PEMILIHAN MODEL LOGISTIK HARVEY, HARVEY, DAN PEMULUSAN EKSPONENSIAL GANDA UNTUK MERAMALKAN KEBUTUHAN LISTRIK BULANAN DI PT. PLN AREA MALANG

SKRIPSI

oleh:

TUTUS SURATINA HARSOYO

0710950018

PROGRAM STUDI STATISTIKA
JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2013

PEMILIHAN MODEL LOGISTIK HARVEY, HARVEY, DAN PEMULUSAN EKSPONENSIAL GANDA UNTUK MERAMALKAN KEBUTUHAN LISTRIK BULANAN DI PT. PLN AREA MALANG

SKRIPSI

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

oleh:
TUTUS SURATINA HARSOYO
0710950018

PROGRAM STUDI STATISTIKA
JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2013

LEMBAR PEGESAHAN SKRIPSI

PEMILIHAN MODEL LOGISTIK HARVEY, HARVEY, DAN PEMULUSAN EKSPONENSIAL GANDA UNTUK MERAMALKAN KEBUTUHAN LISTRIK BULANAN DI PT. PLN AREA MALANG

oleh:

TUTUS SURATINA HARSOYO
0710950018

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal 27 Agustus 2013
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang statistika

Pembimbing I	Pembimbing II
Eni Sumarminingsih, SSi., MM	**Dr. Ir. Solimun, MS .**
NIP.197705152002122009	**NIP.196112151987031002**

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Dr. Abdul Rouf Al-Ghofari, MSc
NIP. 196709071992031001

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Tutus Suratina Harsoyo

NIM : 0710950018

Jurusan : Matematika

Penulis Skripsi Berjudul: Pemilihan Model Logistik Harvey, Harvey, dan Pemulusan Eksponensial Ganda untuk Meramalkan Kebutuhan Listrik Bulanan di PT. PLN Area Malang.

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam Daftar Pustaka skripsi ini, semata-mata digunakan sebagai acuan/ referensi.
2. Apabila dikemudian hari diketahui bahwa isi Skripsi saya merupakan hasil plagiat, maka saya bersedia menanggung resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 27 Agustus 2013
Yang menyatakan,

Tutus Suratina Harsoyo
NIM. 0710950018

ABSTRAK

Pemilihan Model Logistik Harvey, Harvey, dan Pemulusan Eksponensial Ganda untuk Meramalkan Kebutuhan Listrik Bulanan di PT. PLN Area Malang

Beberapa penelitian kebutuhan listrik menggunakan model yang diperkenalkan oleh Harvey yaitu model Logistik Harvey dan model Harvey untuk meramalkan kebutuhan listrik dengan kondisi data yang diamati memiliki pola yang cenderung naik dan menyerupai grafik logistik yang memiliki tingkat saturasi. Setelah diamati lebih lanjut ternyata data konsumsi listrik di area Malang memiliki pola data yang tampaknya sesuai untuk dianalisa dengan menggunakan dua model tersebut. Dalam skripsi ini digunakan pula peramalan dengan mengunakan model *exponential smoothing* (Pemulusan Eksponensial) Ganda sebagai perbandingan. Pemilihan model terbaik dilakukan dengan mencari nilai *Mean Square Error* (MSE) dari ketiga model. Setelah dihitung didapat nilai MSE terkecil pada model Harvey sebesar 2,41 x 10^{13} yang memiliki model persamaan $Y_t = Y_{t-1} + Y_{t-1}^2 e^{(-22.69489-0.013803t)}$ dengan $\alpha = 10\%$. Hasil peramalan untuk 5 bulan ke depan cenderung meningkat. Hasil peramalan tersebut diharapkan bisa membantu pihak PT. PLN di wilayah Malang untuk menentukan pasokan listrik yang dibutuhkan setiap bulannya sehingga pemborosan dan pemadaman listrik bisa lebih diminimalisir.

Kata kunci: Logistik Harvey, Pemulusan Eksponensial Ganda, Prediksi.

ABSTRAK

Selection of Logistic Harvey, Harvey, and Double Exponential Smoothing Model to Predict Monthly Electricity Consumption at PT. PLN in Malang Area

Several study in electricity consumption uses model that introduced by Harvey, these are Logistics Harvey and Harvey model to predict electricity consumption with the observed data which has a pattern tend to rise and similar with logistics graph that has saturation level. After further observed it turns out the electricity consumption data at Malang area has data pattern that apparently appropriate to analyzed by using two models in this essay. I also use forecasting with exponential smoothing double as alternative model. The best model selection is done with the value comparison from mean square error (MSE) from three models. After counted, the smallest value of MSE is gotten in Harvey model as big as 2,41 x 10^{13} that has similarity model which has this equation: $Y_t = Y_{t-1} + Y_{t-1}^2 e^{(-22.69489-0.013803t)}$ with $\alpha = 10\%$. The forecasting result for 5 months forwards tend to increase. It supposed to help PT. PLN in Malang Area to determine electricity supply which is needed in every month, so the electricity extravagance and power outage can be minimized.

Keyword: Harvey Logistic, Double Exponential Smoothing, Predictions.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan kesempatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan menempuh ujian S1 Program Studi Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam di Universitas Brawijaya Malang.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidak akan dapat terselesaikan dengan baik tanpa bantuan, bimbingan, petunjuk, dan saran dari berbagai pihak yang tak dapat diukur dengan materi.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua dan adik saya yang tak pernah lelah untuk mendukung dan memberi semangat kepada saya.
2. Ibu Eni Sumarminingsih, S.Si., M.M. selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membantu saya dan menyediakan waktu untuk memberi masukan dan motivasi untuk konsultasi.
3. Bapak Dr. Ir, Solimun, MS selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberi banyak masukan dan menyediakan waktu untuk konsultasi.
4. Ibu Ir. Heni Kusdarwati, MS selaku Dosen Penguji yang telah memberi banyak masukan dan menyediakan waktu untuk konsultasi.
5. Dr. Abdul Rouf Alghofari, M.Sc selaku Ketua Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.
6. Ibu Dodok selaku penyeleksi dari PT. PLN yang telah memperbolehkan saya mengambil data di PT. PLN
7. Semua pihak yang telah ikut bekerja keras dalam penyusunan tugas akhir ini khususnya kepada Diah, Pak Alion, Meilani dan teman-teman lainnya yang selalu memberi semangat kepada saya namun tidak dapat penulis sebutkan satu persatu seluruhnya.

Penulis menyadari dalam tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca untuk mencapai hasil yang lebih baik.

Semoga laporan ini dapat memberi manfaat bagi semua pihak yang berkepentingan, baik bagi dunia pendidikan maupun dunia kerja.

Malang, Juli 2013

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

DAFTAR TABEL

Halaman

DAFTAR GAMBAR

Halaman

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 LatarBelakang

Listrik merupakan sumber energi yang disalurkan melalui kabel. Arus listrik timbul karena muatan listrik mengalir dari saluran positif ke saluran negatif. Listrik sangat bermanfaat bagi manusia, banyak sekali alat yang membutuhkan tenaga listrik yang dapat mempermudah kerja manusia. Misalnya saja seperti setrika listrik, kompor listrik, mesin cuci, komputer, lampu, dan alat-alat lain yang membutuhkan tenaga listrik yang biasa disebut dengan alat-alat elektronik.

Hampir seluruh kegiatan sehari-hari manusia saat ini menggunakan tenaga listrik. Seiring bertambahnya alat-alat elektronik yang membantu kinerja manusia, maka semakin banyak pula manusia yang menggunakan tenaga listrik untuk membantu kinerja mereka, sehingga listrik yang dibutuhkanpun semakin meningkat. Banyaknya pasokan listrik yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan pokok masyarakat Indonesia sehari-hari menyebabkan pemerintah turut campur tangan dalam mengatasi hal tersebut dengan mengatur pasokan listrik sehingga terjadinya monopoli pihak swasta dalam masalah tersebut dapat dicegah.

Pada tahun 1972, sesuai dengan Peraturan Pemerintah No.17, status Perusahaan Listrik Negara (PLN) ditetapkan sebagai Perusahaan Umum Listrik Negara dan sebagai Pemegang Kuasa Usaha Ketenagalistrikan (PKUK) dengan tugas menyediakan tenaga listrik bagi kepentingan umum. Selaku perusahaan milik Negara yang menangani masalah kepentingan listrik di Indonesia, yang memberikan jumlah pasokan listrik kepada masyarakat dalam jumlah yang besar, tentunya PLN selalu berusaha memberikan *public service* yang maksimal untuk kepentingan dan kemajuan bangsa. Menurut Wolo dan Winahju (2009), masalah yang selalu dialami oleh PLN sebagai lembaga yang mengelola listrik di tanah air adalah kurangnya pasokan listrik terhadap permintaan konsumen. Hal ini terjadi hampir di setiap wilayah Indonesia. PT.PLN tentunya terus melakukan kajian untuk meningkatkan mutu pelayanan. Salah satu pilihan yang dapat dilakukan PT. PLN untuk mengatasi hal tersebut adalah melakukan peramalan kebutuhan listrik bulanan, sehingga PT.

PLN dapat menentukan berapa pasokan listrik yang diperlukan setiap bulannya. Sehingga pemadaman akibat kurangnya pasokan dan pembuangan listrik sia-sia karena terlalu banyak pasokan dapat teratasi.

Dengan semakin bertambahnya alat-alat elektronik dan semakin bertambahnya jumlah penduduk dapat diperkirakan bahwasanya kebutuhan listrik akan cenderung bertambah dari waktu ke waktu. Apalagi untuk kebutuhan listrik di Area Malang yang sedang gencar membangun fasilitas umum dan semakin banyaknya pendatang dari waktu ke waktu ke daerah Malang. Data kebutuhan listrik yang selalu terus bertambah dari waktu ke waktu akan membentuk suatu pola trend dengan kebutuhan listrik sebagai sumbu horizontal dan waktu (bulan) sebagai sumbu vertikal.

Pada tahun 1984, AC. Harvey mengusulkan model Logistik Harvey dan model Harvey untuk meramalkan stok suatu produk penjualan yang cenderung meningkat dari waktu ke waktu dan dipercaya memiliki tingkat saturasi. Model Harvey merupakan model yang dikembangkan berdasarkan modifikasi eksponensial umum, sedangkan model Logistik Harvey merupakan model yang dikembangkan berdasarkan model logistik umum (Harvey, 1984). Pada tahun 2005, Mohammed dan Bodger menggunakan model Harvey dan model Logistik Harvey untuk meramalkan kebutuhan listrik di New Zealand dan didapat kesimpulan bahwa model Harvey adalah model yang sesuai untuk meramalkan kebutuhan listrik di New Zealand. Pada tahun 2010, Setyaning menggunakan model Harvey dan model Logistik Harvey di Indonesia untuk meramalkan konsumsi listrik di wilayah Banten dan Jakarta dan didapat kesimpulan bahwa model Logistik Harvey adalah model yang lebih sesuai digunakan untuk meramalkan kebutuhan listrik untuk wilayah Banten dan Jakarta dibandingkan model Harvey.

Salah satu metode peramalan yang sering digunakan dalam peramalan adalah metode *exponential smoothing* (Pemulusan Eksponensial). Terdapat beberapa macam model dalam metode pemulusan eksponensial, masing-masing model tergantung dari pola data yang ada. Pada data yang akan diamati kali ini diketahui bahwasanya data memiliki pola trend dan model Pemulusan Eksponensial Ganda merupakan model yang sesuai untuk digunakan. Dalam penelitian kali ini akan dibandingkan tiga model peramalan *time series* pada konsumsi listrik bulanan di PT. PLN wilayah Malang untuk mendapatkan hasil peramalan yang paling sesuai. Ketiga model tersebut adalah model Logistik Harvey, Harvey, dan Pemulusan Eksponensial Ganda.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana model dan peramalan kebutuhan listrik bulanan PT. PLN Area Malang dengan menggunakan model Logistik Harvey, Harvey, dan Pemulusan Eksponensial Ganda?
2. Bagaimana perbandingan hasil peramalan dari model Logistik Harvey, Harvey, dan Pemulusan Eksponensial Ganda?

1.3 BatasanMasalah

Penelitian ini merupakan penelitian yang dilakukan dengan menggunakan model Logistik Harvey, Harvey, dan Pemulusan Eksponensial Ganda.

1.4 Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk memodelkan dan meramalkan kebutuhan listrik bulanan PT. PLN Area Malang dengan menggunakan model Logistik Harvey, Harvey, dan Pemulusan Eksponensial Ganda.
2. Untuk membandingkan hasil peramalan dari model Logistik Harvey, Harvey, dan Pemulusan Eksponensial Ganda.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah untuk memberi tambahan referensi peramalan bagi PT. PLN agar dapat mengatur pasokan listrik lebih baik sehingga kualitas pelayanan PT. PLN untuk masyarakat di area Malang semakin baik. Dengan hasil peramalan ini diharapkan pemadaman listrik di area Malang dapat diminimalisir dan kemungkinan pemborosan pihak PT. PLN yang disebabkan oleh terlalu banyaknya pasokan listrik dapat teratasi.

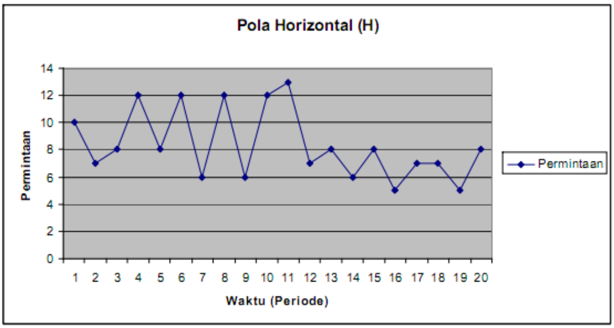
BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peramalan Time Series

Peramalan adalah memperkirakan apa yang akan terjadi pada masa datang dengan menggunakan data yang ada di masa lalu. Metode peramalan yang baik adalah yang memberikan hasil tidak jauh berbeda dengan data yang sebenarnya. Terdapat beberapa jenis peramalan salah satunya adalah peramalan *time series* yang dibahas dalam skripsi ini. Menurut Cryer (1986), *time series* adalah serangkaian data pengamatan yang disusun menurut waktu, di mana data pengamatan tersebut bersifat acak dan saling berhubungan secara statistika. Analisis data *time series* pada dasarnya digunakan untuk melakukan analisis data yang mempertimbangkan pengaruh waktu. Jadi, dengan kata lain peramalan *time series* adalah memperkirakan apa yang akan terjadi pada masa datang dengan menggunakan data yang ada di masa lalu yang tersusun menurut waktu.

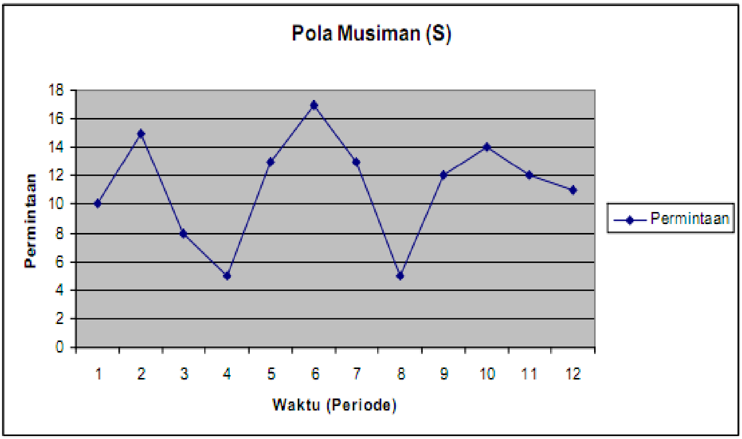
Menurut Makridakis, Wheelwright, dan McGee (1992), langkah penting dalam memilih suatu metode *time series* yang tepat adalah dengan mempertimbangkan jenis pola datanya. Terdapat empat pola data yang umum dalam *time* series yaitu:

1. Pola Horisontal, yaitu suatu pola dimana data berfluktuasi di sekitar nilai rata-rata yang konstan atau dengan kata lain data yang diamati stasioner terhadap nilai rata-ratanya. Salah satu contoh pola data penjualan adalah pola data penjualan yang yang selalu meningkat dan menurun pada suatu nilai konstan secara konsisten dari waktu ke waktu.



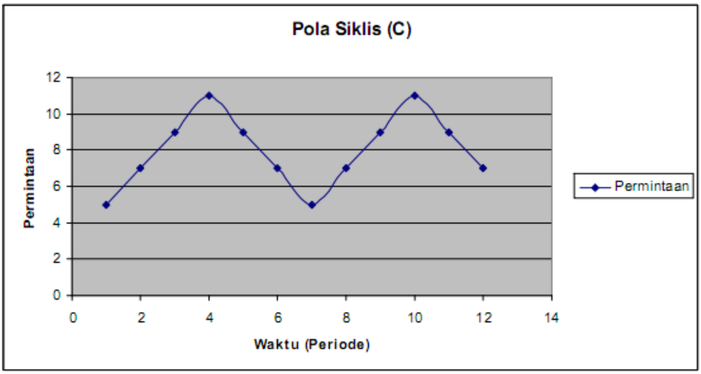
Gambar 2.1 Grafik berpola Horizontal

2. Pola Musiman, yaitu suatu pola dimana deret data dipengaruhi oleh faktor musiman (misalnya kuartal tahun tertentu, bulanan atau hari pada minggu tertentu.



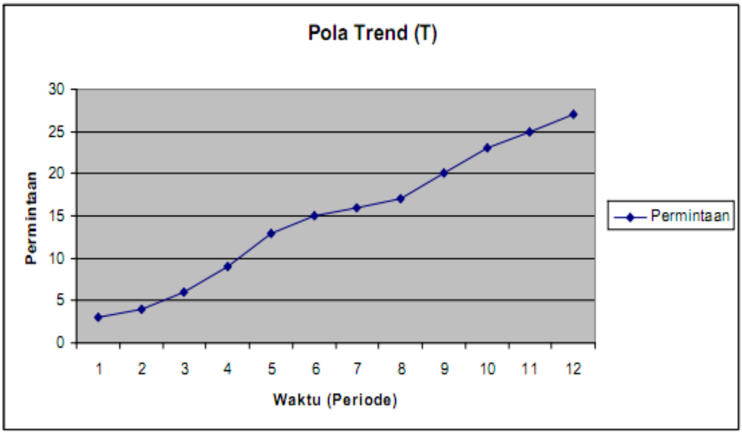
Gambar 2.2 Grafik berpola Musiman

3. Pola siklis, yaitu suatu pola dimana data dipengaruhi oleh fluktuasi ekonomi jangka panjang seperti yang berhubungan dengan siklus bisnis atau ekonomi. Pada dasarnya pola siklis hampir serupa dengan pola musiman, hanya saja pola siklis memiliki selang waktu yang lebih panjang dari pola musiman, Contohnya adalah pola data pada penjualan mobil atau baja.



Gambar 2.3 Grafik berpola Siklis

4. Pola tren, yaitu suatu pola suatu pola yang terjadi apabila terdapat kenaikan atau penurunan jangka panjang dalam data. Contohnya adalah pola pada data harga suatu produk yang meningkat dari tahun ke tahun.



Gambar 2.4 Grafik berpola Trend

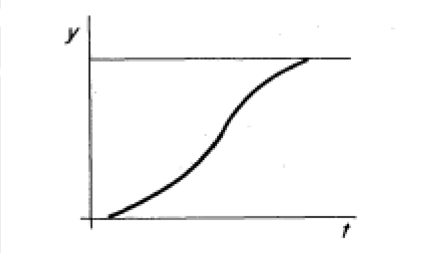
Sering dalam kenyataan tidak hanya ditemukan satu jenis model yang telah disebutkan di atas. Terkadang ada juga data yang memiliki pola lebih dari satu macam, seperti pola trend musiman, trend siklis, dan lain-lain.

Dalam skripsi ini dibahas tiga model peramalan time series yang khususnya memiliki pola yang mendekati trend. Model Harvey dan Logistik Harvey merupakan model yang diperkenalkan oleh A.C. Harvey yang digunakan untuk menganalisa data tren yang perkembangannya menyerupai kurva logistik dari waktu ke waktu dan diasumsikan memiliki tingkat saturasi. Sedangkan model *exponential smoothing* (Pemulusan Eksponensial) merupakan metode peramalan yang biasa digunakan untuk meramalkan data *time series* yang memiliki pola tren. Dalam skripsi ini dibandingkan tiga model peramalan *time series* untuk memilih model yang paling baik dan tepat dalam meramalkan data konsumsi listrik bulanan di PT. PLN area Malang.

2.2 Model Logistik Harvey dan Harvey

Model Logistik Harvey dan Harvey pada awalnya merupakan model yang perkembangannya menyerupai kurva logistik dari waktu ke waktu yang diusulkan oleh Mar Molinero dan diperkenalkan oleh A. C. Harvey.

Pada dasarnya model Logistik Harvey dan model Harvey merupakan model yang berasal dari bentuk kurva logistik yang sama. Mar Molinero yang mengusulkan model ini dengan tujuan mengembangkan model peramalan trend yang lebih akurat dengan bantuan kurva logistik berikut.



Gambar 2.5 Kurva Logistik

Menurut Mar Molinero (1980) Gambar 2.4 dapat juga ditulis seperti berikut.

$$f(t) = \frac{1}{a - br^t} \qquad (2.1)$$

dimana $a > 0$, $b > 0$, $0 < r < 1$ dengan parameter a merupakan tingkat saturasi, parameter b perubah tikungan ke arah kanan dan kiri, dan parameter r merupakan kemiringan di titik infleksi.

2.2.1 Model Logistik Harvey

Menurut F. R. Oliver interpetrasi geometris fungsi dapat diklarifikasi oleh reparameterisasi berikut. Dengan menuliskan $a = 1/\alpha$, $b = -\beta/\alpha$, dan $r = e^{\gamma}$ sehingga model logistik menjadi model modifikasi eksponensial sederhana yang diperkenalkan oleh Harvey (Mohammed & Bodger, 2005):

$$f(t) = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{\gamma t}}, \qquad 1 \le t \le T \qquad (2.2)$$

dimana α merupakan tingkat saturasi, β dan γ merupakan parameter yang diestimasi, dan t adalah waktu dalam tahun.

Dalam model Logistik perlu ditentukan tingkat saturasi terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai parameter. Tingkat saturasi pada model Logistik didapatkan dengan menggunakan teknik pencarian Fibonacci. Model yang diperkenalkan oleh Harvey dapat dikatakan sebagai pengembangan dari model Logistik. Akan tetapi model yang diperkenalkan oleh Harvey tidak memerlukan tingkat saturasi terlebih dahulu untuk menduga parameter, namun model mendekati tingkat saturasi dengan waktu. Model yang diperkenalkan oleh Harvey merupakan susunan campuran dari pertumbuhan Logistik dan Eksponensial. (Mohammed & Bodger, 2005)

Untuk mendapatkan penduga parameter Logistik Harvey, Persamaan (2.2) diturunkan terhadap t (waktu), kemudian ditambahkan *ln* pada kedua sisi, seperti berikut.
Penurunan fungsi logistik terhadap t (waktu).

$$\frac{df(t)}{dt} = \frac{d\left(\frac{\alpha}{1+\beta e^{\gamma t}}\right)}{dt} \qquad (2.3)$$

Turunan dari bentuk $\frac{d}{dx}\left(\frac{U}{V}\right) = \frac{V^{dU}/_{dx} - U^{dV}/_{dx}}{V^2}$ (Hasyim, M.H., 1986), sedangkan turunan dari bentuk $a.e^{nx}$ terhadap x adalah $an.e^{nx}$, dimana disini $U = \alpha, V = 1 + \beta e^{\gamma t}, {}^{dU}/_{dx} = 0$, dan ${}^{dV}/_{dx} = \beta\gamma e^{\gamma t}$ serta $a = \beta, n = \gamma,$ dan $x = t,$ sehingga didapatkan turunan dari fungsi logistik sebagai berikut

$$\frac{df(t)}{dt} = \frac{-\alpha\beta\gamma e^{\gamma t}}{(1+\beta e^{\gamma t})^2} \qquad (2.4)$$

Kemudian kalikan Persamaan (2.4) dengan ${}^{\alpha}/_{\alpha}$. Apabila Persamaan (2.4) dikalikan dengan ${}^{\alpha}/_{\alpha}$ tidak mengubah nilai, karena ${}^{\alpha}/_{\alpha} = 1$. Satu dikalikan dengan berapapun maka hasilnya sama dengan bilangan yang dikalikan.

$$\frac{df(t)}{dt} = \frac{-\alpha\beta\gamma e^{\gamma t}}{(1+\beta e^{\gamma t})^2} . \frac{\alpha}{\alpha} \qquad (2.5)$$

Persamaan (2.5) dapat ditulis sebagai berikut

$$\frac{df(t)}{dt} = \frac{\alpha^2}{(1+\beta e^{\gamma t})^2}\left(\frac{-\beta\gamma e^{\gamma t}}{\alpha}\right) \qquad (2.6)$$

Digunakan sifat perpangkatan $x^a/y^a = (x/y)^a$, dengan $x = \alpha, y = 1 + \beta e^{\gamma t}$, dan $a = 2$, sehingga Persamaan (2.6) dapat ditulis seperti berikut.

$$\frac{df(t)}{dt} = \left(\frac{\alpha}{1+\beta e^{\gamma t}}\right)^2 \left(\frac{-\beta\gamma}{\alpha}\right) e^{\gamma t} \qquad (2.7)$$

Telah diketahui bahwa fungsi logistik adalah $f(t) = \frac{\alpha}{1+\beta e^{\gamma t}}$, maka persamaan (2.7) dapat ditulis sebagai berikut.

$$\frac{df(t)}{dt} = f(t)^2 \left(\frac{-\beta\gamma}{\alpha}\right) e^{\gamma t} \qquad (2.8)$$

Kemudian logaritmakan kedua ruas persamaan (2.8) dengan menggunakan logaritma natural.

$$ln\frac{df(t)}{dt} = ln\left(f(t)^2 \left(\frac{-\beta\gamma}{\alpha}\right) e^{\gamma t}\right) \qquad (2.9)$$

digunakan sifat lnxy = lnx + lny , dengan $x = f(t)^2$ dan $y = \left(\frac{-\beta\gamma}{\alpha}\right) e^{\gamma t}$, sehingga persamaan (2.9) dapat ditulis seperti berikut.

$$ln\frac{df(t)}{dt} = lnf(t)^2 + ln\left(\frac{-\beta\gamma}{\alpha}\right) + ln(e^{\gamma t}) \qquad (2.10)$$

Digunakan sifat $lnx^a = alnx$ dan $lne^b = b$, dimana $x = f(t)$, $a = 2$, dan $b = \gamma t$, sehingga persamaan (2.10) dapat ditulis seperti berikut.

$$ln\frac{df(t)}{dt} = 2lnf(t) + ln\left(\frac{-\beta\gamma}{\alpha}\right) + \gamma t \qquad (2.11)$$

Jika digunakan permisalan $\delta = \ln\left(\frac{-\beta\gamma}{\alpha}\right)$, maka diperoleh model sebagai berikut (Mohammed dan Bodger, 2005).

$$ln\frac{df(t)}{dt} = 2lnf(t) + \delta + \gamma t \qquad (2.12)$$

$\frac{df(t)}{dt}$ menyatakan perubahan nilai f pada selang waktu tertentu. Jika satuan waktu yang digunakan adalah t, maka

$$\frac{df(t)}{dt} = \frac{Y_t - Y_{t-1}}{\Delta t} \qquad (2.13)$$

Karena selang waktunya (Δt) adalah **1** bulan, maka

$$\frac{df(t)}{dt} = Y_t - Y_{t-1} \qquad (2.14)$$

sedangkan *f(t)* dapat diganti dengan nilai fungsi pada tahun terdahulu (Y_{t-1}). Dengan demikian persamaan (2.14) dapat ditulis sebagai berikut

$$\ln(Y_t - Y_{t-1}) = 2lnY_{t-1} + \delta + \gamma t + \varepsilon \qquad (2.15)$$

atau

$$\Leftrightarrow lny_t = 2lnY_{t-1} + \delta + \gamma t + \varepsilon \qquad (2.16)$$

dimana persamaan (2.15) merupakan model Logistik Harvey (Mohammed dan Bodger, 2005) dengan Y_t adalah konsumsi listrik dalam tahun (t), $y_t = Y_t - Y_{t-1}$, t=2…T, ε_t adalah *error* dengan *mean* nol dan varian konstan, dan γ merupakan parameter yang diestimasi dengan metode kuadrat terkecil. Persamaan (2.16) juga dapat ditulis sebagai berikut

$$lny_t - 2lnY_{t-1} = \delta + \gamma t + \varepsilon \qquad (2.17)$$

Dengan menggunakan sifat logaritma natural dimana $\ln a - \ln b = ln\frac{a}{b}$ dan $n \ln b = lnb^n$ (Larson & Edwards, 325-326), dimisalkan $a = y_t, b = Y_{t-1}$, dan $n = 2$, maka persamaan (2.17) dapat ditulis sebagai berikut (Mohammed & Bodger, 2005).

$$ln\left(\frac{y_t}{Y_{t-1}^2}\right) = \delta + \gamma t + \varepsilon_t \qquad (2.18)$$

Menurut Mohammed dan Bodger, 2005 parameter δ dan γ ditemukan dengan meregresikan $ln\left(\frac{y_t}{Y_{t-1}^2}\right)$ pada t. Persamaan (2.18) dapat ditulis sebagai berikut.

$$y_t = Y_{t-1}^2 e^{(\delta+\gamma t)} \tag{2.19}$$

Seperti yang teleh dijelaskan sebelumnya bahwa $y_t = Y_t - Y_{t-1}$, maka Persamaan (2.19) dapat ditulis sebagai berikut.

$$Y_t = Y_{t-1} + Y_{t-1}^2 e^{(\delta+\gamma t)} \tag{2.20}$$

Sehingga langkah peramalan kedepan (h) dari konsumsi listrik $\hat{Y}$ dapat diduga dengan menggunakan persamaan (2.20) berikut (Mohammed &Bodger, 2005).

$$\hat{Y}_{t+h} = \hat{Y}_{t+h-1} + \hat{Y}_{t+h-1}^2 e^{(\delta+\gamma(t+h))} \tag{2.21}$$

Model Logistik Harvey yang ditunjukkan pada Persamaan (2.18), merupakan bentuk regresi linier sederhana. Dalam hal ini metode kuadrat terkecil digunakan untuk mengestimasi δ dan γ. Kriteria kuadrat terkecil adalah sebagai berikut (Montgomery & Peck, 1992):

$$S(\delta,\gamma) = \sum_{t=2}^{n}\left(ln\left(\frac{y_t}{Y_{t-1}^2}\right) - \delta - \gamma t\right)^2 \tag{2.22}$$

Penaksir kuadrat terkecil, $\hat{\delta}$ dan $\hat{\gamma}$, harus memenuhi:

$$\left.\frac{\partial S}{\partial \delta}\right|_{\hat{\delta},\hat{\gamma}} = -2\sum_{t=2}^{n}\left(ln\left(\frac{y_t}{Y_{t-1}^2}\right) - \hat{\delta} - \hat{\gamma} t\right) = 0 \tag{2.23}$$

dan

$$\left.\frac{\partial S}{\partial \gamma}\right|_{\hat{\delta},\hat{\gamma}} = -2\sum_{t=2}^{n}\left(ln\left(\frac{y_t}{Y_{t-1}^2}\right) - \hat{\delta} - \hat{\gamma} t\right)t = 0 \tag{2.24}$$

Dari penyederhanaan kedua persamaan di atas didapatkan (Montgomery & Peck, 1992):

$$n\hat{\delta} + \hat{\gamma}\sum_{t=2}^{n} t = \sum_{t=2}^{n} ln\left(\frac{y_t}{Y_{t-1}^2}\right) \qquad (2.25)$$

Persamaan (2.25) disebut persamaan normal kuadrat terkecil. Penyelesaian untuk persamaan normal tersebut, ditunjukkan sebagai berikut.

Solusi dari persamaan (2.25) merupakan estimator kuadrat terkecil parameter-parameter β-nya. Penyelesaiannya bisa disajikan dalam bentuk matriks berikut.

$$\boldsymbol{y} = \begin{bmatrix} ln\left(\frac{y_2}{Y_1^2}\right) \\ ln\left(\frac{y_3}{Y_2^2}\right) \\ \vdots \\ ln\left(\frac{y_n}{Y_{n-1}^2}\right) \end{bmatrix}, \qquad \boldsymbol{X} = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 3 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & n \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \delta \\ \gamma \end{bmatrix}, \qquad \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

Sehingga persamaan (2.25) bila disajikan dalam bentuk matriks menjadi

$$\boldsymbol{y} = \boldsymbol{X\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \qquad (2.26)$$

Untuk mencari estimator β akan dimisalkan fungsi residu

$$S(\beta) = \sum_{t=2}^{n} \varepsilon_t^2 = \boldsymbol{\varepsilon}'\boldsymbol{\varepsilon}$$

$$= (\boldsymbol{Y} - \boldsymbol{X\beta})'(\boldsymbol{Y} - \boldsymbol{X\beta})$$

$$= \boldsymbol{Y'Y} - \boldsymbol{\beta'X'Y} - \boldsymbol{Y'X\beta} + \boldsymbol{\beta'X'X\beta}$$
$$= \boldsymbol{Y'Y} - \boldsymbol{\beta'X'Y} - \boldsymbol{\beta'X'Y} + \boldsymbol{\beta'X'X\beta}$$

$$= \boldsymbol{Y'Y} - \boldsymbol{2\beta'X'Y} + \boldsymbol{\beta'X'X\beta} \qquad (2.27)$$

Turunan pertama dari persamaan (2.27) terhadap β′ adalah

$$-\boldsymbol{2X'Y} + \boldsymbol{X'X\beta} = 0$$

$$\boldsymbol{X'X\beta} = \boldsymbol{X'Y} \qquad (2.28)$$

Selanjutnya dari persamaan (2.28) dikalikan invers dari matriks X'X sehingga diperoleh

$$(\boldsymbol{X'X})^{-\boldsymbol{1}}\boldsymbol{X'X\beta} = (\boldsymbol{X'X})^{-\boldsymbol{1}}\boldsymbol{X'Y} \qquad (2.29)$$

$(\boldsymbol{X'X})^{-\boldsymbol{1}}\boldsymbol{X'X} = \boldsymbol{I}$ sehingga didapatkan hasil estimasi untuk β sebagai berikut.

$$\boldsymbol{\beta} = (\boldsymbol{X'X})^{-\boldsymbol{1}}\boldsymbol{X'Y} \qquad (2.30)$$

2.2.2 Model Harvey

Model Harvey merupakan model yang dikembangkan berdasarkan modifikasi eksponensial umum, sedangkan model Logistik Harvey merupakan model yang dikembangkan berdasarkan model logistik umum (Mohammed & Bodger, 2005).

Kemudian Mar-Molinero, memberikan tambahan parameter ekstra (m) dalam model logistik umum yang ditujukan untuk memperoleh tren modifikasi eksponensial umum. Fungsi modifikasi eksponensial umum ditunjukkan sebagai berikut (Mohammed &Bodger, 2005):

$$f(t) = \alpha(1 + \beta e^{\gamma t})^m \qquad (2.31)$$

Nilai m dalam Persamaan (2.31) menentukan bentuk fungsi f(t), saat m = -1, f(t) adalah fungsi logistik, dan saat m =1, f(t) merupakan fungsi modifikasi eksponensial sederhana. Untuk mendapatkan model Harvey maka perlu dilakukan penurunan pada Persamaan (2.31) terhadap t, kemudian di tambahkan ln pada kedua sisi seperti berikut.

Turunan persamaan (2.31) terhadap t.

$$\frac{df(t)}{dt} = \frac{d\left[\alpha\left(1+\beta e^{\gamma t}\right)^{m}\right]}{dt} \tag{2.32}$$

turunan dari bentuk $a.f(x)^n$ terhadap x adalah $na.f(x)^{n-1}.f'(x)$, sedangkan turunan dari bentuk $a.e^{nx}$ terhadap x adalah $an.e^{nx}$, dengan memisalkan $a = \alpha, f(x) = 1 + \beta e^{\gamma t}$, dan $n = m$, maka didapatkan turunan dari Persamaan (2.29) sebagai berikut.

$$\frac{df(t)}{dt} = \alpha m\beta\gamma e^{\gamma t}(1 + \beta e^{\gamma t})^{m-1} \tag{2.33}$$

di sini $\alpha = \alpha^1 = \alpha^{1-\frac{1}{m}+\frac{1}{m}}$ (pangkat sama dengan satu, sehingga tidak merubah nilai)

$$\frac{df(t)}{dt} = \alpha^{1-\frac{1}{m}+\frac{1}{m}} m\beta\gamma e^{\gamma t}(1 + \beta e^{\gamma t})^{m-1} \tag{2.34}$$

digunakan sifat $x^{a+b} = x^a x^b$, dengan $x = \alpha, a = 1 - \frac{1}{m}$, dan $b = \frac{1}{m}$, maka Persamaan (2.34) dapat ditulis sebagai berikut.

$$\frac{df(t)}{dt} = \alpha^{1-\frac{1}{m}}(1 + \beta e^{\gamma t})^{m-1}\alpha^{\frac{1}{m}} m\beta\gamma e^{\gamma t} \tag{2.35}$$

Kemudian $\alpha^{1-\frac{1}{m}}$ dan $\alpha^{\frac{1}{m}}$ dipisah, dan $\alpha^{1-\frac{1}{m}}$ dirubah menjadi $\alpha^{\frac{m-1}{m}}$, maka persamaan (2.35) dapat ditulis seperti berikut.

$$\frac{df(t)}{dt} = \alpha^{\frac{m-1}{m}}(1 + \beta e^{\gamma t})^{(m-1)}\alpha^{\frac{1}{m}} m\beta\gamma e^{\gamma t} \tag{2.36}$$

di sini $(1 + \beta e^{\gamma t})^{m-1} = (1 + \beta e^{\gamma t})^{(m-1)\frac{m}{m}} = (1 + \beta e^{\gamma t})^{m\frac{(m-1)}{m}}$ (apabila m-1 dikalikan dengan $\frac{m}{m}$ pangkatnya tetap (m-1) karena

$\frac{m}{m} = 1$, keberadaannya tidak merubah nilai). Oleh karena itu, persamaan (2.36) dapat ditulis sebagai berikut.

$$\frac{df(t)}{dt} = \alpha^{\frac{m-1}{m}}(1+\beta e^{\gamma t})^{\frac{m-1}{m}m}\alpha^{\frac{1}{m}}m\beta\gamma e^{\gamma t} \qquad (2.37)$$

Digunakan sifat perpangkatan $x^a y^a = (xy)^a$, dengan memisalkan $x = \alpha, y = 1 + \beta e^{\gamma t}$, dan $a = \frac{m-1}{m}$, maka Persamaan (2.37) dapat ditulis sebagai berikut.

$$\frac{df(t)}{dt} = (\alpha(1+\beta e^{\gamma t})^m)^{\frac{m-1}{m}}\ \alpha^{\frac{1}{m}}m\beta\gamma\ e^{\gamma t} \qquad (2.38)$$

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa model modifikasi eksponensial adalah $(t) = \alpha(1+\beta e^{\gamma t})^m$, sehingga Persamaan (2.38) dapat ditulis seperti berikut.

$$\frac{df(t)}{dt} = f(t)^{\frac{m-1}{m}}\ \alpha^{\frac{1}{m}}m\beta\gamma e^{\gamma t} \qquad (2.39)$$

Kemudian logaritmakan kedua ruas dengan menggunakan logaritma natural

$$ln\frac{df(t)}{dt} = ln\left(f(t)^{\frac{m-1}{m}}\ \alpha^{\frac{1}{m}}m\beta\gamma e^{\gamma t}\right) \qquad (2.40)$$

Digunakan sifat lnxy = lnx + lny sehingga persamaan (2.40) dapat ditulis sebagai berikut.

$$ln\frac{df(t)}{dt} = lnf(t)^{\frac{m-1}{m}} + \ ln\left(\alpha^{\frac{1}{m}}m\beta\gamma\right) + \ln(e^{\gamma t}) \qquad (2.41)$$

Digunakan sifat $lnx^a = alnx$ dan $lne^a = a$, sehingga persamaan (2.41) dapat ditulis sebagai berikut.

$$ln\frac{df(t)}{dt} = \frac{m-1}{m}lnf(x) + \ ln\left(\alpha^{\frac{1}{m}}m\beta\gamma\right) + \ \gamma t \qquad (2.41)$$

Jika digunakan permisalan $\emptyset = \frac{m-1}{m}$ dan $\theta = ln\left(m\beta\alpha^{1/m}\gamma\right)$, maka diperoleh model sebagai berikut

$$ln\frac{df(t)}{dt} = \emptyset lnf(x) + \theta + \gamma t \quad (2.42)$$

$\frac{df(t)}{dt}$menyatakan perubahan nilai *f* pada selang waktu tertentu. Jika waktu yang digunakan adalah t, maka

$$\frac{df(t)}{dt} = \frac{Y_t - Y_{t-1}}{\Delta t} \quad (2.43)$$

Karena selang waktunya (Δt) adalah **1** bulan, maka

$$\frac{df(t)}{dt} = Y_t - Y_{t-1} \quad (2.44)$$

Sedangkan *f(t)* dapat diganti dengan nilai fungsi pada tahun terdahulu (Y_{t-1}). Dengan demikian persamaan (2.44) dapat ditulis sebagai berikut

$$\ln(Y_t - Y_{t-1}) = \emptyset lnY_{t-1} + \theta + \gamma t + \varepsilon \quad (2.45)$$

atau

$$\Leftrightarrow lny_t = \emptyset lnY_{t-1} + \theta + \gamma t + \varepsilon \quad (2.46)$$

yang merupakan persamaan model Harvey (Mohammed dan Bodger, 2005) dimana Y_t adalah konsumsi listrik dalam bulan (t), $y_t = Y_t - Y_{t-1}$, t=2…T, θ dan γ merupakan parameter yang diestimasi dengan metode kuadrat terkecil, dan ε_t adalah *error* dengan *mean* nol dan varian konstan.

Persamaan (2.46) dapat juga ditulis sebagai berikut

$$ln y_t - \emptyset ln Y_{t-1} = \theta + \gamma t + \varepsilon \quad (2.47)$$

dengan menggunakan sifat logaritma natural dimana $\ln a - \ln b = ln\frac{a}{b}$ dan $n \ln b = lnb^n$ (Larson & Edwards, 325-326), dengan memisalkan $a = y_t, b = Y_{t-1}$, dan $n = \rho$, maka persamaan (2.47) dapat ditulis sebagai berikut (Mohammed & Bodger, 2005).

$$ln\left(\frac{y_t}{Y_{t-1}^{\emptyset}}\right) = \theta + \gamma t + \varepsilon_t \quad (2.48)$$

Persamaan (2.48) dapat ditulis sebagai berikut.

$$y_t = Y_{t-1}^{\emptyset} e^{(\theta+\gamma t)} \quad (2.49)$$

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa $y_t = Y_t - Y_{t-1}$, maka Persamaan (2.49) dapat ditulis sebagai berikut.

$$Y_t = Y_{t-1} + Y_{t-1}^{\emptyset} e^{(\theta+\gamma t)} \quad (2.50)$$

Sehingga langkah peramalan kedepan (h) dari konsumsi listrik $\hat{Y}$ dapat diduga dengan menggunakan persamaan berikut (Mohammed &Bodger, 2005).

$$\hat{Y}_{t+h} = \hat{Y}_{t+h-1} + \hat{Y}_{t+h-1}^{\emptyset} e^{(\theta+\gamma(t+h))} \quad (2.51)$$

Model Harvey yang ditunjukkan pada persamaan (2.46) memiliki bentuk yang serupa dengan regresi linier berganda, sehingga dapat digunakan metode kuadrat terkecil untuk menduga nilai koefisien Ø, θ, dan γ.

Berikut ditampilkan struktur data regresi linier berganda model Harvey, dengan $\ln y_t$ sebagai variabel respon, $\ln y_{t-1}$ dan t merupakan variabel prediktor, data akan terlihat seperti Tabel 2.1. Dengan asumsi error (ε) dalam model, E(ε)=0, V(ε)=σ^2, dan *error* tidak berkorelasi.

Tabel 2.1 Struktur Data untuk Regresi Linier Berganda Model Harvey

Pengamatan	$\boldsymbol{lny_t}$	$\boldsymbol{lnY_{t-1}}$	**T**
	lny_2	lnY_1	2
	lny_3	lnY_2	3
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	lny_n	lnY_{n-1}	T

Fungsi kuadrat terkecil ditunjukkan sebagai berikut (Montgomery & Peck, 1992):

$$S(\emptyset,\delta,\gamma) = \sum_{t=2}^{n} \varepsilon_t^2 = \sum_{t=2}^{n} (lny_t - \theta - (\emptyset lnY_{t-1} + \gamma t))^2$$

$$= \sum_{t=2}^{n} \varepsilon_t^2 = \sum_{t=2}^{n} (lny_t - \theta - \emptyset lnY_{t-1} - \gamma t)^2 \qquad (2.52)$$

Penaksir kuadrat terkecil $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ harus memenuhi:

$$\left.\frac{\partial S}{\partial \theta}\right|_{\hat{\emptyset},\hat{\theta},\hat{\gamma}} = -2\sum_{t=2}^{n} (lny_t - \theta - \emptyset lnY_{t-1} - \gamma t) = 0 \qquad (2.53)$$

dan

$$\left.\frac{\partial S}{\partial \emptyset}\right|_{\hat{\emptyset},\hat{\theta},\hat{\gamma}} = -2\sum_{t=2}^{n} ((lny_t - \theta - \emptyset lnY_{t-1} - \gamma t) lnY_{t-1}) = 0 \qquad (2.54)$$

serta

$$\left.\frac{\partial S}{\partial \gamma}\right|_{\hat{\emptyset},\hat{\theta},\hat{\gamma}} = -2\sum_{t=2}^{n} ((lny_t - \theta - \emptyset lnY_{t-1} - \gamma t) t) = 0 \qquad (2.55)$$

Dari Persamaan (2.53) diperoleh

$$\sum_{t=2}^{n} (lny_t - \theta - \emptyset lnY_{t-1} - \gamma t) = 0$$

$$\sum_{t=2}^{n} lny_t - n\theta - \sum_{t=2}^{n} \emptyset lnY_{t-1} - \sum_{t=2}^{n} \gamma t = 0$$

$$\sum_{t=2}^{n} lny_t = n\theta + \sum_{t=2}^{n} \emptyset lnY_{t-1} + \sum_{t=2}^{n} \gamma t$$

Dari Persamaan (2.54) diperoleh

$$\sum_{t=2}^{n} ((lny_t - \theta - \emptyset lnY_{t-1} - \gamma t) lnY_{t-1}) = 0$$

$$\sum_{t=2}^{n} lny_t\, lnY_{t-1} = \sum_{t=2}^{n} \theta lnY_{t-1} + \sum_{t=2}^{n} \emptyset (lnY_{t-1})^2 +$$

$$\sum_{t=2}^{n} \gamma t (lnY_{t-1})$$

Dari Persamaan (2.55) diperoleh

$$-2\sum_{t=2}^{n} ((lny_t - \theta - \emptyset lnY_{t-1} - \gamma t) t) = 0$$

$$\sum_{t=2}^{n} lny_t\, t - \sum_{t=2}^{n} \theta t - \sum_{t=2}^{n} \emptyset (lnY_{t-1})\, t - \gamma \sum_{t=2}^{n} \gamma t^2 = 0$$

$$\sum_{t=2}^{n} lny_t\, t = \sum_{t=2}^{n} \theta t + \sum_{t=2}^{n} \emptyset (lnY_{t-1})\, t + \sum_{t=2}^{n} \gamma t^2$$

Dari penyederhanaan pada Persamaan (2.53), (2.54), dan (2.55) didapatkan:

$$n\theta + \sum_{t=2}^{n} \emptyset lnY_{t-1} + \sum_{t=2}^{n} \gamma t = \sum_{t=2}^{n} lny_t \qquad (2.56)$$

Solusi dari Persamaan (2.56) merupakan estimator kuadrat terkecil parameter-parameter β-nya. Penyelesaiannya akan lebih cepat dan jelas jika disajikan dalam bentuk matrik. (Montgomery & Peck, 1992):

$$\boldsymbol{y} = \begin{bmatrix} lny_2 \\ lny_3 \\ \vdots \\ lny_n \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{X} = \begin{bmatrix} 1 & lnY_1 & 2 \\ 1 & lnY_2 & 3 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & lnY_{n-1} & n \end{bmatrix}, \; \boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \theta \\ \emptyset \\ \gamma \end{bmatrix}, \; \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

dimana
ln y adalah vektor observasi (n x 1)
$\boldsymbol{X}$ adalah matriks (n x 3) merupakan matriks dari regressor-regressornya.
$\boldsymbol{\beta}$ adalah vektor (3 x 1) merupakan koefisien-koefisien dalam model regresi yang harus dicari, dan
$\boldsymbol{\varepsilon}$ adalah vektor (n x 1) dari random error

Sehingga persamaan (2.56) bila disajikan dalam bentuk matriks menjadi

$$\boldsymbol{y} = \boldsymbol{X\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

estimator β diduga seperti dengan menggunakan Persamaan (2.30) berikut.

$$\boldsymbol{\beta} = (\boldsymbol{X'X})^{-1}\boldsymbol{X'Y}$$

2.2.3 Evaluasi Kebaikan Model Logistik Harvey dan Harvey

Untuk menilai apakah model yang diperoleh merupakan model yang baik, dibutuhkan beberapa pengujian sebagai berikut.

1. Uji Hipotesis

Uji hipotesis dalam penelitian ini adalah uji serentak dan uji individu. Uji serentak merupakan uji terhadap nilai-nilai koefisien regresi (β) secara bersama-sama dengan hipotesa:

a. Untuk Model Logistik Harvey

   $H_0: \delta = \gamma = 0$
   melawan
   H_1: terdapat satu atau lebih parameter yang diduga tidak sama dengan nol

b. Untuk Model Harvey
   $H_0: \theta = \emptyset = \gamma = 0$
   melawan
   H_1: terdapat satu atau lebih parameter yang diduga tidak sama dengan nol

Statistik uji:

$$F_{hitung} = \frac{SS\ Regresi\ /\ k}{SS\ Residual/(n-1-k)} \tag{2.57}$$

dimana $F_{tabel} = F_{k;(n-1-k)}$, dengan daerah penolakan yaitu, tolak H_0 jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ atau $p - value < \alpha$.

Bila pada uji serentak diketahui bahwa koefisien regresi(β) signifikan, maka dapat dilanjutkan dengan uji signifikansi dari masing-masing koefisien model yang didapat dengan hipotesa:

a. Untuk Model Logistik Harvey

$H_0: \gamma = 0$	$H_0: \delta = 0$
vs	vs
$H_1: \gamma \neq 0$	$H_1: \delta \neq 0$

   Statistik uji:

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\gamma}}{S(\hat{\gamma})} \sim t, t_{hitung} = \frac{\hat{\delta}}{S(\hat{\delta})} \sim t$$

   dimana $(\hat{\gamma}) = \sqrt{var\hat{\gamma}}$, $S(\hat{\delta}) = \sqrt{var\hat{\delta}}$, dengan daerah penolakan yaitu, tolak H_0 jika $|t_{hitung}| > t_{(n-2,1-\frac{\alpha}{2})}$ atau $p - value < \alpha$ (Draper & Smith, 1992).

b. Untuk Model Harvey

$H_0: \theta = 0$	$H_0: \emptyset = 0$	$H_0: \gamma = 0$
vs	vs	vs
$H_1: \theta \neq 0$	$H_1: \emptyset \neq 0$	$H_1: \gamma \neq 0$

Statistik uji:

$$t_{hitung} = \frac{\widehat{\emptyset}}{S(\widehat{\emptyset})} \sim t, t_{hitung} = \frac{\hat{\gamma}}{S(\hat{\gamma})} \sim t, t_{hitung} = \frac{\hat{\theta}}{S(\hat{\theta})} \sim t$$

dimana $(\hat{\rho}) = \sqrt{var\hat{\rho}}$, $S(\hat{\gamma}) = \sqrt{var\hat{\gamma}}$, $S(\hat{\theta}) = \sqrt{var\hat{\theta}}$, dengan daerah penolakan yaitu, tolak H_0 jika $|t_{hitung}| > t_{(n-2,1-\frac{\alpha}{2})}$ atau $p - value < \alpha$ (Draper & Smith, 1992).

2. Uji Residual

Karena model regresi yang dibentuk didasarkan dengan meminimumkan jumlah kuadrat *error*, maka *residual* (sisaan) dari model yang didapat harus memenuhi beberapa asumsi $(\varepsilon_i \sim iidn(0, \sigma^2))$, diantaranya:

a. Uji Heteroskedastisitas Error

Uji ini dilakukan untuk mengetahui apakah sisaan memiliki varian yang konstan (homoskedastisitas). Kebalikannya, bila ternyata diperoleh kondisi varian sisaan tidak konstan, maka terjadi kasus heteroskedastisitas. Pengujian residual identik dapat dilakukan dengan mengecek plot sisaan terhadap *Fitted Value*. Selain itu, ada beberapa cara untuk menguji keberadaan heteroskedastisitas, salah satunya adalah dengan menggunakan uji Glejser. Berikut tahapan uji Glejser:

1. Pada tahap pertama uji Glejser adalah meregresikan variabel respon terhadap prediktor dan diperoleh e_t (sisaan)
2. Pada tahap dua meregresikan $|e_t|$ terhadap prediktor seperti pada persamaan berikut.

   2a. Untuk Model Logistik Harvey

$$|e_t| = \delta + \gamma t + \varepsilon_t \qquad (2.58)$$

Interpretasi heteroskedastisitas dilakukan dengan melihat signifikansi antara variabel prediktor secara individu terhadap $|e_i|$. Heteroskedastisitas terjadi jika terdapat pengaruh yang signifikan antara variabel prediktor (salah satu atau keduanya) terhadap$|e_t|$ (Gujarati, 2004).

Statistik uji:

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\gamma}}{S(\hat{\gamma})} \sim t, t_{hitung} = \frac{\hat{\delta}}{S(\hat{\delta})} \sim t$$

dimana $(\hat{\gamma}) = \sqrt{var\hat{\gamma}}$, $s(\hat{\delta}) = \sqrt{var\hat{\delta}}$, dengan daerah penolakan yaitu, tolak H_0 jika $|t_{hitung}| > t_{(n-2,1-\frac{\alpha}{2})}$ atau p-value < α dengan $|e_i|$ sebagai variabel respon.

2b. Untuk Model Harvey

$$|e_t| = \emptyset ln Y_{t-1} + \theta + \gamma t + \varepsilon_t \qquad (2.59)$$

Interpretasi heteroskedastisitas dilakukan dengan melihat signifikansi antara variabel prediktor secara individu terhadap $|e_t|$. Heteroskedastisitas terjadi jika terdapat pengaruh yang signifikan antara variabel prediktor (salah satu atau keduanya) terhadap $|e_i|$ (Gujarati, 2004).

Statistik uji:

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\theta}}{S(\hat{\theta})} \sim t, t_{hitung} = \frac{\hat{\gamma}}{S(\hat{\gamma})} \sim t, t_{hitung} = \frac{\hat{\emptyset}}{S(\hat{\emptyset})} \sim t$$

dimana $s(\hat{\theta}) = \sqrt{var\hat{\theta}}$, $s(\hat{\gamma}) = \sqrt{var\hat{\gamma}}$, $s(\hat{\emptyset}) = \sqrt{var\hat{\emptyset}}$, dengan daerah penolakan yaitu, tolak H_0 jika $|t_{hitung}| > t_{(n-2,1-\frac{\alpha}{2})}$ atau p-value < α dengan $|e_t|$ sebagai variabel respon.

b. Uji Autokorelasi dari *Error*

Uji ini dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya autokorelasi antar residual. Untuk mengecek interdependensi residual digunakan pengecekan dengan bantuan Uji Durbin Watson.

Pengujian untuk mendeteksi adanya korelasi ini diberi nama sesuai dengan penulis yang membahas tentang pengujian residual regresi dan tabel pengujiannya pada tahun 1951 yaitu, J.

Durbin dan Watson G.S. Hipotesa yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

H_0: tidak terdapat korelasi serial pada residual

vs

H_1: terdapat korelasi serial pada residual

Dengan statistik uji (Draper & Smith, 1992):

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{n}(e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=2}^{n} e_t{}^2} \tag{2.60}$$

d tersebut hanya digunakan untuk uji tailed bawah lawan alternatifnya ρ>0. Untuk menguji lawan alternatifnya ρ<0 dibutuhkan uji tailed atas. Pada statistik uji di atas merupakan residual. Prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut (Draper & Smith, 1992):

1. Uji satu-arah yang telah disederhanakan lawan alternatif ρ>0. Jika d<d_u, tolak H_0 pada taraf α, untuk lainnya gagal tolak H_0.
2. Uji satu-arah yang telah disederhanakan lawan alternatif ρ<0. Jika 4-d<d_u, tolak H_0 pada taraf α, untuk lainnya gagal tolak H_0.
3. Ujidua-arah yang telah disederhanakan lawan alternatif ρ≠0. Jika d<d_u atau 4-d<d_u , tolak H_0 pada taraf 2α, merupakan d_{upper} yaitu d pada batas atas.

c. Uji Normalitas dari *Error*.

Menurut Gujarati dan Porter (2009) untuk menguji normalitas *error* dapat digunakan uji Jaque-Bera atau JB test dengan hipotesis sebagai berikut.

H_0: residual berdistribusi normal

melawan

H_0: residual tidak berdistribusi normal

Langkah-langkah untuk mendapatkan nilai JB adalah sebagai berikut.

$$JB = n\left[{S^2}/{6} + {(K-3)^2}/{24}\right] \tag{2.61}$$

dimana n menunjukkan banyaknya pengamatan, S dan K adalah estimasi dari nilai skewness dan kurtosis, yang didefinisikan sebagai berikut.

$$S = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(e_i - \bar{e})^3}{\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(e_i - \bar{e})^2\right)^{\frac{3}{2}}}$$

$$K = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(e_i - \bar{e})^4}{\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(e_i - \bar{e})^2\right)^{2}} \qquad (2.62)$$

Disini $\bar{e}$ menyatakan nilai rata-rata sisaan. Statistik uji JB memiliki distribusi asimtotik χ^2 dengan derajat bebas dua.

3. Koefisien Determinasi (R^2)

R^2 dapat diartikan sebagai suatu nilai yang mengukur proporsi atau variasi total disekitar nilai tengah Y yang dapat dijelaskan oleh model regresi. Nilai R^2 berkisar antara 0 sampai dengan 1 (Draper & Smith, 1992). Persamaan (2.65) di bawah ini merupakan rumus untuk mencari nilai R^2 pada model Logistik Harvey dan Persamaan (2.66) merupakan rumus untuk mencari nilai R^2 pada model Harvey.

$$R^2 = \frac{\sum\left(\widehat{ln\left(\frac{y_t}{Y_{t-1}^2}\right)} - \overline{ln\left(\frac{y_t}{Y_{t-1}^2}\right)}\right)^2}{\sum\left(ln\left(\frac{y_t}{Y_{t-1}^2}\right) - \overline{ln\left(\frac{y_t}{Y_{t-1}^2}\right)}\right)^2} \qquad (2.63)$$

dan

$$R^2 = \frac{\sum\left(\widehat{lny_t} - \overline{lny_t}\right)^2}{\sum(lny_t - \overline{lny_t})^2} \qquad (2.64)$$

2.3 *Exponential Smoothing* (Pemulusan Eksponensial)

Pemulusan adalah penyesuaian atau manipulasi data yang diatur agar sesuai model atau kurva. Sedangkan, eksponensial adalah bersifat atau berhubungan dengan eksponen. Jadi, pemulusan eksponensial adalah penyesuaian atau manipulasi data yang diatur sedemikian rupa agar sesuai dengan model atau kurva yang bersifat eksponen. Menurut Makridarkis dkk (1998), metode pemulusan eksponensial adalah metode yang menunjukkan pembobotan yang menurun secara eksponensial terhadap nilai pengamatan yang lebih tua. Metode pemulusan eksponensial menurut Makridarkis, Wheelwright, dan McGee (1998) terdapat tiga jenis metode pemulusan eksponensial yaitu: tunggal, ganda dan triple. Semuanya memiliki sifat yang sama, yaitu nilai yang lebih baru diberikan bobot yang relatif lebih besar.

1. Pemulusan Eksponensial Tunggal

Pemulusan Eksponensial Tunggal digunakan ketika pola data yang diamati tidak mengandung unsur trend maupun unsur musiman (Rosadi, 2011). Dalam skripsi ini digunakan Pemulusan Eksponensial Tunggal dengan pendekatan aktif untuk mendapatkan nilai parameter α yang diduga.

Berikut ini merupakan model Pemulusan Eksponensial Tunggal menurut Makridarkis, Wheelwright, dan McGee (1998).

$$F_{t+1} = \alpha_t X_t + (1 - \alpha_t) F_t \qquad (2.65)$$

dengan

F_{t+1} = nilai peramalan konsumsi listrik satu bulan ke depan

α_t = parameter yang diduga

X_t = data konsumsi listrik bulanan

dimana

$$\alpha_{t+1} = \left|\frac{E_t}{M_t}\right|, \qquad (2.66)$$

$$E_t = \beta e_t + (1 - \beta) E_{t-1}, \qquad (2.67)$$

$$M = \beta |e_t| + (1 - \beta) M_{t-1}, \qquad (2.68)$$

$$e_t = X_t - F_t \qquad (2.69)$$

α dan β bernilai antara 0 dan 1, serta | | menunjukkan nilai absolut. Persamaan (2.69) menunjukkan bahwa nilai α yang dipakai untuk peramalan periode (t+2) ditetapkan sebagai nilai absolut dari rasio antara unsur galat yang dihaluskan (E_t) dan unsur galat absolute yang dihaluskan (M_t). Dua unsur yang telah dihaluskan ini telah diperoleh dengan menggunakan pemulusan eksponensial tunggal seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (2.70) dan (2.71) dengan perhitungan awal menggunakan asumsi berikut $F_2 = X_1$ dan $E_1 = M_1 = 0$.

2. Pemulusan Eksponensial Ganda

Menurut Rosadi (2011) jika data mengandung trend, maka dapat digunakan metode Pemulusan Eksponensial Holt dengan dua parameter (atau sering disebut Pemulusan Eksponensial Ganda) di mana digunakan parameter α sebagai parameter dalam penghalusan "level" atau rata-rata dari data, sedangkan parameter kedua yaitu γ, merupakan parameter untuk penghalusan trend. Menurut Makridarkis dkk (1998) ramalan dari Pemulusan Eksponensial Ganda Holt didapat dengan menggunakan dua konstanta smoothing (dengan nilai antara 0 dan 1) dan tiga persamaan) berikut.

$$S_t = \alpha X_t + (1-\alpha)(S_{t-1} + b_{t-1}), 0 < \alpha < 1 \tag{2.70}$$

$$b_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1-\beta)b_{t-1}, 0 < \beta < 1 \tag{2.71}$$

$$F_{t+m} = S_t + mb_t \tag{2.72}$$

dengan
F_{t+m} = nilai peramalan konsumsi listrik pada bulan m kedepan
S_t = pemulusan dari level
b_t = pemulusan dari faktor tren
m = waktu ramalan ke depan yang diperkirakan

Persamaan (2.73) menyesuaikan S_t secara langsung untuk trend periode sebelumnya, yaitu b_{t-1} dengan menambahkan nilai pemulusan yang terakhir, yaitu S_{t-1}. Hal ini membantu untuk menghilangkan kelambatan dan menempatkan S_t ke dasar perkiraan nilai data saat ini. Kemudian persamaan (2.74) meremajakan trend, yang ditunjukkan sebagai perbedaan antara dua nilai pemulusan yang terakhir. Hal ini tepat karena jika terdapat kecenderungan di dalam data, nilai yang baru akan lebih tinggi atau lebih rendah daripada nilai yang sebelumnya. Karena mungkin masih terdapat sedikit kerandoman, maka hal ini dihilangkan oleh pemulusan dengan β (beta) trend pada periode terakhir $(S_t - S_{t-1})$, dan menambahkannya dengan taksiran trend sebelumnya dikalikan dengan $(1-\beta)$. Untuk proses perhitungan awal, dapat digunakan nilai berikut $b_2 = X_2 - X_1$ dan $S_2 = X_2$.

3. Pemulusan Eksponensial *Triple*

Menurut Rosadi (2011) ika data mengandung komponen trend dan musiman maka dapat digunakan model Pemulusan Eksponensial *Triple* Holt-Winters untuk memodelkan data. Terdapat dua model Pemulusan Eksponensial *Triple* Holt-Winters, yaitu *multiplicative seasonal model* (model musiman multiplikatif) dan *additive seasonal model* (model musiman aditif). Menurut Dedi Rosadi (2012), cara menentukan metode pemulusan eksponensial yang tepat untuk data yang memiliki pola trend musiman adalah dengan melihat plot dari data. Pada model musiman aditif, fluktuasi musiman dari data terlihat relatif stabil, tidak bergantung kepada level atau rata-rata dari data. Sedangkan pada model musiman multiplikatif, amplitudo dari fluktuasi musiman terlihat berubah-ubah, tergantung kepada level dari data.

a. Model Musiman Multiplikatif Holt-Winter

Menurut Rosadi (2012), metode Holt-Winter didasarkan tiga persamaan pemulusan yaitu untuk level dari data , untuk unsur tren, dan untuk unsur musiman berikut.

- Pemulusan dari level

$$S_t = \alpha \frac{X_t}{I_{t-L}} + (1-\alpha)(S_{t-1} + T_{t-1}) \qquad (2.73)$$

dimana $0 < \alpha < 1$ adalah sebuah konstanta pemulusan.

- Pemulusan dari faktor tren.

$$T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1} \qquad (2.74)$$

dimana $0 < \beta < 1$ adalah konstanta pemulusan kedua.

- Pemulusan dari faktor musiman

$$I_t = \gamma \frac{X_t}{S_t} + (1-\gamma)I_{t-L} \qquad (2.75)$$

dimana $0 < \gamma < 1$ adalah konstanta pemulusan ketiga.

dengan inisialisasi:

- $S_t = \frac{X_1 + X_2 + \cdots + X_L}{L}$
- $T_L = \frac{1}{L}\left(\frac{X_{L+1} - X_1}{L} + \frac{X_{L+2} - X_2}{L} + \cdots + \frac{X_{L+L} - X_L}{L}\right)$

- $I_1 = \frac{X_1}{S_L}, I_2 = \frac{X_2}{S_L}, \dots, I_L = \frac{X_L}{S_L}$

dimana
L adalah panjang periode musiman
T adalah komponen trend
I adalah faktor penyesuaian musim

Nilai peramalan pada bulan m kedepan (F_{t+m}) dengan menggunakan model musiman multiplikatif adalah:

$$F_{t+m} = (S_t + T_t m)I_{t-L+m} \tag{2.76}$$

b. Model Musiman Aditif Holt-Winter

Menurut Rosadi (2012), model musiman aditif Holt-Winter didasarkan tiga persamaan pemulusan yaitu untuk level dari data, untuk unsur trend, dan untuk unsur musiman berikut.

1. Pemulusan dari level

$$S_t = \alpha(X_t - I_{t-L}) + (1-\alpha)(S_{t-1} + T_{t-1}) \tag{2.77}$$

dimana 0 < α < 1 adalah sebuah konstanta pemulusan.

2. Pemulusan Trend

$$T_t = \beta S_t - S_{t-1} + (1-\beta)T_{t-1} \tag{2.78}$$

dimana 0 < β < 1 adalah konstanta smoothing kedua.

3. Pemulusan Musiman

$$I_t = \gamma(X_t - S_t) + (1-\gamma)I_{t-L} \tag{2.79}$$

dimana 0 < γ < 1 adalah konstanta smoothing ketiga.

Diketahui nilai hasil smoothing untuk ketiga komponen di atas, selanjutnya nilai peramalan untuk model aditif adalah

$$F_{t+m} = S_t + mT_t + I_{t+m-L}, m = 1,2, \dots, L \tag{2.80}$$

dengan
L = panjang periode musiman

T = komponen trend
I = faktor penyesuaian musim
F_{t+m} = nilai peramalan konsumsi listrik pada bulan m kedepan
m = waktu ramalan ke depan yang diperkirakan

2.4 Pemilihan Model Terbaik

Terdapat beberapa cara untuk memilih model terbaik dari model-model yang telah diperoleh salah satunya adalah dengan mencari nilai *Mean Square Error* (MSE) pada masing-masing model yang didapat dengan menggunakan Persamaan (2.81) berikut.

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\hat{Y}_i - Y_i)^2 \qquad (2.81)$$

dimana
$\hat{Y}_i$ adalah nilai yang didapat dari model yang diduga
Y_i adalah nilai data asli
i adalah bulan ke 1, 2, 3, … n
n adalah banyaknya pengamatan

Dalam statistik MSE dari penduga merupakan salah satu untuk mengukur perbedaan antara nilai-nilai tersirat oleh estimator dan nilai-nilai sebenarnya dari jumlah yang diperkirakan. MSE adalah fungsi resiko, sesuai dengan nilai yang diharapkan dari kuadrat kerugian kesalahan atau hilangnya kuadrat. MSE mengukur rata-rata dari kuadrat "kesalahan". Kesalahan adalah jumlah dimana nilai tersirat oleh estimator berbeda dari jumlah yang diestimasi. Perbedaan terjadi karena keacakan atau karena estimator tidak memperhitungkan informasi yang bisa menghasilkan perkiraan yang lebih akurat. Dengan kata lain semakin kecil nilai MSE menunujukkan bahwa nilai yang didapat dari, model yang diduga semakin baik.

2.5 Tenaga Listrik

Berdasarkan UU. No 20 mengenai ketenagalistrikan, tenaga listrik adalah suatu bentuk energi sekunder yang dibangkitkan, ditransmisikan, dan didistribusikan untuk segala macam keperluan, tidak termasuk listrik yang dipakai untuk komunikasi, elektronika, atau isyarat. Tenaga listrik memiliki banyak manfaat dalam mendukung kegiatan manusia. Seiring dengan perkembangan jaman semakin banyak alat elektronik yang diciptakan dan dikembangkan untuk mempermudah kinerja manusia, Seiring berjalannya waktu kebutuhan manusia akan listrik semakin bertambah. Ditambah dengan berdirinya perusahaan dan pabrik setiap tahun. Penggunaan listrik berskala besar pada umumnya digunakan oleh perusahaan-perusahaan industry besar yang menggunakan listrik sebagai tenaga penggerak mesin perusahaan. Ditambah dengan penerangan di kota-kota besar pada malam hari untuk menghindari adanya kecelakaan.

2.6 PT. PLN

Data yang digunakan dalam skripsi ini adalah data konsumsi listrik bulanan selama periode Januari 2009 sampai April 2013. Data yang diambil adalah data konsumsi listrik di PT. PLN Distribusi Jawa Timur Area Malang. Area Malang meliputi keseluruhan kota dan kabupaten yang termasuk dalam wilayah Malang. Seperti yang diketahui bahwasanya kota Malang merupakan kota yang sedang berkembang dalam hal pembangunan dan kemajuan. Pembangunan fasilitas umum dari tahun ke tahun yang dilakukan mengindikasikan kebutuhan listrik yang semakin meningkat ditambah dengan pertambahan penduduk (pelajar yang menuntut ilmu) yang semakin bertambah menjadi dugaan pemicu kenaikan kebutuhan listrik di Area Malang. Setelah dilakukan pembentukan pola data, maka dapat disimpulkan bahwa data konsumsi listrik bulanan di PT. PLN Area Malang yang ada adalah data yang berpola trend yang tidak menyebar normal.

Seperti yang telah dijelaskan sedikit sebelumnya bahwasanya tujuan dari skripsi ini adalah memilih model yang sesuai untuk meramalkan konsumsi listrik bulanan di PT. PLN Area Malang. Model yang akan digunakan untuk menganalisa adalah model Logistik Harvey, Harvey dan Pemulusan Eksponensial Ganda. Pemilihan model diambil berdasarkan pola data yang ada dan beberapa penelitian mengenai peramalan konsumsi listrik sebelumnya. Pada dasarnya model logistik Harvey dan model Harvey adalah model yang dikembangkan oleh Mar. Molinero yang pada awalnya ditujukan untuk mendapatkan nilai perkiraan kebutuhan stok penjualan Traktor di Spanyol yang memiliki sifat terus menerus naik dari tahun ketahun dan diasumsikan memiliki tingkat saturasi.

Model Pemulusan Eksponensial merupakan model yang umum digunakan untuk meramalkan suatu data. Dalam model

Pemulusan Eksponensial terdapat beberapa macam model yang tergantung pada pola data amatan yang ada seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Karena pada data yang diamati dalam skripsi ini adalah data yang nampaknya memiliki pola trend, maka digunakan model Pemulusan Eksponensial Ganda sebagai alternatif pilihan untuk meramalkan kebutuhan listrik bulanan di PT. PLN Area Malang.

Dalam skripsi ini dianalisa apakah peramalan dengan menggunakan model yang dikembangkan oleh Mar Molinero ataukah model Pemulusan Eksponensial Ganda yang akan menghasilkan pendugaan yang paling sesuai untuk data konsumsi listrik bulanan di PT. PLN Area Malang.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data konsumsi listrik bulanan sejak Januari 2009 sampai dengan September 2012 untuk area Malang dengan jumlah data sebanyak 45. Data diperoleh dari PT. PLN Distribusi Jawa Timur Area Malang di Jalan Basuki Rahmat kota Malang.

3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan dibahas dalam skripsi ini akan dibagi menjadi tiga yaitu penaksiran model peramalan yang diusulkan oleh Harvey dan metode pemulusan eksponensial, dan pemilihan model terbaik.

3.2.1 Model Logistik Harvey dan Harvey

Seperti yang telah dijelaskan pada bab dua bahwasanya terdapat dua model yang diusulkan oleh Harvey yaitu model Logistik Harvey dan Harvey. Pada dasarnya model Logistik Harvey dan Harvey memiliki tahap analisa yang hampir sama. Berikut ini merupakan proses untuk mendapatkan model Logistik Harvey dan Harvey.

1. Membuat plot pada data konsumsi listrik bulanan untuk mengetahui tipe pola data.
2. Menentukan variabel untuk menganalisa model Harvey yaitu y_t, lny_t, lnY_{t-1}, t dan menentukan variabel (ln(y_t /y_{t-1}^2), t) untuk model Logistik Harvey.
3. Menduga parameter model Logistik Harvey dengan menggunakan Persamaan (2.30).
4. Menduga parameter model Harvey dengan estimasi kuadrat terkecil menggunakan bantuan matriks seperti pada Persamaan (2.30)
5. Melakukan evaluasi kebaikan model regresi untuk menilai apakah model regresi yang dihasilkan melakukan model yang baik dengan cara melakukan uji hipotesis, mencari nilai koefisien determinasi (R^2), dan melakukan uji residual.

6. Uji hipotesis terdiri dari uji serempak dan uji parsial dimana uji serempak merupakan pengujian yang digunakan untuk mengetahui apakah koefisien yang didapat signifikan secara serempak dan untuk mendapakan nilai uji serempak dapat dihitung dengan Persamaan (2.57). Sedangkan uji parsial digunakan untuk mengetahui apakah masing-masing koefisien yang didapat pada model signifikan atau atau tidak.
7. Uji residual terdiri dari uji heteroskedastisitas *error*, uji autokorelasi dari *error*, dan uji normalitas dari *error* yang dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (2.58), (2.59), (2.60), dan (2.61)
8. Nilai koefisien determinasi pada model Logistik Harvey dan model Logistik dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (2.63) dan (2.64)
9. Setelah parameter didapatkan dan memenuhi semua uji asumsi maka parameter Logistik Harvey dan Harvey yang diperoleh dapat dimasukkan dalam model peramalannya seperti pada Persamaan (2.21) dan (2.51)

3.2.2 Metode Pemulusan Eksponensial

Berikut ini merupakan tahap analisa dengan menggunakan metode pemulusan eksponensial.

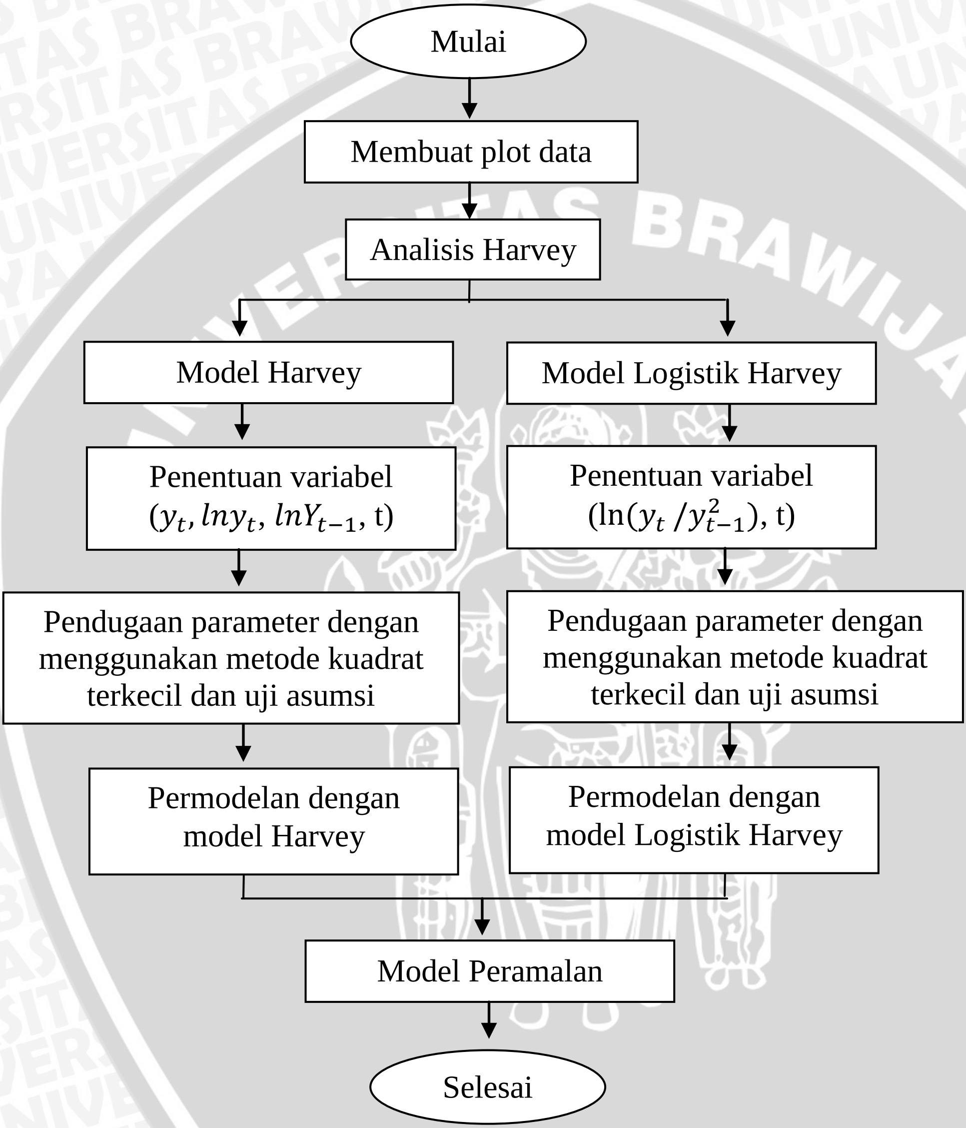
1. Membuat plot pada data konsumsi listrik bulanan untuk mengetahui tipe pola data.
2. Kemudian pilih model analisa yang dipakai yang sesuai dengan pola data. Seperti yang telah dijelaskan pada bab 2, untuk data yang tidak memiliki pola trend dan musiman maka dapat digunakan model Pemulusan Eksponensial Tunggal, untuk data yang memiliki pola trend maka dapat digunakan model Pemulusan Eksponensial Ganda, dan untuk data yang memiliki pola trend dan musiman maka model Pemulusan Eksponensial *Triple* adalah yang paling sesuai untuk digunakan.
3. Setelah ditentukan model yang cocok dengan pola data, maka analisa dapat dilanjutkan dengan menduga parameter dari model. Misalkan saja data yang diamati memiliki pola trend maka model Pemulusan Eksponensial Ganda adalah model yang paling sesuai. Kemudian analisa dapat

dilanjutkan dengan mencari nilai parameternya yaitu α dan β.

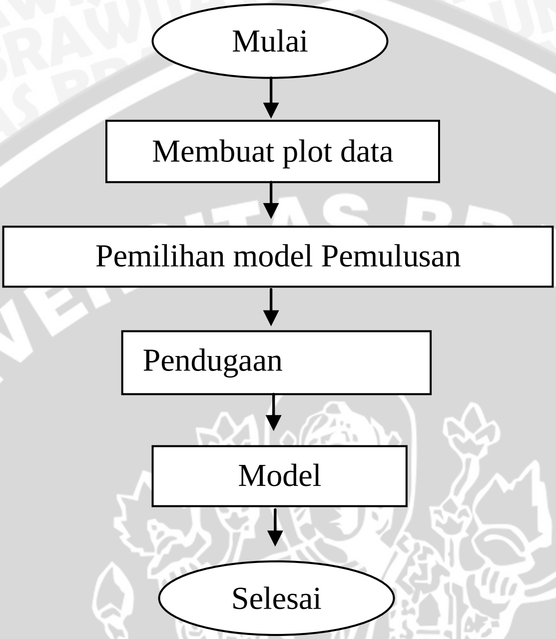
3.2.3 Pemilihan Model Terbaik

Kemudian setelah ketiga parameter dari model Logistik Harvey, Harvey, dan model pada metode pemulusan eksponensial didapatkan maka dapat dilanjutkan dengan mencari nilai MSE dari masing-masing model dengan tahapan seperti berikut.

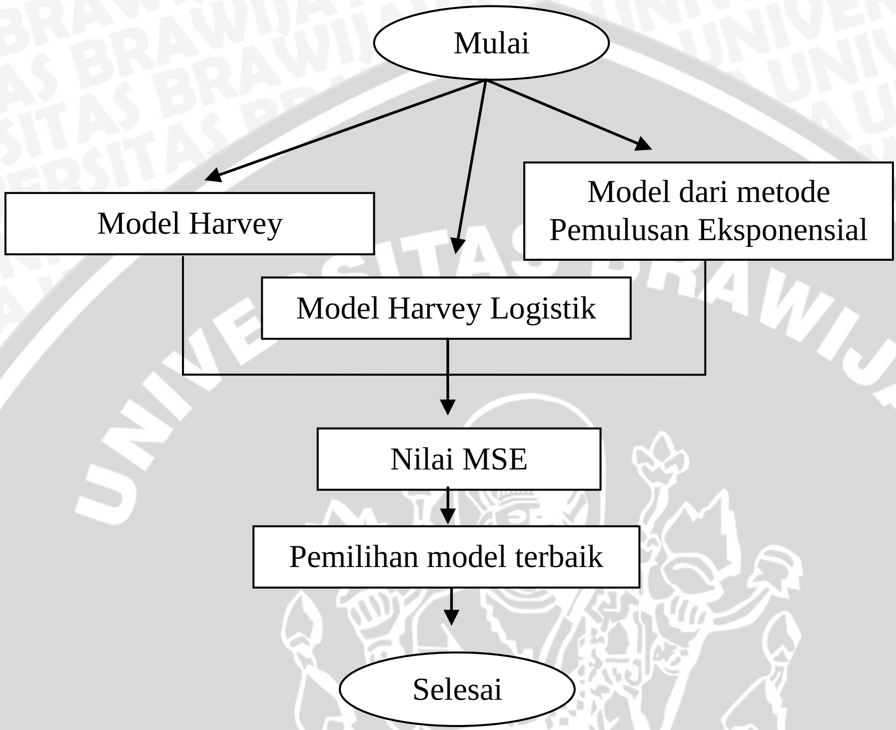
1. Cari nilai duga data dari masing masing model,
2. Kemudian cari nilai MSE dari masing-masing model dengan menggunakan Persamaan (2.81).
3. Setelah itu bandingkan nilai MSE dari dari masing-masing model yang didapat. Model yang memiliki nilai MSE yang paling kecil merupakan model yang paling baik untuk meramalkan kebutuhan listrik bulanan PT. PLN di wilayah Malang.
4. Gunakan peramalan yang memiliki nilai MSE paling kecil.
5. Interpretasi



Gambar 3.1 Diagram Alir Penaksiran Model Logistik Harvey dan Harvey



Gambar 3.2 Diagram Alir Metode Pemulusan Eksponensial

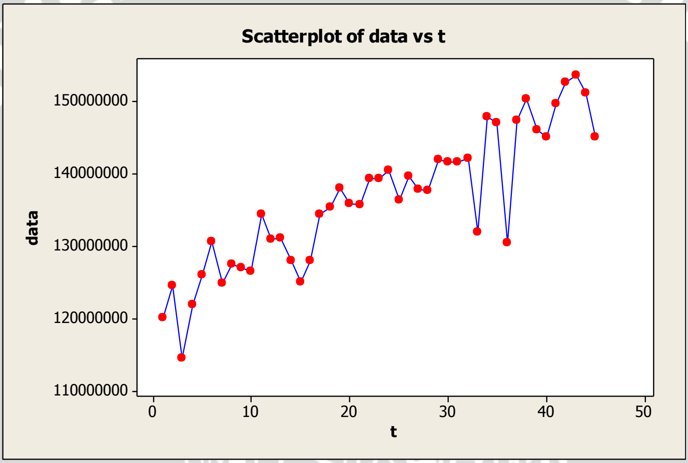


Gambar 3.3 Diagram Alir Pemilihan Model Terbaik

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Plot data

Data yang digunakan dalam skripsi ini adalah data konsumsi listrik bulanan PT. PLN Area Malang selama periode Januari 2009 sampai September 2012 dengan banyaknya data adalah 45. Berikut ini merupakan pola data yang didapatkan pada data konsumsi listrik bulanan di wilayah malang dengan periode bulanan sebagai sumbu vertikal dan konsumsi listrik bulanan (Kwh) sebagai sumbu horizontal.



Gambar 4.1 Pola Data Kebutuhan Listrik Bulanan PT PLN Malang

Berdasarkan Gambar 4.1 di atas dapat dilihat bahwasanya data cenderung mengarah ke atas, hal ini menunjukkan bahwasanya data membentuk pola trend. Data yang didapat dapat dikatakan sesuai dengan model pemulusan eksponensial ganda namun kurang sesuai dengan model yang dikembangkan oleh Mar Molinero (model Logistik Harvey dan Harvey) karena pola yang didapat memang terus menerus naik namun tidak menunujukkan adanya tingkat saturasi.

4.2 Model Logistik Harvey

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwasanya dalam model Logistik terdapat dua parameter yang dicari yaitu δ dan γ.

Dengan bantuan software spss didapat bahwasanya nilai kedua parameter tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 4.1 Output Nilai Koefisien Model Logistik Harvey

Model	B
(constant)	-22,695
t	-0,014

Sumber: Lampiran 2 (halaman 59)

Dari output diatas dapat dilihat bahwasanya model Logistik Harvey yang didapat adalah

$$ln\left(\frac{y_t}{Y_{t-1}^2}\right) = -22.69489 - 0.013803t + \varepsilon_t \qquad (4.1)$$

Dari Persamaan (4.1) di atas dapat diambil kesimpulan bahwasanya semakin bertambah nilai t (bulan) maka semakin rendah nilai $\left(\frac{y_t}{Y_{t-1}^2}\right)$ dan didapat nilai $\delta = -22.69489$ dan $\gamma = -0.013803.$ Persamaan (4.1) yang didapat di atas dapat ditulis pula dengan model sebagai berikut.

$$Y_t = Y_{t-1} + Y_{t-1}^2 e^{(-22.69489 - 0.013803t)} \qquad (4.2)$$

Dari model Persamaan (4.2) di atas dapat disimpulkan bahwasanya nilai kebutuhan listrik saat ini (Y_t) sangat bergantung pada nilai kebutuhan listrik sebelumnya (Y_{t-1}). Kebutuhan listrik saat ini merupakan kebutuhan listrik satu bulan yang lalu ditambahkan dengan kebutuhan listrik bulan lalu kuadrat dikalikan dengan $e^{(-22.69489-0.013803t)}$.

4.2.1 Uji Signifikansi

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwasanya uji hipotesis terdiri dari dua bagian yaitu uji serempak dan uji parsial. Model Logistik Harvey untuk uji signifikansi adalah:

$$ln\left(\frac{y_t}{Y_{t-1}^2}\right) = \delta + \gamma t + \varepsilon_t \qquad (4.3)$$

Berikut ini adalah uji serempak untuk model Logistik Harvey yang memiliki hipotesa sebagai berikut.

$H_0: \delta = \gamma = 0$

melawan

H_1: terdapat satu atau lebih parameter yang diduga tidak sama dengan nol

Berikut ini merupakan tabel output uji serempak pada model Logistik Harvey dengan bantuan software spss.

Tabel 4.2 Output Uji Serempak untuk Model Logistik Harvey

Model	Jumlah Kuadrat	Db	Kuadrat Tengah	F	p-value
Regression	1,352	1	1.352	0,449	0,506
Residual	126,370	42	3,009		
Total	127,721	43			

Sumber: Lampiran 2 (halaman 58)

Dari Tabel 4.2 didapat bahwasanya nilai F hitung untuk model Logistik Harvey yang didapat adalah sebesar 0,449 dan nilai p-value sebesar 0,506, yang menunjukkan bahwa menerima hipotesis nol, yang berarti terdapat koefisien dari persamaan regresi Logistik Harvey yang tidak signifikan.

Kemudian dilanjutkan dengan uji signifikansi secara parsial denga hipotesa sebagai berikut.

$H_0: \gamma = 0$ vs $H_1: \gamma \neq 0$

$H_0: \delta = 0$ vs $H_1: \delta \neq 0$

Berikut ini merupakan tabel output uji parsial pada model Logistik Harvey dengan bantuan software spss.

Tabel 4.3 Output Uji Parsial untuk Model Logistik Harvey

Model	t-hitung	p-value
(constant)	-41,258	0,000
t	-0,670	0,506

Sumber: Lampiran 2 (halaman 59)

Dari Tabel 4.3 dapat dilihat nilai t hitung yang didapat sebesar -41.258 dan nilai p-valuenya sebesar 0.000 untuk koefisien

δ yang berarti tolak H0 dan menunjukkan bahwa nilai koefisien δ signifikan secara statistik pada model Logistik Harvey yang didapatkan. Sedangkan untuk γ didapat nilai t hitung sebesar -0.670 dan nilai p-value sebesar 0.506 yang berarti terima H0 dan menunjukkan bahwa nilai koefisien γ tidak signifikan secara statistik pada model Logistik Harvey untuk data kebutuhan listrik bulanan di PT. PLN Malang.

4.2.2 Uji Residual

a. Uji Heteroskedastisitas *Error*

Model Logistik Harvey untuk uji heteroskedastisitas *error* adalah:

$$|e_t| = \delta + \gamma t + \varepsilon_t \tag{4.4}$$

Uji residual untuk model Logistik Harvey memiliki hipotesa sebagai berikut.

$H_0: \gamma = 0$ $\qquad$ $H_0: \delta = 0$

$H_0: \gamma \neq 0$ $\qquad$ $H_0: \delta \neq 0$

Dengan bantuan software spss didapatkan hasil sebagai berikut

Tabel 4.4 Output Uji Residual Model Logistik Harvey dengan bantuan Software Spss

Model	t-hitung	p-value
(constant)	2,518	0,016
T	0,825	0,414

Sumber: Lampiran 4 (halaman 64).

Dari hasil output pada Tabel 4.4 dapat dilihat bahwasanya nilai t hitung yang didapat dari konstanta yang diduga cukup besar dan nilai p-value kurang dari 0,1 yang menuju pada keputusan untuk menolak H0 yang artinya terdapat pengaruh heteroskedastisitas pada model Logistik Harvey yang diperoleh dengan α = 5%.

b. Uji Autokorelasi dari *Error*

Dengan bantuan software spss didapatkan nilai Durbin Watson yang didapatkan adalah sebesar 1,748 yang mendekati angka

2 yang artinya tidak ada autokorelasi pada model Logistik Harvey yang didapatkan.

c. Uji Normalitas dari *Error*

Uji kenormalan dilakukan dengan statistic JB yang memiliki hipotesa sebagai berikut.

H_0: sisaan menyebar normal
melawan
H_1: sisaan tidak menyebar normal

Dengan bantuan software e-views didapatkan nilai statistik Jaque Bera sebesar 1,197424 dan nilai p-value sebesar 0,549519 yang lebih besar dari 0,1 yang menuju pada penerimaan H0 yang artinya residual dari model Logistik Harvey berdistribusi normal.

4.2.3 Koefisien Determinasi

Dengan bantuan software spss didapatkan nilai koefisien determinasi untuk model Logistik Harvey adalah 1%.

4.3 Model Harvey

Dalam model Harvey terdapat tiga parameter yang dicari yaitu $\emptyset, \theta$, dan γ. Dengan bantuan software spss didapat tiga nilai parameter tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 4.5 Output Nilai Koefisien Model Harvey

Model	Beta
(constant)	356,348
$\ln Y_{t-1}$	-18,367
T	0,086

Sumber: Lampiran 3 (halaman 63).

Dari Tabel 4.5 diatas dapat dilihat model Harvey yang didapat adalah

$$lny_t = -18.28369 lnY_{t-1} + 354.8192 + 0.085522t + \varepsilon_t \qquad (4.5)$$

Dari Persamaan (4.3) di atas dapat diambil kesimpulan bahwasanya semakin bertambah nilai t (bulan) maka nilai lny_t

bertambah sebesar $0.085522t$ dan berkurang sebesar $-18.28369 lnY_{t-1}$ dan didapat nilai $\rho = -18.28369, \delta = 354.8192$ dan $\gamma = 0.085522$. Persamaan (4.3) di atas dapat ditulis pula dengan sebagai berikut.

$$Y_t = Y_{t-1} + Y_{t-1}^{-18.28369} e^{(356.348+0.086t)} \tag{4.6}$$

Dari Persamaan (4.4) di atas dapat dilihat bahwasanya data saat ini merupakan data satu bulan sebelumnya ditambahkan dengan data satu bulan sebelumnya pangkat -18.28369 dikalikan dengan $e^{(356.348+0.086t)}$.

4.3.1 Uji Signifikansi

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwasanya uji hipotesis terdiri dari dua bagian yaitu uji serempak dan uji parsial. Model Harvey untuk uji signifikansi adalah:

$$lny_t = \emptyset lnY_{t-1} + \theta + \gamma t + \varepsilon \tag{4.7}$$

Berikut ini adalah uji serempak untuk model Harvey yang memiliki hipotesa sebagai berikut

$H_0: \theta = \gamma = \emptyset = 0$

melawan

H_1: terdapat satu atau lebih parameter yang diduga tidak sama dengan nol

Berikut ini merupakan tabel output uji serempak pada model Logistik Harvey dengan bantuan software spss.

Tabel 4.6 Output Uji Serempak untuk Model Harvey

Model	Jumlah Kuadrat	Db	Kuadrat Tengah	F	p-value
Regression	13,558	2	6,779	2,531	0,092
Residual	109,836	41	2,679		
Total	123,394	43			

Sumber: Lampiran 3 (halaman 62)

Dari Tabel 4.6 didapat bahwasanya nilai F hitung untuk model Harvey yang didapat adalah sebesar 2.531 dan nilai p-value sebesar 0,092, yang menuju pada penolakan hipotesis nol, yang berarti bahwa parameter yang didapatkan signifikan secara serempak.

Kemudian dilanjutkan dengan uji signifikansi secara parsial dengan hipotesa sebagai berikut.

$H_0 : \emptyset = 0$	$H_0 : \gamma = 0$	$H_0 : \theta = 0$
vs	vs	vs
$H_1 : \emptyset \neq 0$	$H_1 : \gamma \neq 0$	$H_1 : \theta \neq 0$

Berikut ini merupakan tabel output uji parsial pada model Harvey dengan bantuan software spss.

Tabel 4.7 Output Uji Parsial untuk Model Harvey

Model	t-hitung	p-value
(constant)	2,336	0,024
$\ln Y_{t-1}$	-2,240	0,031
t	0,045	0,061

Sumber: Lampiran 3 (halaman 63)

Dari Tabel 4.7 dapat dilihat nilai t hitung untuk parameter ρ, δ, dan γ sebesar -2.240, 2.336, dan 1.929 dan nilai p-valuenya untuk masing-masing koefisien sebesar 0.031, 0.024, dan 0.061 yang semuanya menuju pada penolakan H0 yang berarti bahwa masing-masing parameter yang didapatkan signifikan secara statistik pada model Harvey untuk data kebutuhan listrik bulanan di PT. PLN Malang pada α = 5%.

4.3.2 Uji Residual

a. Uji Heteroskedastisitas *Error*

Model Logistik Harvey untuk uji heteroskedastisitas *error* adalah:

$$|e_t| = \emptyset lnY_{t-1} + \theta + \gamma t + \varepsilon_t \quad (4.8)$$

Uji residual untuk model Harvey memiliki hipotesa sebagai berikut.

$H_0 : \emptyset = 0$	$H_0 : \theta = 0$	$H_0 : \gamma = 0$
vs	vs	vs

$H_1: \emptyset \neq 0$ $H_1: \theta \neq 0$ $H_1: \gamma \neq 0$

Dengan bantuan software spss didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.8 Output Uji Residual Model Harvey dengan bantuan Software Spss

Model	t-hitung	p-value
(constant)	-0,122	0,904
ln Y_{t-1}	0,130	0,897
t	0,194	0,847

Sumber: Lampiran 5 (halaman 65).

Dari hasil output pada Tabel 4.8 dapat dilihat bahwasanya nilai t hitung yang didapat dari parameter yang diduga kecil dan nilai p-value tidak ada yang kurang dari 0,1 yang menuju pada keputusan untuk menerima H0 yang artinya tidak ada koefisien yang signifikan yang berarti tidak terdapat pengaruh heteroskedastisitas pada model Harvey yang didapatkan dengan α = 5%.

b. Uji Autokorelasi dari *Error*

Dengan bantuan software spss didapatkan nilai Durbin Watson yang didapatkan adalah sebesar 1,99 yang mendekati angka 2 yang artinya tidak ada autokorelasi pada model Harvey yang didapatkan.

c. Uji Normalitas dari *Error*

Uji kenormalan dilakukan dengan statistik JB yang memiliki hipotesa sebagai berikut.

H_0: sisaan menyebar normal
melawan
H_1: sisaan tidak menyebar normal

Dengan bantuan software e-views didapatkan nilai statistik Jaque Bera sebesar 1,214230 dan nilai p-value sebesar 0,544921 yang lebih besar dari 0,1 yang menuju pada penerimaan H0 yang artinya residual dari model Harvey berdistribusi normal.

4.3.3 Koefisien Determinasi

Dengan bantuan software spss didapatkan nilai koefisien determinasi untuk model Harvey adalah 33,1%. Model Harvey memiliki nilai koefisien determinasi yang lebih besar dibandingkan model Logistik Harvey.

4.4 Metode Pemulusan Eksponensial

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat diketahui pola data kebutuhan listrik bulanan PT. PLN wilayah Malang. Data membentuk pola tren. Seperti yang telah dijelaskan pada bab 2 bahwanya metode pemulusan eksponensial yang sesuai untuk data yang memiliki pola trend adalah model pemulusan eksponensial ganda. Terdapat dua parameter yang dicari pada model pemulusan eksponensial ganda, dengan bantuan software e-views didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.9 Output Nilai Koefisien Pemulusan Eksponensial Ganda

	Parameter
α	0,09
β	0,13

Sumber: Lampiran 6 (halaman 67)

Dari Tabel 4.9 di atas didapat nilai α = 0.09 dan β = 0.113. Dari nilai α dan β tersebut dapat dicari nilai duga dengan rumus sebagai berikut.

$$S_t = 0.09X_t + (1 - 0.09)(S_{t-1} + b_{t-1}) \qquad (4.5)$$

$$b_t = 0.13(S_t - S_{t-1}) + (1 - 0.13)b_{t-1} \qquad (4.6)$$

$$F_{t+m} = S_t + mb_t \qquad (4.7)$$

dimana $S_1 = X_1$, $b_1 = X_2 - X_1$, dan X_t adalah data ke t

4.5 Pemilihan Model Terbaik

Seperti yang telah diketahui bahwasanya terdapat tiga model yang digunakan untuk meramalkan data konsumsi listrik bulanan untuk PT. PLN Malang. Masalah yang dihadapi selanjutnya adalah model peramalan apa yang kira-kira yang paling sesuai digunakan untuk meramalkan data tersebut. Oleh karena itu diperlukan uji pemilihan model terbaik untuk menentukan model yang terbaik diantara tiga model yang digunakan. Salah satu pengujian yang dapat digunakan adalah dengan mencari nilai MSE dari model yang didapat. Berikut ini merupakan nilai MSE yang didapat dari ketiga model.

Tabel 4.10 Nilai MSE pada Model Logistik Harvey, Harvey, dan Holt-Winter Eksponensial Smoothing

Model	MSE
Logistik Harvey	3.54×10^{13}
Harvey	2.41×10^{13}
Pemulusan Eksponensial Ganda	1.39×10^{14}

Dari Tabel 4.10 di atas didapatkan bahwasanya nilai MSE dari model logistik Harvey adalah 3.54×10^{13}, untk model Harvey 2.41×10^{13}, dan model pemulusan eksponensial ganda sebesar 1.39×10^{14}. Dari hasil yang didapat dapat dilihat bahwasanya nilai MSE yang paling kecil adalah nilai MSE yang dimiliki oleh model Harvey.

Berdasarkan hasil analisa yang disajikan pada sub bab 4.2.2, dapat diambil kesimpulan bahwa model Logistik Harvey yang diperoleh kurang sesuai untuk menggambarkan kondisi listrik bulanan di PT. PLN karena terdapat salah satu uji residual yang tidak terpenuhi. Sedangkan untuk model Harvey dapat dikatakan sesuai untuk mewakili kebutuhan listrik bulanan di PT. PLN karena semua parameter yang diperoleh berpengaruh secara signifikan dan semua uji residualnya terpenuhi. Jadi dengan kata lain terdapat dua model yang nampaknya baik digunakan untuk meramalkan dan menggambarkan kebutuhan listrik bulanan di PT. PLN Area Malang yaitu model Harvey dan model Pemulusan Eksponensial Ganda. Namun dari perhitungan yang didapat, nilai MSE pada model Harvey lebih kecil daripada model pemulusan eksponensial ganda. Semakin kecil nilai MSE menunjukkan semakin kecil kesalahan yang terjadi apabila menggunakan model tersebut, dengan kata lain model Harvey masih lebih baik digunakan untuk menduga kebutuhan listrik bulanan di PT. PLN Area Malang dibandingkan dengan model pemulusan eksponensial ganda. Jadi dapat dikatakan bahwa model Harvey adalah model yang paling sesuai dengan data konsumsi kebutuhan listrik bulanan PT.PLN untuk Area Malang dibandingkan dengan model Logistik Harvey dan Pemulusan Eksponensial Ganda.

4.6 Nilai Peramalan

Tabel 4.11 berikut ini, menyajikan nilai data dan peramalan kebutuhan listrik bulanan di PT. PLN wilayah Malang dengan menggunakan model Logistik Harvey, Harvey dan Pemulusan Eksponensial Ganda selama 5 bulan kedepan.

Tabel 4.11 Data dan Hasil Peramalan

Tahun	Bulan	Data	Logistik Harvey		Harvey		Pemulusan Eksp. Ganda	
			Nilai duga	error	Nilai duga	error	Nilai duga	Error
2012	Oktober	156931732	146509234.7	10422497.31	148771868	8159864.282	145971090	10960642
	November	158735373	158707321.2	28051.77874	157897268	838104.5832	146221624	12513749
	Desember	162210290	160526755.3	1683534.715	159588401	2621888.579	146472158	15738132
2013	Januari	160585423	164054955.1	-3469532.053	162834854	-2249431.072	146722693	13862730
	Febuari	153918188	162368182.8	-8449994.814	161404325	-7486137.134	146973227	6944961
	Maret	155730169	155533217.1	196951.8808	155862792	-132623.4275	147223761	8506408
	April	162892587	157360462.7	5532124.263	157439494	5453093.289	147474296	15418291

Dari hasil pada Tabel 4.11 diatas dapatdilihat nilai *error* yang didapat dari masing-masing metode. Nilai duga yang diduga dengan menggunakan model Harvey memiliki *error* yang cenderung lebih kecil dibandingakan dengan *error* dari nilai duga yang diperoleh dengan model Logistik Harvey dan model pemulusan eksponensial ganda.

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Didapatkan model Logistik Harvey sebagai berikut.

$$\hat{Y}_{t+h} = \hat{Y}_{t+h-1} + \hat{Y}_{t+h-1}^{2} e^{(-22.69489-0.013803(t+h))}$$

Model Harvey sebagai berikut.

$$\hat{Y}_{t+h} = \hat{Y}_{t+h-1} + \hat{Y}_{t+h-1}^{-18.28369} e^{(354.8192+0.085522(t+h))}$$

Model Pemulusan Eksponensial Ganda yang didapatkan adalah sebagai berikut.

$$F_{t+m} = S_t + mb_t$$

dimana
$S_t = 0.09X_t + (1 - 0.09)(S_{t-1} + b_{t-1})$
$b_t = 0.13(S_t - S_{t-1}) + (1 - 0.13)b_{t-1}$
$S_1 = X_1 = 119998370,$
$b_1 = X_2 - X_1 = 124444201 - 119998370 = 4445831$

2. Dari uji asumsi yang telah dilakukan didapatkan bahwa tidak semua uji asumsi pada model Logistik Harvey terpenuhi yang artinya model Logistik Harvey yang terbentuk kurang baik digunakan untuk meramalkan data konsumsi listrik bulanan PT. PLN Wilayah Malang. Sedangkan uji asumsi pada model Harvey terpebuhi seluruhnya yang artinya model Harvey baik digunakan untuk meramalkan konsumsi listrik bulanan di PT. PLN wilayah Malang.
3. Dari analisa sebelumnya didapatkan bahwasanya nilai MSE dari model Logistik Harvey adalah 3.54 x 10^{13}, untk model Harvey 2.41 x 10^{13}, dan model Pemulusan Eksponensial Ganda sebesar 1.39 x 10^{14}. Sehingga dapat disimpulkan nilai MSE yang paling kecil adalah nilai MSE yang dimiliki oleh model Harvey, yang berarti bahwa model Harvey adalah model yang paling sesuai dengan data konsumsi kebutuhan listrik bulanan PT.PLN untuk wilayah Malang.

4. Dari perbandingan ketiga model diatas dapat disimpulkan bahwa model Logistik Harvey kurang sesuai digunakan untuk meramalkan kebutuhan listrik bulanan di PT. PLN Area malang karena terdapat salah satu uji heteroskedastisitas (kesamaan varians) pada residual yang tidak terpenuhi dan uji hipotesis yang dihasilkan juga menunjukkan bahwa parameter yang didapat ada yang tidak signifikan secara statistik walaupun MSE yang didapat dengan menggunakan model Logistik Harvey lebih kecil dari model Pemulusan eksponensial Ganda. Sedangkan untuk model Harvey yang didapat, dapat disimpulkan bahwa data konsumsi listrik bulanan PT. PLN Area malang sesuai sesuai dengan model Harvey yang didapat kjarena baik untuk uji hipotesis maupun residual semuanya terpenuhi secara statistic. Sedangkan untuk model Pemulusan eksponensial Ganda, karena tidak memiliki asumsi khusus yang harus terpenuhi dapat dikatakan bahwasanya model Pemulusan Eksponensial Ganda sesuai digunakan untuk memodelkan konsumsi listrik bulanan di PT. PLN Area Malang walaupun nilai MSEnya merupakan nilai yang paling besar apabila dibandingkan dengan nilai MSE dari model Logistik Harvey dan model Harvey.

5.2 Saran

1. Saran untuk peneliti selanjutnya adalah mengganti periode waktu pada data dengan periode tahun karena lebih sesuai digunakan untuk mengaplikasikan model yang diusulkan oleh Mar Molinero. Selain itu data dengan periode tahun memiliki perubahan yang lebih terlihat dibandingkan dengan data periode bulanan.
2. Ditambah dengan metode lain yang mungkin lebih sesuai dan tepat untuk meramalkan kebutuhan listrik bulanan di PT. PLN wilayah Malang.

DAFTAR PUSTAKA

Baisuni, M. H. *KALKULUS*. 1986. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).

Draper, N. R. dan H Smith. 1992. *Analisis Regresi Terapan*. Edisi Kedua. (diterjemahkan oleh: Ir. Bambang Sumantri). Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.

Gujarati, D. N. dan D. C. Porter. 2012. *Dasar-dasar Ekonometrika*. Edisi 5. (diterjemahkan oleh: Raden Carlos Mangunsong). Jakarta Selatan: Salemba Empat.

Harvey, A. C. 1984. *Time Series Forecasting based on the Logistic Curve. Operation Research Society 35*, 641-646.

Larson, R. dan B. H. Edwards. 2010. *Calculus Ninth Edition*. www.ichapters.com. Diakses pada: 27 Juli 2012.

Makridarkis, S., S. C. Wheelwright, dan V. E. McGee. 1998. *Metode dan Aplikasi Peramalan Jilid 1 Edisi Revisi*. (diterjemahkan oleh: Ir. Hari Suminto). Tangerang: Binarupa Aksara Publisher.

Mohammed, Z. dan P. Bodger. 2005. *A comparison of Logistic and Harvey Model for Electricity Consumption in New Zealand. Technological Forecasting and Social Change* 72, 1030-1043.

Molinero, M. 1980. *Tractors in Spain: A logistic Analysis. Operation Research Society* 31, 141-152.

Montgomery, D. C. dan E. A. Peck. 1992. *Introduction to Linear Regression Analysis 2nd ed.* New York: John Willey & Sons, INC.

Oliver, F. R. 1981. *Tractors in Spain: A Further Logistic Analysis. Operational Research Society.* 32, 499-502.

PLN. http://www.google.co.id/search?hl=id&newwindow=1&q=sejarah+pln+wilayah+malang&oq=sejarah+pln+wilayah+malang&gs_l=serp.3...2931287.2933575.0.2934094.15.7.0.0.0.0.0.0..0.0...0.0...1c.1.8U9nL4gKfw8 . Diakses pada: Oktober 2012.

Rosadi, D. 2012. *Ekonometrika dan Analisis Runtun Waktu Terapan*. Yogyakarta: ANDI.

Setyaning, L. 2010. *Peramalan Kebutuhan Listrik dengan Model Harvey di Wilayah Banten dan Jakarta*. Surabaya: ITS.

Wikipedia. listrik http://id.wikipedia.org/wiki/Listrik. Diakses pada: Oktober 2012.

Wolo, A dan W. S. Winahju. 2009. *Analisis Kebutuhan Listrik di Wilayah Nusa Tenggara Timur*. Surabaya: ITS.

Lampiran 1. Data Konsumsi Listrik Bulanan Januari 2009 sampai dengan September 2012

No	Bulan	Data(Kwh)
1	Januari 2009	119998370
2	Febuari 2009	124444201
3	Maret 2009	114456053
4	April 2009	121796911
5	Mei 2009	125902158
6	Juni 2009	130615770
7	Juli 2009	124755660
8	Agustus 2009	127495489
9	September2009	126946561
10	Oktober 2009	126461552
11	November 2009	134258153
12	Desember 2009	130899662
13	Januari 2010	131064990
14	Febuari 2010	127992944
15	Maret 2010	124920899
16	April 2010	127892434
17	Mei 2010	134362403
18	Juni 2010	135380515
19	Juli 2010	137892067
20	Agustus 2010	135722089
21	September2010	135702569
22	Oktober 2010	139273479
23	November 2010	139253645
24	Desember 2010	140398694
25	Januari 2011	136235818
26	Febuari 2011	139545903
27	Maret 2011	137749103
28	April 2011	137654107

Lampiran 1. (Lanjutan)

No	Bulan	Data(Kwh)
29	Mei 2011	141886122
30	Juni 2011	141519035
31	Juli 2011	141501900
32	Agustus 2011	142055497
33	September2011	131837657
34	Oktober 2011	147753268
35	November 2011	146960467
36	Desember 2011	130436605
37	Januari 2012	147273750
38	Febuari 2012	150313264
39	Maret 2012	145947168
40	April 2012	144912812
41	Mei 2012	149560600
42	Juni 2012	152449362
43	Juli 2012	153469968
44	Agustus 2012	151000425
45	September2012	144972592

Sumber: PT. PLN Distribusi Jawa Timur Area Malang.

Lampiran 2. Hasil Output untuk Model Logistik Harvey dengan Software Spss Regression

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	t[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: y1

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.103[a]	.011	-.013	1.73459	1.748

a. Predictors: (Constant), t

b. Dependent Variable: y1

Lampiran 2. Lanjutan

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.352	1	1.352	.449	.506[a]
	Residual	126.370	42	3.009		
	Total	127.721	43			

a. Predictors: (Constant), t

b. Dependent Variable: y1

Keterangan:

y1 = $ln\left(\frac{y_t}{Y_{t-1}^2}\right)$

t = waktu

Lampiran 2. Lanjutan

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients B	Unstandardized Coefficients Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.
1	(Constant)	-22.695	.550		-41.258	.000
	T	-.014	.021	-.103	-.670	.506

a. Dependent Variable: y1

Keterangan:

$y1 = ln\left(\frac{y_t}{Y_{t-1}^2}\right)$

t = waktu

Lampiran 2. Lanjutan

Residuals Statistics[a]

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	-23.3160	-22.7225	-23.0193	.17730	44
Residual	-4.66423	2.47190	.00000	1.71430	44
Std. Predicted Value	-1.674	1.674	.000	1.000	44
Std. Residual	-2.689	1.425	.000	.988	44

a. Dependent Variable: y1

Keterangan:

y1 = $ln\left(\frac{y_t}{Y_{t-1}^2}\right)$

Lampiran 3. Hasil Output untuk Model Harvey dengan Software Spss

Regression

Variables Entered/Removed

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	t, lnYt_1[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.331[a]	.110	.066	1.63674	1.990

a. Predictors: (Constant), t, lnYt_1

b. Dependent Variable: y2

Lampiran 3. Lanjutan

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	13.558	2	6.779	2.531	.092[a]
	Residual	109.836	41	2.679		
	Total	123.394	43			

a. Predictors: (Constant), t, lnYt_1

b. Dependent Variable: y2

Keterangan:

t = waktu

y2 = lny_t

Lampiran 3. Lanjutan

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients B	Unstandardized Coefficients Std. Error	Standardized Coefficients Beta	T	Sig.
1	(Constant)	356.348	152.576		2.336	.024
	lnYt_1	-18.367	8.198	-.760	-2.240	.031
	t	.086	.045	.654	1.929	.061

a. Dependent Variable: y2

Keterangan:

t = waktu

y2 = lny_t

Lampiran 4. Hasil Output untuk Uji Residual pada Model Logistik Harvey dengan Software Spss

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	3367599.084	1337417.866		2.518	.016
	t	41311.064	50069.140	.126	.825	.414

a. Dependent Variable: rlh2

Keterangan:

rlh2 = $|e_t|$ dari persamaan $ln\left(\frac{y_t}{Y_{t-1}^2}\right) = \delta + \gamma t + e_t$

t = waktu

Lampiran 5. Hasil Output untuk Uji Residual pada Model Harvey dengan Software Spss

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
		B	Std. Error	Beta	T	Sig.
1	(Constant)	-4.060E7	3.338E8		-.122	.904
	lnYt_1	2330875.702	1.794E7	.046	.130	.897
	T	19030.054	97852.521	.069	.194	.847

a. Dependent Variable: rh2

Keterangan:

rh2 = $|e_t|$ dari persamaan $lny_t = \O lnY_{t-1} + \theta + \gamma t + e_t$

t = waktu

Lampiran 6. Hasil Output untuk Pendugaan Parameter Pemulusan Eksponensial Ganda dengan Bantuan Software E-Views

Date: 03/16/05 Time: 16:50
Sample: 1 45
Included observations: 45
Method: Holt-Winters No Seasonal
Original Series: DATA
Forecast Series: DATASM

Parameters: Alpha		0.0900
Beta		0.1300
Sum of Squared Residuals		8.65E+14
Root Mean Squared Error		4383904.
End of Period Levels:	Mean	1.50E+08
	Trend	559280.8

Lampiran 7. Nilai error antara model yang diperoleh dengan data sebenarnya

Tahun	Bulan	Data	Logistik Harvey		Harvey		Pemulusan Eksp. Ganda	
			Nilai duga	error	Nilai duga	error	Nilai duga	error
2009	Januari	119998370					119998370	0
	Febuari	124444201	121947663.3	2496537.739	122780998	1663203.373	124444201	0
	Maret	114456053	126511463.8	-12055410.81	125998800	-11542746.94	127590974	13134920.89
	April	121796911	116180475.9	5616435.135	122332841	-535929.6535	130961536	9164624.865
	Mei	125902158	123722478.1	2179679.855	124537445	1364712.828	134290993	8388835.382
	Juni	130615770	127931112.7	2684657.327	127526796	3088973.723	137646875	7031105.429
	Juli	124755660	132769132.3	-8013472.293	131517183	-6761523.078	140091054	15335394.26
	Agustus	127495489	126692823.5	802665.5447	127038239	457249.6705	142382417	14886928.49
	September	126946561	129490545.8	-2543984.808	129164621	-2218059.779	144243977	17297416.45
	Oktober	126461552	128896977.6	-2435425.608	128915614	-2454062.343	145691966	19230414.42
	November	134258153	128370184.9	5887968.135	128763740	5494413.392	147486335	13228181.64
	Desember	130899662	136379475	-5479813.004	135094287	-4194624.624	148662176	17762513.79
2010	Januari	131064990	132888146.4	-1823156.398	132350775	-1285785.481	149539249	18474259.36
	Febuari	127992944	133030785.8	-5037841.842	132610182	-4617237.813	149844753	21851809.32

Lampiran 7. Lanjutan

Tahun	Bulan	Data	Logistik Harvey		Harvey		Pemulusan Eksp. Ganda	
			Nilai duga	error	Nilai duga	error	Nilai duga	Error
2010	Maret	124920899	129841603.6	-4920704.594	130596243	-5675344.49	149590612	24669712.71
	April	127892434	126657399.7	1235034.266	129353538	-1461103.808	149338145	21445711.36
	Mei	134362403	129687226.9	4675176.062	131029251	3333152.174	149439783	15077380.37
	Juni	135380515	136315842.9	-935327.8745	135743360	-362845.2483	149447499	14066983.68
	Juli	137892067	137336100.1	555966.877	136690647	1201419.574	149515976	11623908.59
	Agustus	135722089	139892678.9	-4170589.872	138910749	-3188659.828	149246992	13524902.82
	September	135702569	137633285	-1930715.995	137207729	-1505159.66	148842218	13139649.43
	Oktober	139273479	137586652.6	1686826.39	137325911	1947567.622	148641523	9368043.653
	November	139253645	141230433.6	-1976788.636	140371405	-1117760.264	148347498	9093853.32
	Desember	140398694	141182843.6	-784149.5677	140453306	-54612.01046	148076593	7677898.504
2011	Januari	136235818	142332486.2	-6096668.184	141523521	-5287702.926	147365578	11129759.96
	Febuari	139545903	138031321.1	1514581.942	138366527	1179376.083	146886244	7340341.18
	Maret	137749103	141403526.1	-3654423.086	141040015	-3290911.56	146202456	8453353.451
	April	137654107	139534031.6	-1879924.628	139814995	-2160887.634	145472756	7818648.741

Lampiran 7. Lanjutan

Tahun	Bulan	Data	Logistik Harvey		Harvey		Pemulusan Eksp. Ganda	
			Nilai duga	error	Nilai duga	error	Nilai duga	Error
2011	Mei	141886122	139411793.9	2474328.082	139934238	1951884.376	145098131	3212009.255
	Juni	141519035	143727584.5	-2208549.539	143310973	-1791937.54	144686605	3167569.635
	Juli	141501900	143325512.9	-1823612.868	143147516	-1645615.714	144273513	2771612.696
	Agustus	142055497	143282832	-1227335.043	143280580	-1225082.967	143914995	1859497.892
	September	131837657	143825437.9	-11987780.92	143859764	-12022107.33	142647382	10809724.97
	Oktober	147753268	133340942.7	14412325.35	139583738	8169529.841	142799785	-4953482.589
	November	146960467	149615169.2	-2654702.183	148793927	-1833460.366	142925076	-4035390.798
	Desember	130436605	148776833	-18340227.99	148212379	-17775773.82	141599157	11162552.31
2012	Januari	147273750	131847586	15426164	142636405	4637345.014	141777312	-5496437.685
	Febuari	150313264	149047501.4	1265762.567	148703586	1609678.134	142277298	-8035966.054
	Maret	145947168	152135298.3	-6188130.336	151384004	-5436836.476	142433357	-3513810.967
	April	144912812	147641011.1	-2728199.055	147952384	-3039571.916	142523390	-2389421.65
	Mei	149560600	146559515	3001085.031	147403068	2157531.512	143051578	-6509022.177
	Juni	152449362	151290241	1159120.984	151080357	1369004.777	143868373	-8580989.438

Lampiran 7. Lanjutan

Tahun	Bulan	Data	Logistik Harvey		Harvey		Pemulusan Eksp. Ganda	
			Nilai duga	error	Nilai duga	error	Nilai duga	Error
2012	Juli	153469968	154221480.2	-751512.1656	153614891	-144922.589	144803908	-8666060.109
	Agustus	151000425	155240925.5	-4240500.494	154593663	-3593238.19	145534379	-5466045.926
	September	144972592	152691012.1	-7718420.093	152650097	-7677505.141	145720556	747963.6175