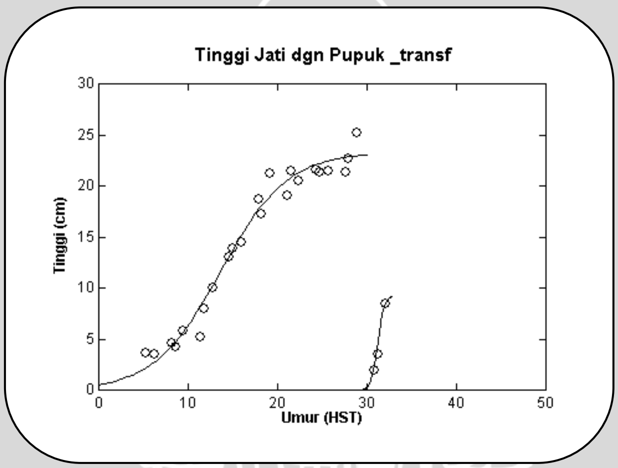
Umur	Tinggi	Prediksi	Sisaan	Umur	Tinggi	Prediksi	Sisaan
5,238283	3,8	2,164210	1,596506	24,28015	21,8	22,110900	-0,309713
6,163507	3,7	2,705923	1,024883	24,66798	21,4	22,231950	-0,783104
8,088731	4,7	4,213849	0,502001	25,59321	21,6	22,478460	-0,844572
8,476567	4,4	4,586921	-0,215936	27,51843	21,5	22,840920	-1,321990
9,401791	5,9	5,575789	0,333979	27,90627	22,9	22,895460	-0,030271
11,32701	5,4	8,059955	-2,663750	28,83149	25,4	23,016290	2,396557
11,71485	8,1	8,620505	-0,539252	30,75671	25,2	25,052080	0,187387
12,64007	10,2	10,015870	0,206956	31,14455	26,9	27,099230	-0,219584
14,5653	13,1	13,031540	0,102957	32,06977	31,8	31,628490	0,207685
14,95313	14,0	13,630510	0,370775	33,995	33,8	32,660670	1,089965
15,87836	14,6	15,012800	-0,392367	34,38283	32,0	32,674390	-0,671912
17,80358	18,9	17,558480	1,318486	35,30806	32,8	32,695940	0,115404
18,19142	17,4	18,004050	-0,636461	37,23328	32,3	32,724180	-0,465171
19,11664	21,4	18,968270	2,393234	37,62112	32,7	32,728280	-0,076748
21,04186	19,2	20,541030	-1,358980	38,54634	32,6	32,736490	-0,153660
21,4297	21,7	20,792650	0,874438	40,47157	32,8	32,748250	0,027104
22,35492	20,6	21,315700	-0,699563				

Lampiran 11. Dua Komponen Model Logistik pada Data Transformasi yang Menyusun Model Pertumbuhan *Bi-logistic*

Data 1. Perlakuan tanpa pemberian pupuk daun

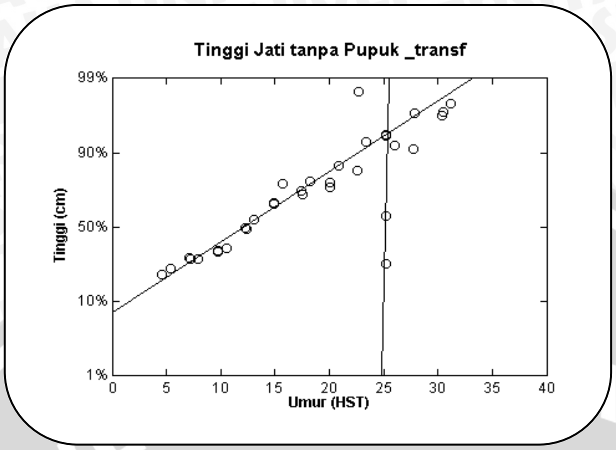


Data 2. Perlakuan dengan pemberian pupuk daun

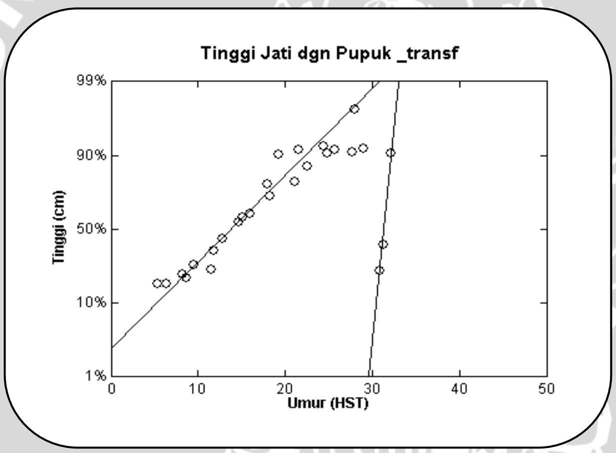


Lampiran 12. Hasil Transformasi Fisher & Pry untuk Data Transformasi pada Dua Komponen Model Logistik

Data 1. Perlakuan tanpa pemberian pupuk daun



Data 2. Perlakuan dengan pemberian pupuk daun



Lampiran 13. Hasil Pengujian Asumsi Kenormalan Sisaan *Kolmogorov Smirnov* pada Data Transformasi

Data 1. Perlakuan tanpa pemberian pupuk daun

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residuals
N		33
Normal Parameters[a,b]	Mean	,00974884
	Std. Deviation	,67009813 4
Most Extreme Differences	Absolute	,090
	Positive	,090
	Negative	-,077
Kolmogorov-Smirnov Z		,519
Asymp. Sig. (2-tailed)		,951

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Data 2. Perlakuan dengan pemberian pupuk daun

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residuals
N		33
Normal Parameters[a,b]	Mean	,04137221
	Std. Deviation	1,0246410
Most Extreme Differences	Absolute	,132
	Positive	,132
	Negative	-,103
Kolmogorov-Smirnov Z		,761
Asymp. Sig. (2-tailed)		,608

a. Test distribution is Normal.

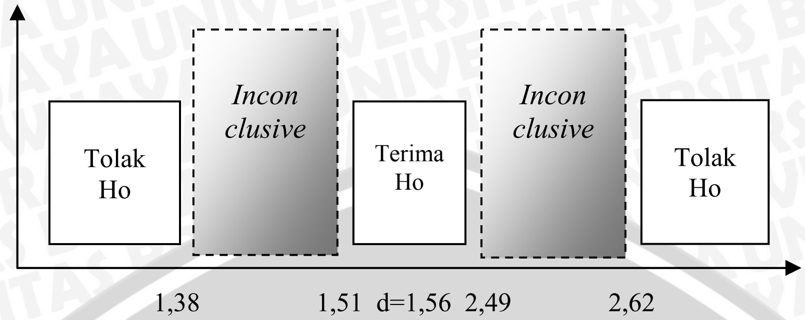
b. Calculated from data.

Lampiran 14. Hasil Pengujian Asumsi Kehomogenan Ragam Sisaan J. Szroeter pada Data Transformasi

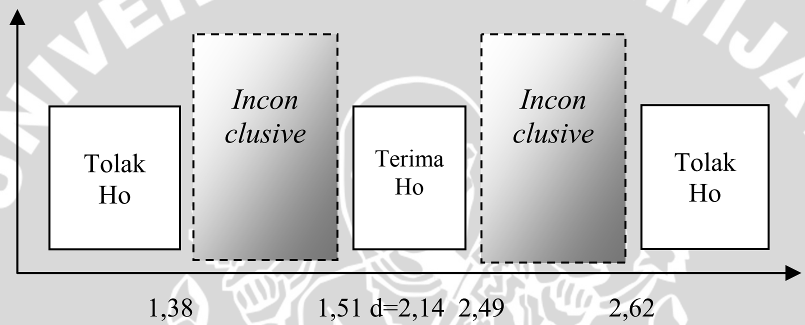
Perlakuan	Q	$Z_{0,025}$	Keputusan
Tanpa pupuk daun	1,476	1,96	Terima H_0
Dengan pupuk daun	1,405	1,96	Terima H_0

Lampiran 15. Hasil Pengujian Asumsi Autokorelasi pada Data Transformasi

Data 1. Perlakuan tanpa pemberian pupuk daun



Data 2. Perlakuan dengan pemberian pupuk daun



Lampiran 16. Hasil Analisis Data Gabungan

Output **SPSS:**

Non-linear Regression

Iteration	Residual SS	K1 / TM1	K2 / TM2	DT1	DT2
1	356,5322480	21,8800000 / 14,2400000	11,3100000 / 32,3300000	21,4700000	5,11800000
1.1	356,5299761	21,8882558 / 14,2461459	11,3170916 / 32,3319496	21,4686469	5,12035162
2	356,5299761	21,8882558 / 14,2461459	11,3170916 / 32,3319496	21,4686469	5,12035162
2.1	356,5299723	21,8889773 / 14,2465357	11,3157764 / 32,3317047	21,4700156	5,11834153
3	356,5299723	21,8889773 / 14,2465357	11,3157764 / 32,3317047	21,4700156	5,11834153
3.1	356,5299720	21,8891299 / 14,2466259	11,3158083 / 32,3318614	21,4703095	5,11851416

Nonlinear Regression Summary Statistics   Dependent Variable TINGGI

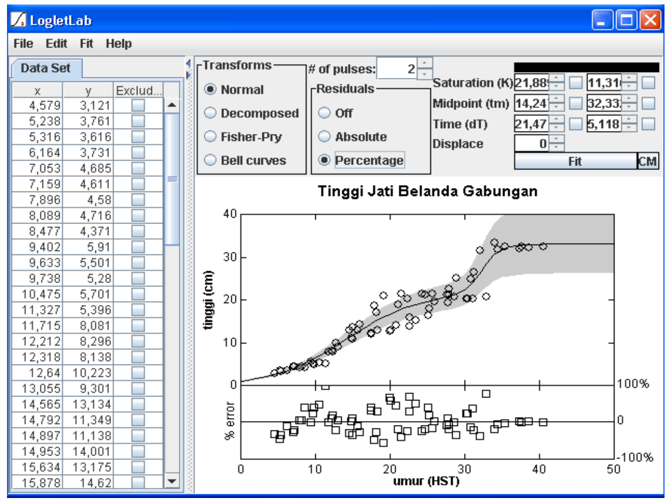
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	6	22359,01642	3726,50274
Residual	60	356,52997	5,94217
Uncorrected Total	66	22715,54640	
(Corrected Total)	65	5141,72470	

R squared = 1 - Residual SS / Corrected SS = ,93066

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval Lower	Upper
K1	21,889129889	1,660389613	18,567856162	25,210403615
K2	11,315808269	2,145981142	7,023206865	15,608409672
DT1	21,470309541	3,510095741	14,449072675	28,491546407
DT2	5,118514160	2,447880420	,222024287	10,015004034
TM1	14,246625948	1,060924803	12,124460376	16,368791519
TM2	32,331861449	,659042122	31,013580927	33,650141971

Lampiran 16 (Lanjutan)

***Output* Loglet Lab:**



Nilai Prediksi dan Sisaan pada Data Gabungan

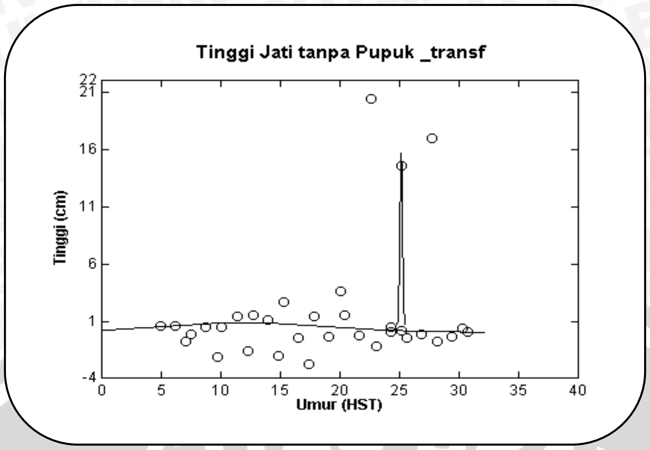
Umur	Tinggi	Prediksi	Sisaan	Umur	Tinggi	Prediksi	Sisaan
4,579413	3,121472	2,653942	0,467529	20,792866	14,423367	17,352957	-2,929590
5,238283	3,760716	2,985376	0,775341	21,041864	19,182043	17,533638	1,648406
5,316388	3,616262	3,026895	0,589367	21,429700	21,667088	17,804246	3,862842
6,163507	3,730806	3,508886	0,221920	22,354924	20,616140	18,397585	2,218556
7,053363	4,684749	4,080136	0,604613	22,529841	14,112948	18,501704	-4,388757
7,158826	4,611178	4,152385	0,458793	22,635304	16,270889	18,563279	-2,292390
7,895801	4,579666	4,684602	-0,104936	23,372279	15,428957	18,969117	-3,540161
8,088731	4,715850	4,831858	-0,116008	24,280148	21,801185	19,414336	2,386849
8,476567	4,370985	5,137814	-0,766830	24,667983	21,448842	19,588106	1,860736
9,401791	5,909768	5,920502	-0,010733	25,109254	16,723747	19,775481	-3,051735
9,632776	5,500758	6,127197	-0,626439	25,214717	18,287024	19,818806	-1,531781
9,738239	5,279792	6,223022	-0,943230	25,593207	21,633887	19,970299	1,663588
10,475214	5,700885	6,917082	-1,216197	25,951692	19,781941	20,109040	-0,327100
11,327014	5,396209	7,768254	-2,372046	27,518431	21,518931	20,709177	0,809755
11,714850	8,081253	8,171028	-0,089775	27,688667	19,661101	20,780296	-1,119195

Lampiran 16 (Lanjutan)

Umur	Tinggi	Prediksi	Sisaan	Umur	Tinggi	Prediksi	Sisaan
12,212189	8,295675	8,699352	-0,403677	27,794130	21,461227	20,825751	0,635477
12,317652	8,137986	8,812899	-0,674913	27,906267	22,865193	20,875450	1,989743
12,640074	10,222828	9,162900	1,059928	28,531105	20,966690	21,187769	-0,221079
13,054627	9,301264	9,618363	-0,317099	28,831491	25,412849	21,367808	4,045041
14,565298	13,134492	11,305733	1,828759	30,268080	20,482573	22,736165	-2,253592
14,791602	11,348785	11,558975	-0,210189	30,373543	20,529968	22,883929	-2,353962
14,897065	11,138492	11,676780	-0,538289	30,756714	25,239468	23,490405	1,749064
14,953133	14,001290	11,739343	2,261947	31,110518	20,640514	24,150617	-3,510104
15,634040	13,175467	12,493733	0,681734	31,144550	26,879648	24,219143	2,660504
15,878357	14,620432	12,761166	1,859266	32,069774	31,836177	26,355467	5,480710
17,371015	12,491476	14,336212	-1,844736	32,847493	21,051060	28,300958	-7,249898
17,476478	12,207358	14,442717	-2,235358	33,994998	33,750632	30,632609	3,118023
17,803581	18,876962	14,768307	4,108655	34,382834	32,002475	31,188753	0,813723
18,191417	17,367588	15,144537	2,223051	35,308057	32,811349	32,089960	0,721388
18,213453	13,328451	15,165581	-1,837130	37,233281	32,259005	32,830405	-0,571400
19,116641	21,361506	15,995313	5,366193	37,621117	32,651528	32,891429	-0,239901
19,950428	12,881182	16,701198	-3,820016	38,546341	32,582834	32,987101	-0,404267
20,055891	13,265426	16,786204	-3,520778	40,471565	32,775356	33,079045	-0,303689

Lampiran 17. Kurva Laju Pertumbuhan pada Pohon Jati Belanda

Data 1. Perlakuan tanpa pemberian pupuk daun



Data 2. Perlakuan dengan pemberian pupuk daun