

**PENERAPAN MODEL GOMPERTZ DAN LOGISTIC
PADA PERTUMBUHAN BERAT BADAN BALITA**

Skripsi

Oleh:
Aristya Rachmadani
0710953019-95



**PROGRAM STUDI STATISTIKA
JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2011**



**PENERAPAN MODEL GOMPERTZ DAN LOGISTIC PADA
PERTUMBUHAN BERAT BADAN BALITA**

Skripsi

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

Oleh:
Aristya Rachmadani
0710953019-95



**PROGRAM STUDI STATISTIKA
JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2011**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENERAPAN MODEL *GOMPERTZ* DAN *LOGISTIC*
PADA PERTUMBUHAN BERAT BADAN BALITA**

oleh :
ARISTYA RACHMADANI
0710953019-95

**Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal 27 Juli 2011
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Statistika**

Pembimbing,

Dr. Ir. Ni Wayan Surya W., MS
NIP. 19551102 198103 2 001

Ketua Penguji,

Dr. Ir. Solimin, MS
NIP. 19611215 198703 1 002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Dr. Abdul Rauf Alghofari, MSc.
NIP. 19670907 199203 1 001

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : ARISTYA RACHMADANI
NIM : 0710953019-95
Program Studi : Statistika
Penulisan Skripsi
Berjudul :
Penerapan model *gompertz* dan *logistic* pada
pertumbuhan berat badan balita

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 di kemudian 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, 27 Juli 2011
yang menyatakan,

ARISTYA RACHMADANI
NIM. 0710953019

PENERAPAN MODEL *GOMPERTZ* DAN *LOGISTIC* PADA PERTUMBUHAN BERAT BADAN BALITA

ABSTRAK

Model pertumbuhan yang umumnya mengikuti bentuk sigmoid diantaranya model *Gompertz* dan *Logistic* yang memuat tiga parameter. Tujuan penelitian adalah menerapkan dan membandingkan model pertumbuhan *Gompertz* dan *Logistic* dalam menjelaskan pola pertumbuhan serta mengetahui kecepatan maksimum pertumbuhan berat badan balita yang dibagi dalam tiga kelompok umur. Metode pendugaan parameter yang digunakan adalah metode kuadrat terkecil nonlinier dengan iterasi *Lavenberg Marquard*. Data diperoleh dari hasil pencatatan berat badan balita melalui Kartu Menuju Sehat (KMS) di RT 01 dan RT 02 RW 05 Kelurahan Bandulan Kota Malang Jawa Timur. Berdasarkan kriteria pemilihan model terbaik disimpulkan bahwa pola pertumbuhan balita perempuan umur 0-12 bulan, 13-36 bulan dan balita laki-laki umur 0-12 bulan dapat dijelaskan oleh model pertumbuhan *Gompertz* dengan kecepatan pertumbuhan maksimum untuk masing-masing kelompok umur adalah 0.881 kg/bulan, 0.116 kg/bulan, dan 0.871 kg/bulan. Sedangkan model pertumbuhan *Logistic* dapat menjelaskan pola pertumbuhan balita laki-laki umur 13-36 bulan, 37-60 bulan dan balita perempuan 37-60 bulan dengan kecepatan pertumbuhan maksimum untuk masing-masing kelompok umur adalah 0.146 kg/bulan, 0.232 kg/bulan, dan 0.056 kg/bulan.

Kata kunci : Model *Gompertz*, Model *Logistic*, Iterasi *Lavenberg Marquard*

APPLICATION OF *GOMPERTZ* AND *LOGISTIC* MODELS IN THE WEIGHT GROWTH OF TODDLERS

ABSTRACT

Growth model which generally follows the sigmoid shape is *Gompertz* and *Logistic* models which contains three parameters. The aim of research is to apply and compare the *Gompertz* and *Logistic* models to explain the trend of weight growth and to determine the maximum growth rate of toddlers which is divided into three age groups. The parameter estimation method used is non-linier least square method with *Lavenberg Marquard* iteration. The data obtained from the recording of weight of toddler through *Growth Monitoring Card* (GMP) at RT 01 and RT 02 RW 05 Bandulan administration village, Malang East Java. Based on the criteria of selecting the best model, it is concluded that the growth model of girls toddler aged 0-12 months, aged 13-36 months, and boys toddler aged 0-12 months can be explained by the *Gompertz* growth model with the maximum growth rate for each age group is 0.881 kg/month, 0.116 kg/month, and 0.871 kg/month respectively . Whereas the *Logistic* growth model explains the growth model of boys toddler aged 13-36 months, aged 36-37 months and girls toddler aged 37-60 months with the maximum growth rate for each age group is 0.146 kg/month, 0.232 kg/month and 0.056 kg/month respectively.

Key words: *Gompertz* Model, *Logistic* Model, *Lavenberg Marquard* Iteration



KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbilalamin, puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “*Penerapan model Gompertz dan Logistic pada pertumbuhan berat badan balita*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dalam bidang Statistika. Isi dari Skripsi adalah menerapkan kedua model tersebut dan membandingkannya sehingga diperoleh penduga yang tepat mengenai hal-hal yang terkait dengan pertumbuhan balita. Dalam proses penyusunan Skripsi ini banyak pihak yang telah membantu baik berupa bimbingan, saran maupun motivasi. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Ni Wayan Surya W., MS. selaku dosen pembimbing atas konsultasi, bimbingan, dan motivasi dalam penyusunan Skripsi.
2. Bapak Dr. Ir. Solimun, MS. selaku ketua penguji atas bimbingan dan saran dalam penyusunan Skripsi.
3. Ibu Ir. Heni Kusdarwati,MS. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan pada Skripsi.
4. Bapak dan Ibu Dosen Statistika atas didikan selama kuliah.
5. Kedua orang tua (Caya Wahid dan Safura Oeli,SE), adik-adik (Nadia, Ady, dan Fika) dan seluruh keluarga atas dukungan, pengorbanan, kasih sayang, dan doa yang tulus.
6. Teman-teman Statistika angkatan 2007, 2006, dan 2005 atas kebersamaan, dukungan, dan kehangatan selama ini.
7. Semua pihak yang telah membantu penyelesaian penyusunan Skripsi.

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

Malang, 27 Juli 2011

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Regresi Nonlinier	5
2.2 Model Pertumbuhan <i>Gompertz</i>	7
2.3 Model Pertumbuhan <i>Logistic</i>	10
2.4 Pendugaan Parameter Model Nonlinier	13
2.5 Iterasi <i>Lavenerg Marquard</i>	14
2.6 Teori Balita Sehat	17
2.7 Pengujian Asumsi	19
2.7.1 Asumsi Kenormalan Sisaan	20
2.7.2 Asumsi Kehomogenan Ragam Sisaan.....	20
2.7.3 Asumsi Non Autokorelasi Sisaan.....	21

	Halaman
2.8 Pengujian Parameter Model Nonlinier	25
2.8.1 Uji Serempak	25
2.8.2 Uji Parsial	26
2.9 Kriteria Pemilihan Model Terbaik	27
2.9.1 Koefisien Determinasi (R^2).....	27
2.9.2 Akaike's information criterion (AIC)	27
2.10 Kartu Menuju Sehat (KMS).....	29
 BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Sumber Data	31
3.2 Metode Penelitian	31
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Diagram Pencar	35
4.2 Pendugaan Parameter	39
4.3 Pengujian Asumsi	40
4.4 Pendugaan Parameter Data Transformasi.....	41
4.5 Pengujian Asumsi Data Transformasi.....	41
4.6 Pengujian Parameter Masing-masing Model Nonlinier.....	42
4.7 Model Pertumbuhan Balita Perempuan dan Balita Laki-laki.....	46
4.8 Pemilihan Model Terbaik.....	52
 BAB V KESIMPULAN	
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58
 DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	63

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar	2.1	Kurva pertumbuhan <i>Gompertz</i>
Gambar	2.2	Beberapa bentuk kurva <i>Gompertz</i> secara Teori.....
Gambar	2.3	Kurva pertumbuhan <i>Logistic</i>
Gambar	2.4	Kurva pertumbuhan <i>Logistic</i> dengan berbagai nilai K.....
Gambar	2.5	Kaidah keputusan pada statistik d.....
Gambar	2.6	Pola pertumbuhan.....
Gambar	3.1	Diagram alir analisis.....
Gambar	4.1	Diagram pencar rata-rata berat badan balita terhadap umur
Gambar	4.2	Diagram pencar berat rata-rata bayi perempuan umur 0-12 bulan
Gambar	4.3	Diagram pencar berat rata-rata batita perempuan umur 13-36 bulan.....
Gambar	4.4	Diagram pencar berat rata-rata batita perempuan umur 37-60 bulan.....
Gambar	4.5	Diagram pencar berat rata-rata bayi laki-laki umur 0-12 bulan
Gambar	4.6	Diagram pencar berat rata-rata batita laki-laki umur 13-36 bulan
Gambar	4.7	Diagram pencar berat rata-rata balita laki-laki umur 13-36 bulan
Gambar	4.8	Model pertumbuhan balita perempuan 0-12 bulan
Gambar	4.9	Model pertumbuhan balita perempuan 13-36 bulan
Gambar	4.10	Model pertumbuhan balita perempuan 37-60 bulan
Gambar	4.11	Model pertumbuhan balita laki-laki 0-12 bulan
Gambar	4.12	Model pertumbuhan balita perempuan 13-36 bulan

Gambar 4.13	Model pertumbuhan balita perempuan 37-60 bulan	49
Gambar 4.14	Model pertumbuhan balita perempuan berdasarkan model terbaik pada masing-masing kelompok umur	54
Gambar 4.15	Model pertumbuhan balita laki-laki berdasarkan model terbaik pada masing-masing kelompok umur	55



DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1	Rata-rata berat badan balita 0-12 bulan	17
Tabel 2.2	Nilai kritis uji <i>Kolmogorov-Smirnov</i>	20
Tabel 2.3	Analisis Ragam.....	25
Tabel 4.1	Model <i>Gompertz</i>	39
Tabel 4.2	Model <i>Logistic</i>	39
Tabel 4.3	Nilai duga dan hasil pendugaan parameter model pertumbuhan <i>Gompertz</i> dan <i>Logistic</i>	41
Tabel 4.4	Uji asumsi data transformasi.....	42
Tabel 4.5	Hasil pengujian parameter secara serempak.....	42
Tabel 4.6	Hasil pengujian parameter secara parsial.....	43
Tabel 4.7	Selang kepercayaan 95% untuk parameter model.....	44
Tabel 4.8	Parameter model pertumbuhan balita perempuan	46
Tabel 4.9	Parameter model pertumbuhan balita laki-laki	46
Tabel 4.10	Umur dan berat badan balita perempuan saat laju maksimum tercapai	50
Tabel 4.11	Umur dan berat badan balita laki-laki saat laju maksimum tercapai	50
Tabel 4.12	Hasil perhitungan R^2 dan <i>AICc</i>	52
Tabel 4.13	Hasil perhitungan R^2 dan <i>Akaike's weight</i> (w_i)	53

DAFTAR LAMPIRAN

		Halaman
Lampiran	1	Pertumbuhan dan perkembangan balita..... 63
Lampiran	2	Rata-Rata berat badan balita perempuan dan laki-laki..... 65
Lampiran	3	Langkah-langkah menentukan penduga awal parameter model 69
Lampiran	4	Langkah-langkah menghitung iterasi dengan <i>Lavenberg Marquard</i> 79
Lampiran	5	Hasil pendugaan parameter model pertumbuhan 85
Lampiran	6	Penduga awal dan penduga hasil iterasi pada model <i>Gompertz</i> dan <i>Logistic</i> 107
Lampiran	7	Asumsi kenormalan sisaan pada model <i>Gompertz</i> dan <i>Logistic</i> 109
Lampiran	8	Asumsi kehomogenan ragam sisaan pada model <i>Gompertz</i> dan <i>Logistic</i> 111
Lampiran	9	Asumsi non autokorelasi sisaan pada model <i>Gompertz</i> dan <i>Logistic</i> 113
Lampiran	10	Hasil uji asumsi kenormalan sisaan dengan uji <i>Kolmogorov Smirnov</i> 115
Lampiran	11	Nilai prediksi dan sisaan model pertumbuhan..... 121
Lampiran	12	Data hasil transformasi berat badan dan umur balita perempuan 37-60 bulan 127
Lampiran	13	Hasil uji asumsi kenormalan sisaan dengan uji <i>Kolmogorov Smirnov</i> pada data transformasi..... 131
Lampiran	14	Nilai prediksi dan sisaan model pertumbuhan <i>Gompertz</i> dan <i>Logistic</i> hasil transformasi berat badan dan umur balita 37-60 bulan..... 133

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sesuatu yang mengalami pertumbuhan, perkembangannya selalu dipengaruhi oleh waktu. Sengel dan Kiraz (2005) mendefinisikan pertumbuhan sebagai perubahan karakteristik organisme atau bagian organisme secara periodik. Pada kenyataannya suatu sistem pertumbuhan seperti tanaman dan hewan dengan proses pertumbuhannya hampir tidak dapat digambarkan atau dipelajari dengan cara yang sederhana. Oleh sebab itu model pertumbuhan diharapkan dapat memberikan ringkasan matematik mengenai perilaku individu dalam menghasilkan produknya.

Kurva pertumbuhan bermanfaat dalam menggambarkan bentuk pertumbuhan setiap saat dan persamaannya dapat digunakan untuk memprediksi berat atau produk yang diharapkan dari sekelompok individu pada usia tertentu.

Model pertumbuhan pada umumnya mengikuti bentuk sigmoid, yaitu biomassa individu yang mengikuti bentuk S seiring dengan pertambahan waktu. Model pertumbuhan yang mengikuti model sigmoid antara lain model *Gompertz* dan *Logistic* yang memuat tiga parameter dan kurvanya berbentuk sigmoid dimana pertumbuhan paling lambat terjadi pada awal dan akhir periode waktu. Model *Gompertz* merupakan model sigmoid yang tidak simetrik sedangkan model *Logistic* merupakan model sigmoid yang simetrik. Titik belok pada model *Gompertz* adalah $\frac{1}{3}$ bagian dari asimtot. Pada model *Logistic* titik belok terjadi pada $\frac{1}{2}$ dari bagian asimtot (Gille,2004).

Titik belok pada kurva pertumbuhan memiliki arti penting, karena dapat diinterpretasikan dari sudut pandang biologi yaitu suatu keadaan dimana laju pertumbuhan individu mencapai maksimum. Sehingga pengendalian secara kimia dapat dilakukan (Wardhani, 2003)

Manusia merupakan salah satu makhluk hidup yang mempunyai ciri tumbuh dan berkembang. Pertumbuhan pada manusia adalah bertambahnya ukuran dan jumlah sel serta jaringan interselular, yang berarti bertambahnya ukuran fisik dan struktur tubuh sebagian atau keseluruhan, sehingga dapat diukur dengan satuan panjang dan berat (Rusmil, 2006). Dalam siklus kehidupan manusia, masa balita merupakan masa yang paling penting. Anak usia di bawah lima tahun (balita) merupakan kelompok usia yang memiliki kencenderungan sensitif terhadap perubahan pertumbuhan, dan memiliki sifat khas dalam perubahan berat badannya (Hanyata dan Budi, 2009).

Berat badan merupakan ukuran antropometrik yang terpenting, dipakai pada setiap kesempatan memeriksa kesehatan anak pada setiap

kelompok usia (Moersintowarti, 2000). Pertumbuhan yang terjadi pada mahluk hidup tidak dapat dipelajari dan digambarkan dengan mudah mengingat unsur yang terdapat di dalamnya begitu kompleks. Salah satu cara untuk mempelajari pertumbuhan mahluk hidup adalah dengan penyederhanaan yang akhirnya mengantar pada terbentuknya model pertumbuhan (Sitompul dan Guritno, 1995).

Pertumbuhan berat badan balita akan naik menjadi 2 kali lipat berat badan waktu lahir pada balita umur 5 bulan, menjadi 3 kali lipat berat badan waktu lahir pada umur 1 tahun, dan menjadi 4 kali lipat berat badan lahir pada umur 2 tahun (Soetiningsih, 1995). Ini membuktikan bahwa pertumbuhan yang ditandai dengan bertambahnya berat badan, tinggi badan, dan lingkar kepala terjadi secara cepat pada waktu lahir hingga umur 5 tahun (Aritonang, 2000).

Kekhasan pertumbuhan berat badan pada balita membuat Eubank memodelkan umur balita dikaitkan dengan rasio berat dan tinggi badan di Negara bagian di Amerika Serikat dengan menggunakan metode spline. Hasil penelitiannya menyatakan bahwa pola pertumbuhan balita sangat cepat sejak balita dilahirkan sampai berumur 11,5 bulan, dan berpola kuadratik. Tetapi setelah balita berumur lebih dari 11,5 bulan, pertumbuhannya tetap naik tetapi secara perlahan-lahan, dan berpola linear.

Sholihah (2008) memodelkan berat badan balita RSUD Dr. Soetomo Surabaya dengan statistika nonparametrik yaitu metode *Penelized Spline*. Hasil penelitiannya menyatakan bahwa pertumbuhan berat badan balita cenderung naik dengan bertambahnya umur walaupun berfluktuasi. Fluktuasi ini disebabkan oleh faktor tumbuh kembang balita, yaitu gizi, motorik kasar, motorik halus, kumunikasi dan kemandirian.

Pada penelitian ini penulis menggunakan data sekunder pertumbuhan balita perempuan dan laki-laki umur 0-60 bulan. Data pertumbuhan balita dimodelkan menggunakan metode statistika parametrik model *non intrinsically nonlinear* yaitu *Gompertz* dan *Logistic* dengan pendugaan parameter dengan metode *Lavenberg Marquard*. Penggunaan statistika parametrik dikarenakan parameter modelnya dapat diinterpretasikan dari sudut pandang biologi. Ketiga model pertumbuhan ini digunakan untuk 3 kelompok umur pada masing-masing jenis kelamin, yaitu balita umur 0-12 bulan, 13-36 bulan, dan 37-60 bulan. Pengelompokan umur tersebut dibagi atas dasar teori fase

pasca embrionik yang terjadi pada manusia. Sedangkan kriteria pemilihan model terbaik menggunakan R^2 dan $AICc$.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang terkait dalam penelitian adalah :

1. Apakah penerapan model pertumbuhan dapat menggambarkan pola pertumbuhan berat badan balita?
2. Manakah diantara model-model tersebut yang mampu menjelaskan pola pertumbuhan balita dengan baik ?
3. Kapan terjadi kecepatan pertumbuhan berat badan balita mencapai maksimum ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian adalah:

1. Peubah yang dicatat adalah umur dan berat balita laki-laki dan perempuan.
2. Model pertumbuhan yang digunakan adalah *Gompertz* dan *Logistic*
3. Kriteria yang digunakan untuk memilih model terbaik adalah R^2 dan $AICc$
4. Metode pendugaan parameter yang digunakan adalah metode kuadrat terkecil nonlinier dengan iterasi *Lavenberg Marquardt*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah:

1. Menduga model yang paling sesuai diantara model *Gompertz* dan *Logistic* dalam menjelaskan pola pertumbuhan berat badan balita pada tiga kelompok usia.
2. Mengetahui kecepatan maksimum pertumbuhan berat badan yang dicapai balita untuk masing-masing kelompok umur menurut model terbaik.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian adalah memberikan metode penyelesaian alternatif dalam mengetahui model pertumbuhan balita menggunakan model parametrik, memberikan informasi mengenai model pertumbuhan balita yang baik serta sebagai acuan dalam memantau pertumbuhan dan status gizi balita.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Regresi Non Linier

Analisis Regresi adalah suatu teknik statistika untuk pemeriksaan dan pemodelan hubungan peubah (Efendi, 2006). Menurut Draper dan Smith (1992) Analisis regresi mempelajari ketergantungan satu peubah (*dependent variable*) terhadap satu atau lebih peubah yang lain (*independent variable*). Berdasarkan bentuk hubungannya, regresi dibedakan menjadi regresi linier dan nonlinier. Suatu model regresi dikatakan linier jika memiliki peubah dan parameter berpangkat satu dan dikatakan nonlinier jika memiliki peubah dan parameter berpangkat selain satu.

Bentuk umum regresi nonlinier :

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

di mana ε_i adalah galat acak dengan $E(\varepsilon_i) = 0$ dan $V(\varepsilon_i) = \sigma^2$. Selanjutnya dikatakan bahwa model regresi nonlinier dibedakan menjadi dua yaitu :

1. Nonlinier pada peubah

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1^2 + \varepsilon \quad (2.2)$$

Persamaan (2.2) adalah contoh model nonlinier dalam peubah, karena peubah x tidak berpangkat satu.

2. Nonlinier pada parameter

$$Y = \beta_0 + \beta_1^2 x_1 + \varepsilon \quad (2.3)$$

Persamaan (2.3) adalah contoh persamaan yang linier dalam peubah karena peubah x berpangkat satu, akan tetapi nonlinier dalam parameter karena parameter β_1 tidak berpangkat satu (Montgomery dan Peck , 1992).

Menurut Draper dan Smith (1992) model regresi nonlinier pada parameter dibedakan manjadi dua :

1. Model *non intrinsically nonlinear* adalah model yang berbentuk nonlinier pada parameter, namun bentuk tersebut dapat diubah ke bentuk linier dengan melakukan transformasi yang tepat.

$$Y = \alpha e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon} \quad (2.4)$$

Persamaan (2.4) dapat diubah menjadi bentuk linier dengan cara transformasi logaritma, sehingga menjadi :

$$\begin{aligned} {}^e \log Y &= {}^e \log(\alpha e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon}) \\ y^* &= \alpha^* + \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon \end{aligned}$$

di mana :

$$y^* = {}^e \log y$$

$$\alpha^* = {}^e \log \alpha$$

2. Model *intrinsically nonlinear* adalah model yang berbentuk nonlinier pada parameter dan tidak dapat dilinierkan dengan cara transformasi apa pun.

$$Y = e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon} \quad (2.5)$$

Persamaan (2.5) pada dasarnya sama dengan persamaan (2.4) kecuali galat yang bersifat multipikatif, di mana pada persamaan (2.5) bersifat aditif sehingga tidak dapat ditransformasi menjadi bentuk linier.

$${}^e \log Y = {}^e \log(e^{\beta_0 + \beta_1 x_1} + \varepsilon) \quad (2.6)$$

Meski pun sudah ditransformasi, model ini masih tetap tidak berbentuk linier (Kmenta, 1971).

2.2 Model Pertumbuhan *Gompertz*

Model *Gompertz* dikenalkan oleh Benjamin Gompertz pada tahun 1825 dengan tujuan awal untuk menghitung laju kematian manusia (Gille, 2004). Menurut Richards (1954), model *Gompertz* diterapkan lebih banyak pada studi-studi populasi dan pertumbuhan hewan dibandingkan penerapan di bidang botani.

Model *Gompertz* diturunkan berdasarkan asumsi bahwa substrat pertumbuhan tidak terbatas, sehingga mesin pertumbuhan selalu dijenuhi oleh substrat. Substrat dalam hal ini adalah hal-hal yang mempengaruhi pertumbuhan. Keefektifan mesin pertumbuhan merosot dengan waktu mengikuti kinetik pertama yang menghasilkan persamaan *eksponensial decay* (Sitompul dan Guritno, 1995).

Gompertz memiliki 3 parameter. Model ini berbentuk sigmoid yang tidak simetris atau setangkup terhadap titik beloknya (Draper dan Smith, 1992). Titik belok model *Gompertz* terletak sekitar $\frac{1}{3}$ bagian dari asimtot . Hal ini berarti bahwa pada waktu sebelum titik belok tercapai pertumbuhan berjalan lambat dan setelah titik belok tercapai pertumbuhan menjadi semakin cepat (Gille, 2004).

Menurut Drapher dan Smith (1992) kecepatan model pertumbuhan *Gompertz* dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{d\omega}{dt} = (\alpha e^{-\beta e^{-Kt}})(\beta K e^{-Kt}) \quad (2.7)$$

Artinya kecepatan pertumbuhan sebanding dengan hasil kali umur makhluk hidup pada saat t dengan besarnya pertumbuhan yang masih akan dicapai.

Sedangkan kecepatan pertumbuhan relatif pada model *Gompertz* menurut Drapher dan Smith (1992) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{1}{\omega} \frac{d\omega}{dt} = \beta K e^{-Kt} \quad (2.8)$$

Persamaan (2.8) merupakan kecepatan pertumbuhan relatif terhadap umur makhluk hidup. Kecepatan ini akan turun secara linier seiring dengan bertambahnya umur makhluk hidup atau seiring dengan naiknya ω .

Melalui pengintegralan persamaan (2.7) akan diperoleh model *Gompertz* yang menurut Myers (1986) dapat ditulis sebagai berikut :

$$\omega = \alpha \exp(-\beta e^{-Kt}) \quad (2.9)$$

di mana:

α : berat maksimum individu yang dicapai oleh ω

β : konstanta integrasi (parameter skala waktu)

K : parameter kecepatan pertumbuhan

ω : berat individu pada saat t

t : umur individu

Menurut Draper dan Smith (1992) meskipun kurva model *Gompertz* berbentuk Sigmoid meyerupai kurva *Logistic*, namun ia tidak setangkup atau simetrik terhadap titik beloknya. Titik belok tercapai ketika $\frac{d^2\omega}{dt^2} = 0$

Berikut adalah turunan pertama terhadap waktu serta proses penurunan untuk model *Gompertz*:

Misal : $u = -\beta e^{-Kt}$

$$\begin{aligned}\frac{du}{dt} &= -\beta (-Ke^{-Kt}) \\ &= \beta Ke^{-Kt}\end{aligned}$$

$$\omega = \alpha e^u$$

$$\frac{d\omega}{du} = \alpha e^u$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{du}{du} \cdot \frac{du}{dt}$$

$$= (\alpha e^u)(\beta Ke^{-Kt})$$

$$\frac{d\omega}{dt} = (\alpha e^{-\beta e^{-Kt}})(\beta Ke^{-Kt})$$

Turunan kedua terhadap waktu untuk model *Gompertz* sebagai berikut :

Misal : $u = -\beta e^{-Kt}$

$$\omega = (\alpha e^u)(-u)$$

$$\omega = -\alpha u e^u$$

$$u = -\alpha u$$

$$v = e^u$$

$$\frac{du}{du} = -\alpha e^u + (-\alpha u)e^u$$

$$= -\alpha e^u - \alpha u e^u$$

$$= -\alpha e^u(1 - u)$$

$$\frac{du}{dt} = \beta Ke^{-Kt}$$

$$\frac{d^2\omega}{dt^2} = \frac{d\omega}{du} \cdot \frac{du}{dt}$$

$$= [-\alpha e^u(1 - u)][\beta Ke^{-Kt}]$$

$$\begin{aligned} &= (-\alpha e^{-\beta e^{-Kt}})(1 + \beta e^{-Kt})(\beta e^{-Kt}) \\ &= -\alpha \beta e^{-Kt}(1 + \beta e^{-Kt})(e^{-\beta e^{-Kt}}) \end{aligned} \quad (2.10)$$

Titik belok model pertumbuhan gompertz tercapai ketika $\frac{d^2 \omega}{dt^2} = 0$ yaitu

$$\text{ketika } \omega = \frac{\alpha}{\beta} \text{ sehingga } t = \frac{\ln \beta}{K}$$

$$-\alpha \beta e^{-Kt}(1 + \beta e^{-Kt})(e^{-\beta e^{-Kt}}) = 0$$

$$1 + \beta e^{-Kt} = 0$$

$$\beta e^{-Kt} = -1$$

$$e^{-Kt} = -\frac{1}{\beta}$$

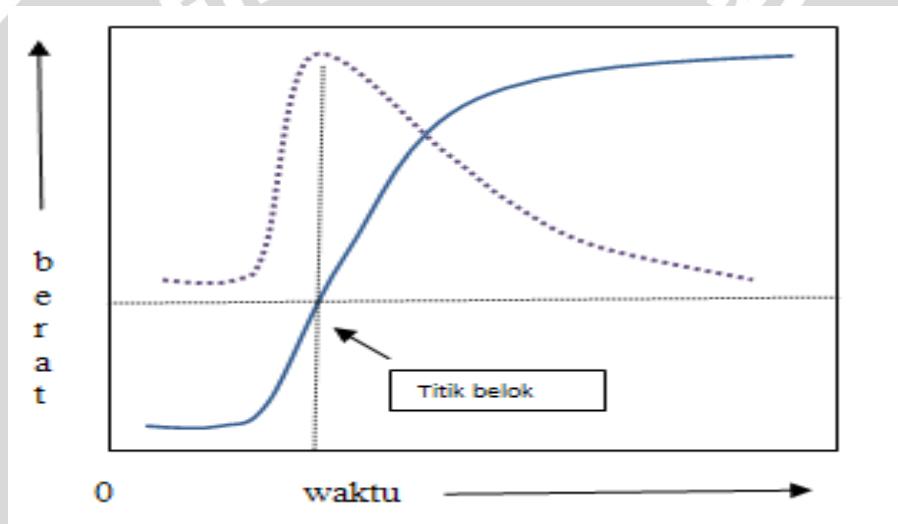
$$-Kt = \ln \left| -\frac{1}{\beta} \right|$$

$$t = \frac{\ln \frac{1}{\beta}}{-K}$$

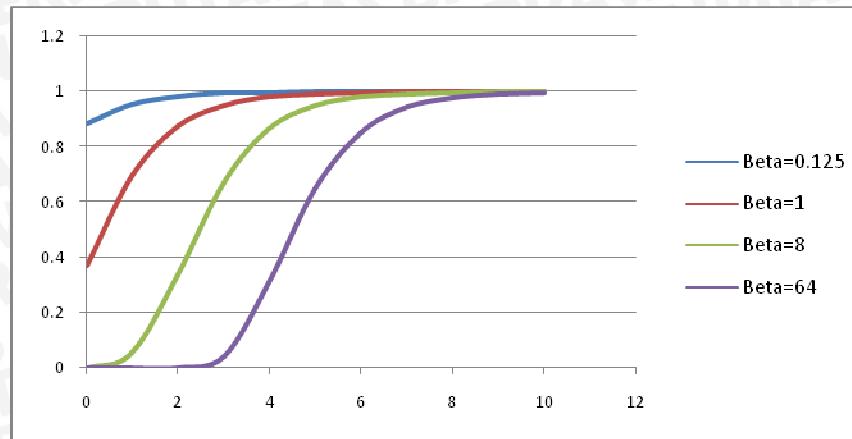
$$t = \frac{\ln \beta}{K}$$

(2.11)

Berikut adalah kurva pertumbuhan Gompertz :



Gambar 2.1 Kurva pertumbuhan Gompertz



Gambar 2.2 Beberapa bentuk kurva pertumbuhan *Gompertz* dengan berbagai nilai β secara teori $\omega = \alpha \exp(-\beta e^{-Kt})$ (Draper and Smith, 1992)

Berdasarkan gambar diatas untuk setiap variasi nilai β akan menghasilkan kurva-kurva yang berangkat dari titik awal yang berbeda (Draper dan Smith, 1992).

2.3 Model Pertumbuhan *Logistic*

Model *Logistic* dibangun oleh seorang ahli matematika di Belgia yang bernama Pierre Verhulst (1838) yang percaya bahwa kenaikan laju populasi terbatas, tergantung pada kepadatan populasi.

Suatu populasi sering kali meningkat secara eksponensial pada awalnya tetapi melambat pada akhirnya dan mendekati kapasitas tampungannya karena sumber daya yang terbatas. Menurut Drapher dan Smith (1992) model *Logistic* diperoleh dengan kecepatan pertumbuhan yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{H\alpha\beta e^{-Kt}}{(1+\beta e^{-Kt})^2} \quad (2.12)$$

Artinya kecepatan pertumbuhan sebanding dengan hasil kali umur makhluk hidup pada saat t dengan besarnya pertumbuhan yang masih akan dicapai, α adalah berat maksimum.

Menurut Hunt (1982), kecepatan pertumbuhan relatif pada model *Logistic* adalah sebagai berikut :

$$\frac{1}{\omega} \frac{d\omega}{dt} = \frac{\beta e^{-Kt}}{(1+\beta e^{-Kt})^2} \quad (2.13)$$

Persamaan (2.13) merupakan kecepatan pertumbuhan relatif terhadap umur makhluk hidup. Kecepatan ini akan turun secara linier seiring dengan bertambahnya umur makhluk hidup.

Melalui pengintegralan persamaan (2.12) maka solusi persamaan *Logistic* menurut Myers (1986) dapat ditulis sebagai berikut :

$$\omega(t) = \frac{\alpha}{(1+\beta e^{-Kt})} \quad (2.14)$$

di mana :

α : berat maksimum individu yang dicapai oleh ω

β : konstanta integrasi (parameter skala waktu)

K : parameter kecepatan pertumbuhan

ω : berat individu pada saat t

t : umur individu

Berikut adalah turunan pertama terhadap waktu serta proses penurunan untuk model *Logistic* :

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{-\alpha(-K\beta e^{-Kt})}{(1+\beta e^{-Kt})^2} = \frac{K\alpha\beta e^{-Kt}}{(1+\beta e^{-Kt})^2}$$

Turunan kedua terhadap waktu untuk model *Logistic* sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{d^2\omega}{dt^2} &= \frac{-K^2\alpha\beta e^{-Kt}(1+\beta e^{-Kt})^2 - K\alpha e^{-Kt} \cdot 2(-K)\beta e^{-Kt}(1+\beta e^{-Kt})}{(1+\beta e^{-Kt})^4} \\ &= \frac{-K^2\alpha\beta e^{-Kt}((1+\beta e^{-Kt})^2 + 2K^2\alpha\beta^2 e^{-2Kt}(1+\beta e^{-Kt})}{(1+\beta e^{-Kt})^4} \\ &= \frac{K^2\alpha\beta e^{-Kt}(-1-\beta e^{-Kt}+2\beta e^{-Kt})}{(1+\beta e^{-Kt})^5} \\ &= \frac{K^2\alpha\beta e^{-Kt}(\beta e^{-Kt}-1)}{(1+\beta e^{-Kt})^5} \end{aligned} \quad (2.15)$$

Titik belok model pertumbuhan *Logistic* tercapai ketika $\frac{d^2\omega}{dt^2} = 0$ yaitu

$$\text{ketika } \omega = \frac{\alpha}{2} \text{ sehingga } t = \frac{\ln \beta}{K}$$

$$\beta e^{-Kt} - 1 = 0$$

$$\beta e^{-Kt} = 1$$

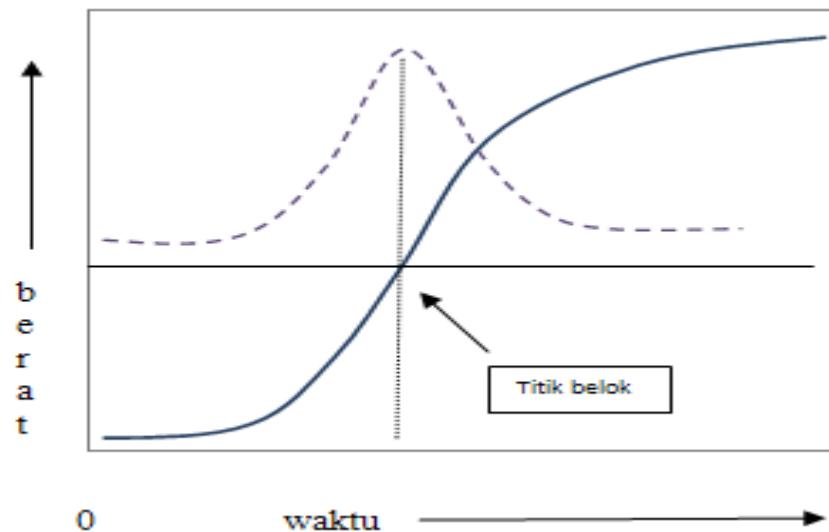
$$e^{-Kt} = \frac{1}{\beta}$$

$$-Kt = \ln \frac{1}{\beta}$$

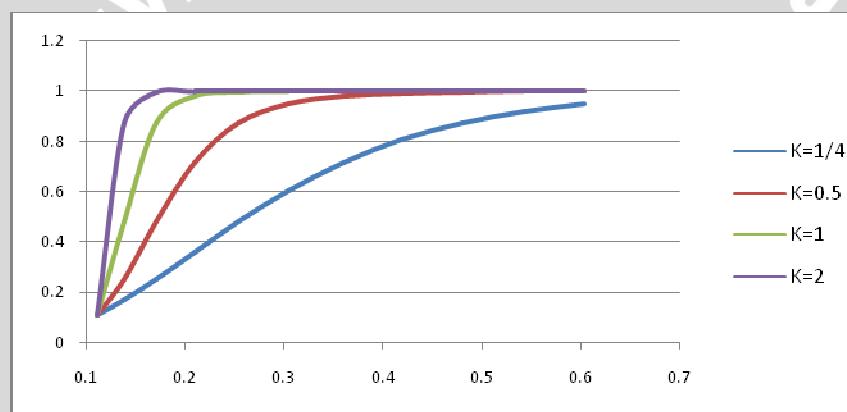
$$t = \frac{\ln \frac{1}{\beta}}{-K} = -\frac{1}{K} \ln \frac{1}{\beta} = \frac{\ln \beta}{K}$$

(2.16)

Berikut adalah kurva model pertumbuhan *Logistic* :



Gambar 2.3 Kurva pertumbuhan *Logistic*



Gambar 2.4 Kurva pertumbuhan *Logistic* yang berbentuk $1/(1+8e^{-kt})$ dengan berbagai nilai K (Draper and Smith, 1992)

Berdasarkan Gambar 2.4 pengubahan K (parameter laju pertumbuhan) mengubah keterjalan dari kurva pertumbuhan (Draper dan Smith).

2.4 Pendugaan Parameter Model Nonlinier

Myers (1986) menyatakan bahwa pendugaan parameter model nonlinier menggunakan metode kuadrat terkecil nonlinier. Secara umum model nonlinier dapat ditulis sebagai berikut:

$$y_i = f(x_i, \theta) + \varepsilon_i \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (2.17)$$

di mana:

$$\begin{aligned} y_i &= (y_1, y_2, \dots, y_n)' \\ f(x_i, \theta) &= [f(x_1, \theta), f(x_2, \theta), \dots, f(x_n, \theta)]' \\ \varepsilon_i &= (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n) \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Sisa (JKS) untuk model nonlinier adalah:

$$JKS = e'e = [Y - f(X, \theta)]' [Y - f(X, \theta)] \quad (2.18)$$

Pendugaan parameter θ dapat dilakukan dengan meminimumkan JKS. Untuk mendapatkan $\hat{\theta}$, persamaan (2.18) 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 :

$$\begin{aligned} \frac{\partial JKS}{\partial \theta} &= -2 \left[\frac{\partial f(X, \theta)}{\partial \theta} \right]' [Y - f(X, \theta)] = 0 \\ [Y - f(X, \theta)]' \left[\frac{\partial f(X, \theta)}{\partial \theta} \right] &= 0 \end{aligned} \quad (2.19)$$

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 dalam proses 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 *gompertz* dan *logistic* yang diterapkan pada data pertumbuhan berat badan balita laki-laki dan perempuan dalam setiap kelompok usia dilakukan pendugaan nilai awal parameter. Kemudian hasil pendugaan parameter tersebut di perbaiki dengan metode *Lavenberg-Marquardt*.

2.5 Iterasi Lavenberg Marquard

Salah satu prosedur untuk mendapatkan penduga parameter nonlinier adalah iterasi *Lavenberg Marquard*. Menurut Draper dan Smith (1992), iterasi *Lavenberg Marquard* baik dalam menghasilkan kekonvergenan dan proses konvergensinya lebih cepat dibandingkan dengan metode lain.

Iterasi ini dikembangkan oleh D.W. Marquard. Iterasi *Lavenberg Marquard* merupakan jalan tengah antara linearisasi (atau deret Taylor) dengan metode turunan tercuram (*Stepest Descent*). Iterasi *Lavenberg Marquard* mengaplikasikan metode iterasi seperti halnya pada metode Gauss Newton yaitu meminimumkan jumlah kuadrat galat, bedanya hanya terletak pada penambahan perkalian skalar λ dan matriks identitas I . Menurut Sanjoyo (2006), bentuk iterasi *Lavenberg Marquardt* dinyatakan sebagai berikut :

$$\theta^{j+1} = \theta^j - [z(\theta^{(j)})^T z(\theta^{(j)}) + \lambda^j I]^{-1} [z(\theta^{(j)}) (w - f(t, \theta^{(j)}))], \quad (2.20)$$

j = 1,2,...,m

dengan,

$$\mathbf{z}(\boldsymbol{\theta}) = \frac{\partial f(t_i, \boldsymbol{\theta})}{\partial \boldsymbol{\theta}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(t_1, \boldsymbol{\theta})}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial f(t_1, \boldsymbol{\theta})}{\partial \theta_p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f(t_n, \boldsymbol{\theta})}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \boldsymbol{\theta})}{\partial \theta_p} \end{bmatrix}$$

di mana :

p : banyak parameter yang diduga

$\boldsymbol{\theta}$: parameter-parameter yang diduga

I : matriks identitas

λ_n : nilai positif terkecil yang dihitung dari akar ciri persamaan

$[\mathbf{z}(\boldsymbol{\theta}^{(k)}) \mathbf{z}(\boldsymbol{\theta}^{(k)}) + \lambda^2 I]$

Iterasi Lavenberg-Marquardt pada model Gompertz :

$$\begin{bmatrix} \alpha^{n+1} \\ \beta^{n+1} \\ K^{n+1} \end{bmatrix}_{2x3} = \begin{bmatrix} \alpha^n \\ \beta^n \\ K^n \end{bmatrix}_{2x3} - \left[\begin{bmatrix} \frac{\partial f(t_1, \boldsymbol{\theta})}{\partial \alpha} & \dots & \frac{\partial f(t_1, \boldsymbol{\theta})}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial f(t_1, \boldsymbol{\theta})}{\partial \beta} & \dots & \frac{\partial f(t_1, \boldsymbol{\theta})}{\partial \beta} \\ \frac{\partial f(t_1, \boldsymbol{\theta})}{\partial K} & \dots & \frac{\partial f(t_1, \boldsymbol{\theta})}{\partial K} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f(t_n, \boldsymbol{\theta})}{\partial \alpha} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \boldsymbol{\theta})}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial f(t_n, \boldsymbol{\theta})}{\partial \beta} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \boldsymbol{\theta})}{\partial \beta} \\ \frac{\partial f(t_n, \boldsymbol{\theta})}{\partial K} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \boldsymbol{\theta})}{\partial K} \end{bmatrix}_{2x3}^{-1} \times \begin{bmatrix} \frac{\partial f(t_1, \boldsymbol{\theta})}{\partial \alpha} & \dots & \frac{\partial f(t_1, \boldsymbol{\theta})}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial f(t_1, \boldsymbol{\theta})}{\partial \beta} & \dots & \frac{\partial f(t_1, \boldsymbol{\theta})}{\partial \beta} \\ \frac{\partial f(t_1, \boldsymbol{\theta})}{\partial K} & \dots & \frac{\partial f(t_1, \boldsymbol{\theta})}{\partial K} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f(t_n, \boldsymbol{\theta})}{\partial \alpha} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \boldsymbol{\theta})}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial f(t_n, \boldsymbol{\theta})}{\partial \beta} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \boldsymbol{\theta})}{\partial \beta} \\ \frac{\partial f(t_n, \boldsymbol{\theta})}{\partial K} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \boldsymbol{\theta})}{\partial K} \end{bmatrix}_{2x3}^{-1} \times \begin{bmatrix} W(t_1) - f(t_1, \boldsymbol{\theta}^{(k)}) \\ \vdots \\ W(t_n) - f(t_n, \boldsymbol{\theta}^{(k)}) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \alpha^{n+1} \\ \beta^{n+1} \\ K^{n+1} \end{bmatrix}_{2x1} = \begin{bmatrix} \alpha^n \\ \beta^n \\ K^n \end{bmatrix}_{2x1} - \left[\begin{array}{ccc|c} \exp(-\beta e^{-Kt_1}) & \dots & \exp(-\beta e^{-Kt_n}) & \exp(-\beta e^{-Kt_1}) & -\alpha \exp(-\beta e^{-Kt_1}) & \alpha^2 K e^{-2Kt_1 - \beta e^{-Kt_1}} \\ -\alpha \beta \exp(-\beta e^{-Kt_1}) & \dots & -\alpha \beta \exp(-\beta e^{-Kt_n}) & \exp(-\beta e^{-Kt_1}) & -\alpha \beta \exp(-\beta e^{-Kt_1}) & \alpha \beta^2 K e^{-2Kt_1 - \beta e^{-Kt_1}} \\ \alpha \beta^2 K e^{-2Kt_1 - \beta e^{-Kt_1}} & \dots & \alpha \beta^2 K e^{-2Kt_n - \beta e^{-Kt_n}} & \exp(-\beta e^{-Kt_1}) & -\alpha \beta \exp(-\beta e^{-Kt_1}) & \alpha \beta^2 K e^{-2Kt_1 - \beta e^{-Kt_1}} \end{array} \right]_{2x2} \times \begin{bmatrix} y(t_1) - f(t_1, \theta^{(n)}) \\ \vdots \\ y(t_n) - f(t_n, \theta^{(n)}) \end{bmatrix}_{n \times 1} + \lambda^2 I_{2x2} \times \begin{bmatrix} \exp(-\beta e^{-Kt_1}) & \dots & \exp(-\beta e^{-Kt_n}) \\ -\alpha \beta \exp(-\beta e^{-Kt_1}) & \dots & -\alpha \beta \exp(-\beta e^{-Kt_n}) \\ \alpha \beta^2 K e^{-2Kt_1 - \beta e^{-Kt_1}} & \dots & \alpha \beta^2 K e^{-2Kt_n - \beta e^{-Kt_n}} \end{bmatrix}_{2x2} \begin{bmatrix} y(t_1) - f(t_1, \theta^{(n)}) \\ \vdots \\ y(t_n) - f(t_n, \theta^{(n)}) \end{bmatrix}_{n \times 1}$$

Iterasi Lavenberg Marquardt pada model Logistic

$$\begin{bmatrix} \alpha^{n+1} \\ \beta^{n+1} \\ K^{n+1} \end{bmatrix}_{2x1} = \begin{bmatrix} \alpha^n \\ \beta^n \\ K^n \end{bmatrix}_{2x1} - \left[\begin{array}{ccc|c} \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \alpha} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \alpha} & \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \alpha} & \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \beta} & \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial K} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \beta} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \beta} & \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \alpha} & \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \beta} & \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial K} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial K} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial K} & \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \alpha} & \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \beta} & \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial K} \end{array} \right]_{2x2}^{-1} \times \begin{bmatrix} \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \alpha} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \beta} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \beta} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial K} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial K} \end{bmatrix}_{2x2} \begin{bmatrix} W(t_1) - f(t_1, \theta^{(n)}) \\ \vdots \\ W(t_n) - f(t_n, \theta^{(n)}) \end{bmatrix}_{n \times 1} + \lambda^2 I_{2x2} \times \begin{bmatrix} \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \alpha} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \beta} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \beta} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial K} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial K} \end{bmatrix}_{2x2} \begin{bmatrix} W(t_1) - f(t_1, \theta^{(n)}) \\ \vdots \\ W(t_n) - f(t_n, \theta^{(n)}) \end{bmatrix}_{n \times 1}$$

$$\begin{bmatrix} \alpha^{n+1} \\ \beta^{n+1} \\ K^{n+1} \end{bmatrix}_{2x1} = \begin{bmatrix} \alpha^n \\ \beta^n \\ K^n \end{bmatrix}_{2x1} - \left[\begin{array}{ccc|c} \frac{1 + \beta e^{-Kt_1}}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \dots & \frac{1 + \beta e^{-Kt_n}}{(1 + \beta e^{-Kt_n})^2} & \frac{1 + \beta e^{-Kt_1}}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \frac{\alpha(1 + e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \frac{\alpha(1 - K\beta e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} \\ \frac{\alpha(1 + e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \dots & \frac{\alpha(1 + e^{-Kt_n})}{(1 + \beta e^{-Kt_n})^2} & \frac{\alpha(1 + e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \frac{\alpha(1 + e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \frac{\alpha(1 - K\beta e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} \\ \frac{\alpha(1 - K\beta e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \dots & \frac{\alpha(1 - K\beta e^{-Kt_n})}{(1 + \beta e^{-Kt_n})^2} & \frac{\alpha(1 - K\beta e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \frac{\alpha(1 - K\beta e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \frac{\alpha(1 - K\beta e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} \end{array} \right]_{2x2}^{-1} \times \begin{bmatrix} \frac{1 + \beta e^{-Kt_1}}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \dots & \frac{1 + \beta e^{-Kt_n}}{(1 + \beta e^{-Kt_n})^2} \\ \frac{\alpha(1 + e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \dots & \frac{\alpha(1 + e^{-Kt_n})}{(1 + \beta e^{-Kt_n})^2} \\ \frac{\alpha(1 - K\beta e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \dots & \frac{\alpha(1 - K\beta e^{-Kt_n})}{(1 + \beta e^{-Kt_n})^2} \end{bmatrix}_{2x2} \begin{bmatrix} y(t_1) - f(t_1, \theta^{(n)}) \\ \vdots \\ y(t_n) - f(t_n, \theta^{(n)}) \end{bmatrix}_{n \times 1} + \lambda^2 I_{2x2} \times \begin{bmatrix} \frac{1 + \beta e^{-Kt_1}}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \dots & \frac{1 + \beta e^{-Kt_n}}{(1 + \beta e^{-Kt_n})^2} \\ \frac{\alpha(1 + e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \dots & \frac{\alpha(1 + e^{-Kt_n})}{(1 + \beta e^{-Kt_n})^2} \\ \frac{\alpha(1 - K\beta e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \dots & \frac{\alpha(1 - K\beta e^{-Kt_n})}{(1 + \beta e^{-Kt_n})^2} \end{bmatrix}_{2x2} \begin{bmatrix} y(t_1) - f(t_1, \theta^{(n)}) \\ \vdots \\ y(t_n) - f(t_n, \theta^{(n)}) \end{bmatrix}_{n \times 1}$$

2.6 Teori Balita Sehat

Pertumbuhan dan perkembangan merupakan proses yang terjadi pada makhluk hidup. Istilah tumbuh kembang mencakup dua peristiwa yang sifatnya berbeda, yaitu pertumbuhan dan perkembangan. Pertumbuhan (*Growth*) berkaitan dengan masalah perubahan besar, jumlah, ukuran atau dimensi tingkat sel organ maupun individu. Sedangkan perkembangan (*Development*) adalah bertambahnya kemampuan (*Skill*) dalam struktur dan fungsi tubuh yang lebih kompleks dalam pola yang teratur dan dapat diramalkan sebagai hasil dari proses pematangan, sehingga dapat disimpulkan bahwa perkembangan berkaitan dengan pematangan fungsi organ atau individu. Walaupun demikian, kedua proses tersebut bersamaan pada setiap individu.

Manusia selalu mengalami perubahan selama hidupnya. Aisyah (2008) mengatakan bahwa periode penting dalam tumbuh kembang anak adalah masa balita. Masa balita adalah masa pertumbuhan dasar yang akan mempengaruhi dan menentukan perkembangan anak selanjutnya. Pada masa ini perkembangan kemampuan bahasa, kreativitas, kesadaran sosial, emosional dan intelegensi berjalan sangat cepat dan merupakan landasan bagi perkembangan selanjutnya. Widiastuti (2010) menyatakan bahwa perkembangan yang optimal sangat dipengaruhi oleh peranan lingkungan dan interaksi antara anak dan orang tua/ orang dewasa lainnya. Interaksi sosial diusahakan sesuai dengan kebutuhan anak pada berbagai tahap perkembangan, bahkan sejak bayi dalam kandungan. Berikut adalah tabel yang menunjukkan standar tinggi dan berat balita untuk setiap umur menurut Direktorat Gizi (2004).

Tabel 2.1 Rata-rata berat badan balita 0-12 bulan

Umur Lahir	Berat	
	Normal	Kurang
0-1	3.4	2.7
2	4.3	3.4
3	5.7	4.5
4	6.3	5.0

Lanjutan (Tabel 2.1)

5	6.9	5.5
6	7.4	5.9
7	8.0	6.0
8	8.4	6.3
9	8.9	7.1
10	9.3	7.4
11	9.6	7.7
12	9.9	7.9

Kelompok anak yang berada dalam proses pertumbuhan dan perkembangan yang bersifat unik, artinya memiliki pola pertumbuhan dan perkembangan fisik (koordinasi motorik halus dan motorik kasar), kecerdasan (daya pikir, daya cipta, kecerdasan emosi, kecerdasan spiritual), sosio-emosional (sikap dan perilaku serta agama), bahasa dan komunikasi yang khusus sesuai dengan tingkat pertumbuhan dan perkembangannya yang sedang dilalui oleh anak tersebut.

Proses tumbuh kembang anak mempunyai beberapa ciri yang saling berkaitan. Ciri-ciri tersebut adalah sebagai berikut :

1. Perkembangan menimbulkan perubahan.
Perkembangan terjadi bersamaan dengan pertumbuhan. Setiap pertumbuhan disertai dengan perubahan fungsi.
2. Pertumbuhan dan perkembangan pada tahap awal menentukan perkembangan selanjutnya.
Setiap anak tidak akan bisa melewati satu tahap perkembangan sebelum ia mengalami tahapan sebelumnya. Contoh: seorang anak tidak akan bisa berjalan sebelum ia bisa berdiri, dan tidak akan bisa berdiri jika pertumbuhan kaki dan bagian tubuh lain yang terkait dengan fungsi berdiri anak terlambat. Karena itu perkembangan awal ini merupakan masa kritis karena akan menentukan perkembangan selanjutnya.
3. Pertumbuhan dan perkembangan mempunyai kecepatan yang berbeda.
Pertumbuhan dan perkembangan mempunyai kecepatan yang berbeda-beda, baik dalam pertumbuhan fisik maupun

perkembangan fungsi organ dan perkembangan pada masing-masing anak.

4. Perkembangan berkorelasi dengan pertumbuhan.

Pada saat pertumbuhan berlangsung cepat, perkembangan pun demikian, terjadi peningkatan mental, memori, daya nalar, asosiasi dan lain-lain.

5. Perkembangan mempunyai pola yang tetap.

Perkembangan fungsi organ tubuh terjadi menurut dua hukum yang tetap, yaitu:

1. Perkembangan terjadi lebih dahulu di daerah kepala, kemudian menuju kearah anggota tubuh

2. Perkembangan terjadi lebih dahulu pada kemampuan gerak kasar diikuti kemampuan gerak halus.

6. Perkembangan memiliki tahap yang berurutan.

Tahap perkembangan seorang anak memiliki pola yang teratur dan berurutan, dan tahapan tersebut tidak bisa terjadi terbalik, misalnya anak terlebih dahulu mampu membuat lingkaran sebelum mampu gambar kotak, anak mampu berdiri sebelum berjalan, dan sebagainya.

Dalam proses tumbuh kembang anak ada yang disebut Fase Pasca Embriionik. Fase Pasca Embriionik yaitu fase pertumbuhan dan perkembangan makhluk hidup setelah masa embrio, terutama penyempurnaan alat-alat reproduksi setelah dilahirkan. Pada fase ini pertumbuhan dan perkembangan yang terjadi biasanya hanya peningkatan ukuran bagian-bagian tubuh dari makhluk hidup. Kecepatan pertumbuhan dari masing-masing makhluk hidup berbeda-beda satu dengan yang lain. Setelah lahir disebut dengan nama bayi dan memasuki masa neonatal.

Menurut Erikson dalam Pilliteri (1999) anak yang berusia 0-12 bulan (*infant*) berada pada tahap perkembangan *Trust Versus Mistrust* (belajar mencintai dan dicintai). Pada periode Toddler (1-3 tahun) anak belajar mandiri dan membuat keputusan untuk dirinya sendiri atau disebut *Autonomy Versus Shome*.

2.7 Pengujian Asumsi

Pengujian kesesuaian model merupakan hal yang harus dilakukan setelah model regresi terbentuk, baik linier maupun nonlinier. Model dikatakan sesuai apabila memenuhi asumsi yang ditentukan.

2.7.1 Asumsi Kenormalan Sisaan

Uji asumsi kenormalan sisaan dilakukan untuk membuktikan bahwa sisaan data yang digunakan berdistribusi normal. Berdistribusi normal disini adalah galat menyebar normal dengan nilai tengah 0 dan ragam σ^2 atau $\varepsilon_i \sim NID(0, \sigma^2)$. Salah satu metode untuk menguji kenormalan sisaan adalah uji *Kolmogorov Smirnov*.

Hipotesis yang diuji adalah:

H0 : sisaan menyebar normal, lawan

H1 : sisaan tidak menyebar normal

Dengan statistik uji :

$$D_n = \text{Maks} [F_n(y) - F_0(y)] \quad (2.21)$$

di mana:

D_n : jarak tegak maksimum antara fungsi sebaran empiris dan fungsi sebaran normal

$F_n(y)$: sebaran kumulatif contoh

$F_0(y)$: sebaran kumulatif distribusi normal.

Nilai-nilai $D(\alpha)$ dengan berbagai taraf nyata disajikan pada tabel berikut:

Tabel 2.2. 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 $D_{\text{maks}} < D(\alpha)$, artinya sisaan menyebar normal. Ketidaknormalan yang terjadi pada data dapat diatasi dengan cara transformasi. Menurut Kutner (2004) apabila sisaan masih menyebar tidak normal, maka bisa diatasi dengan transformasi data $N' = \log_{10}N$ dimana N adalah peubah respon dan prediktor.

2.7.2 Asumsi Kehomogenan Ragam Sisaan

Kehomogenan ragam sisaan berarti ragam sisaan konstan dan dapat mendekati nilai sebenarnya. Jika semua asumsi telah terpenuhi kecuali asumsi kehomogenan ragam sisaan, penduga parameter tetap bersifat tak bias dan konsisten namun tidak efisien baik dalam sampel kecil maupun besar (Gujarati, 1995).

Secara grafis ada dua metode untuk menguji kehomogenan ragam sisaan yaitu metode grafik dan analitis. Menurut Gujarati (1995), secara grafis dilakukan *plotting* antara penduga peubah respon dengan e_i^2 , kemudian dilihat pola sebaran titik-titiknya. Apabila plot membentuk *trend* tertentu maka terjadi keheterogenan ragam sisaan, namun jika plot tidak membentuk *trend* tertentu maka sisaan tersebut memenuhi asumsi kehomogenan ragam sisaan.

Secara analitis uji kehomogenan ragam sisaan dapat dilakukan dengan uji *J. Szroeter*. Menurut Dielman (1991), statistik uji *J.Szroeter* didefinisikan sebagai:

$$Q = \left[\frac{6n}{n^2 - 1} \right]^{\frac{1}{2}} \left[\frac{\sum_{i=1}^n ie_i^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} - \frac{n+1}{2} \right] \quad (2.22)$$

di mana:

n : ukuran contoh

e_i : sisaan ke-i.

Hipotesis yang melandasi pengujian ini adalah:

H_0 : ragam sisaan konstan, lawan

H_1 : ragam sisaan tidak konstan

Pada taraf nyata sebesar α , jika $|Q| < |Z_{\alpha/2}|$ H_0 diterima, yang berarti ragam sisaan homogen. Apabila asumsi kehomogenan ragam sisaan tidak terpenuhi, maka pendugaan parameter dilakukan dengan metode *weighted least square* (Gujarati, 1995).

2.7.3 Asumsi Non Autokorelasi Sisaan

Autokorelasi didefinisikan sebagai korelasi antara anggota serangkaian observasi yang diurutkan menurut waktu atau ruang (Darmanto, 2008). Autokorelasi dapat terjadi karena beberapa alasan, antara lain karena tidak dimasukkannya beberapa peubah yang penting dalam model atau karena bentuk model yang tidak benar.

Model regresi mengasumsikan bahwa sisaan suatu amatan tidak dipengaruhi oleh sisaan amatan lain. Terjadinya autokorelasi menyebabkan:

1. Penduga ragam sisaan terlalu rendah dari yang sebenarnya.
2. Penduga parameter menyimpang jauh dari nilai yang sebenarnya.
3. Selang kepercayaan bagi parameter menjadi lebar sehingga pengujian kurang meyakinkan.

Menurut Sanjoyo (2006), secara grafis pemeriksaan asumsi non autokorelasi sisaan dapat dilakukan dengan membuat plot antara sisaan terhadap waktu. Jika pola berbentuk acak, maka tidak terdapat autokorelasi. Secara analitis dapat diselesaikan dengan statistik durbin watson, yaitu :

$$d = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (2.23)$$

di mana :

e_i : sisaan pada pengamatan ke-I, $i = 1, 2, \dots, n$

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

Hipotesis yang melandasi pengujian ini adalah:

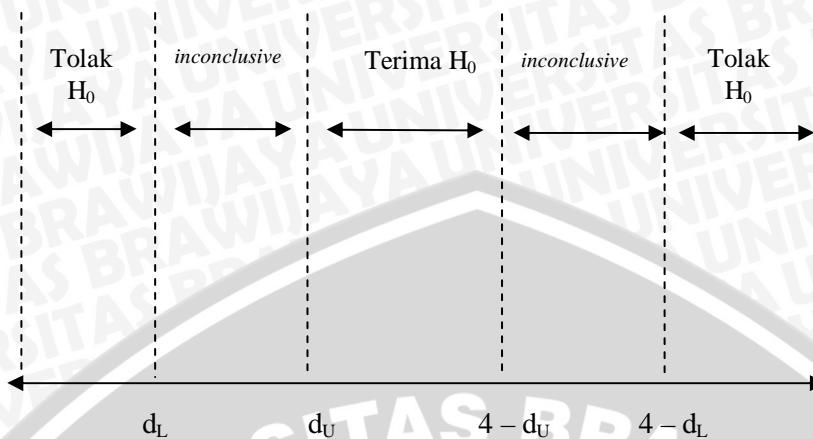
H_0 : pola sisaan acak
(tidak terjadi autokorelasi antar sisaan), lawan

H_1 : pola sisaan tidak acak
(terjadi autokorelasi antar sisaan)

Kaidah keputusan yang diambil berdasarkan titik-titik kritis d_L dan d_U sebagai berikut:

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

Secara sederhana dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.5 Kaidah keputusan pada statistik d

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

1. Menambah peubah prediktor
2. Melakukan transformasi peubah

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

$$Y'_t = Y_t - \rho Y_{t-1} \quad (2.24)$$

$$X'_t = X_t - \rho X_{t-1} \quad (2.25)$$

Transformasi dilakukan dengan menduga parameter ρ terlebih dahulu. Penduga parameter ρ dinotasikan dengan r , sehingga transformasi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Y'_t = Y_t - r Y_{t-1} \quad (2.26)$$

$$X'_t = X_t - r X_{t-1} \quad (2.27)$$

Terdapat tiga cara untuk mendapatkan penduga ρ , yaitu :

1. Prosedur *Cochrane-Orcutt*

Prosedur *Cochrane-Orcutt* dilakukan dengan menghitung besarnya korelasi sisaan dari data. Langkah-langkah transformasi *Cochrane-Orcutt* sebagai berikut :

- a. Menduga nilai ρ

Penduga ρ diperoleh dengan cara menghitung nilai r dengan rumus :

$$r = \frac{\sum_{t=2}^n e_t e_{t-1}}{\sum_{t=2}^n e_{t-1}^2} \quad (2.28)$$

- b. Mensubstitusi nilai r kedalam persamaan (2.26) dan persamaan (2.27) untuk mendapatkan data transformasi.
- c. Melakukan uji asumsi pada data transformasi.

2. Prosedur *Hildreth-Lu*

Pada prsedur *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.

$$JKS = \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2 \quad (2.29)$$

3. Prosedur Beda Pertama

Penduga ρ diperoleh dengan menganggap ρ mempunyai nilai yang tinggi yaitu mendekati 1, sehingga persamaan (2.24) dan persamaan (2.25) berubah menjadi :

$$Y'_t = Y_t - rY_{t-1} \quad (2.30)$$

$$X'_t = X_t - rX_{t-1} \quad (2.31)$$

Apabila pendugaan model regresi dari data transformasi telah menghilangkan autokorelasi pada sisaan, maka model regresi dapat dikembalikan ke dalam bentuk peubah asli dengan rumus :

$$\theta = \frac{\rho^r}{1-\rho} \quad (2.32)$$

$$S(\theta) = \frac{S(\theta^*)}{1-r} \quad (2.33)$$



2.8 Pengujian Parameter Model Nonlinier

Dalam pengujian parameter regresi terdapat dua uji yang harus dilakukan untuk mengetahui signifikansi dari peubah bebas yaitu :

2.8.1 Uji Serempak

Koefisien regresi diuji secara serempak dengan menggunakan ANOVA. Uji serempak dilakukan untuk mengetahui apakah secara bersama-sama mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap model.

Hipotesis dari pengujian ini adalah :

$H_0: B_1=B_2=\dots=B_k=0$ lawan

$H_1:$ minimal terdapat satu $B_k \neq 0, k= 1,2,3,\dots,p$

k adalah jumlah parameter yang terdapat di dalam model regresi. Menurut Efendi (2006) Pengujian signifikansi model secara serentak pada model regresi adalah dengan analisis varians yang terdapat dalam Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.3 Analisis Ragam

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

$$JKS = (Y - \hat{Y})'(Y - \hat{Y}) \quad (2.34)$$

$$JKT = (Y - \hat{Y})'(Y - \hat{Y}) \quad (2.35)$$

$$JKR = (\hat{Y} - \bar{Y})'(\hat{Y} - \bar{Y}) \quad (2.36)$$

dimana :

n : ukuran contoh

k : banyak parameter

F_{hitung} yang didapat dibandingkan dengan $F_{\alpha(v1,v2)}$ dengan derajat bebas $v1 = k$ dan $v2= n-k-1$ dengan tingkat signifikansi α . Apabila

$F_{hitung} > F_{\alpha(v_1,v_2)}$ maka H_0 ditolak artinya terdapat hubungan antara peubah respon dan peubah prediktor dalam model (Kutner dkk,2004).

2.8.2 Uji Parsial

Uji parsial digunakan untuk menguji apakah nilai koefisien regresi mempunyai pengaruh yang signifikan. Hipotesis dari pengujian secara parsial adalah :

$H_0: B_k = 0$ lawan

$H_1: B_k \neq 0$

Menurut Kutner dkk (2004) statistik uji yang digunakan adalah :

$$t_{hitung} = \frac{\hat{B}_k - B_k}{se(\hat{B}_k)} \quad (2.37)$$

di mana :

$se(\hat{B}_k) = \sqrt{KTS \times C_{kk}}$ dimana C_{kk} adalah unsur diagonal matriks $[z(\theta^{(j)}) z(\theta^{(j)})]^{-1}$ sedangkan KTS adalah Kuadrat Tenga Sisa.

\hat{B}_k : dugaan parameter ke-k

B_k : parameter populasi ke-k

Selanjutnya t_{hitung} dibandingkan dengan $t_{(\alpha/2,n-k-1)}$, dengan kaidah keputusannya :

1. Apabila nilai $t_{hitung} > t_{(\alpha/2,n-k-1)}$, maka H_0 ditolak artinya peubah independen ke k memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peubah respon.
2. Apabila nilai $t_{hitung} < t_{(\alpha/2,n-k-1)}$, maka H_0 diterima artinya peubah independen ke k tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peubah respon.

Penduga titik seringkali belum memberikan informasi yang cukup tentang keberartian parameter, untuk itu dibuat selang kepercayaan $100(1-\alpha)\%$ bagi B_k yang ditulis sebagai berikut (Kutner dkk, 2004):

$$\hat{B}_k - t_{n-k-1}^{\alpha/2} S(\hat{B}_k) \leq B_k \leq \hat{B}_k + t_{n-k-1}^{\alpha/2} S(\hat{B}_k) = 100(1-\alpha)\% \quad (2.38)$$

2.9 Kriteria Pemilihan Model Terbaik

2.9.1 Koefisien Determinasi

Menurut Sugiarto (1992) koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk mengetahui seberapa jauh ketepatan atau kecocokan garis regresi yang terbentuk dalam mewakili kelompok data hasil observasi, maka perlu dilihat sampai sejauh mana model yang terbentuk dapat menerangkan kondisi yang sebenarnya.

Sifat yang dimiliki koefisien determinasi adalah :

1. Nilai R^2 selalu positif, sebab merupakan nisbah dari jumlah kuadrat :

$$R^2 = \frac{JKR}{JKT} \quad (2.39)$$

Keterangan :

JKR : Jumlah Kuadrat Regresi

JKT : Jumlah Kuadrat Total

2. Nilai $0 \leq R^2 \leq 1$

$R^2 = 0$, berarti tidak ada hubungan antara X dan Y , atau model regresi yang terbentuk tidak tepat untuk meramalkan Y .

$R^2 = 1$, garis regresi yang terbentuk dapat meramalkan Y secara sempurna.

Nilai R^2 yang tinggi mengindikasikan bahwa model yang terbentuk telah mendekati data sesungguhnya dengan baik serta dapat mengukur besar proporsi (prosentase) dari jumlah ragam Y yang dapat diterangkan oleh model regresi atau untuk mengukur besar sumbangan dari peubah penjelas X terhadap ragam peubah respon Y .

2.9.2 Akaike's Information Criterion (AIC)

Akaike's Information Criterion (AIC) adalah ukuran kebaikan model statistika yang dikembangkan oleh Hirotugu Akaike (1971). *AIC* digunakan sebagai alat ukur perbandingan di mana model dengan nilai *AIC* paling kecil dianggap sebagai model terbaik (Hu, 2007). Secara umum *AIC* dirumuskan sebagai berikut :

$$AIC = 2p - 2 \ln(L) \quad (2.40)$$

Pada kasus di mana model memenuhi asumsi sisaan berdistribusi normal dan memiliki ragam konstan, rumus *AIC* dapat ditulis sebagai berikut (Hu, 2007) :

$$AIC = n \ln \left(\frac{JKS}{n} \right) + 2p \quad (2.41)$$

di mana:

p : banyak parameter dalam model

L : fungsi kemungkinan maksimum

n : ukuran contoh

JKS : Jumlah Kuadrat Sisa

Menurut Hu (2007), jika ukuran contoh kecil ($n/p < 40$), dapat digunakan *AIC* terkoreksi atau AIC_C yaitu :

$$AIC_C = AIC + 2p + \frac{2p(p+1)}{n-p-1} \quad (2.42)$$

Jika AIC_C bernilai negatif maka langkah pertama dalam menentukan model terbaik menurut Hu (2007) adalah menghitung perbedaan nilai diantara model dengan *AIC* minimum dengan *AIC* yang lain. Rumusnya dapat ditulis sebagai berikut :

$$\Delta_i = AIC_i - \min AIC \quad (2.43)$$

di mana:

Δ_i : perbedaan dari *AIC* model terbaik dan *AIC* model i

AIC_i : *AIC* model i

$\min AIC$: nilai *AIC* minimum dari semua model yang dibandingkan

Selanjutnya untuk mengukur model terbaik dibutuhkan pendugaan dari likelihood pada model yang diberikan data dimana :

$$\mathcal{L}(\text{model}|\text{data})$$

Yang mana sebanding (\propto) dengan exponent dari $-0.5\Delta_i$, sehingga :

$$\mathcal{L}(\text{model}|\text{data}) \propto \exp(-0.5\Delta_i)$$

$\exp(-0.5\Delta_i)$ disebut dengan *relative likelihood*. Selanjutnya, cara terbaik dalam menginterpretasikan data adalah menormalisasikan ke dalam bentuk sebagai berikut :

$$w_i = \frac{\exp(-0.54)}{\sum_{i=1}^K \exp(-0.54)} \quad (2.44)$$

di mana :

w_i : Akaike's Weight untuk model i

2.10 Kartu Menuju Sehat (KMS)

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia (2010), perubahan berat badan merupakan indikator yang sangat sensitif untuk memantau pertumbuhan anak. Bila kenaikan berat badan anak lebih rendah dari yang seharusnya, pertumbuhan anak terganggu dan anak berisiko akan mengalami kekurangan gizi. Sebaliknya bila kenaikan berat badan lebih besar dari yang seharusnya merupakan indikasi risiko kelebihan gizi.

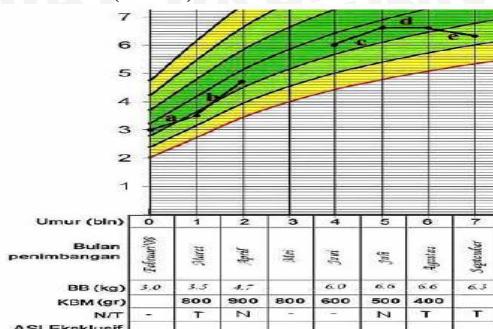
Kartu Menuju Sehat (KMS) adalah kartu yang memuat kurva pertumbuhan normal anak berdasarkan indeks antropometri berat badan menurut umur. Penggunaan KMS dapat menyelidiki adanya gangguan pertumbuhan atau risiko kelebihan gizi dapat diketahui lebih dini, sehingga dapat dilakukan tindakan pencegahan secara lebih cepat dan tepat sebelum masalahnya lebih berat.

KMS balita ini dibedakan antara KMS anak laki-laki dengan KMS anak perempuan. KMS untuk anak laki-laki berwarna dasar biru dan terdapat tulisan untuk laki-laki. Sedangkan KMS anak perempuan berwarna dasar merah muda dan terdapat tulisan untuk anak perempuan. KMS mempunyai 3 fungsi utama, yaitu :

1. Sebagai alat untuk memantau pertumbuhan anak. Pada KMS dicantumkan grafik pertumbuhan normal anak, yang dapat digunakan untuk menentukan apakah seorang anak tumbuh normal, atau mengalami gangguan pertumbuhan. Bila grafik berat badan anak mengikuti grafik pertumbuhan pada KMS, artinya anak tumbuh normal, kecil resiko anak akan mengalami gangguan pertumbuhan. Sebaliknya bila grafik berat badan tidak sesuai dengan grafik pertumbuhan, anak kemungkinan berisiko mengalami gangguan pertumbuhan.
2. Sebagai catatan pelayanan kesehatan anak. Di dalam KMS dicatat riwayat pelayanan kesehatan dasar anak terutama berat badan anak, pemberian kapsul vitamin A, pemberian ASI pada bayi 0-6 bulan dan imunisasi.

3. Sebagai alat edukasi. Di dalam KMS dicantumkan pesan-pesan dasar perawatan anak seperti pemberian makanan anak, perawatan anak bila diare.

Status pertumbuhan anak dapat diketahui dengan 2 cara yaitu dengan menilai garis pertumbuhan KMS, atau dengan menghitung kenaikan berat badan anak dibandingkan dengan Kenaikan Berat Badan Minimum (KBM).



Gambar 2.6 Pola Pertumbuhan

Gambar 2.6 menggambarkan status pertumbuhan berdasarkan grafik pertumbuhan anak dalam KMS.

- Tidak Naik (T)**, grafik berat badan memotong garis pertumbuhan dibawahnya; kenaikan berat badan < KBM (<800 g)
- Naik (N)**, grafik berat badan memotong garis pertumbuhan diatasnya; kenaikan berat badan > KBM (>900 g)
- Naik (N)**, grafik berat badan mengikuti garis pertumbuhannya; kenaikan berat badan > KBM (>500 g)
- Tidak Naik (T)**, grafik berat badan mendatar; kenaikan berat badan < KBM (<400 g)
- Tidak Naik (T)**, grafik berat badan menurun; grafik berat badan < KBM (<300 g).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder berat badan balita perempuan dan laki-laki umur 0-60 bulan yang selanjutnya dibagi dalam tiga kelompok umur berdasarkan fase pasca embrionik yaitu umur 0-12 bulan, 13-36 bulan, dan 37-60 bulan. Data diperoleh dari hasil pencacatan berat badan balita yang rutin melalui Kartu Menuju Sehat (KMS) di RT 01 dan RT 02 RW 05 Kelurahan Bandulan Kota Malang Jawa Timur. Peubah yang digunakan adalah umur (bulan) sebagai peubah penjelas dan rata-rata berat badan (kg) sebagai peubah respon. Dalam analisis data pertumbuhan balita dibagi dalam tiga kelompok umur berdasarkan teori fase pasca embrionik.

3.2 Metode Penelitian

Rangkaian tahapan analisis yang dilakukan terhadap data pertumbuhan berat badan balita adalah sebagai berikut :

1. Membuat diagram pencar data pertumbuhan rata-rata berat badan balita laki-laki dan perempuan.
2. Menentukan penduga awal parameter untuk masing-masing model secara analitik. Tahapan penentuan penduga awal parameter masing-masing model sebagai berikut :
 - a. Model Pertumbuhan *Gompertz*
 1. Menentukan nilai t_0 (waktu awal pertumbuhan), ω_0 (berat individu saat t_0), α (nilai awal parameter respon pertumbuhan maksimum)
$$\alpha = \lim_{t \rightarrow \infty} \omega(t)$$
 2. Menghitung nilai β_0 (kostanta integrasi waktu saat t_0) dengan menggunakan persamaan (2.9)
 3. Mensubstitusi nilai α, β_0 dan salah satu titik pengamatan untuk menduga nilai K (parameter kecepatan pertumbuhan) dengan menggunakan persamaan (2.9)

b. Model Pertumbuhan *Logistic*

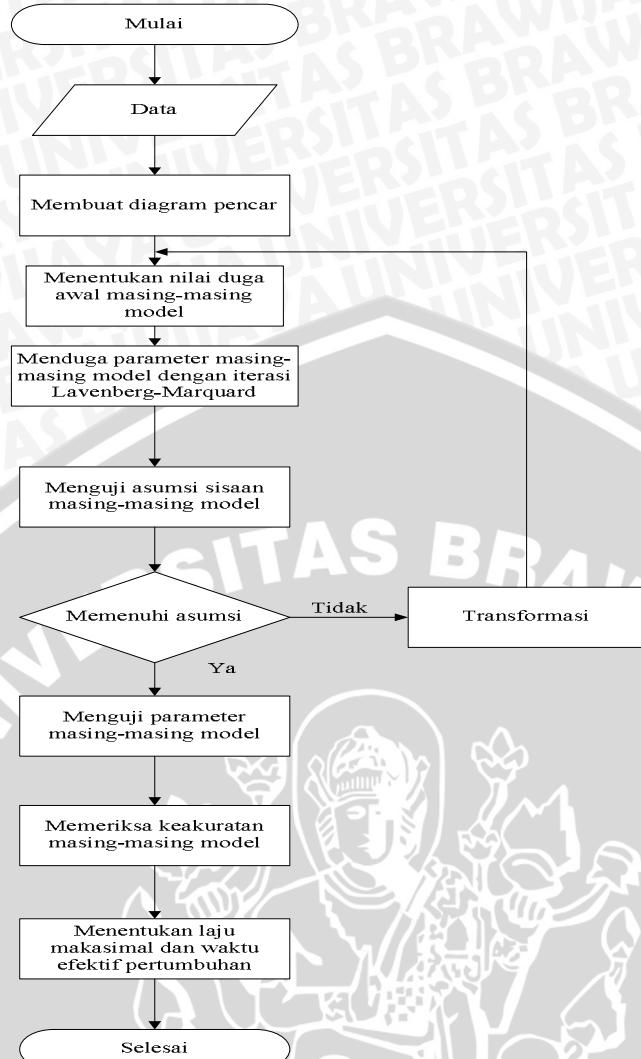
1. Menentukan nilai t_0 (waktu awal pertumbuhan), ω_0 (berat individu saat t_0), α (nilai awal parameter respon pertumbuhan maksimum)

$$\alpha = \lim_{t \rightarrow \infty} \omega(t)$$

2. Menghitung nilai β_0 (kostanta integrasi waktu saat t_0) dengan menggunakan persamaan (2.14)
3. Mensubtitusi nilai α, β_0 dan salah satu titik pengamatan untuk menduga nilai K (parameter kecepatan pertumbuhan) dengan menggunakan persamaan (2.14)

3. Melakukan pendugaan parameter menggunakan metode kuadrat terkecil nonlinier dengan iterasi *Lavenberg Marquardt* dengan bantuan SPSS versi 16.00 yang sesuai dengan persamaan (2.20)

4. Melakukan pengujian asumsi terhadap sisaan (asumsi kenormalan sisaan, kehomogenan ragam sisaan dan nonautokorelasi). Apabila asumsi belum terpenuhi, maka dilakukan transformasi pada data, kemudian melakukan langkah 1 hingga 3 dengan data yang telah ditransformasi tersebut.
5. Menguji parameter model secara serempak dan parsial seperti pada subbab 2.8.1 dan subbab 2.8.2.
6. Melakukan pemeriksaan keakuratan model berdasarkan persamaan (2.39) dan persamaan (2.44).
7. Menentukan laju pertumbuhan maksimum dari setiap model terbaik berdasarkan persamaan (2.7) dan persamaan (2.12).



Gambar 3.1 Diagram alir metode analisis

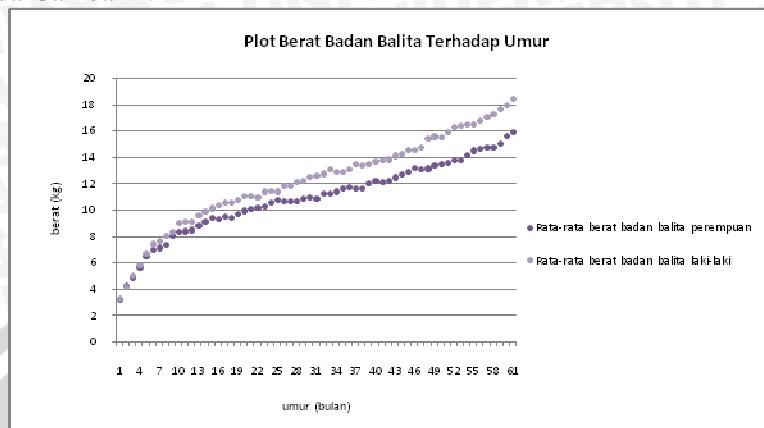


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Diagram Pencar

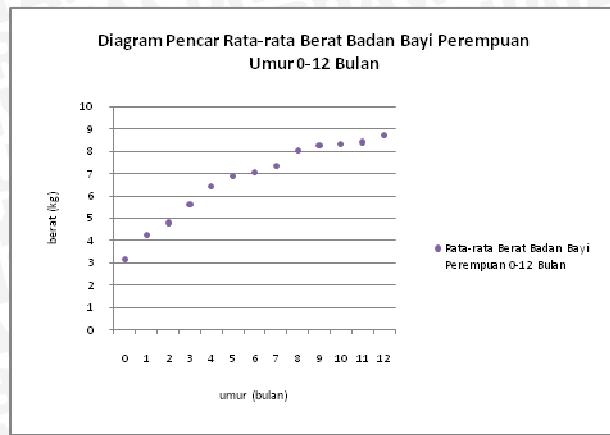
Diagram pencar berat badan balita terhadap umur (bulan) disajikan pada Gambar 4.1



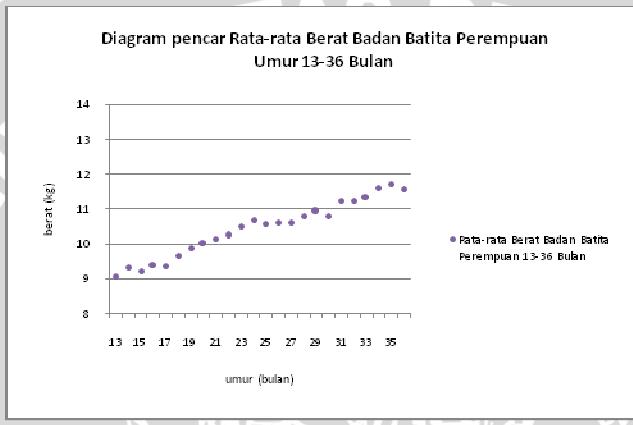
Gambar 4.1 Diagram pencar rata-rata berat badan balita terhadap umur

Gambar 4.1 menunjukkan berat badan balita perempuan dan laki-laki cenderung mengalami kenaikan seiring dengan pertambahan umur. Diagram tersebut juga menunjukkan bahwa berat badan balita laki-laki lebih berat dibandingkan balita perempuan. Diagram pencar diatas mempunyai pola sigmoid, sehingga disimpulkan model pertumbuhan *Gompertz* dan *Logistic* dapat digunakan untuk menggambarkan pola pertumbuhan balita laki-laki dan perempuan. Pertumbuhan berat badan balita juga dipengaruhi oleh perkembangan balita pada setiap usia yang dapat dilihat pada Lampiran 1.

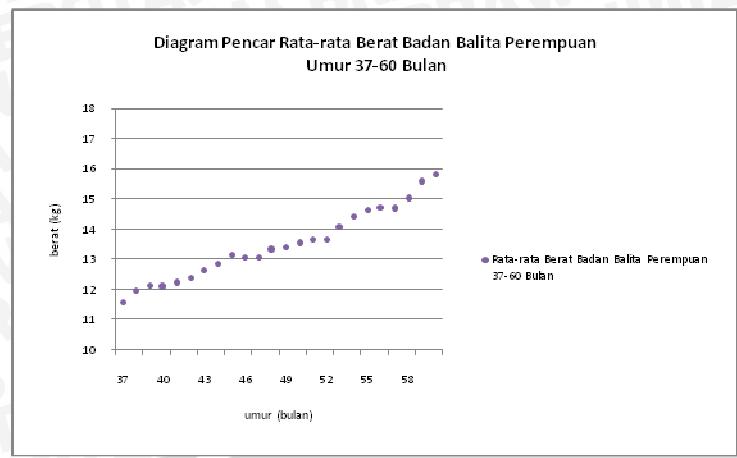
Berdasarkan teori fase pasca embrionik, pertumbuhan dan perkembangan balita dibagi dalam tahap yaitu masa bayi,batita (toddler),dan balita. Oleh sebab itu dari ketiga tahapan tersebut ingin diketahui model pertumbuhan untuk masing-masing fase atau kelompok umur.



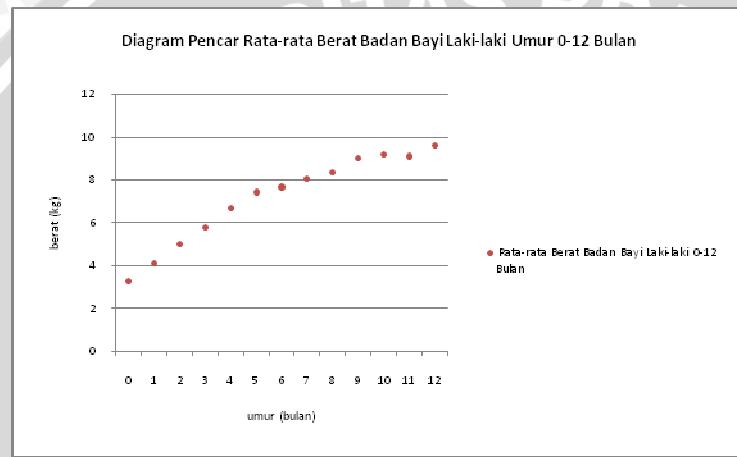
Gambar 4.2 Diagram pencar berat rata-rata bayi perempuan umur 0-12 bulan



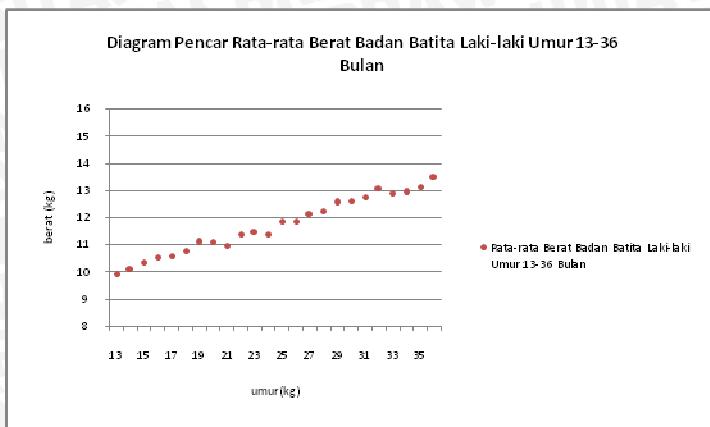
Gambar 4.3 Diagram pencar berat rata-rata batita perempuan umur 13-36 bulan



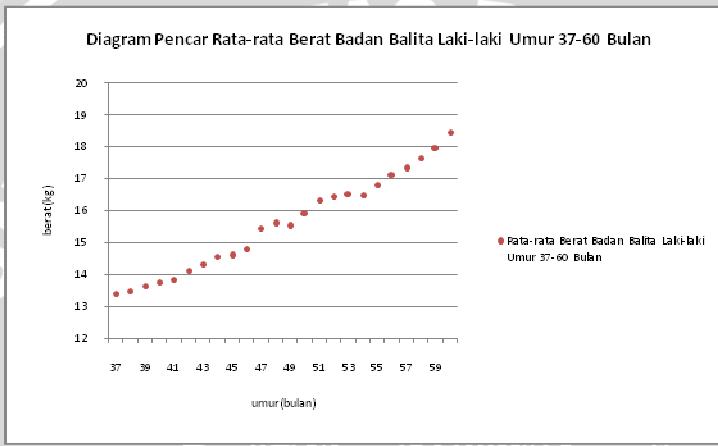
Gambar 4.4 Diagram pencar berat rata-rata balita perempuan umur 37-60 bulan



Gambar 4.5 Diagram pencar berat rata-rata balita laki-laki umur 0-12 bulan



Gambar 4.6 Diagram pencar berat rata-rata balita laki-laki umur 13-36 bulan



Gambar 4.7 Diagram pencar berat rata-rata balita laki-laki umur 13-36 bulan

4.2 Pendugaan Parameter Model

Sebelum melakukan pendugaan parameter, langkah awal yang harus dilakukan adalah menentukan penduga awal parameter setiap model. Langkah-langkah menentukan penduga awal parameter disajikan pada Lampiran 3. Penduga awal tersebut akan diperbaiki melalui proses iterasi *Levenberg-Marquardt* dengan bantuan SPSS 16.00 untuk memperoleh penduga parameter yang sesungguhnya. Prinsip iterasi *Lavenberg-Marquardt* dapat dilihat pada Lampiran 4.

Model *Gompertz* dan *Logistic* terdiri dari 3 parameter yaitu α , (parameter berat maksimum individu yang dicapai ω), β (parameter skala waktu) dan K (parameter laju pertumbuhan). Penduga awal serta penduga hasil iterasi model *Gompertz* dan *Logistic* dapat dilihat pada Lampiran 6. Model *Gompertz* yang terbentuk dituliskan pada Tabel 4.1. Sedangkan Model *Logistic* yang terbentuk dituliskan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Model *Gompertz*

Jenis Kelamin	Umur (Bulan)	Model <i>Gompertz</i> yang terbentuk
Perempuan	0-12	$9.906e^{-1.027e^{-0.224t}}$
	13-36	$14.971e^{-0.747e^{-0.030t}}$
	37-60	$276.388e^{-3.077e^{-0.004t}}$
Laki-Laki	0-12	$9.984e^{-1.124e^{-0.144t}}$
	13-36	$25.630e^{-1.168e^{-0.018t}}$
	37-60	$335.463e^{-5.816e^{-0.003t}}$

Tabel 4.2 Model *Logistic*

Jenis Kelamin	Umur (Bulan)	Model <i>Logistic</i> yang terbentuk
Perempuan	0-12	$\frac{8.807}{1 + 1.631e^{-0.042t}}$ 14.225
	13-36	$\frac{1}{1 + 0.977e^{-0.041t}}$ $3.80E7$
	37-60	$\frac{1}{1 + 5.11E6e^{-0.012t}}$



Tabel 4.2 (Lanjutan)

Laki-Laki	0-12	$\frac{9.622}{1 + 1.866e^{-0.399t}}$ 20.865
	13-36	$\frac{1 + 1.592e^{-0.019t}}{7.11E5}$
	37-60	$\frac{1 + 8.98E4e^{-0.014t}}{1}$

4.3 Pengujian Asumsi

Pengujian asumsi sisaan dilakukan untuk mengetahui kesesuaian model regresi yang diduga. Berikut ini adalah hasil pengujian asumsi sisaan :

1. Asumsi Kenormalan

Hasil pengujian asumsi kenormalan sisaan menggunakan uji *Kolmogorov Smirnov* dengan bantuan SPSS dapat dilihat pada Lampiran 7. Hasil pengujian menunjukkan bahwa uji *Kolmogorov Smirnov* untuk setiap sisaan model pertumbuhan berat badan balita perempuan dan laki-laki menurut kelompok umur menghasilkan nilai $p > 0.01$, maka H_0 diterima pada taraf nyata 1% sehingga disimpulkan bahwa sisaan semua model menyebar normal. Hasil output SPSS ver 16.00 dapat dilihat pada lampiran 7.

2. Asumsi Kehomogenan Ragam Sisaan

Hasil pengujian asumsi kehomogenan ragam sisaan untuk setiap sisaan model pertumbuhan berat badan balita perempuan dan laki-laki pada setiap kelompok umur yang disajikan pada Lampiran 8. Hasil pengujian menggunakan uji *J. Szroeter* menunjukkan bahwa semua sisaan model memiliki nilai $|Q| < |Z_{0.005}|$ sehingga H_0 diterima pada taraf nyata 1% yang berarti asumsi kehomogenan ragam sisaan masing-masing model terpenuhi.

3. Asumsi non Autokorelasi Sisaan

Hasil pengujian asumsi non autokorelasi sisaan untuk setiap sisaan model pertumbuhan berat badan balita perempuan dan laki-laki pada setiap kelompok umur dengan menggunakan menggunakan statistik uji durbin-watson disajikan pada Lampiran 9. Hasil uji statistik durbin Watson menunjukkan bahwa semua pola sisaan model acak kecuali pola sisaan model pertumbuhan *Gompertz* dan *Logistic* balita perempuan umur 37-60 bulan. Oleh sebab itu langkah selanjutnya adalah mentransformasi data berat badan balita perempuan dengan menggunakan transformasi *Cochrane-Orcutt*.

4.4 Pendugaan Parameter Data Transformasi

Hasil transformasi *Cochrane-Orcutt* dengan penduga ρ yang dihitung dengan persamaan (2.28) pada data berat badan balita perempuan umur 37-60 bulan pada model *Gompertz* dan *Logistic* masing-masing menghasilkan nilai korelasi $r = 0.643$ dan $r = 0.617$. Selanjutnya masing-masing nilai r yang dihasilkan disubstitusikan kedalam persamaan (2.26) dan persamaan (2.27) untuk mendapatkan data transformasi model *Gompertz* dan *Logistic*. Nilai duga awal dan hasil pendugaan parameter model *Gompertz* dan *Logistic* dengan iterasi *Lavenberg Marquardt* disajikan pada Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Nilai duga awal dan hasil pendugaan parameter model pertumbuhan *Gompertz* dan *Logistic*

Parameter	Nilai duga awal		Hasil pendugaan parameter model	
	<i>Gompertz</i>	<i>Logistic</i>	<i>Gompertz</i>	<i>Logistic</i>
α	5.8300	5.8300	153.499	1.41E+07
β	0.2567	0.2882	4.141	5.44E+06
K	0.0084	0.1430	0.01	0.035

4.5 Pengujian Asumsi Data Transformasi

Hasil uji asumsi kenormalan, asumsi kehomogenan ragam sisaan, dan asumsi non autokorelasi sisaan dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut ini :

Tabel 4.4 Uji asumsi data transformasi

Model	Nilai Statistik Uji		
	Kolmogorov Smirnov	J.Szroeter	Durbin Watson
Gompertz	0.435	1.186	1.27
Logistic	0.396	1.1659	1.309

Berdasarkan Tabel 4.4 semua asumsi telah terpenuhi. Asumsi kenormalan masing-masing model menghasilkan nilai Kolmogorov-Smirnov $> 1\%$, sehingga dapat disimpulkan bahwa sisaan menyebar normal. Nilai statistik uji *J.Szroeter* menghasilkan nilai 1.186 dimana $|Q| < Z^{0.005}$, sehingga dapat disimpulkan bahwa ragam sisaan konstan. Nilai statistik durbin Watson berada diantara $du < d < 4-du$ sehingga dapat disimpulkan bahwa pola sisaan acak. Setelah semua asumsi terpenuhi selanjutnya melakukan pengujian parameter masing-masing model secara serempak dan parsial.

4.6 Pengujian Parameter Masing-masing Model Nonlinier

Pengujian parameter masing-masing model nonlinier dilakukan dengan dua cara yaitu uji serempak dan uji parsial. Pengujian serempak dilakukan untuk mengetahui apakah model regresi yang didapat sudah sesuai. Sedangkan pengujian secara parsial dilakukan untuk mengetahui apakah setiap parameter memberikan kontribusi parsial secara nyata terhadap bentuk model. Hasil pengujian parameter secara serempak dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan pengujian parameter secara parsial dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.5 Hasil pengujian parameter secara serempak

Jenis Kelamin	Umur (Bulan)	Gompertz			Logistic		
		F _{hitung}	F _{tabel}	Keputusan	F _{hitung}	F _{tabel}	Keputusan
Perempuan	0-12	8681.042	3.71	Tolak H ₀	6719.709	3.71	Tolak H ₀
	13-36	51529.88	3.07	Tolak H ₀	51529.882	3.07	Tolak H ₀
	37-60	7908.625	3.07	Tolak H ₀	8252.625	3.07	Tolak H ₀

Tabel 4.5 (Lanjutan)

Laki-Laki	0-12	10791.182	3.71	Tolak H_0	8185.586	3.71	Tolak H_0
	13-36	64972.235	3.07	Tolak H_0	64972.235	3.07	Tolak H_0
	37-60	72547.925	3.07	Tolak H_0	75338.654	3.07	Tolak H_0

Berdasarkan Tabel 4.5 nilai F_{hitung} yang dihasilkan dari pengujian parameter secara serempak menghasilkan keputusan Tolak H_0 dimana semua nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hal ini berarti model pertumbuhan *Gompertz* dan *Logistic* sudah sesuai dalam menjelaskan pola pertumbuhan berat badan balita sesuai dengan kelompok umur. Selanjutnya ingin diketahui secara parsial parameter apa saja yang berpengaruh pada setiap model pertumbuhan.

Tabel 4.6 Hasil pengujian parameter secara parsial

Jenis Kelamin	Umur (Bulan)	Paramete r	<i>Gompertz</i>			<i>Logistic</i>		
			t_{hitung}	t_{tabel}	Keputusa n	t_{hitung}	t_{tabel}	Keputusa n
Perempuan	0-12	α	50.361	2.262	Tolak H_0	55.74	2.262	Tolak H_0
		β	32.093	2.262	Tolak H_0	18.747	2.262	Tolak H_0
		K	13.368	2.262	Tolak H_0	13.68	2.262	Tolak H_0
	13-36	α	7.6813	2.086	Tolak H_0	10.383	2.086	Tolak H_0
		β	9.337	2.086	Tolak H_0	8.963	2.086	Tolak H_0
		K	2.727	2.086	Tolak H_0	3.757	2.086	Tolak H_0
	37-60	α	0.0419	2.086	Terima H_0	0.00000167	2.086	Terima H_0
		β	0.174	2.086	Terima H_0	0.00000167	2.086	Terima H_0
		K	0.135	2.086	Terima H_0	3.88	2.086	Tolak H_0
Laki-laki	0-12	α	51.73	2.262	Tolak H_0	59.395	2.262	Tolak H_0
		β	37.467	2.262	Tolak H_0	21.204	2.262	Tolak H_0
		K	15.25	2.262	Tolak H_0	16.1428	2.262	Tolak H_0
	13-36	α	2.479	2.086	Tolak H_0	4.462	2.086	Tolak H_0
		β	3.1917	2.086	Tolak H_0	3.2162	2.086	Tolak H_0

Tabel 4.6 (Lanjutan)

		K	2	2.086	Terima H_0	3.625	2.086	Tolak H_0
37-60	α	0.2039	2.086	Terima H_0	0.0000766	2.086		Terima H_0
	β	0.7978	2.086	Terima H_0	0.0000766	2.086		Terima H_0
	K	0.7143	2.086	Terima H_0	2.8	2.086		Tolak H_0

Tabel 4.7 Selang kepercayaan 95% untuk parameter model

Model	Jenis Kelamin	Umur (Bulan)	α		β		K	
			BB	BA	BB	BA	BB	BA
<i>Gompertz</i>	Perempuan	0-12	8.663	9.467	0.956	1.097	0.212	0.297
		13-36	10.919	19.024	0.579	0.914	0.007	0.053
		37-60	-7478.588	7785.525	-45.617	53.899	-0.144	0.165
	Laki-laki	0-12	9.555	10.413	1.058	1.19	0.209	0.280
		13-36	4.138	47.121	0.406	1.942	-0.01	0.034
		37-60	-3006.836	3660.893	-6.106	13.708	-0.011	0.020
<i>Logistic</i>	Perempuan	0-12	8.454	9.159	1.038	1.825	0.286	0.398
		13-36	11.377	17.073	0.751	1.204	0.018	0.064
		37-60	-1.758E13	1.758E13	-6.770E12	6.77E12	0.017	0.054
	Laki-laki	0-12	9.261	9.984	1.67	2.062	0.292	0.387
		13-36	11.141	30.588	0.561	2.662	0.012	0.047
		37-60	-1.93E10	1.93E10	-2.44E09	2.44E09	0.001	0.028

Keterangan : BB (Batas Bawah)

BA (Batas Atas)

Berdasarkan Tabel 4.6 nilai P-value parameter α, β dan K model *Gompertz* dan *Logistic* pada balita perempuan umur 0-12 bulan dan umur 13-36 bulan menghasilkan nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$, sehingga dapat disimpulkan bahwa ketiga parameter tersebut secara parsial berpengaruh nyata terhadap bentuk model *Gompertz* dan *Logistic*.

Parameter α, β dan K model *Gompertz* pada balita perempuan umur 37-60 bulan menghasilkan nilai $t_{hitung} < t_{tabel}$, sehingga dapat disimpulkan bahwa secara parsial ketiga parameter tersebut tidak

berpengaruh nyata terhadap model. Selain itu jika dilihat dari rentang nilai batas atas dan batas bawah dari selang kepercayaan, mengandung nilai $B_k=0$, sehingga H_0 diterima atau dengan kata lain ketiga parameter tersebut tidak berpengaruh secara nyata terhadap bentuk model *Gompertz*. Sedangkan pada model *Logistic*, parameter yang berpengaruh secara nyata pada model adalah parameter K.

Parameter α, β dan K model *Gompertz* dan *Logistic* pada balita laki-laki umur 0-12 bulan menghasilkan nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$, dan disimpulkan bahwa ketiga parameter tersebut secara parsial berpengaruh nyata terhadap bentuk model *Gompertz* dan *Logistic*.

Parameter α dan β model *Gompertz* pada balita laki-laki umur 13-36 bulan menghasilkan nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$, sedangkan parameter K menghasilkan nilai $t_{hitung} < t_{tabel}$, sehingga disimpulkan bahwa parameter yang secara parsial berpengaruh nyata terhadap bentuk model *Gompertz* adalah parameter α dan β .

Parameter α, β dan K model *Logistic* pada balita laki-laki umur 13-36 bulan menghasilkan nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$, sehingga dapat disimpulkan bahwa ketiga parameter tersebut secara parsial berpengaruh nyata terhadap bentuk model *Logistic*.

Parameter α, β dan K pada balita laki-laki umur 37-60 bulan secara serempak berpengaruh terhadap bentuk model *Gompertz* dan *Logistic*. Namun setelah diuji secara parsial ketiga parameter tersebut menghasilkan nilai $t_{hitung} < t_{tabel}$ pada model *Gompertz*. Selain itu jika dilihat dari rentang nilai batas atas dan batas bawah dari selang kepercayaan, mengandung nilai $B_k=0$, sehingga H_0 diterima atau dengan kata lain ketiga parameter tersebut secara parsial tidak berpengaruh secara nyata terhadap bentuk model *Gompertz*. Sedangkan pada model *Logistic*, parameter yang berpengaruh secara nyata pada model adalah parameter K.

4.7 Model Pertumbuhan Balita Perempuan dan Balita Laki-laki

Parameter model pertumbuhan balita perempuan dan balita laki-laki terangkum dalam Tabel 4.8 dan Tabel 4.9

Tabel 4.8 Parameter model pertumbuhan balita perempuan

Model	Umur (Bulan)	Parameter		
		α	β	K
<i>Gompertz</i>	0-12	9.906	1.027	0.256
	13-36	14.971	0.747	0.030
	37-60	153.499	4.141	0.010
<i>Logistic</i>	0-12	8.807	1.631	0.342
	13-36	14.225	0.977	0.041
	37-60	1.412E7	5.435E6	0.035

Parameter berat badan balita perempuan umur 37-60 bulan yang disajikan pada tabel 4.14 adalah hasil pengembalian dari bentuk transformasi ke bentuk peubah asli dengan menggunakan persamaan (2.32).

Tabel 4.9 Parameter model pertumbuhan balita laki-laki

Model	Umur (Bulan)	Parameter		
		α	β	K
<i>Gompertz</i>	0-12	9.984	1.124	0.244
	13-36	25.630	1.168	0.016
	37-60	327.028	3.801	0.005
<i>Logistic</i>	0-12	9.622	1.866	0.339
	13-36	20.865	1.592	0.029
	37-60	7.10E5	8.980E4	0.014

Penduga parameter respon pertumbuhan maksimum α , pada setiap jenis kelamin sesuai dengan kelompok umur cenderung tidak berbeda pada semua model. Parameter α pada berat badan balita perempuan umur 0-12 bulan untuk model *Gompertz* tidak jauh

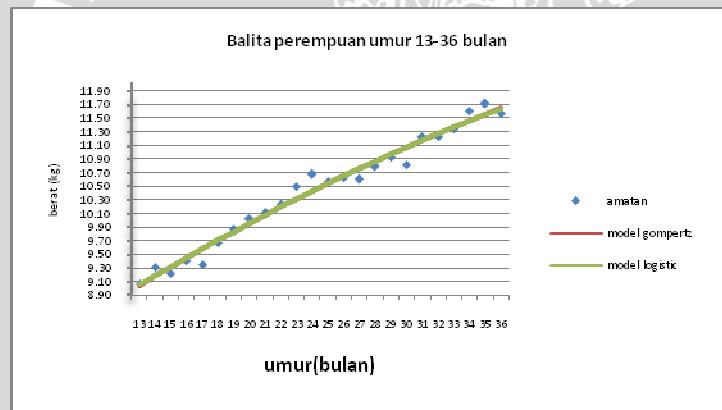
berbeda dengan parameter α pada model *Logistic*, begitu pula dengan parameter β dan K.

Hal serupa juga terjadi pada ketiga parameter pada model *Gompertz* dan *Logistic* pada setiap kelompok umur untuk masing-masing jenis kelamin. Fungsi dari ketiga parameter model adalah untuk mengepaskan model menjadi lebih baik dan mendekati pola data. Oleh sebab itu ketiga parameter tersebut mempunyai nilai yang bervariasi.

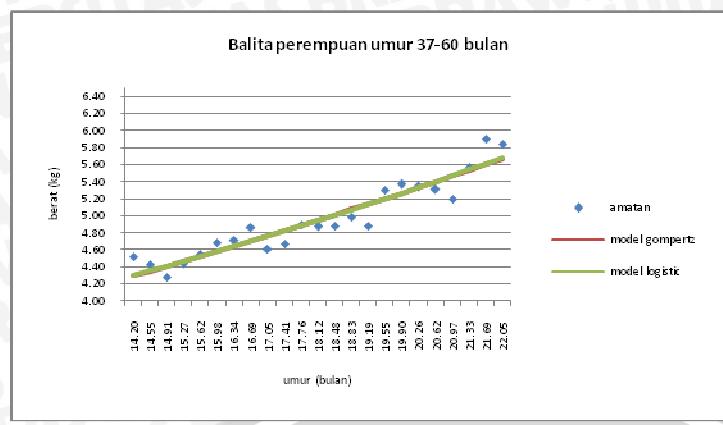
Berikut adalah kurva pertumbuhan balita perempuan dan laki-laki sesuai kelompok umur yang disajikan pada gambar dibawah ini:



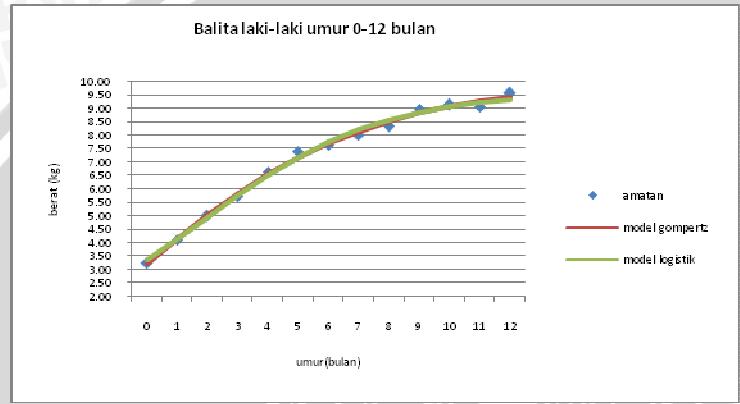
Gambar 4.8 Model pertumbuhan balita perempuan 0-12 bulan



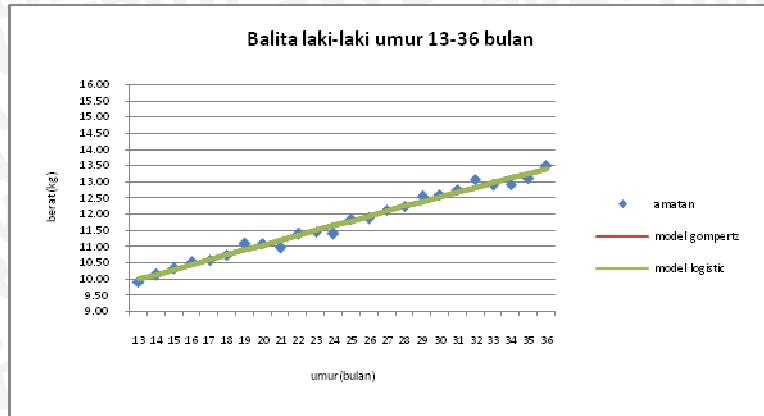
Gambar 4.9 Model pertumbuhan balita perempuan 13-36 bulan



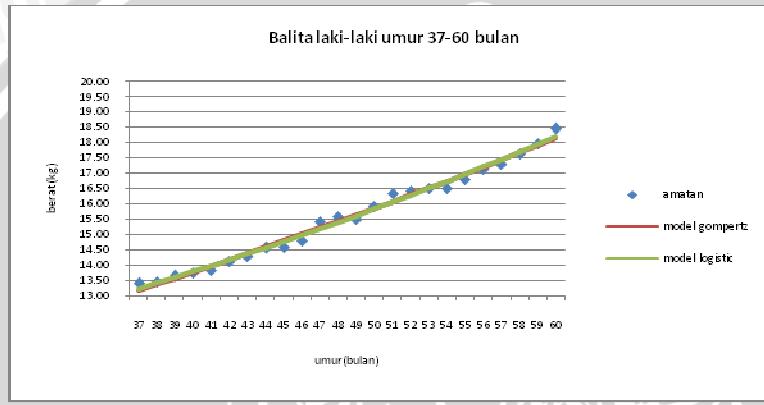
Gambar 4.10 Model pertumbuhan balita perempuan 37-60 bulan



Gambar 4.11 Model pertumbuhan balita laki-laki 0-12 bulan



Gambar 4.12 Model pertumbuhan balita laki-laki 13-36 bulan



Gambar 4.13 Model pertumbuhan balita laki-laki 37-60 bulan

Kurva pertumbuhan yang dihasilkan pada masing-masing kelompok umur tidak memperlihatkan bentuk sigmoid secara jelas. Hal ini dikarenakan nilai parameter K (parameter kecepatan pertumbuhan) yang relatif kecil yaitu < 0.5 sehingga keterjalan kurva pertumbuhan tidak terlihat dengan jelas. Jika ditinjau dari Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 dapat diketahui bahwa semakin meningkat umur balita maka nilai parameter K (parameter kecepatan pertumbuhan) semakin kecil. Sehingga diindikasikan bahwa pada peningkatan umur balita dari umur 0-60 bulan kecepatan pertumbuhan semakin kecil. Oleh sebab itu dapat

disimpulkan bahwa semakin meningkat umur manusia maka pertumbuhan tetap naik namun berjalan lambat atau perlahan.

Tabel 4.10 Umur dan berat badan balita perempuan saat pertumbuhan maksimum tercapai

Model	Umur (Bulan)	Pertumbuhan Maksimum	
		Umur (Bulan,Hari)	Berat badan
<i>Gompertz</i>	0-12	1.4	4.833
	13-36	22.7	10.290
	37-60	41.7	10.021
<i>Logistic</i>	0-12	2.13	4.927
	13-36	26.6	10.709
	37-60	51.8	15.931

Tabel 4.11 Umur dan berat badan balita laki-laki saat kecepatan pertumbuhan maksimum tercapai

Model	Umur (Bulan)	Pertumbuhan Maksimum	
		Umur (Bulan,Hari)	Berat badan
<i>Gompertz</i>	0-12	1.5	4.570
	13-36	22.7	10.104
	37-60	45.9	15.934
<i>Logistic</i>	0-12	1.8	4.778
	13-36	29.0	12.371
	37-60	52.7	16.527

Tabel 4.10 dan Tabel 4.11 menjelaskan pertumbuhan maksimum yang dicapai oleh balita. Pertumbuhan maksimum terjadi pada titik belok model saat $\frac{d^2W(t)}{dt^2} = 0$. Pertumbuhan maksimum balita perempuan umur 0-12 bulan pada model *Gompertz* adalah saat berumur 1 bulan 4 hari dengan berat badan 4.833 kg, pada model *Logistic* saat berumur 2 bulan 13 hari dengan berat badan 4.927 kg.

Pertumbuhan maksimum balita perempuan umur 13-36 bulan pada model *Gompertz* adalah ketika berumur 22 bulan 7 hari dengan berat badan 10.290 kg, pada model *Logistic* saat berumur 26 bulan 6 hari dengan berat badan 10.709 kg. Pada balita perempuan umur 37-60 bulan untuk model *Gompertz* pertumbuhan maksimum terjadi saat berumur 41 bulan 7 hari dengan berat badan 10.021 kg, pada model *Logistic* ketika berumur 51 bulan 8 hari dengan berat badan 15.931 kg.

Balita laki-laki umur 0-12 bulan pada model *Gompertz* pertumbuhan maksimum terjadi ketika berumur 1 bulan 5 hari dengan berat badan 4.570 kg, pada model *Logistic* ketika berumur 1 bulan 8 hari dengan berat badan 4.778 kg. Pertumbuhan maksimum yang dicapai oleh balita laki-laki umur 13-36 bulan untuk model *Gompertz* adalah saat berumur 22 bulan 7 hari dengan berat badan 10.104 kg, pada model *Logistic* saat berumur 29 bulan dengan berat badan 12.371 kg. Sedangkan pertumbuhan maksimum yang dicapai balita laki-laki umur 37-60 bulan untuk model *Gompertz* adalah saat berumur 45 bulan 9 hari dengan berat badan 15.934 kg, pada model *Logistic* saat berumur 52 bulan 7 hari dengan berat badan 16.527 kg.

Waktu disekitar pertumbuhan maksimum disebut waktu efektif pertumbuhan. Hal ini menandakan bahwa di sekitar waktu tersebut orang tua wajib memperhatikan asupan gizi yang diberikan kepada anak. Pemberian gizi seimbang, vitamin, dan asi yang cukup untuk pertumbuhan sehingga dapat meningkatkan perkembangan fisik dan motorik anak pada tahap selanjutnya.

Setiap model memiliki penduga waktu terjadinya pertumbuhan maksimum serta karakteristik pertumbuhan lain yang berbeda-beda. Oleh karena itu, perlu dipilih satu model terbaik untuk masing-masing jenis kelamin pada setiap kelompok umur, dengan demikian dapat digunakan penduga model terbaik sebagai kesimpulan yang paling akurat.

4.8 Pemilihan Model Terbaik

Suatu model dikatakan terbaik jika memiliki R^2 terbesar dan $AICc$ terkecil diantara model-model lainnya. R^2 dan $AICc$ dirangkum dalam tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil perhitungan R^2 dan $AICc$ balita perempuan dan laki-laki

Jenis Kelamin	Model	Umur (Bulan)	R^2	$AICc$
Perempuan	<i>Gompertz</i>	0-12	0.994	-43.449
		13-36	0.977	-94.407
		37-60	0.891	-86.689
	<i>Logistic</i>	0-12	0.992	-39.945
		13-36	0.977	-94.338
		37-60	0.894	-87.451
Laki-laki	<i>Gompertz</i>	0-12	0.996	-44.361
		13-36	0.986	-94.064
		37-60	0.989	-82.480
	<i>Logistic</i>	0-12	0.994	-40.725
		13-36	0.986	-94.132
		37-60	0.990	-83.862

Pemilihan model terbaik dipilih melalui R^2 terbesar dan $AICc$ terkecil. Berdasarkan Tabel 4.12 terdapat R^2 model yang bernilai sama sehingga selanjutnya pemilihan model dilakukan dengan menghitung $AICc$. Namun dari hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 4.12 semua $AICc$ bernilai negatif sehingga langkah selanjutnya adalah menghitung Akaike's weight dengan persamaan (2.44)

Tabel 4.13 Hasil perhitungan R^2 dan Akaike's weight (w_i) balita perempuan dan laki-laki

Jenis Kelamin	Model	Umur (Bulan)	R^2	w_i
Perempuan	Gompertz	0-12	0.994	0.852
		13-36	0.977	0.509
		37-60	0.891	0.406
	Logistic	0-12	0.992	0.148
		13-36	0.977	0.491
		37-60	0.894	0.594
Laki-laki	Gompertz	0-12	0.996	0.860
		13-36	0.986	0.491
		37-60	0.989	0.334
	Logistic	0-12	0.994	0.140
		13-36	0.986	0.509
		37-60	0.990	0.666

Berdasarkan Tabel 4.13 dapat disimpulkan bahwa balita perempuan umur 0-12 bulan dapat dijelaskan oleh model Gompertz ($\frac{0.852}{0.148} = 5.765$) kali lebih baik daripada model Logistic. Selanjutnya pada balita perempuan umur 13-36 bulan dapat dijelaskan oleh model Gompertz ($\frac{0.509}{0.491} = 1.035$) = 1.035 kali lebih baik daripada model Logistic dan balita perempuan 37-60 bulan dapat dijelaskan ($\frac{0.406}{0.406} = 1.464$) = 1.464 kali lebih baik model Logistic daripada model Gompertz.

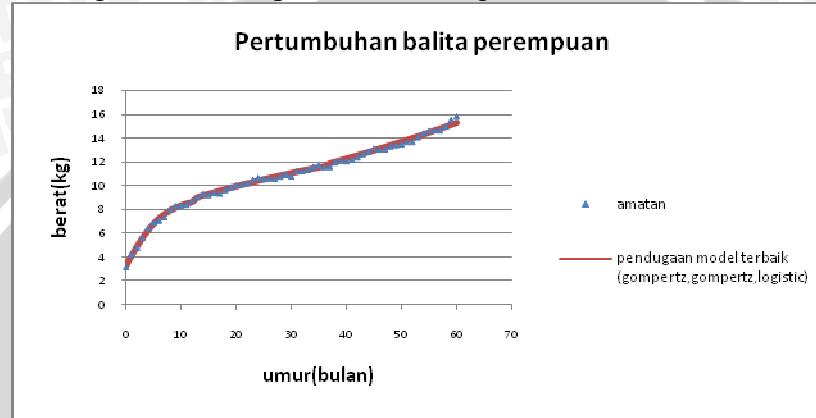
Pada balita laki-laki 0-12 bulan dapat dijelaskan oleh model Gompertz ($\frac{0.860}{0.140} = 6.160$) = 6.160 kali lebih baik daripada model Logistic. Balita laki-laki umur 13-36 bulan dapat dijelaskan oleh model Logistic ($\frac{0.491}{0.491} = 1.035$) = 1.035 kali lebih baik daripada model Gompertz. Selanjutnya pada balita laki-laki umur 37-60 bulan dapat dijelaskan oleh model Logistic ($\frac{0.334}{0.334} = 1.995$) = 1.995 lebih baik daripada model Gompertz.

Model terbaik yang diperoleh berdasarkan R^2 dan akaike's weight sebagai berikut :

Balita perempuan :

$$\omega(t) = \begin{cases} 9.906e^{-1.027e^{-0.154t}}, & 0 \leq t \leq 12 \\ \frac{14.971e^{-0.747e^{-0.080t}}}{1+5.44e^{1.4157}}, & 13 \leq t \leq 36 \\ , & 37 \leq t \leq 60 \end{cases}$$

Jika digambarkan dapat terlihat sebagai berikut :



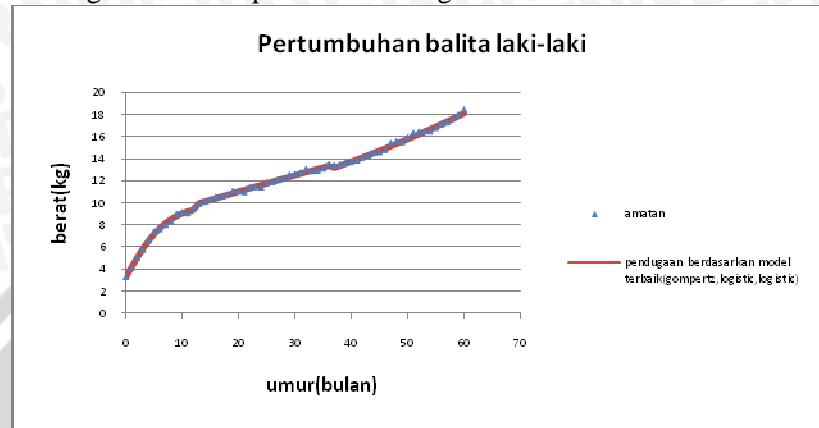
Gambar 4.14 Model pertumbuhan balita perempuan berdasarkan model terbaik pada masing-masing kelompok umur

Berdasarkan Gambar 4.14 diperoleh kesimpulan bahwa pada setiap fase umur balita, model yang terbentuk berbeda. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh proses tumbuh kembang balita, dimana proses pertumbuhan berkorelasi dengan perkembangan pada setiap kelompok umur.

Balita laki-laki :

$$\omega(t) = \begin{cases} 9.984e^{-11.74e^{-0.144t}} & , 0 \leq t \leq 12 \\ \frac{20.865}{1+1.592e^{-0.028t}} & , 13 \leq t \leq 36 \\ \frac{7.11E5}{1+8.98E4e^{-0.014t}} & , 37 \leq t \leq 60 \end{cases}$$

Jika digambarkan dapat terlihat sebagai berikut :



Gambar 4.15 Model pertumbuhan balita laki-laki berdasarkan model terbaik pada masing-masing kelompok umur

Berdasarkan Gambar 4.15 diperoleh kesimpulan bahwa pada setiap fase umur balita, model yang terbentuk berbeda. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh proses tumbuh kembang balita, dimana proses pertumbuhan berkorelasi dengan perkembangan pada setiap kelompok umur.

Tabel 4.14 Kecepatan pertumbuhan balita perempuan dan laki-laki sesuai kelompok umur

Jenis Kelamin	t (umur)	Model Pertumbuhan	Kecepatan pertumbuhan (kg/bulan)
Perempuan	$0 \leq t \leq 12$	<i>Gompertz</i>	0.881
	$13 \leq t \leq 36$	<i>Gompertz</i>	0.116
	$37 \leq t \leq 60$	<i>Logistic</i>	0.056
Laki-laki	$0 \leq t \leq 12$	<i>Gompertz</i>	0.871
	$13 \leq t \leq 36$	<i>Logistic</i>	0.146
	$37 \leq t \leq 60$	<i>Logistic</i>	0.232

Berdasarkan Tabel 4.14 kecepatan pertumbuhan balita perempuan dan laki-laki yang dihitung menggunakan persamaan (2.7) dan persamaan (2.12). Kecepatan pertumbuhan merupakan peningkatan ukuran dalam hal ini berat persatuan waktu. Waktu disekitar kecepatan pertumbuhan disebut waktu efektif pertumbuhan.

Pada penelitian ini pembagian umur dikaitkan pada teori tumbuh kembang yang mana membagi pertumbuhan dan perkembangan balita menjadi tiga kelompok umur. Walaupun pada dasarnya pertumbuhan maksimum yang terjadi pada makhluk hidup adalah satu kali selama proses pertumbuhan, yang mana pada model sigmoid, proses pertumbuhan mula-mula meningkat perlahan (awal pertumbuhan), kemudian cepat, dan akhirnya perlahan sampai konstan dengan pertambahan umur makhluk hidup. Selain itu dalam penerapan model pertumbuhan juga perlu dikaitkan dengan proses atau mekanisme pertumbuhan dan faktor-faktor yang mengendalikannya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa :

1. Model *Gompertz* dapat menjelaskan pola pertumbuhan berat badan balita perempuan umur 0-12 bulan, 13-36 bulan dan pada balita laki-laki umur 0-12 bulan. Model *Logistic* sesuai dalam menjelaskan pola pertumbuhan balita laki-laki umur 13-36 bulan, 37-60 bulan dan balita perempuan umur 37-60 bulan..
2. Kecepatan pertumbuhan merupakan peningkatan ukuran dalam hal ini berat persatuan waktu. Berikut adalah kecepatan pertumbuhan berat badan balita perempuan dan laki-laki pada setiap kelompok umur berdasarkan model terbaik :
 - a. Balita perempuan umur 0-12 bulan kecepatan pertumbuhan maksimum adalah 0.881 kg/bulan. Pada balita perempuan umur 13-36 bulan kecepatan pertumbuhan maksimum adalah 0.116 kg/bulan. Sedangkan pada balita perempuan umur 37-60 bulan kecepatan pertumbuhan maksimum adalah 0.056 kg/bulan.
 - b. Balita laki-laki umur 0-12 bulan kecepatan pertumbuhan maksimum adalah 0.871 kg/bulan. Pada balita laki-laki umur 13-36 bulan kecepatan pertumbuhan maksimum adalah 0.146 kg/bulan. Sedangkan pada balita laki-laki umur 37-60 bulan kecepatan pertumbuhan maksimum adalah 0.232 kg/bulan.

5.2 Saran

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini belum bersifat umum dan hanya berlaku pada data yang digunakan. Oleh sebab itu untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan sampel data berat badan balita dengan lokasi yang berbeda. Pada penelitian yang dilakukan peneliti membagi umur balita menjadi 3 kelompok umur karena jika berat badan balita 0-60 bulan dimodelkan dengan model *Gompertz* dan *Logistic* hasil prediksi berbeda jauh dengan nilai amatan. Sehingga peneliti menyarankan untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan alternatif model pertumbuhan *Preece-Baines 1* dengan memodelkan berat badan balita umur 0-60 bulan.



DAFTAR PUSTAKA

- Akaike, H. 1974. *A New Look at The Statistical Model Identification.* *IEEE Transactions on Automatic Control* 19 (6) : 716–723.
Diakses : 27 Januari 2011.
- Aisyah. 2008. *Fase Pertumbuhan Balita*. www.infoibu.com/-obj/12/1/08.
Tanggal akses 12 Januari 2011.
- Aritonang, I. 2000. *Pemantauan Balita Kanisius*. Yogyakarta.
- Couston, D.R., dan J.C. Venus. 1981. *The Biometry of Plant Growth*.
Edward Arnold. London.
- Dielman, T.E. 1991. *Applied Regression Analysis for Business and Econometrics*. PWS-KENT Publishing Company. Boston.
- Direktorat Gizi. 2004. Data Berat Badan dan Tinggi Badan Rata-rata Balita. Departemen Kesehatan RI. Jakarta.
- Draper, N.R. dan H. Smith. 1992. *Analisis Regresi Terapan*.
Terjemahan Bambang Sumantri. Gramedia. Jakarta.
- Efendi, Achmad. 2006. *Pengantar Analisis Regresi*. Program Studi Statistika FMIPA Universitas Brawijaya. Malang.
- Eubank, R, M. 1988. *Spline Smoothing and Nonparametric Regression*. Marcel Dekker. New York.
- Frisian Flag dan Subbagian Tumbuh Kembang Kesehatan Anak FKUI RSCM. 2002. *Kartu Menuju Sehat Frisian Flag*. Frisian Flag. Jakarta.
- Gille, U. 2004. *Analysis of Growth*. www.unileipzig.de/-vetana/growth.htm. Tanggal akses 25 Januari 2011.
- Gujarati, D. 1995. *Ekonometrika Dasar*. Terjemahan Sumarno Zain. Erlangga. Jakarta.

Hanyata dan Budi. 2009. *Interval Konfidensi Spline Untuk Mengestimasi Berat Badan Balita Di Kota Surabaya.* <http://www.digilib.its.ac.id/detil.php?id=5495:Undergraduate>. Akses : 01 Desember 2010.

Hu, S. 2007. *Akaike Information Criterion.* Center for Research in Scientific Computation North Carolina State University. Raleigh.

Hunt, R. 1982. *Plant Growth Curve : The Functional approach to Plant Growth Analysis.* Edward Arnold. London.

Josens,G., Dubois,Jangoux, M., Russell, M., Deneubourg, J.-L., Lancelot, Ch. 2001. *Growth Model of the Reared Sea Urchin Paracentrotus Lividus.* Universite Libre De Bruxelles Facultie des Scientes Laboratoire de Biologie Marine. Phillipre.

Kmenta, J. 1971. *Element of Econometrics.* Macmillan Company. New York.

Kutner M.H., C.J. Nachtsheim and J. Neter. 2004. *Applied Linier Regression Models.* Fourth Edition. Mc Graw Hill. New York.

Moersintowarti, B. 2002. *Buku Ajar I : Tumbuh Kembang Anak.* CV. Sagung Seto. Jakarta.

Montgomery, D.C. and E.A. Peck. 1992. *Introduction to Linear Regression Analysis.* John Wiley and Son Inc. New York.

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia, 2010. Penggunaan Kartu Menuju Sehat (KMS) Bagi Balita. [http://www.hukor.depkes.go.id/up_prod_permenkes/PMK%20NO.%20155%20ttg%20Penggunaan%20Kartu%20Menuju%20Sehat%20\(KMS\)%20Bagi%20Balita.pdf](http://www.hukor.depkes.go.id/up_prod_permenkes/PMK%20NO.%20155%20ttg%20Penggunaan%20Kartu%20Menuju%20Sehat%20(KMS)%20Bagi%20Balita.pdf). Akses : 16 Maret 2011.

Pilliteri, Adelle. 1999. *Maternal & Child Health Nursing : Care of the Childbearing & Childrearing Family 3rd edition.* Philadelphia. Lippincot.

Sengel, T dan Kiraz. 2005. *Nonlinier Models for Growth Curve in Large White Turkeys.* http://journals.tubitak.gov.tr/veterinary/issues/vet_05_29_2/vet-29-2-2-0306-39.pdf. Tanggal akses 14 Januari 2011.

Sitompul dan Guritno, Bambang. 1995. *Analisis Pertumbuhan Tanaman*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Sanjoyo. 2006. *Non-Linear Estimation*. http://mhs.blog.ui.edu/_sanj55/files/2008/11/non-linear.pdf. Tanggal akses 25 Januari 2011.

Sholihah, Fitriyatus. 2008. *Pendekatan Penelized Spline Pada Regresi Nonparametrik*. Program Studi Statistika FMIPA Universitas Brawijaya. Malang (tidak dipublikasikan).

Soetiningsih. 1995. *Tumbuh Kembang Balita*. Kedokteran EGC. Jakarta Rusmil, Kusnandi. 2006. *Pertumbuhan dan Perkembangan Anak*. http://www.aqilaputri.rachdian.com/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=23. Tanggal akses : 15 Desember 2010.

Wardhani, Ni Wayan S. dan Iriany, Atiek. 2003. *Laporan Penelitian Tentang Model Daya Hama Plutella xylostella L. Sebagai Alternatif Dasar Pengambilan Keputusan Pengendalian Kimia Pada Tanaman Kubis*. FMIPA Universitas Brawijaya. Malang (Tidak dipublikasikan).

Widiastuti, Ria. 2010. *Pertumbuhan Balita*. www.rriawidiastuti.blogspot.com/2010/11/01_archive.html. Tanggal akses : 27 Desember 2010.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Lampiran 1. Pertumbuhan dan Perkembangan Balita

Umur	Berat Badan (Kg)	Panjang Badan (Cm)	Lingkar Kepala (Cm)	Gerakan Kasar	Gerakan Halus	Komunikasi/Berbicara	Sosial dan Kemandirian
1 Bulan	3.0-4.3	49.8-54.3	33-39	Tangan dan kaki bergerak aktif	Kepala menoleh ke samping kanan-kiri	Bereaksi terhadap bunyi lonceng	Menatap wajah ibu/pengasuh
2 Bulan	3.6-5.2	52.8-58.1	35-41	Mengangkat kepala ketika tengkurap		Bersuara	Tersenyum spontan
3 Bulan	4.2-6.0	55.5-61.1	37-43	Kepala tegak ketika didudukan	Memegang mainan	Tertawa/berteriak	Memandang tangannya
4 Bulan	4.7-6.7	57.8-63.7	38-44	Tengkurap-terlentang sendiri			
5 Bulan	5.3-7.3	59.8-65.9	39-45		Meraih,menggapai	Menoleh ke suara	Memasukkan biskuit ke mulut
6 Bulan	5.8-7.8	61.6-67.8	40-46	Duduk tanpa berpegangan	Mengambil mainan dengan tangan kanan&kiri	bersuara ma..ma..	
7 Bulan	6.2-8.3	63.2-69.5	40.5-46.5	Berdiri berpegangan			
8 Bulan	6.6-8.8	64.6-71.0	41.5-47.5				Melambaikan tangan
9 Bulan	7.0-9.2	66.0-72.3	42-48		Menjimpit		Bertepuk tangan

Lampiran 1 (Lanjutan)

10 Bulan	7.3-9.5	67.2-73.6	42.5-48.5		Memukulkan mainan di kedua tangan	Memanggil mama,papa	Menunjuk,meminta
11 Bulan	7.6-9.9	68.5-74.9	43-49				Bermain dengan orang lain
12 Bulan	7.8-10.2	69.6-76.1	43.5-49.5	Berdiri tanpa berpegangan	Memasuka mainan ke cangkir	Berbicara 2 kata	Minum dari gelas
15 Bulan	8.4-10.9	72.9-79.4	44-50	Berjalan	Mencoret-coret	Berbicara beberapa kata (mimik,pipis,ma'em)	Memakai sendok
1.5 Tahun	8.9-11.5	75.9-82.4	44.5-50.5	Lari naik tangga	Menumpuk 2 mainan	Menunjuk gambar (bola,kucing), menggabung beberapa kata,menujuk bagian tubuh (mata,mulut)	Melepas pakaian, memakai pakaian,menyikat gigi
2 Tahun	9.9-12.3	79.2-85.6	45-51	Menendang bola	Menumpuk 4 mainan		Mencuci tangan dan mengeringkan tangan
2.5 Tahun	10.8-13.5	83.7-90.4	45.5-52.5	Melompat			Menyebutkan nama teman
3 Tahun	11.7-14.6	87.8-94.9	46-53		Menggambar garis tegak		Memakai baju kaos
3.5 Tahun	12.5-15.7	91.5-99.1	46.5-53.3	Berdiri satu kaki	Menggambar lingkaran, menggambar tanda tambah, menggambar manusia(kepala,badan,kaki)		Memakai baju tanpa dibantu
4 Tahun	13.2-16.7	96.4-102.9	47-53.8				bermain kartu, menyikat gigi tanpa dibantu
4.5 Tahun	13.8-17.7	99.7-106.6	47.5-53.8				
5 Tahun	14.5-18.7	102.7-109.9	47.8-54			Menghitung mainan	

Lampiran 2. Rata-rata berat badan balita perempuan dan laki-laki

t (Bulan)	Rata-rata balita Perempuan (kg)	Rata-rata balita Laki- laki (kg)
0	3.150	3.256
1	4.225	4.100
2	4.788	5.000
3	5.613	5.744
4	6.438	6.644
5	6.900	7.389
6	7.075	7.622
7	7.350	8.000
8	8.025	8.322
9	8.300	8.967
10	8.325	9.122
11	8.425	9.056
12	8.738	9.556
13	9.063	9.911
14	9.313	10.122
15	9.213	10.322
16	9.413	10.533
17	9.350	10.578
18	9.663	10.744
19	9.875	11.067
20	10.025	11.078
21	10.125	10.956
22	10.225	11.389
23	10.500	11.456
24	10.675	11.389
25	10.575	11.844
26	10.625	11.856
27	10.600	12.122

Lampiran 2 (Lanjutan)

28	10.788	12.222
29	10.925	12.533
30	10.813	12.600
31	11.225	12.744
32	11.225	13.067
33	11.338	12.889
34	11.600	12.911
35	11.713	13.100
36	11.575	13.489
37	11.600	13.389
38	11.975	13.467
39	12.125	13.644
40	12.075	13.744
41	12.200	13.822
42	12.400	14.111
43	12.663	14.300
44	12.863	14.556
45	13.138	14.578
46	13.063	14.789
47	13.075	15.422
48	13.300	15.578
49	13.425	15.500
50	13.513	15.922
51	13.675	16.333
52	13.675	16.422
53	14.100	16.511
54	14.438	16.489
55	14.625	16.789
56	14.713	17.122

Lampiran 2 (Lanjutan)

57	14.663	17.300
58	15.000	17.633
59	15.550	17.967
60	15.838	18.444



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Lampiran 3. Langkah-langkah menentukan penduga awal parameter model1. Model *Gompertz*

a. Balita perempuan umur 0-12 bulan

- Menentukan nilai t_0 (waktu awal pertumbuhan), ω_0 (berat individu saat t_0), α (nilai awal parameter respon pertumbuhan maksimum)

$$t_0 = 0$$

$$\omega(0) = 3.15$$

$$\alpha_0 = 8.737$$

- Menghitung nilai β_0 (kostanta integrasi waktu saat t_0)

$$t_0 = 0 ; \omega(0) = 3.15$$

$$\omega_0 = \alpha_0 e^{(-\beta e^{-Kt_0})}$$

$$3.15 = 8.737 e^{(-\beta e^0)}$$

$$e^{-\beta} = 0.360$$

$$\ln e^{-\beta} = \ln 0.360515$$

$$\beta = 1.020$$

- Menghitung nilai K (parameter kecepatan pertumbuhan)

$$t(6)=6$$

$$\omega(0) = 7.075$$

$$\alpha_0 = 8.737$$

$$\omega_0 = \alpha_0 e^{(-\beta e^{-Kt_0})}$$

$$7.075 = 8.737 e^{(-1.020 e^{-6K})}$$

$$e^{(-1.020 e^{-6K})} = 0.809$$

$$\ln e^{(-1.020 e^{-6K})} = \ln 0.809$$

$$-1.020 e^{-6K} = -0.211$$

$$e^{-6K} = 0.207$$

$$6K = 1.575$$

$$K = 0.263$$

b. Balita perempuan umur 13-36 bulan

- Menentukan nilai t_0 (waktu awal pertumbuhan), ω_0 (berat individu saat t_0), α (nilai awal parameter respon pertumbuhan maksimum)

$$t_0 = 0$$

$$\omega(0) = 9.062$$

Lampiran 3 (Lanjutan)

$$\alpha_0 = 11.575$$

- Menghitung nilai β_0 (kostanta integrasi waktu saat t_0)

$$t_0 = 0 ; \omega(0) = 9.062$$

$$\omega_0 = \alpha_0 e^{(-\beta e^{-Kt_0})}$$

$$9.062 = 11.575 e^{(-\beta e^0)}$$

$$e^{-\beta} = 0.783$$

$$\ln e^{-\beta} = \ln 0.783$$

$$\beta = 0.245$$

- Menghitung nilai K (parameter kecepatan pertumbuhan)

$$t(0)$$

$$\omega(25) = 10.575$$

$$\alpha_0 = 11.575$$

$$\omega_0 = \alpha_0 e^{(-\beta e^{-Kt_0})}$$

$$10.575 = 11.575 e^{(-0.245 e^{-25K})}$$

$$e^{(-0.245 e^{-25K})} = 0.914$$

$$\ln e^{(-0.245 e^{-25K})} = \ln 0.914$$

$$-0.245 e^{-25K} = -0.0914$$

$$e^{-25K} = 0.369$$

$$25K = 0.996$$

$$K = 0.0398$$

- c. Balita perempuan umur 37-60 bulan

- Menentukan nilai t_0 (waktu awal pertumbuhan), ω_0 (berat individu saat t_0), α (nilai awal parameter respon pertumbuhan maksimum)

$$t_0 = 0$$

$$\omega(0) = 3.15$$

$$\alpha_0 = 8.737$$

- Menghitung nilai β_0 (kostanta integrasi waktu saat t_0)

$$t_0 = 0 ; \omega(0) = 3.15$$

$$\omega_0 = \alpha_0 e^{(-\beta e^{-Kt_0})}$$

$$3.15 = 8.737 e^{(-\beta e^0)}$$

$$e^{-\beta} = 0.360$$
$$\ln e^{-\beta} = \ln 0.360515$$

Lampiran 3 (Lanjutan)

$$\beta = 1.020$$

- Menghitung nilai K (parameter kecepatan pertumbuhan)

$$t(6)=6$$

$$\omega(0) = 7.075$$

$$\alpha_0 = 8.737$$

$$\omega_0 = \alpha_0 e^{(-\beta e^{-Kt_0})}$$

$$7.075 = 8.737 e^{(-1.020 e^{-6K})}$$

$$e^{(-1.020 e^{-6K})} = 0.809$$

$$\ln e^{(-1.020 e^{-6K})} = \ln 0.809$$

$$-1.020 e^{-6K} = -0.211$$

$$e^{-6K} = 0.207$$

$$6K = 1.575$$

$$K = 0.263$$

- d. Balita laki-laki umur 0-12 bulan

- Menentukan nilai t_0 (waktu awal pertumbuhan), ω_0 (berat individu saat t_0), α (nilai awal parameter respon pertumbuhan maksimum)

$$t_0 = 0$$

$$\omega(0) = 3.255$$

$$\alpha_0 = 9.556$$

- Menghitung nilai β_0 (kostanta integrasi waktu saat t_0)

$$t_0 = 0 ; \omega(0) = 3.255$$

$$\omega_0 = \alpha_0 e^{(-\beta e^{-Kt_0})}$$

$$3.225 = 9.556 e^{(-\beta e^0)}$$

$$e^{-\beta} = 0.341$$

$$\ln e^{-\beta} = \ln 0.341$$

$$\beta = 1.0767$$

- Menghitung nilai K (parameter kecepatan pertumbuhan)

$$t(6)=6$$

$$\omega(0) = 7.662$$

$$\begin{aligned}a_0 &= 9.556 \\ \omega_0 &= \alpha_0 e^{(-\beta e^{-Kt_0})} \\ 7.662 &= 9.556 e^{(-1.0767 e^{-6K})}\end{aligned}$$

Lampiran 3 (Lanjutan)

$$\begin{aligned}e^{(-1.0767 e^{-6K})} &= 0.797 \\ \ln e^{(-1.0767 e^{-6K})} &= \ln 0.797 \\ -1.0767 e^{-6K} &= -0.226 \\ e^{-6K} &= 0.2099 \\ 6K &= 1.560 \\ K &= 0.260\end{aligned}$$

- e. Balita laki-laki umur 13-36 bulan
- Menentukan nilai t_0 (waktu awal pertumbuhan), ω_0 (berat individu saat t_0), α (nilai awal parameter respon pertumbuhan maksimum)
 - $t_0 = 0$
 $\omega(0) = 9.911$
 $a_0 = 13.489$
 - Menghitung nilai β_0 (kostanta integrasi waktu saat t_0)
 $t_0 = 0 ; \omega(0) = 9.911$
 $\omega_0 = \alpha_0 e^{(-\beta e^{-Kt_0})}$
 $9.911 = 13.489 e^{(-\beta e^0)}$
 $e^{-\beta} = 0.735$
 $\ln e^{-\beta} = \ln 0.735$
 $\beta = 0.30821$
 - Menghitung nilai K (parameter kecepatan pertumbuhan)
 $t(25)=25$
 $\omega(0) = 11.844$
 $a_0 = 13.489$
 $\omega_0 = \alpha_0 e^{(-\beta e^{-Kt_0})}$
 $11.844 = 13.489 e^{(-0.30821 e^{-25K})}$
 $e^{(-0.30821 e^{-25K})} = 0.878$
 $\ln e^{(-0.30821 e^{-25K})} = \ln 0.878$

$$-1.0767e^{-25K} = -0.1300$$

$$e^{-25K} = 0.4216$$

$$25K = 0.8631$$

$$K = 0.0345$$

Lampiran 3 (Lanjutan)

f. Balita laki-laki umur 37-60 bulan

- Menentukan nilai t_0 (waktu awal pertumbuhan), ω_0 (berat individu saat t_0), α (nilai awal parameter respon pertumbuhan maksimum)

$$t_0 = 0$$

$$\omega(0) = 13.389$$

$$a_0 = 18.444$$

- Menghitung nilai β_0 (kostanta integrasi waktu saat t_0)

$$t_0 = 0 ; \omega(0) = 13.389$$

$$\omega_0 = \alpha_0 e^{(-\beta e^{-Kt_0})}$$

$$13.389 = 18.444 e^{(-\beta e^0)}$$

$$e^{-\beta} = 0.725$$

$$\ln e^{-\beta} = \ln 0.725$$

$$\beta = 0.320$$

- Menghitung nilai K (parameter kecepatan pertumbuhan)

$$t(45)=45$$

$$\omega(0) = 14.578$$

$$a_0 = 18.444$$

$$\omega_0 = \alpha_0 e^{(-\beta e^{-Kt_0})}$$

$$14.578 = 18.444 e^{(-0.320 e^{-45K})}$$

$$e^{(-0.320 e^{-45K})} = 0.7345$$

$$\ln e^{(-0.320 e^{-45K})} = \ln 0.7345$$

$$-0.320 e^{-45K} = -0.30866$$

$$e^{-45K} = 0.7344$$

$$45K = 0.30866$$

$$K = 6.859E - 3$$

2. Model Logistic

- a. Balita perempuan umur 0-12 bulan
- Menentukan nilai t_0 (waktu awal pertumbuhan), ω_0 (berat individu saat t_0), α (nilai awal parameter respon pertumbuhan maksimum)
- $$t_0 = 0$$
- $$\omega(0) = 3.15$$
- $$a_0 = 8.737$$

Lampiran 3 (Lanjutan)

- Menghitung nilai β_0 (kostanta integrasi waktu saat t_0)

$$t_0 = 0 ; \omega(0) = 3.15$$

$$\omega_0 = \frac{\alpha}{(1+\beta e^{-Kt})}$$

$$3.15 = \frac{8.737}{(1+\beta e^0)}$$

$$3.15 + 3.15\beta = 8.737$$

$$3.15\beta = 5.587$$

$$\beta = 1.774$$

- Menghitung nilai K (parameter kecepatan pertumbuhan)

$$t(6)=6$$

$$\omega(0) = 7.075$$

$$a_0 = 8.737$$

$$\omega_0 = \frac{\alpha}{(1+\beta e^{-Kt})}$$

$$3.15 = \frac{8.737}{(1+1.774e^{-6K})}$$

$$12.550e^{-6K} = 1.6625$$

$$e^{-6K} = 0.1325$$

$$\ln e^{-6K} = \ln 0.1325$$

$$K = 0.337$$

- b. Balita perempuan umur 13-36 bulan

- Menentukan nilai t_0 (waktu awal pertumbuhan), ω_0 (berat individu saat t_0), α (nilai awal parameter respon pertumbuhan maksimum)

$$t_0 = 0$$

$$\omega(0) = 9.062$$

$$a_0 = 11.575$$

- Menghitung nilai β_0 (kostanta integrasi waktu saat t_0)

$$t_0 = 0 ; \omega(0) = 9.062$$

$$\omega_0 = \frac{\alpha}{(1+\beta_s-K)}$$

$$9.062 = \frac{11.575}{(1+\beta_s^0)}$$

$$9.062 + 9.062\beta = 8.737$$

$$9.062\beta = 2.5125$$

$$\beta = 0.277$$



Lampiran 3 (Lanjutan)

- Menghitung nilai K (parameter kecepatan pertumbuhan)

$$t(25)=25$$

$$\omega(25) = 10.575$$

$$\alpha_0 = 11.575$$

$$\omega_0 = \frac{11.575}{(1+\beta e^{-Kt})}$$

$$10.575 = \frac{8.737}{(1+0.2774e^{-25K})}$$

$$2.933e^{-25K} = 1$$

$$e^{-25K} = 0.341$$

$$\ln e^{-25K} = \ln 0.341$$

$$K = 0.0430$$

- c. Balita perempuan umur 37-60 bulan

- Menentukan nilai t_0 (waktu awal pertumbuhan), ω_0 (berat individu saat t_0), α (nilai awal parameter respon pertumbuhan maksimum)

$$t_0 = 0$$

$$\omega(0) = 3.15$$

$$\alpha_0 = 8.737$$

- Menghitung nilai β_0 (kostanta integrasi waktu saat t_0)

$$t_0 = 0 ; \omega(0) = 3.15$$

$$\omega_0 = \frac{\alpha}{(1+\beta e^{-Kt})}$$

$$3.15 = \frac{8.737}{(1+\beta e^0)}$$

$$3.15 + 3.15\beta = 8.737$$

$$3.15\beta = 5.587$$

$$\beta = 1.774$$

- Menghitung nilai K (parameter kecepatan pertumbuhan)

$$t(6)=6$$

$$\omega(0) = 7.075$$

$$\alpha_0 = 8.737$$

$$\omega_0 = \frac{\alpha}{(1+\beta e^{-Kt})}$$

$$3.15 = \frac{8.737}{(1+1.774e^{-6K})}$$

Lampiran 3 (Lanjutan)

$$12.550e^{-6K} = 1.6625$$

$$e^{-6K} = 0.1325$$

$$\ln e^{-6K} = \ln 0.1325$$

$$K = 0.337$$

d. Balita laki-laki umur 0-12 bulan

- Menentukan nilai t_0 (waktu awal pertumbuhan), ω_0 (berat individu saat t_0), α (nilai awal parameter respon pertumbuhan maksimum)

$$t_0 = 0$$

$$\omega(0) = 3.255$$

$$a_0 = 9.556$$

- Menghitung nilai β_0 (kostanta integrasi waktu saat t_0)

$$t_0 = 0 ; \omega(0) = 3.255$$

$$\omega_0 = \frac{\alpha}{(1+\beta e^{-Kt})}$$

$$3.255 = \frac{9.556}{(1+\beta e^0)}$$

$$3.255 + 3.255\beta = 9.556$$

$$3.255\beta = 6.3$$

$$\beta = 1.935$$

- Menghitung nilai K (parameter kecepatan pertumbuhan)

$$t(6)=6$$

$$\omega(0) = 7.662$$

$$a_0 = 9.556$$

$$\omega_0 = \frac{\alpha}{(1+\beta e^{-Kt})}$$

$$7.662 = \frac{9.556}{(1+1.935e^{-6K})}$$

$$14.750e^{-6K} = 1.933$$

$$e^{-6K} = 0.1310$$

$$\ln e^{-6K} = \ln 0.1310$$

$$K = 0.3386$$

Lampiran 3 (Lanjutan)

e. Balita laki-laki umur 13-36 bulan

- Menentukan nilai t_0 (waktu awal pertumbuhan), ω_0 (berat individu saat t_0), α (nilai awal parameter respon pertumbuhan maksimum)

$$t_0 = 0$$

$$\omega(0) = 9.911$$

$$a_0 = 13.489$$

- Menghitung nilai β_0 (kostanta integrasi waktu saat t_0)

$$t_0 = 0 ; \omega(0) = 3.255$$

$$\omega_0 = \frac{\alpha}{(1+\beta e^{-Kt})}$$

$$9.911 = \frac{13.489}{(1+\beta e^0)}$$

$$9.911 + 9.911\beta = 13.489$$

$$9.911\beta = 3.577$$

$$\beta = 0.3601$$

- Menghitung nilai K (parameter kecepatan pertumbuhan)

$$t(25)=25$$

$$\omega(0) = 11.844$$

$$a_0 = 13.489$$

$$\omega_0 = \frac{\alpha}{(1+\beta e^{-Kt})}$$

$$11.844 = \frac{13.489}{(1+0.3601 e^{-25K})}$$

$$4.2756 e^{-25K} = 1.644$$

$$e^{-25K} = 0.3846$$

$$\ln e^{-25K} = \ln 0.3846$$

$$K = 0.038$$

f. Balita laki-laki umur 37-60 bulan

- Menentukan nilai t_0 (waktu awal pertumbuhan), ω_0 (berat individu saat t_0), α (nilai awal parameter respon pertumbuhan maksimum)

$$t_0 = 0$$

$$\omega(0) = 13.389$$

$$a_0 = 18.444$$

Lampiran 3 (Lanjutan)

- Menghitung nilai β_0 (kostanta integrasi waktu saat t_0)
 $t_0 = 0 ; \omega(0) = 13.389$

$$\omega_0 = \frac{\alpha}{(1+\beta e^{-Kt})}$$

$$13.389 = \frac{18.444}{(1+\beta e^0)}$$

$$13.389 + 13.389\beta = 18.444$$

$$13.389\beta = 5.055$$

$$\beta = 0.377$$

- Menghitung nilai K (parameter kecepatan pertumbuhan)
 $t(45)=45$

$$\omega(0) = 13.389$$

$$\alpha_0 = 18.444$$

$$\omega_0 = \frac{\alpha}{(1+\beta e^{-Kt})}$$

$$13.389 = \frac{18.444}{(1+0.377e^{-45K})}$$

$$5.504e^{-45K} = 3.867$$

$$e^{-45K} = 0.70205$$

$$\ln e^{-45K} = \ln 0.70205$$

$$K = 7.848E - 3$$

Lampiran 4. Langkah-langkah menghitung Iterasi dengan *Lavenberg Marquard*

Langkah-langkah menghitung iterasi dengan *Lavenberg-Marquard* pada model *Gompertz*

1. Menghitung nilai duga masing-masing parameter model. Misalnya pada model *Gompertz* (balita perempuan umur 0-12 bulan) memiliki nilai duga awal $\alpha = 8.737$, $\beta = 1.020$, $K = 0.2626$
2. Melakukan penurunan pertama terhadap masing-masing parameter model *Gompertz* sebagai berikut :

$$\omega(t) = \alpha \exp(-\beta e^{-Kt})$$

Turunan pertama terhadap parameter α sebagai berikut :

$$\frac{d\omega(t)}{d\alpha} = \exp(-\beta e^{-Kt})$$

Turunan pertama terhadap parameter β sebagai berikut :

$$\frac{d\omega(t)}{d\beta} = -\alpha \beta \exp(-\beta e^{-Kt})$$

Turunan pertama terhadap parameter K sebagai berikut :

$$\frac{d\omega(t)}{dK} = -\alpha \beta^2 K e^{-2Kt} - \beta e^{-Kt}$$

3. Membuat matriks $z(\theta)$ serta mensubstitusi nilai duga awal ke dalam komponen matriks sebagai berikut :

$$\begin{aligned} z(\theta) &= \frac{\partial f(t, \theta)}{\partial \theta} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \theta_p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \theta_p} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \exp(-\beta e^{-Kt_1}) & -\alpha \beta \exp(-\beta e^{-Kt_1}) & \alpha \beta^2 K e^{-2Kt_1} - \beta e^{-Kt_1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \exp(-\beta e^{-Kt_{12}}) & -\alpha \beta \exp(-\beta e^{-Kt_{12}}) & \alpha \beta^2 K e^{-2Kt_{12}} - \beta e^{-Kt_{12}} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Lampiran 4 (Lanjutan)

$$z(\theta)' = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \alpha} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \beta} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \beta} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial K} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial K} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \exp(-\beta e^{-Kt_1}) & \dots & \exp(-\beta e^{-Kt_n}) \\ -\alpha \beta \exp(-\beta e^{-Kt_1}) & \dots & -\alpha \beta \exp(-\beta e^{-Kt_n}) \\ \alpha \beta^2 K e^{-2Kt_1} - \beta e^{-Kt_1} & \dots & \alpha \beta^2 K e^{-2Kt_n} - \beta e^{-Kt_n} \end{bmatrix}$$

4. Kemudian menentukan nilai $\lambda_j I$ dengan ukuran matriks 3×3
5. Berikutnya menghitung $\frac{\partial JKS}{\partial \theta} = \sum_{i=1}^n [Y - f(t_i, \theta)] \left[\frac{\partial f(t_i, \theta)}{\partial \theta} \right] = 0$
6. Mensubstitusikan semua perhitungan ke dalam iterasi berikut :

$$\theta_2 = \theta_1 - [z(\theta^{(1)})' z(\theta^{(1)}) + \lambda I]^{-1} [z(\theta^{(1)}) (w - f(t, \theta^{(1)}))]$$

$$\begin{bmatrix} \alpha^{n+1} \\ \beta^{n+1} \\ K^{n+1} \end{bmatrix}_{n+1} = \begin{bmatrix} 0.737 \\ 1.020 \\ 0.2626 \end{bmatrix}_{n+1}$$

$$- \begin{bmatrix} \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \alpha} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \beta} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \beta} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial K} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial K} \end{bmatrix}_{n+1}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \beta} \\ \vdots \\ \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \beta} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial K} \\ \vdots \\ \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial K} \end{bmatrix}_{n+1} \times \begin{bmatrix} y(t_1) - f(t_1, \theta^{(1)}) \\ \vdots \\ y(t_n) - f(t_n, \theta^{(1)}) \end{bmatrix}_{n+1}$$

$$+ \lambda I_{3 \times 3} \times \begin{bmatrix} \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \alpha} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \beta} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \beta} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial K} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial K} \end{bmatrix}_{n+1}$$

Lampiran 4 (Lanjutan)

$$\begin{bmatrix} \theta^{k+1}_1 \\ \theta^{k+1}_2 \\ \vdots \\ \theta^{k+1}_{n+1} \end{bmatrix}_{n+1} = \begin{bmatrix} 9.737 \\ 1.020 \\ \vdots \\ 0.2625 \end{bmatrix}_{n+1}$$
$$= \begin{bmatrix} \exp(-\beta e^{-Kt_1}) & \dots & \exp(-\beta e^{-Kt_n}) \\ -\alpha \beta \exp(-\beta e^{-Kt_1}) & \dots & -\alpha \beta \exp(-\beta e^{-Kt_n}) \\ \alpha \beta^2 K e^{-2Kt_1} - \beta e^{-Kt_1} & \dots & \alpha \beta^2 K e^{-2Kt_n} - \beta e^{-Kt_n} \end{bmatrix}^{-1} X \begin{bmatrix} \exp(-\beta e^{-Kt_1}) & \dots & \exp(-\beta e^{-Kt_n}) \\ -\alpha \beta \exp(-\beta e^{-Kt_1}) & \dots & -\alpha \beta \exp(-\beta e^{-Kt_n}) \\ \alpha \beta^2 K e^{-2Kt_1} - \beta e^{-Kt_1} & \dots & \alpha \beta^2 K e^{-2Kt_n} - \beta e^{-Kt_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y(t_1) - f(t_1, \theta^k(t)) \\ \vdots \\ y(t_n) - f(t_n, \theta^k(t)) \end{bmatrix}_{n+1}$$
$$+ \lambda^2 I_{n+1}^{-1} X \begin{bmatrix} \exp(-\beta e^{-Kt_1}) & \dots & \exp(-\beta e^{-Kt_n}) \\ -\alpha \beta \exp(-\beta e^{-Kt_1}) & \dots & -\alpha \beta \exp(-\beta e^{-Kt_n}) \\ \alpha \beta^2 K e^{-2Kt_1} - \beta e^{-Kt_1} & \dots & \alpha \beta^2 K e^{-2Kt_n} - \beta e^{-Kt_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y(t_1) - f(t_1, \theta^k(t)) \\ \vdots \\ y(t_n) - f(t_n, \theta^k(t)) \end{bmatrix}_{n+1}$$

7. Hingga iterasi ke-3 diperoleh nilai duga parameter sebagai berikut :
 $\alpha = 9.906$, $\beta = 1.027$, $K = 0.254$

Lampiran 4 (Lanjutan)

Langkah-langkah menghitung iterasi dengan *Lavenberg-Marquard* pada model *Logistic*

1. Menghitung nilai duga masing-masing parameter model. Misalnya pada model *Logistic* (balita perempuan umur 0-12 bulan) memiliki nilai duga awal $\alpha = 8.737$, $\beta = 1.020$, $K = 0.2626$
2. Melakukan penurunan pertama terhadap masing-masing parameter model *Logistic* sebagai berikut :

$$\omega(t) = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-Kt}}$$

Turunan pertama terhadap parameter α sebagai berikut :

$$\frac{d\omega(t)}{d\alpha} = \frac{1 + \beta e^{-Kt}}{(1 + \beta e^{-Kt})^2}$$

Turunan pertama terhadap parameter β sebagai berikut :

$$\frac{d\omega(t)}{d\beta} = \frac{\alpha(1 + e^{-Kt})}{(1 + \beta e^{-Kt})^2}$$

Turunan pertama terhadap parameter K sebagai berikut :

$$\frac{d\omega(t)}{dK} = \frac{\alpha(1 - K\beta e^{-Kt})}{(1 + \beta e^{-Kt})^2}$$

3. Membuat matriks $Z(\theta)$ serta mensubstitusi nilai duga awal ke dalam komponen matriks sebagai berikut :

$$Z(\theta) = \frac{\partial f(t, \theta)}{\partial \theta} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \theta_p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \theta_p} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{1 + \beta e^{-Kt_1}}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \frac{\alpha(1 + e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \frac{\alpha(1 - K\beta e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1 + \beta e^{-Kt_{12}}}{(1 + \beta e^{-Kt_{12}})^2} & \frac{\alpha(1 + e^{-Kt_{12}})}{(1 + \beta e^{-Kt_{12}})^2} & \frac{\alpha(1 - K\beta e^{-Kt_{12}})}{(1 + \beta e^{-Kt_{12}})^2} \end{bmatrix}$$

Lampiran 4 (Lanjutan)

$$z(\theta)' = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \alpha} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \beta} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \beta} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial K} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial K} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{1+\beta e^{-Kt_1}}{(1+\beta e^{-Kt_1})^2} & \dots & \frac{1+\beta e^{-Kt_1 z}}{(1+\beta e^{-Kt_1 z})^2} \\ \frac{\alpha(1+e^{-Kt_1})}{(1+\beta e^{-Kt_1})^2} & \dots & \frac{\alpha(1+e^{-Kt_1 z})}{(1+\beta e^{-Kt_1 z})^2} \\ \frac{\alpha(1-K\beta e^{-Kt_1})}{(1+\beta e^{-Kt_1})^2} & \dots & \frac{\alpha(1-K\beta e^{-Kt_1 z})}{(1+\beta e^{-Kt_1 z})^2} \end{bmatrix}$$

4. Kemudian menentukan nilai λI dengan ukuran matriks 3×3
5. Berikutnya menghitung $\frac{\partial JRS}{\partial \theta} = \sum_{i=1}^n [Y - f(t_i, \theta)] \left[\frac{\partial f(t_i, \theta)}{\partial \theta} \right] = 0$
6. Mensubstitusikan semua perhitungan ke dalam iterasi berikut :

$$\theta_2 = \theta_1 - [z(\theta^{(j)})' z(\theta^{(j)}) + \lambda I]^{-1} [z(\theta^{(j)}) (w - f(z, \theta^{(j)}))]$$

$$\begin{bmatrix} \theta^{(j+1)} \\ g^{(j+1)} \end{bmatrix}_{2 \times 1} = \begin{bmatrix} 0.737 \\ 1.020 \\ 0.2626 \end{bmatrix}_{3 \times 1} - \begin{bmatrix} \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \alpha} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \beta} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \beta} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial K} & \dots & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial K} \end{bmatrix}_{3 \times 3}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \alpha} & \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \beta} & \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial K} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \alpha} & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial \beta} & \frac{\partial f(t_n, \theta)}{\partial K} \end{bmatrix}_{3 \times 3} \begin{bmatrix} \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \beta} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial K} \end{bmatrix}_{3 \times 1} + \lambda I_{3 \times 3} \begin{bmatrix} \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial \beta} \\ \frac{\partial f(t_1, \theta)}{\partial K} \end{bmatrix}_{3 \times 1} \begin{bmatrix} y(t_1) - f(t_1, \theta^{(j)}) \\ y(t_1) - f(t_1, \theta^{(j)}) \\ y(t_1) - f(t_1, \theta^{(j)}) \end{bmatrix}_{3 \times 1}$$

Lampiran 4 (Lanjutan)

$$\begin{aligned}
 & \begin{bmatrix} \alpha^{n+1} \\ \beta^{n+1} \\ K^{n+1} \end{bmatrix}_{\text{xx1}} = \begin{bmatrix} 8.737 \\ 1.020 \\ 0.2626 \end{bmatrix}_{\text{xx1}} \\
 & - \begin{bmatrix} \frac{1 + \beta e^{-Kt_1}}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \cdots & \frac{1 + \beta e^{-Kt_{11}}}{(1 + \beta e^{-Kt_{11}})^2} \\ \frac{\alpha(1 + e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \cdots & \frac{\alpha(1 + e^{-Kt_{11}})}{(1 + \beta e^{-Kt_{11}})^2} \\ \frac{\alpha(1 - K\beta e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \cdots & \frac{\alpha(1 - K\beta e^{-Kt_{11}})}{(1 + \beta e^{-Kt_{11}})^2} \end{bmatrix}_{\text{xxn}} \times \begin{bmatrix} \frac{1 + \beta e^{-Kt_1}}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \frac{\alpha(1 + e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \frac{\alpha(1 - K\beta e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} \\ 1 & 1 & 1 \\ \frac{1 + \beta e^{-Kt_{11}}}{(1 + \beta e^{-Kt_{11}})^2} & \frac{\alpha(1 + e^{-Kt_{11}})}{(1 + \beta e^{-Kt_{11}})^2} & \frac{\alpha(1 - K\beta e^{-Kt_{11}})}{(1 + \beta e^{-Kt_{11}})^2} \end{bmatrix}_{\text{xxn}} \\
 & + \lambda I_{3 \times 3}^{-1} \times \begin{bmatrix} \frac{1 + \beta e^{-Kt_1}}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \cdots & \frac{1 + \beta e^{-Kt_{11}}}{(1 + \beta e^{-Kt_{11}})^2} \\ \frac{\alpha(1 + e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \cdots & \frac{\alpha(1 + e^{-Kt_{11}})}{(1 + \beta e^{-Kt_{11}})^2} \\ \frac{\alpha(1 - K\beta e^{-Kt_1})}{(1 + \beta e^{-Kt_1})^2} & \cdots & \frac{\alpha(1 - K\beta e^{-Kt_{11}})}{(1 + \beta e^{-Kt_{11}})^2} \end{bmatrix}_{\text{xxn}} \begin{bmatrix} y(t_1) - f(t_1, \theta^{(l)}) \\ \vdots \\ y(t_{11}) - f(t_{11}, \theta^{(l)}) \end{bmatrix}_{\text{xxn}}
 \end{aligned}$$

7. Hingga iterasi ke-3 diperoleh nilai duga parameter sebagai berikut :

$$\alpha = 8.807, \beta = 1.631, K = 0.342$$

Lampiran 5. Hasil pendugaan parameter model pertumbuhan**1. Model Gompertz**

- a. Balita perempuan umur 0-12 bulan

Iteration History^b

Iteration Number ^a	Residual Sum of Squares	Parameter		
		alfa	beta	K
1.0	.690	8.738	1.020	.263
1.1	.236	9.060	1.026	.254
2.0	.236	9.060	1.026	.254
2.1	.236	9.065	1.027	.254
3.0	.236	9.065	1.027	.254
3.1	.236	9.065	1.027	.254

Derivatives are calculated numerically.

a. Major iteration number is displayed to the left of the decimal, and minor iteration number is to the right of the decimal.

b. Run stopped after 6 model evaluations and 3 derivative evaluations because the relative reduction between successive residual sums of squares is at most SSCon = 1.00E-008.

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
alfa	9.065	.180	8.663	9.467
beta	1.027	.032	.956	1.097
K	.254	.019	.212	.297

Correlations of Parameter Estimates

	alfa	beta	K
alfa	1.000	.102	-.896
beta	.102	1.000	.234
K	-.896	.234	1.000

Lampiran 5 (Lanjutan)

ANOVA^a

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	625.034	3	208.345
Residual	.236	10	.024
Uncorrected Total	625.269	13	
Corrected Total	38.318	12	

Dependent variable: balita_perempuan

a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .994.

b. Balita perempuan umur 13-36 bulan

Iteration History^b

Iteration Number ^a	Residual Sum of Squares	Parameter		
		ALFA	BETA	K
1.0	6.760	11.575	.245	.040
1.1	275.415	14.613	.721	.000
1.2	4.655	11.680	.324	.045
2.0	4.655	11.680	.324	.045
2.1	2.156	12.004	.477	.054
3.0	2.156	12.004	.477	.054
3.1	8.447	13.333	.676	.034
3.2	1.402	12.126	.537	.054
4.0	1.402	12.126	.537	.054
4.1	.612	12.458	.647	.055
5.0	.612	12.458	.647	.055
5.1	1.877	13.407	.674	.038
5.2	.508	12.552	.676	.055
6.0	.508	12.552	.676	.055
6.1	.421	12.813	.710	.052
7.0	.421	12.813	.710	.052
7.1	.431	13.289	.696	.044
7.2	.396	13.035	.709	.049
8.0	.396	13.035	.709	.049
8.1	.397	13.460	.699	.042

Lampiran 5 (Lanjutan)

8.2	.381	13.251	.705	.046
9.0	.381	13.251	.705	.046
9.1	.387	13.687	.703	.039
9.2	.371	13.435	.705	.043
10.0	.371	13.435	.705	.043
10.1	.369	13.805	.707	.039
11.0	.369	13.805	.707	.039
11.1	.354	14.012	.714	.037
12.0	.354	14.012	.714	.037
12.1	.358	14.405	.724	.034
12.2	.352	14.141	.718	.036
13.0	.352	14.141	.718	.036
13.1	.351	14.396	.725	.034
14.0	.351	14.396	.725	.034
14.1	.349	14.659	.734	.032
15.0	.349	14.659	.734	.032
15.1	.349	14.942	.745	.030
16.0	.349	14.942	.745	.030
16.1	.348	14.971	.747	.030
17.0	.348	14.971	.747	.030
17.1	.348	14.971	.747	.030
18.0	.348	14.971	.747	.030
18.1	.348	14.971	.747	.030

Derivatives are calculated numerically.

- a. Major iteration number is displayed to the left of the decimal, and minor iteration number is to the right of the decimal.
- b. Run stopped after 43 model evaluations and 18 derivative evaluations because the relative reduction between successive residual sums of squares is at most SSSCON = 1.00E-008.

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
ALFA	14.971	1.949	10.919	19.024
BETA	.747	.080	.579	.914
K	.030	.011	.007	.053

Lampiran 5 (Lanjutan)**Correlations of Parameter Estimates**

	ALFA	BETA	K
ALFA	1.000	.974	-.996
BETA	.974	1.000	-.949
K	-.996	-.949	1.000

ANOVA^a

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	2628.024	3	876.008
Residual	.348	21	.017
Uncorrected Total	2628.372	24	
Corrected Total	15.083	23	

Dependent variable: BALITA_PEREMPUAN

a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .977.

c. Balita perempuan umur 37-60 bulan

Iteration History^b

Iteration Number ^a	Residual Sum of Squares	Parameter		
		ALFA	BETA	K
1.0	29.284	15.838	.311	.020
1.1	4397.280	43.061	1.612	-.209
1.2	31.445	17.009	.826	.034
1.3	15.096	16.243	.568	.025
2.0	15.096	16.243	.568	.025
2.1	6.986	17.741	1.050	.029
3.0	6.986	17.741	1.050	.029
3.1	322.326	22.991	1.394	.010
3.2	4.363	17.985	1.151	.029
.
.
.
128.1	.731	269.132	3.651	.004
129.0	.731	269.132	3.651	.004
129.1	.732	277.856	3.683	.004
129.2	.731	271.576	3.660	.004

Lampiran 5 (Lanjutan)

130.0	.731	271.576	3.660	.004
130.1	.731	276.388	3.677	.004

Derivatives are calculated numerically.

a. Major iteration number is displayed to the left of the decimal, and minor iteration number is to the right of the decimal.

b. Run stopped after 301 model evaluations and 130 derivative evaluations because it reached the limit for the number of iterations.

Correlations of Parameter Estimates

	ALFA	BETA	K
ALFA	1.000	1.000	-1.000
BETA	1.000	1.000	-1.000
K	-1.000	-1.000	1.000

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
ALFA	276.388	2177.991	-4252.993	4805.769
BETA	3.677	7.843	-12.633	19.987
K	.004	.011	-.019	.027

ANOVA^a

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	4396.550	3	1465.517
Residual	.731	21	.035
Uncorrected Total	4397.280	24	
Corrected Total	31.714	23	

Dependent variable: BALITA_PEREMPUAN

a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .977.

Lampiran 5 (Lanjutan)

d. Balita laki-laki umur 0-12 bulan

Iteration History^b

Iteration Number ^a	Residual Sum of Squares	Parameter		
		ALFA	BETA	K
1.0	.511	9.556	1.077	.260
1.1	.225	9.966	1.123	.243
2.0	.225	9.966	1.123	.243
2.1	.220	9.984	1.124	.244
3.0	.220	9.984	1.124	.244
3.1	.220	9.984	1.124	.244
4.0	.220	9.984	1.124	.244
4.1	.220	9.984	1.124	.244

Derivatives are calculated numerically.

a. Major iteration number is displayed to the left of the decimal, and minor iteration number is to the right of the decimal.

b. Run stopped after 8 model evaluations and 4 derivative evaluations because the relative reduction between successive residual sums of squares is at most SSEN = 1.00E-008.

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
ALFA	9.984	.193	9.555	10.413
BETA	1.124	.030	1.058	1.190
K	.244	.016	.209	.280

Correlations of Parameter Estimates

	ALFA	BETA	K
ALFA	1.000	.094	-.905
BETA	.094	1.000	.232
K	-.905	.232	1.000

Lampiran 5 (Lanjutan)

ANOVA^a

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	712.217	3	237.406
Residual	.220	10	.022
Uncorrected Total	712.437	13	
Corrected Total	50.305	12	

Dependent variable: BALITA_LAKILAKI

a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .996.

e. Balita laki-laki umur 13-36 bulan

Iteration History^b

Iteration Number ^a	Residual Sum of Squares	Parameter		
		ALFA	BETA	K
1.0	10.651	13.489	.308	.035
1.1	2016.540	19.935	.950	-.031
1.2	6.593	13.678	.421	.044
2.0	6.593	13.678	.421	.044
2.1	2.248	14.294	.656	.053
3.0	2.248	14.294	.656	.053
3.1	67.172	16.700	.742	.016
3.2	1.316	14.393	.705	.052
4.0	1.316	14.393	.705	.052
4.1	.744	14.807	.789	.051
5.0	.744	14.807	.789	.051
5.1	1.219	15.831	.802	.039
5.2	.642	15.035	.816	.050
6.0	.642	15.035	.816	.050
6.1	.577	15.488	.819	.045
7.0	.577	15.488	.819	.045
7.1	.515	15.953	.822	.041
8.0	.515	15.953	.822	.041
8.1	.640	16.889	.835	.033
8.2	.482	16.194	.828	.039

Lampiran 5 (Lanjutan)

18.1	.362	21.204	1.000	.021
19.0	.362	21.204	1.000	.021
19.1	.359	21.726	1.020	.021
20.0	.359	21.726	1.020	.021
20.1	.358	22.250	1.041	.020
21.0	.358	22.250	1.041	.020
21.1	.356	22.776	1.061	.019
22.0	.356	22.776	1.061	.019
22.1	.355	23.303	1.080	.018
23.0	.355	23.303	1.080	.018
23.1	.355	23.832	1.100	.018
24.0	.355	23.832	1.100	.018
24.1	.354	24.362	1.120	.017
25.0	.354	24.362	1.120	.017
25.1	.354	24.893	1.139	.017
26.0	.354	24.893	1.139	.017
26.1	.354	25.425	1.158	.016
27.0	.354	25.425	1.158	.016
27.1	.353	25.631	1.165	.016
28.0	.353	25.631	1.165	.016
28.1	.353	25.629	1.165	.016
29.0	.353	25.629	1.165	.016
29.1	.353	25.630	1.165	.016

Derivatives are calculated numerically.

a. Major iteration number is displayed to the left of the decimal, and minor iteration number is to the right of the decimal.

b. Run stopped after 62 model evaluations and 29 derivative evaluations because the relative reduction between successive residual sums of squares is at most $\text{SSCON} = 1.00\text{E}-008$.

Lampiran 5 (Lanjutan)

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
ALFA	25.630	10.335	4.138	47.121
BETA	1.165	.365	.406	1.924
K	.016	.008	-.001	.034

Correlations of Parameter Estimates

	ALFA	BETA	K
ALFA	1.000	.999	-.999
BETA	.999	1.000	-.997
K	-.999	-.997	1.000

ANOVA^a

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	3313.584	3	1104.528
Residual	.353	21	.017
Uncorrected Total	3313.937	24	
Corrected Total	25.716	23	

Dependent variable: BALITA_LAKILAKI

a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .986.

Lampiran 5 (Lanjutan)
f. Balita laki-laki umur 37-60 bulan

Iteration History^b

Iteration Number ^a	Residual Sum of Squares	Parameter		
		ALFA	BETA	K
1.0	63.485	18.444	.320	.007
1.1	5876.955	183.892	9.500	-.202
1.2	1784.057	28.329	1.634	.049
1.3	34.288	18.522	.386	.016
2.0	34.288	18.522	.386	.016
2.1	27.537	19.364	.664	.026
3.0	27.537	19.364	.664	.026
3.1	14.924	20.927	.961	.023
4.0	14.924	20.927	.961	.023
4.1	3.664	24.230	1.552	.027
5.0	3.664	24.230	1.552	.027
5.1	1353.339	36.684	1.424	.000
5.2	1.684	24.987	1.665	.026
.
.
.
.
130.1	.573	316.008	3.767	.005
131.0	.573	316.008	3.767	.005
131.1	.573	324.245	3.793	.005
131.2	.573	318.259	3.774	.005
132.0	.573	318.259	3.774	.005
132.1	.573	322.699	3.788	.005
133.0	.573	322.699	3.788	.005
133.1	.572	327.028	3.801	.005
134.0	.572	327.028	3.801	.005
134.1	.573	335.463	3.826	.005

Derivatives are calculated numerically.

a. Major iteration number is displayed to the left of the decimal, and minor iteration number is to the right of the decimal.

b. Run stopped after 301 model evaluations and 134 derivative evaluations because it reached the limit for the number of iterations.

Lampiran 5 (Lanjutan)

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
ALFA	327.028	1603.117	-3006.836	3660.893
BETA	3.801	4.764	-6.106	13.708
K	.005	.007	-.011	.020

Correlations of Parameter Estimates

	ALFA	BETA	K
ALFA	1.000	.999	-.999
BETA	.999	1.000	-.997
K	-.999	-.997	1.000

ANOVA^a

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	5876.383	3	1958.794
Residual	.572	21	.027
Uncorrected Total	5876.955	24	
Corrected Total	53.982	23	

Dependent variable: BALITA_LAKILAKI

a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .989.

Lampiran 5 (Lanjutan)**2. Model Logistic**

- a. Balita perempuan umur 0-12 bulan

Iteration History^b

Iteration Number ^a	Residual Sum of Squares	Parameter		
		ALFA	BETA	K
1.0	.793	8.738	1.774	.337
1.1	.310	8.816	1.620	.340
2.0	.310	8.816	1.620	.340
2.1	.309	8.807	1.631	.342
3.0	.309	8.807	1.631	.342
3.1	.309	8.807	1.631	.342
4.0	.309	8.807	1.631	.342
4.1	.309	8.807	1.631	.342
5.0	.309	8.807	1.631	.342
5.1	.309	8.807	1.631	.342

Derivatives are calculated numerically.

a. Major iteration number is displayed to the left of the decimal, and minor iteration number is to the right of the decimal.

b. Run stopped after 10 model evaluations and 5 derivative evaluations because the relative reduction between successive residual sums of squares is at most SSEN = 1.00E-008.

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
ALFA	8.807	.158	8.454	9.159
BETA	1.631	.087	1.438	1.825
K	.342	.025	.286	.398

Lampiran 5 (Lanjutan)**Correlations of Parameter Estimates**

	ALFA	BETA	K
ALFA	1.000	.043	-.822
BETA	.043	1.000	.407
K	-.822	.407	1.000

ANOVA^a

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	624.934	3	208.311
Residual	.309	10	.031
Uncorrected Total	625.244	13	
Corrected Total	38.319	12	

Dependent variable: BERAT_BADAN

a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .992.

b. Balita perempuan umur 13-36 bulan

Iteration History^b

Iteration Number ^a	Residual Sum of Squares	Parameter		
		ALFA	BETA	K
1.0	6.559	11.575	.278	.043
1.1	58.281	14.311	.844	.014
1.2	4.689	11.664	.364	.048
2.0	4.689	11.664	.364	.048
2.1	2.470	11.932	.530	.058
3.0	2.470	11.932	.530	.058
3.1	.509	12.843	.853	.054
4.0	.509	12.843	.853	.054
4.1	1.003	13.838	.922	.041
4.2	.390	13.379	.920	.049
5.0	.390	13.379	.920	.049
5.1	.429	14.040	.953	.041

Lampiran 5 (Lanjutan)

5.2	.358	13.749	.942	.045
6.0	.358	13.749	.942	.045
6.1	.358	14.156	.969	.041
7.0	.358	14.156	.969	.041
7.1	.349	14.223	.977	.041
8.0	.349	14.223	.977	.041
8.1	.349	14.225	.977	.041
9.0	.349	14.225	.977	.041
9.1	.349	14.225	.977	.041

Derivatives are calculated numerically.

- a. Major iteration number is displayed to the left of the decimal, and minor iteration number is to the right of the decimal.
- b. Run stopped after 21 model evaluations and 9 derivative evaluations because the relative reduction between successive residual sums of squares is at most SS CON = 1.00E-008.

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
ALFA	14.225	1.370	11.377	17.073
BETA	.977	.109	.751	1.204
K	.041	.011	.018	.064

Correlations of Parameter Estimates

	ALFA	BETA	K
ALFA	1.000	.953	-.992
BETA	.953	1.000	-.908
K	-.992	-.908	1.000

ANOVA^a

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	2628.023	3	876.008
Residual	.349	21	.017
Uncorrected Total	2628.372	24	
Corrected Total	15.083	23	

Dependent variable: BALITA_PEREMPUAN

a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .977.

Lampiran 5 (Lanjutan)

c. Balita perempuan umur 37-60 bulan

Iteration History^b

Iteration Number ^a	Residual Sum of Squares	Parameter		
		ALFA	BETA	K
1.0	23.737	15.838	.365	.013
1.1	4396.344	84.307	6.105	-.205
1.2	79.274	16.183	1.208	.060
1.3	17.516	15.971	.515	.023
2.0	17.516	15.971	.515	.023
2.1	13.893	16.804	.938	.031
3.0	13.893	16.804	.938	.031
.
.
.
106.0	.674	3.767E6	5.071E5	.012
106.1	.674	5.272E6	7.097E5	.012
107.0	.674	5.272E6	7.097E5	.012
107.1	.674	6.778E6	9.123E5	.012
108.0	.674	6.778E6	9.123E5	.012
108.1	.674	9.789E6	1.318E6	.012
109.0	.674	9.789E6	1.318E6	.012
109.1	.674	1.581E7	2.128E6	.012
110.0	.674	1.581E7	2.128E6	.012
110.1	.674	2.785E7	3.749E6	.012
111.0	.674	2.785E7	3.749E6	.012
111.1	.674	3.990E7	5.370E6	.012
112.0	.674	3.990E7	5.370E6	.012
112.1	.674	2.785E7	3.749E6	.012
112.2	.674	3.802E7	5.118E6	.012

Derivatives are calculated numerically.

a. Major iteration number is displayed to the left of the decimal, and minor iteration number is to the right of the decimal.

b. Run stopped after 244 model evaluations and 112 derivative evaluations because the relative reduction between successive residual sums of squares is at most SSEN = 1.00E-008.

Lampiran 5 (Lanjutan)

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
ALFA	3.990E7	1.391E13	-2.893E13	2.893E13
BETA	5.370E6	1.873E12	-3.894E12	3.894E12
K	.012	.002	.009	.015

Correlations of Parameter Estimates

	ALFA	BETA	K
ALFA	1.000	1.000	-.966
BETA	1.000	1.000	-.966
K	-.966	-.966	1.000

ANOVA^a

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	4396.607	3	1465.536
Residual	.674	21	.032
Uncorrected Total	4397.280	24	
Corrected Total	31.714	23	

Dependent variable: BALITA_PEREMPUAN

a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .979.



Lampiran 5 (Lanjutan)

d. Balita laki-laki umur 0-12 bulan

Iteration History^b

Iteration Number ^a	Residual Sum of Squares	Parameter		
		ALFA	BETA	K
1.0	.444	9.556	1.935	.339
1.1	.291	9.626	1.863	.339
2.0	.291	9.626	1.863	.339
2.1	.291	9.623	1.866	.339
3.0	.291	9.623	1.866	.339
3.1	.291	9.622	1.866	.339
4.0	.291	9.622	1.866	.339
4.1	.291	9.622	1.866	.339

Derivatives are calculated numerically.

a. Major iteration number is displayed to the left of the decimal, and minor iteration number is to the right of the decimal.

b. Run stopped after 8 model evaluations and 4 derivative evaluations because the relative reduction between successive residual sums of squares is at most SSEN = 1.00E-008.

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
ALFA	9.622	.162	9.261	9.984
BETA	1.866	.088	1.670	2.062
K	.339	.021	.292	.387

Correlations of Parameter Estimates

	ALFA	BETA	K
ALFA	1.000	.024	-.827
BETA	.024	1.000	.424
K	-.827	.424	1.000

Lampiran 5 (Lanjutan)

ANOVA^a

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	712.146	3	237.382
Residual	.291	10	.029
Uncorrected Total	712.437	13	
Corrected Total	50.305	12	

Dependent variable: BALITA_LAKILAKI

a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .994.

e. Balita laki-laki umur 13-36 bulan

Iteration History^b

Iteration Number ^a	Residual Sum of Squares	Parameter		
		ALFA	BETA	K
1.0	10.252	13.489	.361	.038
1.1	501.786	19.185	1.160	-.013
1.2	6.716	13.643	.487	.047
2.0	6.716	13.643	.487	.047
2.1	2.909	14.105	.753	.058
3.0	2.909	14.105	.753	.058
3.1	28.238	16.282	1.032	.028
3.2	1.905	14.168	.815	.057
4.0	1.905	14.168	.815	.057
4.1	1.118	14.444	.928	.058
5.0	1.118	14.444	.928	.058
5.1	.757	15.341	1.085	.051
6.0	.757	15.341	1.085	.051
6.1	.634	16.382	1.158	.043
7.0	.634	16.382	1.158	.043
7.1	.477	17.438	1.247	.038
8.0	.477	17.438	1.247	.038
8.1	.417	18.495	1.347	.034
9.0	.417	18.495	1.347	.034
9.1	.386	19.555	1.453	.031
10.0	.386	19.555	1.453	.031
10.1	.371	20.618	1.564	.029
11.0	.371	20.618	1.564	.029
11.1	.352	20.867	1.592	.029
12.0	.352	20.867	1.592	.029
12.1	.352	20.865	1.592	.029
13.0	.352	20.865	1.592	.029
13.1	.352	20.865	1.592	.029

Lampiran 5 (Lanjutan)

Derivatives are calculated numerically.

a. Major iteration number is displayed to the left of the decimal, and minor iteration number is to the right of the decimal.

b. Run stopped after 28 model evaluations and 13 derivative evaluations because the relative reduction between successive residual sums of squares is at most SSSCON = 1.00E-008.

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
ALFA	20.865	4.676	11.141	30.588
BETA	1.592	.495	.561	2.622
K	.029	.008	.012	.047

Correlations of Parameter Estimates

	ALFA	BETA	K
ALFA	1.000	.998	-.996
BETA	.998	1.000	-.989
K	-.996	-.989	1.000

ANOVA^a

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	3313.584	3	1104.528
Residual	.352	21	.017
Uncorrected Total	3313.937	24	
Corrected Total	25.716	23	

Dependent variable: BALITA_LAKILAKI

a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .986.

Lampiran 5 (Lanjutan)

f. Balita laki-laki umur 37-60 bulan

Iteration Number ^a	Residual Sum of Squares	Parameter		
		ALFA	BETA	K
1.0	63.174	18.444	.378	.008
1.1	5873.581	170.547	12.055	-.178
1.2	1577.529	26.491	2.008	.060
1.3	34.355	18.498	.450	.018
2.0	34.355	18.498	.450	.018
2.1	28.555	19.074	.782	.029
3.0	28.555	19.074	.782	.029
3.1	16.401	20.311	1.156	.027
4.0	16.401	20.311	1.156	.027
4.1	11.884	22.042	1.918	.034
5.0	11.884	22.042	1.918	.034
.
.
126.0	.540	3.136E4	3.961E3	.014
126.1	.540	4.232E4	5.345E3	.014
127.0	.540	4.232E4	5.345E3	.014
127.1	.540	5.328E4	6.730E3	.014
128.0	.540	5.328E4	6.730E3	.014
128.1	.540	7.520E4	9.499E3	.014
129.0	.540	7.520E4	9.499E3	.014
129.1	.540	9.712E4	1.227E4	.014
130.0	.540	9.712E4	1.227E4	.014
130.1	.540	1.410E5	1.781E4	.014
131.0	.540	1.410E5	1.781E4	.014
131.1	.540	1.848E5	2.334E4	.014
132.0	.540	1.848E5	2.334E4	.014
132.1	.540	2.725E5	3.442E4	.014
133.0	.540	2.725E5	3.442E4	.014
133.1	.540	3.602E5	4.550E4	.014
134.0	.540	3.602E5	4.550E4	.014
134.1	.540	5.355E5	6.765E4	.014
135.0	.540	5.355E5	6.765E4	.014
135.1	.540	7.109E5	8.980E4	.014

Lampiran 5 (Lanjutan)

Derivatives are calculated numerically.

a. Major iteration number is displayed to the left of the decimal, and minor iteration number is to the right of the decimal.

b. Run stopped after 300 model evaluations and 135 derivative evaluations because it reached the limit for the number of iterations.

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
ALFA	7.109E5	9.277E9	-1.929E10	1.929E10
BETA	8.980E4	1.172E9	-2.437E9	2.437E9
K	.014	.005	.001	.028

ANOVA^a

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	5876.415	3	1958.805
Residual	.540	21	.026
Uncorrected Total	5876.955	24	
Corrected Total	53.982	23	

Dependent variable: BALITA_LAKILAKI

a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .990.



Lampiran 6. Penduga awal dan penduga hasil iterasi pada model *Gompertz* dan *Logistic*

Tabel Penduga parameter model *Gompertz*.

Jenis Kelamin	Umur (Bulan)	Parameter					
		Penduga Awal			Penduga Hasil Iterasi		
		α	β	K	α	β	K
Perempuan	0-12	8.737	1.020	0.2626	9.906	1.027	0.254
	13-36	11.575	0.245	0.039	14.971	0.747	0.030
	37-60	15.837	0.311	0.011	276.388	3.677	0.004
Laki-Laki	0-12	9.556	1.077	0.260	9.984	1.124	0.244
	13-36	13.489	0.320	0.034	25.630	1.165	0.016
	37-60	18.444	0.320	0.007	335.463	3.826	0.005

Tabel Penduga parameter model *Logistic*

Jenis Kelamin	Umur (Bulan)	Parameter					
		Penduga Awal			Penduga Hasil Iterasi		
		α	β	K	α	β	K
Perempuan	0-12	8.737	1.774	0.337	8.807	1.631	0.342
	13-36	11.575	0.277	0.043	14.225	0.977	0.041
	37-60	15.835	0.365	0.013	3.80E7	5.11E6	0.012
Laki-Laki	0-12	9.556	1.935	0.339	9.622	1.866	0.399
	13-36	13.4889	0.361	0.038	20.865	1.592	0.029
	37-60	18.444	0.377	0.008	7.11E5	8.98E4	0.014



Lampiran 7. Asumsi kenormalan sisaan pada model *Gompertz* dan *Logistic*Tabel Asumsi kenormalan sisaan pada model *Gompertz*

Jenis Kelamin	Umur (Bulan)	Nilai <i>Kolmogorov-Smirnov</i>
Perempuan	0-12	0.814
	13-36	0.479
	37-60	0.548
Laki-Laki	0-12	0.372
	13-36	0.610
	37-60	0.499

Tabel Asumsi kenormalan sisaan pada model *Logistic*

Jenis Kelamin	Umur (Bulan)	Nilai <i>Kolmogorov-Smirnov</i>
Perempuan	0-12	0.628
	13-36	0.476
	37-60	0.553
Laki-Laki	0-12	0.449
	13-36	0.586
	37-60	0.470



Lampiran 8. Asumsi kehomogenan ragam sisaaan pada Model *Gomperzt* dan *Logistic*Tabel Asumsi kehomogenan ragam sisaaan pada model *Gompertz*

Jenis Kelamin	Umur (Bulan)	Nilai statistik <i>J.Szroeter</i> pada model <i>Gompertz</i>	$Z_{0.005}$	Keputusan
Perempuan	0-12	0.029	2.58	Ragam sisaaan konstan
	13-36	0.285	2.58	Ragam sisaaan konstan
	37-60	2.062	2.58	Ragam sisaaan konstan
Laki-Laki	0-12	1.278	2.58	Ragam sisaaan konstan
	13-36	1.173	2.58	Ragam sisaaan konstan
	37-60	0.750	2.58	Ragam sisaaan konstan

Tabel Asumsi kehomogenan ragam sisaaan pada model *Logistic*

Jenis Kelamin	Umur (Bulan)	Nilai statistik <i>J.Szroeter</i> pada model <i>Logistic</i>	$Z_{0.005}$	Keputusan
Perempuan	0-12	0.293	2.58	Ragam sisaaan konstan
	13-36	0.309	2.58	Ragam sisaaan konstan
	37-60	1.942	2.58	Ragam sisaaan konstan
Laki-Laki	0-12	1.146	2.58	Ragam sisaaan konstan
	13-36	1.156	2.58	Ragam sisaaan konstan
	37-60	0.856	2.58	Ragam sisaaan konstan



Lampiran 9. Asumsi non autokorelasi sisaan pada model *Gompertz* dan *Logistic*

Tabel Asumsi non autokorelasi sisaan pada model *Gompertz*

Jenis Kelamin	Umur (Bulan)	Nilai Statistik Durbin-Watson Pada Model <i>Gompertz</i>	dL	dU	Keputusan
Perempuan	0-12	1.941	0.75	1.04	Pola sisaan acak
	13-36	1.408	1.04	1.20	Pola sisaan acak
	37-60	0.775	1.04	1.20	Pola sisaan tidak acak
Laki-Laki	0-12	2.103	0.75	1.04	Pola sisaan acak
	13-36	1.850	1.04	1.20	Pola sisaan acak
	37-60	1.086	1.04	1.20	Pola sisaan acak

Tabel Asumsi non autokorelasi sisaan pada model *Logistic*

Jenis Kelamin	Umur (Bulan)	Nilai Statistik Durbin-Watson Pada Model <i>Logistic</i>	dL	dU	Keputusan
Perempuan	0-12	1.683	0.75	1.04	Pola sisaan acak
	13-36	1.401	1.04	1.20	Pola sisaan acak
	37-60	0.830	1.04	1.20	Pola sisaan tidak acak
Laki-Laki	0-12	1.709	0.75	1.04	Pola sisaan acak
	13-36	1.856	1.04	1.20	Pola sisaan acak
	37-60	1.129	1.04	1.20	Pola sisaan acak



Lampiran 10. Hasil uji asumsi kenormalan sisaan dengan uji *Kolmogorov Smirnov*

1. Uji kenormalan sisaan model *Gomperzt* balita perempuan umur 0-12 bulan

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residuals
N		13
Normal Parameters ^a	Mean	-.0005
	Std. Deviation	.14017
Most Extreme Differences	Absolute	.226
	Positive	.120
	Negative	-.226
Kolmogorov-Smirnov Z		.814
Asymp. Sig. (2-tailed)		.521

a. Test distribution is Normal.

2. Uji kenormalan sisaan model *Gomperzt* balita perempuan umur 13-36 bulan

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residuals
N		24
Normal Parameters ^a	Mean	.0000
	Std. Deviation	.12297
Most Extreme Differences	Absolute	.098
	Positive	.093
	Negative	-.098
Kolmogorov-Smirnov Z		.479
Asymp. Sig. (2-tailed)		.976

a. Test distribution is Normal.

Lampiran 10 (Lanjutan)

3. Uji kenormalan sisaan model *Gomperzt* balita perempuan umur 37-60 bulan

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residuals
N		24
Normal Parameters ^a	Mean	.0026
	Std. Deviation	.17821
Most Extreme Differences	Absolute	.112
	Positive	.112
	Negative	-.058
Kolmogorov-Smirnov Z		.548
Asymp. Sig. (2-tailed)		.925

a. Test distribution is Normal.

4. Uji kenormalan sisaan model *Gomperzt* balita laki-laki umur 0-12 bulan

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residuals
N		13
Normal Parameters ^a	Mean	-.0002
	Std. Deviation	.13548
Most Extreme Differences	Absolute	.103
	Positive	.088
	Negative	-.103
Kolmogorov-Smirnov Z		.372
Asymp. Sig. (2-tailed)		.999

a. Test distribution is Normal.

Lampiran 10 (Lanjutan)

5. Uji kenormalan sisaan model *Gomperzt* balita laki-laki umur 13-36 bulan

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residuals
N		24
Normal Parameters ^a	Mean	.0000
	Std. Deviation	.12391
Most Extreme Differences	Absolute	.125
	Positive	.084
	Negative	-.125
Kolmogorov-Smirnov Z		.610
Asymp. Sig. (2-tailed)		.851

a. Test distribution is Normal.

6. Uji kenormalan sisaan model *Gomperzt* balita laki-laki umur 37-60 bulan

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residuals
N		24
Normal Parameters ^a	Mean	.0017
	Std. Deviation	.15775
Most Extreme Differences	Absolute	.102
	Positive	.102
	Negative	-.074
Kolmogorov-Smirnov Z		.499
Asymp. Sig. (2-tailed)		.965

a. Test distribution is Normal.

Lampiran 10 (Lanjutan)

7. Uji kenormalan sisian model *Logistic* balita perempuan umur 0-12 bulan

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residuals
N		13
Normal Parameters ^a	Mean	-.0017
	Std. Deviation	.16058
Most Extreme Differences	Absolute	.174
	Positive	.119
	Negative	-.174
Kolmogorov-Smirnov Z		.628
Asymp. Sig. (2-tailed)		.825

a. Test distribution is Normal.

8. Uji kenormalan sisian model *Logistic* balita perempuan umur 13-36 bulan

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residuals
N		24
Normal Parameters ^a	Mean	.0000
	Std. Deviation	.12323
Most Extreme Differences	Absolute	.097
	Positive	.097
	Negative	-.093
Kolmogorov-Smirnov Z		.476
Asymp. Sig. (2-tailed)		.977

a. Test distribution is Normal.

Lampiran 10 (Lanjutan)

9. Uji kenormalan sisaan model *Logistic* balita perempuan umur 37-60 bulan

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residuals
N		24
Normal Parameters ^a	Mean	.0002
	Std. Deviation	.17114
Most Extreme Differences	Absolute	.113
	Positive	.113
	Negative	-.075
Kolmogorov-Smirnov Z		.553
Asymp. Sig. (2-tailed)		.920

a. Test distribution is Normal.

10. Uji kenormalan sisaan model *Logistic* balita laki-laki umur 0-12 bulan

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residuals
N		13
Normal Parameters ^a	Mean	-.0018
	Std. Deviation	.15581
Most Extreme Differences	Absolute	.125
	Positive	.125
	Negative	-.106
Kolmogorov-Smirnov Z		.449
Asymp. Sig. (2-tailed)		.988

a. Test distribution is Normal.

Lampiran 10 (Lanjutan)

11. Uji kenormalan sisaan model *Logistic* balita laki-laki umur 13-36 bulan

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residuals
N		24
Normal Parameters ^a	Mean	.0000
	Std. Deviation	.12378
Most Extreme Differences	Absolute	.120
	Positive	.077
	Negative	-.120
Kolmogorov-Smirnov Z		.586
Asymp. Sig. (2-tailed)		.882

a. Test distribution is Normal.

12. Uji kenormalan sisaan model *Logistic* balita laki-laki umur 37-60 bulan

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residuals
N		24
Normal Parameters ^a	Mean	.0001
	Std. Deviation	.15327
Most Extreme Differences	Absolute	.096
	Positive	.096
	Negative	-.081
Kolmogorov-Smirnov Z		.470
Asymp. Sig. (2-tailed)		.980

a. Test distribution is Normal.

Lampiran 11. Nilai prediksi dan sisaan model pertumbuhan**1. Model Gompertz**

- a. Nilai prediksi dan sisaan model pertumbuhan *Gompertz* balita perempuan dan laki-laki umur 0-12 bulan

umur (bulan)	perempuan			laki-laki		
	amatan	prediksi	sisaan	amatan	prediksi	sisaan
0	3.150	3.247	-0.097	3.256	3.245	0.011
1	4.225	4.088	0.137	4.100	4.139	-0.039
2	4.788	4.888	-0.100	5.000	5.009	-0.009
3	5.613	5.615	-0.002	5.744	5.816	-0.071
4	6.438	6.252	0.186	6.644	6.538	0.107
5	6.900	6.795	0.105	7.389	7.166	0.223
6	7.075	7.249	-0.174	7.622	7.699	-0.077
7	7.350	7.622	-0.272	8.000	8.145	-0.145
8	8.025	7.925	0.100	8.322	8.512	-0.190
9	8.300	8.167	0.133	8.967	8.811	0.156
10	8.325	8.361	-0.036	9.122	9.053	0.069
11	8.425	8.514	-0.089	9.056	9.247	-0.191
12	8.738	8.634	0.104	9.556	9.402	0.154

- b. Nilai prediksi dan sisaan model pertumbuhan *Gompertz* balita perempuan dan laki-laki umur 13-36 bulan

umur (bulan)	perempuan			laki-laki		
	amatan	prediksi	sisaan	amatan	prediksi	sisaan
13	9.063	9.044	0.019	9.911	9.978	-0.067
14	9.313	9.181	0.132	10.122	10.131	-0.009
15	9.213	9.315	-0.103	10.322	10.284	0.039
16	9.413	9.448	-0.035	10.533	10.436	0.097
17	9.350	9.578	-0.228	10.578	10.588	-0.010
18	9.663	9.707	-0.044	10.744	10.740	0.005

Lampiran 11 (Lanjutan)

19	9.875	9.833	0.042	11.067	10.891	0.175
20	10.025	9.957	0.068	11.078	11.043	0.035
21	10.125	10.078	0.047	10.956	11.193	-0.238
22	10.225	10.198	0.027	11.389	11.344	0.045
23	10.500	10.315	0.185	11.456	11.494	-0.038
24	10.675	10.430	0.245	11.389	11.643	-0.254
25	10.575	10.543	0.032	11.844	11.792	0.053
26	10.625	10.654	-0.029	11.856	11.940	-0.085
27	10.600	10.763	-0.163	12.122	12.088	0.034
28	10.788	10.869	-0.081	12.222	12.235	-0.013
29	10.925	10.973	-0.048	12.533	12.382	0.151
30	10.813	11.075	-0.263	12.600	12.528	0.072
31	11.225	11.175	0.050	12.744	12.673	0.071
32	11.225	11.273	-0.048	13.067	12.818	0.249
33	11.338	11.369	-0.031	12.889	12.962	-0.073
34	11.600	11.462	0.138	12.911	13.105	-0.194
35	11.713	11.554	0.159	13.100	13.247	-0.147
36	11.575	11.643	-0.068	13.489	13.389	0.100

Lampiran 11 (Lanjutan)

- c. Nilai prediksi dan sisaan model pertumbuhan *Gompertz* laki-laki umur 13-36 bulan

umur (bulan)	laki-laki		
	amatan	prediksi	sisaan
37	13.389	13.180	0.209
38	13.467	13.374	0.093
39	13.644	13.569	0.075
40	13.744	13.767	-0.022
41	13.822	13.966	-0.144
42	14.111	14.168	-0.057
43	14.300	14.372	-0.072
44	14.556	14.577	-0.022
45	14.578	14.785	-0.207
46	14.789	14.994	-0.205
47	15.422	15.206	0.217
48	15.578	15.419	0.159
49	15.500	15.635	-0.135
50	15.922	15.852	0.070
51	16.333	16.072	0.262
52	16.422	16.293	0.129
53	16.511	16.517	-0.006
54	16.489	16.742	-0.253
55	16.789	16.970	-0.181
56	17.122	17.200	-0.077
57	17.300	17.431	-0.131
58	17.633	17.665	-0.032
59	17.967	17.901	0.066
60	18.444	18.139	0.306

Lampiran 11 (Lanjutan)

2. Model Logistic

- a. Nilai prediksi dan sisaan model pertumbuhan *Logistic* balita perempuan dan laki-laki umur 0-12 bulan

umur (bulan)	perempuan			laki-laki		
	amatan	prediksi	sisaan	amatan	prediksi	sisaan
0	3.150	3.347	-0.197	3.256	3.358	-0.102
1	4.225	4.080	0.145	4.100	4.132	-0.032
2	4.788	4.831	-0.044	5.000	4.944	0.056
3	5.613	5.558	0.054	5.744	5.749	-0.004
4	6.438	6.224	0.214	6.644	6.502	0.142
5	6.900	6.802	0.098	7.389	7.172	0.217
6	7.075	7.282	-0.207	7.622	7.739	-0.117
7	7.350	7.667	-0.317	8.000	8.201	-0.201
8	8.025	7.966	0.059	8.322	8.565	-0.243
9	8.300	8.192	0.108	8.967	8.845	0.122
10	8.325	8.361	-0.036	9.122	9.056	0.067
11	8.425	8.486	-0.061	9.056	9.212	-0.156
12	8.738	8.576	0.161	9.556	9.326	0.229

Lampiran 11 (Lanjutan)

b. Nilai prediksi dan sisaan model pertumbuhan *Logistic* balita perempuan dan laki-laki umur 13-36 bulan

umur (bulan)	perempuan			laki-laki		
	amatan	prediksi	sisaan	amatan	prediksi	sisaan
13	9.063	9.048	0.015	9.911	9.980	-0.069
14	9.313	9.183	0.130	10.122	10.132	-0.010
15	9.213	9.316	-0.103	10.322	10.283	0.039
16	9.413	9.447	-0.035	10.533	10.435	0.098
17	9.350	9.577	-0.227	10.578	10.587	-0.009
18	9.663	9.705	-0.042	10.744	10.738	0.006
19	9.875	9.831	0.044	11.067	10.890	0.177
20	10.025	9.955	0.070	11.078	11.041	0.037
21	10.125	10.077	0.048	10.956	11.192	-0.237
22	10.225	10.197	0.028	11.389	11.343	0.046
23	10.500	10.315	0.185	11.456	11.493	-0.038
24	10.675	10.430	0.245	11.389	11.643	-0.254
25	10.575	10.544	0.031	11.844	11.792	0.052
26	10.625	10.655	-0.030	11.856	11.941	-0.086
27	10.600	10.764	-0.164	12.122	12.089	0.033
28	10.788	10.870	-0.083	12.222	12.237	-0.015
29	10.925	10.975	-0.050	12.533	12.384	0.150
30	10.813	11.077	-0.264	12.600	12.530	0.070
31	11.225	11.177	0.048	12.744	12.675	0.070
32	11.225	11.274	-0.049	13.067	12.819	0.248
33	11.338	11.369	-0.032	12.889	12.962	-0.073
34	11.600	11.462	0.138	12.911	13.104	-0.193
35	11.713	11.552	0.160	13.100	13.246	-0.146
36	11.575	11.641	-0.066	13.489	13.386	0.103

Lampiran 11 (Lanjutan)

- c. Nilai prediksi dan sisaan model pertumbuhan *Logistic* balita laki-laki umur 37-60 bulan

umur (bulan)	laki-laki		
	amatan	prediksi	sisaan
37	13.389	13.220	0.169
38	13.467	13.405	0.062
39	13.644	13.592	0.053
40	13.744	13.782	-0.037
41	13.822	13.974	-0.152
42	14.111	14.169	-0.058
43	14.300	14.367	-0.067
44	14.556	14.567	-0.012
45	14.578	14.771	-0.193
46	14.789	14.977	-0.188
47	15.422	15.186	0.236
48	15.578	15.398	0.180
49	15.500	15.613	-0.113
50	15.922	15.831	0.092
51	16.333	16.052	0.282
52	16.422	16.276	0.147
53	16.511	16.503	0.008
54	16.489	16.733	-0.244
55	16.789	16.967	-0.178
56	17.122	17.203	-0.081
57	17.300	17.444	-0.144
58	17.633	17.687	-0.054
59	17.967	17.934	0.033
60	18.444	18.184	0.260

Lampiran 12. Data hasil transformasi berat badan dan umur balita perempuan 37-60 bulan1. Model *Gompertz*Iteration History^b

Iteration Number ^a	Residual Sum of Squares	Parameter		
		alfa	beta	K
1.0	5.859	5.830	.257	.008
1.1	569.899	456.900	77.338	-2.769
1.2	569.899	49.744	8.373	-.116
1.3	103.142	7.609	1.236	.158
1.4	3.343	5.773	.291	.034
2.0	3.343	5.773	.291	.034
2.1	2.856	5.859	.482	.067
.
.
125.0	.480	138.307	4.039	.011
125.1	.480	141.126	4.058	.011
126.0	.480	141.126	4.058	.011
126.1	.480	146.582	4.096	.010
126.2	.480	142.684	4.069	.011
127.0	.480	142.684	4.069	.011
127.1	.480	145.745	4.090	.010
128.0	.480	145.745	4.090	.010
128.1	.480	148.702	4.110	.010
129.0	.480	148.702	4.110	.010
129.1	.480	154.428	4.147	.010
129.2	.480	150.320	4.120	.010
130.0	.480	150.320	4.120	.010
130.1	.480	153.499	4.141	.010

Derivatives are calculated numerically.

a. Major iteration number is displayed to the left of the decimal, and minor iteration number is to the right of the decimal.

b. Run stopped after 301 model evaluations and 130 derivative evaluations because it reached the limit for the number of iterations.

Lampiran 12 (Lanjutan)

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
alfa	153.499	3658.754	-7478.528	7785.525
beta	4.141	23.854	-45.617	53.899
K	.010	.074	-.144	.165

ANOVA^a

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	569.420	3	189.807
Residual	.480	20	.024
Total	569.899	23	

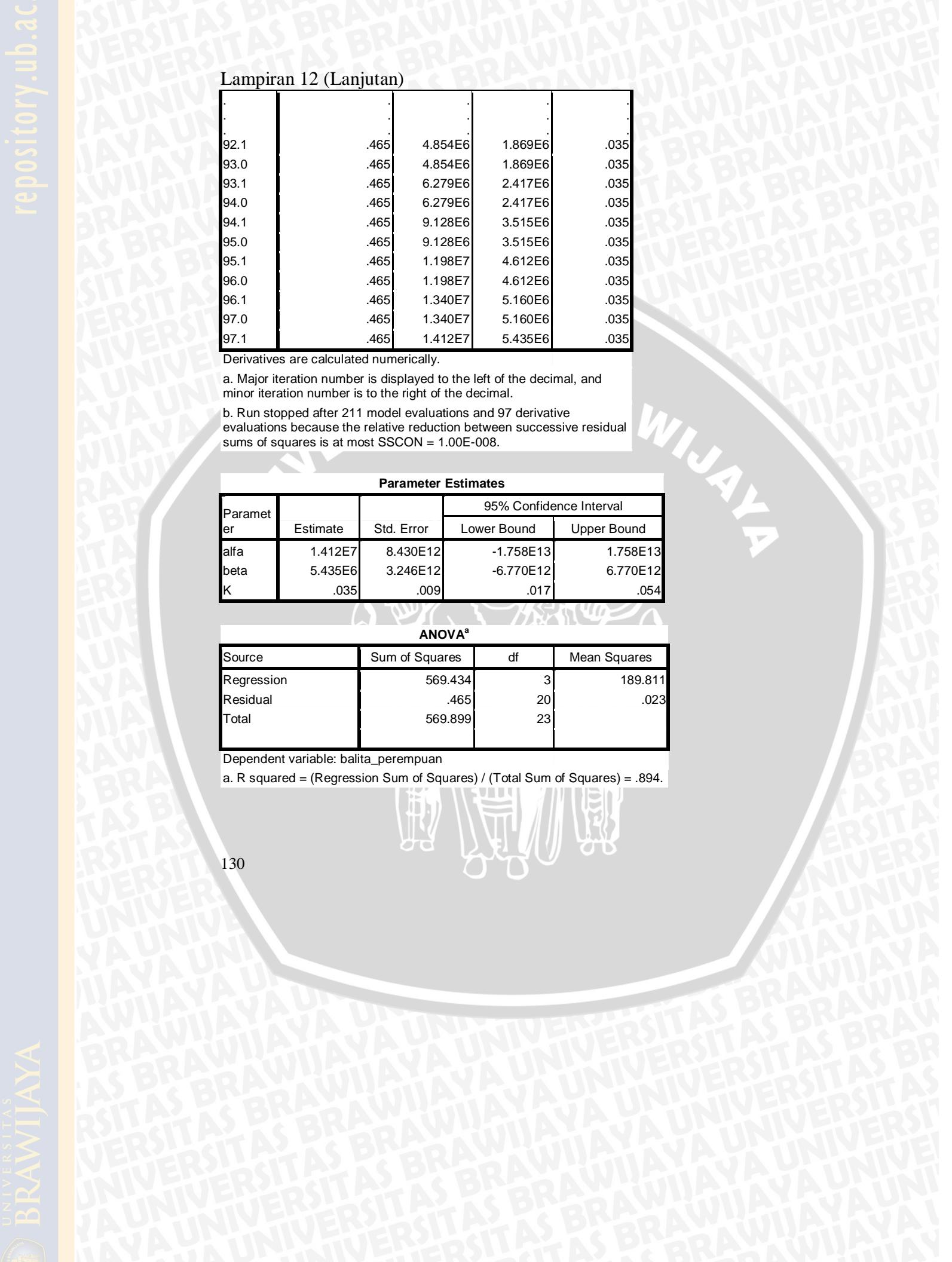
Dependent variable: balita_perempuan

a. R squared = (Regression Sum of Squares) / (Total Sum of Squares) = .891.

2. Model Logistic

Iteration History^b

Iteration Number ^a	Residual Sum of Squares	Parameter		
		alfa	beta	K
1.0	16.316	5.830	.288	.143
1.1	569.899	8.891	-6.085	-2.826
1.2	306.164	6.140	1.768	-.039
1.3	11.084	5.787	.391	.122
2.0	11.084	5.787	.391	.122
2.1	4.343	5.705	.552	.100
3.0	4.343	5.705	.552	.100
3.1	2.041	5.800	.919	.091
4.0	2.041	5.800	.919	.091
4.1	1.402	6.204	1.502	.103
5.0	1.402	6.204	1.502	.103
5.1	.826	7.167	2.622	.095
6.0	.826	7.167	2.622	.095





Lampiran 13. Hasil uji asumsi kenormalan sisaan dengan uji *Kolmogorov Smirnov* pada data transformasi

1. Model *Gompertz*

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residuals
N		23
Normal Parameters ^a	Mean	.0014
	Std. Deviation	.14763
Most Extreme Differences	Absolute	.091
	Positive	.091
	Negative	-.079
Kolmogorov-Smirnov Z		.435
Asymp. Sig. (2-tailed)		.991

a. Test distribution is Normal.

2. Model *Logistic*

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residuals
N		23
Normal Parameters ^a	Mean	.0002
	Std. Deviation	.14544
Most Extreme Differences	Absolute	.083
	Positive	.081
	Negative	-.083
Kolmogorov-Smirnov Z		.396
Asymp. Sig. (2-tailed)		.998

a. Test distribution is Normal.



Lampiran 14. Nilai prediksi dan sisaan model pertumbuhan *Gompertz* dan *Logistic* hasil transformasi berat badan dan umur balita perempuan 37-60 bulan

1. Model *Gompertz*

umur (bulan)	perempuan		
	amatan	prediksi	sisaan
14.198	4.513	4.291	0.221
14.554	4.421	4.348	0.073
14.911	4.275	4.405	-0.130
15.268	4.432	4.463	-0.031
15.624	4.552	4.521	0.030
15.981	4.686	4.580	0.105
16.338	4.717	4.640	0.077
16.695	4.863	4.700	0.163
17.051	4.611	4.760	-0.149
17.408	4.672	4.821	-0.149
17.765	4.889	4.883	0.006
18.121	4.869	4.945	-0.076
18.478	4.876	5.008	-0.131
18.835	4.982	5.071	-0.089
19.191	4.878	5.135	-0.257
19.548	5.303	5.199	0.104
19.905	5.367	5.264	0.103
20.262	5.337	5.330	0.008
20.618	5.304	5.396	-0.092
20.975	5.198	5.462	-0.265
21.332	5.568	5.530	0.038
21.688	5.900	5.598	0.303
22.045	5.834	5.666	0.168

Lampiran 14 (Lanjutan)

2. Model *Logistic*

umur (bulan)	perempuan		
	amatan	prediksi	sisaan
14.198	4.513	4.299	0.214
14.554	4.421	4.353	0.068
14.911	4.275	4.409	-0.134
15.268	4.432	4.465	-0.033
15.624	4.552	4.522	0.030
15.981	4.686	4.580	0.106
16.338	4.717	4.638	0.079
16.695	4.863	4.697	0.166
17.051	4.611	4.757	-0.146
17.408	4.672	4.817	-0.146
17.765	4.889	4.879	0.010
18.121	4.869	4.941	-0.072
18.478	4.876	5.004	-0.128
18.835	4.982	5.068	-0.085
19.191	4.878	5.132	-0.254
19.548	5.303	5.197	0.105
19.905	5.367	5.264	0.103
20.262	5.337	5.331	0.007
20.618	5.304	5.399	-0.095
20.975	5.198	5.467	-0.270
21.332	5.568	5.537	0.030
21.688	5.900	5.608	0.293
22.045	5.834	5.679	0.155

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



136



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.