

**PERAMALAN POLUSI UDARA OLEH KARBON MONOKSIDA
(CO) DI KOTA PEKANBARU DENGAN MENGGUNAKAN
MODEL *VECTOR AUTOREGRESSIVE* (VAR)**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada Jurusan Matematika

Oleh

TRI HERLINDA

10954006727



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU
2013**

**PERAMALAN POLUSI UDARA OLEH KARBON MONOKSIDA
(CO) DI KOTA PEKANBARU DENGAN MENGGUNAKAN
MODEL *VECTOR AUTOREGRESSIVE* (VAR)**

TRI HERLINDA
10954006727

Tanggal Sidang : 13 Desember 2013
Periode Wisuda : Maret 2014

Jurusan Matematika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. HR. Soebrantras No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Polusi udara oleh karbon monoksida (CO) dipengaruhi oleh beberapa variabel yaitu unsur meteorologi seperti curah hujan, radiasi matahari dan suhu udara. Dengan banyaknya variabel maka digunakan model *Vector Autoregressive* (VAR). Karena VAR merupakan salah satu analisis *time series* multivariat dan berguna untuk melihat keterkaitan hubungan antar variabel. Tujuan penulisan skripsi ini yaitu menentukan peramalan polusi udara oleh CO di kota Pekanbaru dengan menggunakan data bulan Januari 2008 sampai bulan Desember 2012. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa model VAR(1) adalah model yang sesuai untuk peramalan CO di kota Pekanbaru. Berdasarkan model VAR(1) yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa unsur meteorologi yaitu curah hujan, radiasi matahari dan suhu udara memiliki hubungan yang searah terhadap CO.

Katakunci: *Karbon monoksida, model VAR*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan taufik serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini tepat pada waktunya dengan judul “**Peramalan Polusi Udara oleh Karbon Monoksida (CO) di Kota Pekanbaru dengan Menggunakan Model *Vector Autoregressive* (VAR)**”. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat kelulusan tingkat sarjana. Selanjutnya limpahan shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, pembawa petunjuk bagi seluruh umat manusia.

Selanjutnya dalam penyusunan dan penyelesaian tugas akhir ini penulis tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, baik langsung maupun tidak langsung. Untuk itu sudah sepantasnya penulis mengucapkan terimakasih yang tak terhingga kepada kedua orang tua tercinta, Bapak dan Ibu yang tidak pernah lelah dan tiada henti melimpahkan kasih sayang, perhatian, motivasi yang membuat penulis mampu untuk terus melangkah serta materi yang tidak mungkin mampu terbalas. Semoga Allah SWT selalu merahmati Bapak dan Ibu, memberikan kebahagiaan dunia dan akhirat, Amin. Ucapan terima kasih selanjutnya kepada:

1. Bapak Prof. DR. H. M. Nazir selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
2. Ibu Dra. Yenita Morena, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Ibu Sri Basriati, M.Sc selaku Ketua Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
4. Ibu Ari Pani Desvina, M.Sc selaku Pembimbing yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing penulis, memberikan nasehat-nasehat serta saran-saran yang membuat penulis semangat hingga skripsi ini mampu diselesaikan tepat pada waktunya.
5. Bapak dan Ibu Dosen di lingkungan FST UIN SUSKA Riau, khususnya di Jurusan Matematika yang telah banyak membantu penulis dalam berbagai hal.
6. Ibu Rahmadeni, M.Si dan Ibu Sri Basriati, M.Sc selaku Penguji yang telah memberikan kritikan dan saran sehingga tugas akhir ini dapat selesai.
7. Teman-teman Jurusan Matematika khususnya angkatan 2009 (Darmi, Ipan, Ifat, Mirna, Helma, Desi, Anti dan teman yang lainnya) yang selalu memberi semangat.

Akhirnya dalam penyusunan dan penulisan tugas akhir ini penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk menghindari kesalahan. Tetapi penulis manusia adalah tempat salah dan silaf sesuai dengan pepatah tak ada gading yang tak retak. Penulis mengharapkan kepada pembaca tugas akhir ini agar memberikan saran dan kritik. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat. Amin

Pekanbaru, 13 Desember 2013

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN.....	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR SIMBOL	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah.....	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-2
1.3 Batasan Masalah.....	I-2
1.4 Tujuan Penelitian	I-3
1.5 Manfaat Penelitian	I-3
1.6 Sistematika Penulisan.....	I-3
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Karbon Monoksida.....	II-1
2.2 Curah Hujan	II-1
2.3 Radiasi Matahari	II-2
2.4 Suhu Udara.....	II-2
2.5 Data Runtun Waktu.....	II-3

2.6 Fungsi Autokorelasi (ACF) dan Parsial Autokorelasi (PACF)	II-
5	
2.7 <i>Vector Autoregressive</i> (VAR)	II-6
2.7.1 Uji Stasioneritas Data	II-7
2.7.2 Menentukan <i>Lag</i> VAR	II-9
2.7.3 Uji Kausalitas Granger	II-10
2.7.4 Estimasi Parameter	II-11
2.7.5 Verifikasi Model.....	II-14
2.7.6 Peramalan	II-16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Jenis dan Sumber Data	III-1
3.2 Metode Analisis Data	III-1
BAB IV PEMBAHASAN	
4.1 Deskriptif Rata-rata Jumlah Karbon Monoksida, Curah Hujan, Radiasi Matahari dan Suhu Udara Kota Pekanbaru	IV-1
4.2 Pembentukan Model Peramalan Karbon Monoksida Kota Pekanbaru	IV-3
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran.....	V-1
DAFTAR PUSTAKA	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ekonomi kota yang tumbuh dan berkembang menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kualitas udara perkotaan. Kebutuhan transportasi dan energi meningkat dengan bertambahnya penduduk dan pendapatan masyarakat. Peningkatan konsumsi energi ini meningkatkan pencemaran udara sehingga menimbulkan kerugian ekonomi dan meningkatnya biaya kesehatan. Kegiatan pembangunan yang bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat akan berbahaya jika merusak kualitas lingkungan khususnya udara semakin kotor dan tidak sehat (Mutiara Siadari, 2008).

Pencemaran udara cenderung semakin meningkat dari tahun ke tahun dan merupakan salah satu masalah serius yang dihadapi oleh negara berkembang seperti halnya Indonesia. Pencemaran udara disebabkan oleh adanya gas buang kendaraan bermotor, kegiatan industri, pemukiman penduduk dan karena sampah. Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan beberapa kebijakan dalam upaya pengendalian pencemaran udara yang dimaksudkan untuk menekan beban pencemaran udara baik dari sumber bergerak, tidak bergerak maupun akibat asap dari kebakaran hutan dan lahan. Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara mengatur bahan pencemar yang perlu dipantau yaitu sulfur dioksida (SO₂), karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), partikulat matter 10 (PM₁₀) dan timah hitam.

Karbon Monoksida (CO) merupakan salah satu unsur pencemar udara yang banyak terdapat di daerah perkotaan, karena daerah perkotaan banyak kegiatan industri dan lalu lintas yang padat. Karbon monoksida adalah gas yang beracun dan keracunan karbon monoksida adalah jenis yang paling berbahaya untuk kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan. Penurunan kadar CO yang berhasil tergantung pada pengendalian emisi otomatis seperti pengubah katalis, yang mengubah sebagian besar karbon monoksida menjadi karbon dioksida pada kendaraan bermotor. Unsur meteorologi yang termasuk curah hujan, radiasi

matahari dan suhu udara memiliki hubungan yang dinamis terhadap konsentrasi CO. Oleh karena itu perlu dilakukan studi untuk mengetahui model prediksi tingkat pencemaran udara oleh CO dimasa mendatang.

Penelitian yang terkait menggunakan metode VAR diantaranya adalah Asih (2008) meramalkan harga saham PT. Indofood Sukses Makmur Indonesia Tbk menggunakan metode VAR. Xiao Han Cai (2008) menggunakan analisis VAR untuk meramalkan data runtun waktu pencemaran udara oleh CO di California. Hidayatullah (2011) meramalkan pengaruh harga migas terhadap indeks harga konsumen (IHK) menggunakan model analisis VAR. Ratnawati (2012) meramalkan curah hujan di kota Pekanbaru menggunakan model VAR. Setiawan (2012) menggunakan pendekatan VAR untuk pemodelan indeks harga saham gabungan (ISHG). Berdasarkan hal tersebut, maka penulis tertarik mengajukan judul: **“Peramalan Polusi Udara oleh Karbon Monoksida (CO) di Kota Pekanbaru dengan Model *Vector Autoregressive* (VAR)”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu bagaimana menentukan model VAR untuk polusi udara oleh CO di Kota Pekanbaru.

1.3 Batasan Masalah

Mencegah meluasnya permasalahan yang ada dan agar lebih terarah, maka dilakukan pembatasan yaitu:

1. Data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data dengan parameter CO, curah hujan, radiasi matahari dan suhu udara.
2. Metode yang digunakan dalam pembahasan tugas akhir ini penulis membahas tentang pengolahan data menggunakan model VAR untuk menentukan hasil peramalan polusi udara oleh CO di kota Pekanbaru.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini yaitu membentuk suatu model VAR untuk data polusi udara oleh CO di Kota Pekanbaru serta menentukan polusi udara oleh CO di kota Pekanbaru untuk waktu yang akan datang.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini adalah:

1. Bagi Penulis

Mengaplikasikan model VAR dalam kasus nyata yaitu untuk peramalan polusi CO di Kota Pekanbaru.

2. Bagi Lembaga Pendidikan

Sebagai sarana informasi bagi pembaca dan sebagai bahan referensi bagi pihak yang membutuhkan.

3. Bagi BLH Kota Pekanbaru

Memberikan informasi mengenai model peramalan yang sesuai untuk peramalan polusi udara oleh CO di Kota Pekanbaru, sehingga memudahkan dalam menentukan kebijakan, proses pengambilan keputusan dan membuat rencana masa depan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika dalam penulisan tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab yaitu:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II Landasan Teori

Bab ini menjelaskan tentang landasan teori yang digunakan, yaitu definisi polutan CO, curah hujan, radiasi matahari dan suhu udara serta pembentukan model VAR.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini berisikan mengenai langkah-langkah untuk menentukan model VAR dari polusi udara oleh CO.

BAB IV Analisa dan Pembahasan

Bab ini berisikan hasil yang diperoleh dalam pembentukan model polusi udara oleh CO berdasarkan analisis model VAR.

BAB V Penutup

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Karbon Monoksida

Karbon monoksida adalah suatu gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan juga tidak berasa (Moestikahadi Soedomo, 2001). Gas CO sebagian besar berasal dari pembakaran bahan fosil, berupa gas buangan. Penyebaran gas CO di udara tergantung pada keadaan lingkungan. Untuk daerah perkotaan yang banyak kegiatan industrinya dan lalulintasnya padat, udaranya sudah tercemar oleh gas CO, sedangkan di daerah pedesaan pencemaran CO di udara relatif sedikit. Ternyata tanah yang masih terbuka dimana belum ada bangunan di atasnya dapat membantu penyerapan gas CO. Hal ini disebabkan mikroorganisme yang ada didalam tanah mampu menyerap gas CO yang terdapat di udara. Angin dapat mengurangi konsentrasi gas CO pada suatu tempat, karena dipindahkan ketempat lain.

Oleh karena itu strategi penurunan kadar CO yang berhasil tergantung pada pengendalian emisi otomatis seperti pengubah katalis, yang mengubah sebagian besar CO menjadi CO₂. Dengan demikian secara nyata telah menurunkan emisi dan kadar konsentrasi CO yang menyelimuti kota-kota diseluruh dunia industri.

2.2 Curah Hujan

Endapan (presipitasi) didefinisikan sebagai bentuk cair (air) dan padat (es) yang jatuh ke permukaan bumi. Meskipun kabut, embun dan embun beku dapat berperan dalam alih kebasahan dari atmosfer ke permukaan bumi. Unsur tersebut tidak ditinjau sebagai endapan. Bentuk endapan adalah hujan, gerimis dan salju. Hujan adalah bentuk endapan yang sering dijumpai, sedangkan di Indonesia yang dimaksud dengan endapan adalah curah hujan. Curah hujan merupakan ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap dan tidak mengalir (Handoko, 1993).

Curah hujan merupakan unsur yang sangat penting bagi kehidupan di bumi. Jumlah curah hujan dicatat dalam inci (milimeter). Jumlah curah hujan 1 mm

yaitu menunjukkan tinggi air hujan yang menutupi permukaan 1 meter, jika air tersebut tidak meresap ke dalam tanah dan menguap di atmosfer. Alat untuk mengukur curah hujan adalah ombrometer.

2.3 Radiasi Matahari

Radiasi matahari merupakan pancaran energi yang berasal dari proses thermonuklir yang terjadi di matahari. Energi matahari merupakan sumber energi bagi seluruh kehidupan (Rafi'I S, 1995). Matahari merupakan kendali iklim yang sangat penting dan sebagai sumber energi utama di bumi yang menggerakkan udara dan arus laut. Diameter matahari $1,42 \times 10^6$ km dan suhu permukaan $\pm 6000^\circ$ k.

Energi matahari diradiasikan kesegala arah, sebagian besar dari energi tersebut hilang kealam semesta dan hanya sebagian kecil saja yang diterima bumi. Energi matahari yang jatuh pada permukaan bumi terbentuk gelombang elektromagnetik yang menjalar dengan kecepatan cahaya. Panjang gelombang radiasi matahari sangat pendek dan biasanya dinyatakan dalam micron ($1 \mu\text{m} 10^6$). Matahari yang jatuh biasanya diukur dengan alat perekam penyinaran matahari yaitu Campbell Stokes.

2.4 Suhu Udara

Suhu udara merupakan ukuran energi kinetik rata-rata dari pergerakan molekul-molekul atau keadaan panas dinginnya udara (Rafi'i S, 1995). Alat pengukur suhu disebut termometer. Skala yang sering dipakai dalam pengukuran suhu udara adalah skala Fahrenheit yang dipakai di Negara Inggris dan skala Celcius atau skala perseratusan yang dipakai oleh sebagian besar negara di dunia. Suhu udara berubah-ubah sesuai dengan tempat dan waktu. Pada umumnya suhu maksimum terjadi sesudah tengah hari, biasanya antara jam 12.00 dan 14.00 serta suhu minimum terjadi pada jam 06.00 atau sekitar matahari terbit.

Suhu udara harian rata-rata didefinisikan sebagai rata-rata pengamatan selama 24 jam (1 hari) yang dilakukan tiap jam. Suhu bulanan rata-rata ialah jumlah dari suhu harian rata-rata dalam satu bulan dibagi dengan jumlah hari

dalam bulan tersebut. Suhu tahunan rata-rata dihitung dari jumlah suhu bulanan rata-rata dibagi 12.

2.5 Data Runtun Waktu (*Time Series*)

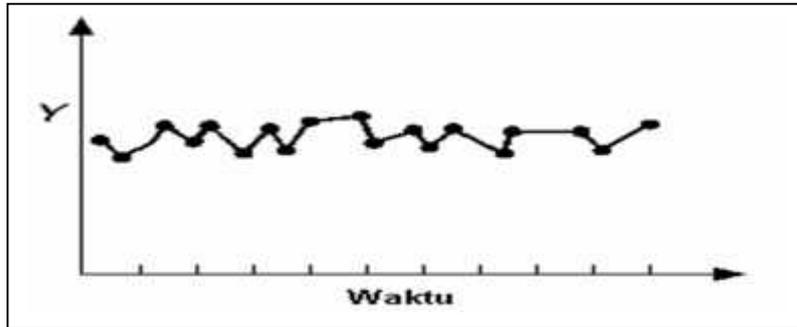
Deret waktu (*time series*) merupakan data yang disusun berdasarkan urutan waktu, seperti data harian, mingguan atau tahunan (R Ajjija S dkk, 2011). Analisis deret waktu adalah analisis dari serangkaian data pengamatan yang terjadi berdasarkan indeks waktu secara berurutan dengan interval waktu tetap dan salah satu prosedur statistika yang diterapkan untuk meramalkan keadaan yang terjadi dimasa yang akan datang dalam rangka pengambilan keputusan.

Berdasarkan sejarah nilai observasinya, runtun waktu dibedakan menjadi dua yaitu runtun waktu deterministik dan runtun waktu stokastik. Runtun waktu deterministik adalah runtun waktu yang nilai observasinya yang akan datang dapat diramalkan secara pasti berdasarkan observasi lampau. Sedangkan runtun waktu stokastik adalah runtun waktu dengan nilai observasi yang akan datang bersifat probabilistik, berdasarkan observasi yang lampau. Model ekonometrika yang sering digunakan dalam analisis kebijakan makroekonomi dinamik dan stokastik adalah model VAR.

Gerakan atau variasi data berkala terdiri dari empat komponen yaitu sebagai berikut:

1. Pola Horizontal

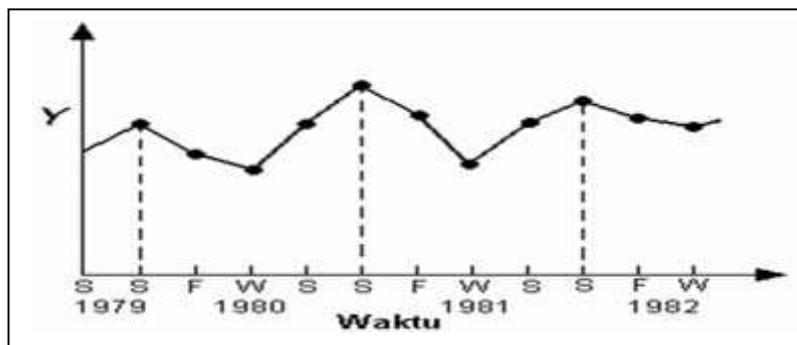
Pola ini disebut dengan pola data yang stasioner, terjadi jika data berfluktuasi disekitar nilai rata-rata dan varian yang konstan. Contoh grafiknya dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.1 Pola Data Horizontal (Stasioner)

2. Pola Musiman (S)

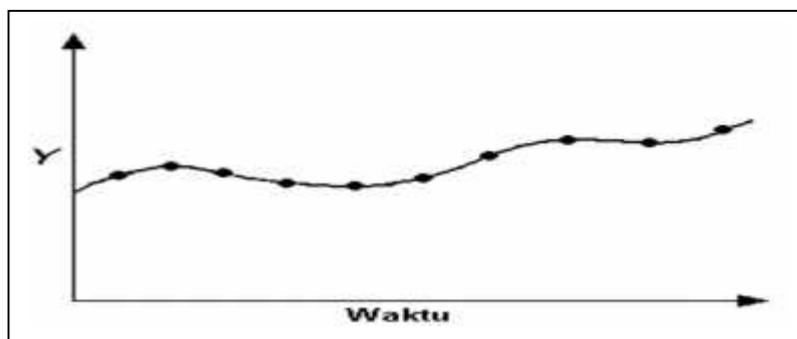
Pola musiman terjadi jika suatu deret dipengaruhi oleh faktor musiman (misalnya kuartal tahunan, bulanan atau hari-hari pada minggu tertentu). Contoh grafiknya dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.2 Pola Data Musiman

3. Pola Siklis (C)

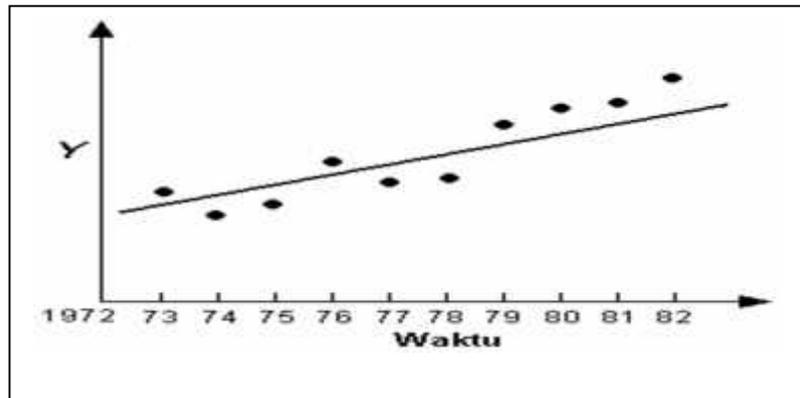
Pola siklik terjadi bila datanya dipengaruhi oleh fluktuasi ekonomi jangka panjang seperti yang berhubungan dengan siklus bisnis. Contoh grafiknya dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.3 Pola Data Siklis

4. Pola *Trend* (T)

Pola *trend* terjadi jika terdapat kenaikan atau penurunan sekuler jangka panjang dalam data. Contoh grafiknya dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.4 Pola Data *Trend*

2.6 Fungsi Autokorelasi (ACF) dan Parsial Autokorelasi (PACF)

Fungsi autokorelasi (ACF) adalah fungsi yang menunjukkan besarnya korelasi antara pengamatan pada waktu ke- t dengan pengamatan pada waktu-waktu sebelumnya (Abraham, 1983).

Fungsi autokorelasi dibentuk dengan himpunan $\{\rho_k; k = 0, 1, \dots\}$ dengan $\rho_0 = 1$. Autokorelasi pada lag k didefinisikan sebagai berikut:

$$\rho_k = \frac{\text{cov}(z_t, z_{t-1})}{[\text{var}(z_t), \text{var}(z_{t-1})]^{\frac{1}{2}}} = \frac{Y_k}{Y_0} \quad (2.1)$$

Nilai ACF untuk sampel:

$$\hat{\rho}_k = r_k = \frac{\hat{Y}_k}{\hat{Y}_0} = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (z_t - \bar{z})(z_{t+1} - \bar{z})}{\sum_{t=1}^n (z_t - \bar{z})^2} \quad (2.2)$$

dengan:

$\hat{\rho}_k$ = koefisien autokorelasi lag ke k , dimana $k = 0, 1, 2, \dots, k$

n = jumlah data

z_t = nilai z orde ke t

\bar{z} = nilai rata-rata

Selain fungsi autokorelasi juga diperlukan fungsi autokorelasi parsial untuk analisa runtun waktu. Fungsi parsial autokorelasi adalah fungsi yang menunjukkan besarnya korelasi parsial antara pengamatan pada waktu ke- t dengan pengamatan pada waktu-waktu sebelumnya (Abraham, 1983), yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\gamma_{kk} = \frac{\gamma_k - \sum_{j=1}^{k-1} \gamma_{k-1,j} \gamma_{k-j}}{1 - \sum_{j=1}^{k-1} \gamma_{k-1,j} \gamma_j} \quad (2.3)$$

dengan

$$\gamma_k = \gamma_{k-1,j} - \gamma_{kk} \gamma_{k-1,k-j} \text{ untuk } j = 1, 2, \dots, k-1$$

2.7 Vector Autoregressive (VAR)

Model VAR adalah suatu sistem persamaan yang memperlihatkan setiap variabel sebagai fungsi linear dari konstanta dan nilai *lag* dari variabel itu sendiri serta nilai *lag* dari variabel yang ada dalam sistem. Secara umum model VAR *lag* p untuk n peubah dapat diformulasikan sebagai berikut (R Ajijja S dkk, 2011):

$$Y_t = A_0 + A_1 Y_{t-1} + A_2 Y_{t-2} + A_3 Y_{t-3} + \dots + A_p Y_{t-p} + \epsilon_t$$

dengan:

- Y_t, Y_{t-1} = vektor berukuran $n \times n$ yang berisi n peubah yang masuk dalam model VAR pada waktu t dan $t-1$, $i = 1, 2, \dots, p$
- A_0 = vektor intersep berukuran $n \times 1$
- A_i = matriks koefisien berukuran $n \times n$ untuk setiap $i = 1, 2, \dots, p$
- ϵ_t = vektor sisaan berukuran $n \times 1$ yaitu $(\epsilon_{1t}, \epsilon_{2t}, \dots, \epsilon_{nt})^T$
- p = *lag* VAR
- t = periode amatan

Model dari VAR yang terdiri dari dua variabel dan 1 *lag* adalah :

VAR (1) :

$$Y_t = \alpha_{10} + \alpha_{11} Y_{t-1} + \alpha_{12} X_{t-1} + \epsilon_{1t} \quad (2.4)$$

$$X_t = \alpha_{20} + \alpha_{21} Y_{t-1} + \alpha_{22} X_{t-1} + \epsilon_{2t} \quad (2.5)$$

Model dari VAR(2) persamaan matematisnya yaitu:

$$Y_t = \alpha_{10} + \alpha_{11} Y_{t-1} + \alpha_{12} X_{t-1} + \alpha_{13} Y_{t-2} + \alpha_{14} X_{t-2} + \epsilon_{1t} \quad (2.6)$$

$$X_t = \alpha_{20} + \alpha_{21} Y_{t-1} + \alpha_{22} X_{t-1} + \alpha_{23} Y_{t-2} + \alpha_{24} X_{t-2} + \epsilon_{2t} \quad (2.7)$$

Persamaan (2.4) dan (2.5) dapat dibentuk kedalam matriks sehingga menjadi:

$$\begin{matrix} Y_t \\ X_t \end{matrix} = \begin{matrix} \alpha_{10} \\ \alpha_{20} \end{matrix} + \begin{matrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} \end{matrix} \begin{matrix} Y_{t-1} \\ X_{t-1} \end{matrix} + \begin{matrix} \epsilon_{1t} \\ \epsilon_{2t} \end{matrix}$$

Pada model *Vector Autoregressive* (VAR) mempunyai kelebihan yaitu metode ini sederhana tanpa harus membedakan mana variabel endogen (Y) dan variabel eksogen (X), estimasi yang digunakan sederhana dimana metode kuadrat terkecil dapat diaplikasikan pada tiap-tiap persamaan. Data *time series* harus stasioner bersama dan independensi kesalahan (*error* tidak ada autokorelasi) untuk terbentuk model VAR.

Langkah-langkah dalam data *time series* untuk membentuk suatu model VAR adalah sebagai berikut:

2.7.1 Uji Stasioneritas Data

Data deret waktu dikatakan bersifat stasioner jika data tersebut menunjukkan pola yang konstan dari waktu ke waktu. Artinya jika rata-rata, variansi dan kovariansi pada setiap *lag* adalah tetap sama pada setiap waktu (Rosadi, D, 2011). Pengujian stasioneritas dari suatu data dapat dilakukan dengan beberapa cara berikut:

1. Pendeteksian ketidakstasioneran data dalam mean (rata-rata) dapat menggunakan plot dari data dalam runtun waktu.
2. Pendeteksian ketidakstasioneran dalam variansi dapat menggunakan plot ACF/PACF
3. Uji *unit root*.

Uji *unit root* lebih menekankan pada uji statistik. Ada berbagai metode untuk melakukan uji *unit root*, diantaranya adalah:

- a. Uji *Unit Root Augmented Dickey-fuller* (ADF)

Uji ADF merupakan pengembangan versi pengujian Dickey Fuller. Persamaan uji stasioner dengan analisis ADF adalah sebagai berikut (Enders, 1995):

$$\Delta Y_t = \alpha_0 + \gamma Y_{t-1} + \beta_l \sum_{i=1}^p \Delta Y_{t-i+1} + \epsilon_t$$

dengan :

ΔY_t = bentuk dari *first difference*

Y_{t-1} = nilai variabel pada waktu ke- $t-1$

γ, β = parameter

α_0 = *intersep*

p = panjang *lag* yang digunakan dalam model

ε = *error*

Hipotesis dari uji stasioner data adalah :

H_0 : data merupakan *unit root* (data tidak stasioner)

H_1 : data tidak *unit root* (data stasioner)

Jika nilai dari $|t| >$ nilai mutlak dari nilai kritik Mackinnon, maka tolak H_0 yang berarti data tidak terdapat *unit root* (data stasioner) atau dapat juga membandingkan *p-value* dengan nilai , jikap-*value* < nilai maka tolak H_0 artinya data tersebut stasioner karena tidak mengandung *unit root*.

b. Uji *Unit Root* Phillips-Perron (PP)

Uji ini dikembangkan oleh C. B Phillips dan P. Perron. Formulasi uji Phillips-Perron adalah sebagai berikut :

$$\Delta Z_t = \alpha_0 + \alpha_1 Z_{t-1} + \varepsilon_t$$

dengan :

α_1 = parameter

ΔZ_t = bentuk dari *first difference*

Z_{t-1} = nilaivariabel pada waktu ke- $t-1$

Hipotesis dari uji stasioner data adalah :

H_0 : Data terdapat *unit root* (data tidak stasioner)

H_1 : Data tidak terdapat *unit root* (data stasioner)

Jika nilai dari $|t| >$ nilai mutlak dari nilai kritik Mackinnon, maka tolak H_0 yang berarti data tidak terdapat *unit root* (data stasioner) atau dapat juga membandingkan *p-value* dengan nilai , jikap-*value* < nilai maka tolak H_0 artinya data tersebut stasioner karena tidak mengandung *unit root*.

c. Uji *Unit Root* Kwiatkowski Phillips Schmidt Shin (KPSS)

Uji KPSS dikenalkan oleh Kwiatkowski Phillips Schmindt dapat digunakan untuk menentukan data stasioner atau nonstasioner (Zivot, E dan Wang, J, 2005). Persamaan uji stasioner KPSS adalah sebagai berikut:

$$Z_t = \alpha_0 + \varepsilon_t$$

dengan :

Z_t adalah nilai variabel pada waktu ke- t

Dengan hipotesis sebagai berikut :

H_0 : Data stasioner

H_1 : Data tidak stasioner

Jika $|t| <$ nilai mutlak dari nilai kritik Mackinnon, maka terima H_0 artinya data stasioner.

2.7.2 Menentukan *Lag* VAR

Lag digunakan untuk menentukan panjang *lag* optimal yang akan digunakan dalam analisis selanjutnya dan akan menentukan estimasi parameter untuk model VAR. *Lag* VAR dapat ditentukan dengan menggunakan *Akaike Information Criterion* (AIC), *Schwarz Information Criterion* (SIC) dan *Hannan-Quinn Information Criterion* (HQ).

Kriteria untuk menguji *lag* VAR dengan statistik AIC, SIC dan HQ adalah dengan:

$$AIC_{(p)} = \ln \quad_{(p)} + \frac{2}{T}pn^2$$

$$SIC_{(p)} = \ln \quad_{(p)} + \frac{\ln T}{T}pn^2$$

$$HQ_{(p)} = \ln \quad_{(p)} + \frac{2\ln \ln T}{T}pn^2$$

dengan :

T = jumlah pengamatan

p = *lag* dari variabel

n = banyaknya variabel

$\quad_{(p)}$ = determinan matriks varian kovarian *error*

Dalam penentuan *lag* optimal dengan menggunakan kriteria informasi tersebut, kita tentukan kriteria yang memiliki jumlah dari AIC, SIC dan HQ yang paling kecil diantara berbagai *lag* yang diajukan.

2.7.3 Uji Kausalitas Granger (*Granger Causality Test*)

Uji kausalitas Granger yaitu metode yang digunakan untuk menganalisis hubungan kausalitas antar variabel yang diamati (R. Ajijja S dkk, 2011). Adapun model persamaan kausalitas Granger adalah sebagai berikut :

1. Persamaan *unrestricted* yaitu variabel bebas yang disertakan dalam model adalah nilai *lag* dari semua variabel yang ada. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$Y_t = \sum_{i=1}^m \alpha_i Y_{t-i} + \sum_{i=1}^m \beta_i X_{t-i} + \epsilon_{1t}$$

dengan :

Y_t = nilai variabel Y pada waktu ke- t

m = banyak *lag*

α_i = koefisien dari *lag* ke- i variabel Y pada model *unrestricted*

β_i = koefisien dari *lag* ke- i variabel ke X

X_{t-i} = nilai variabel X pada *lag* ke- i , yang manat lebih besar dari i

ϵ_{1t} = *error* pada waktu ke- t

2. Persamaan *restricted* yaitu variabel bebas yang disertakan dalam model hanya nilai *lag* dari variabel tak bebas itu sendiri (variabel Y). Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$Y_t = \sum_{i=1}^m \alpha_i Y_{t-i} + \epsilon_{2t}$$

dengan :

ϵ_{2t} = *error* pada waktu ke- t

Ada atau tidaknya kausalitas dapat diuji melalui uji F_{hitung} . Persamaan untuk F_{hitung} adalah sebagai berikut :

$$F_{hitung} = n - k \frac{RSS_R - RSS_{UR}}{m(RSS_{UR})}$$

dengan :

RSS_R = nilai jumlah kuadrat *error* dalam persamaan *restricted*

RSS_{UR} = jumlah kuadrat *error* dalam persamaan *unrestricted*

n = banyak observasi

m = banyak *lag*

k = banyaknya parameter yang diestimasi didalam persamaan *unrestricted*

adapun hipotesis dalam uji kausalitas Granger adalah :

$H_0: \beta_l = 0$ (*lag* pada variabel bebas tidak mempengaruhi *lag* pada variabel bebas)

$H_0: \beta_l \neq 0$ (*lag* pada variabel bebas mempengaruhi *lag* pada variabel bebas)

Jika $F_{hitung} > F_{\alpha, n-k}$ atau probabilitas $< \alpha$ maka tolak H_0 . Uji kausalitas dapat mengetahui variabel-variabel mana yang memiliki hubungan kausalitas.

2.7.4 Estimasi Parameter

Model sementara yang diperoleh akan diestimasi parameternya menggunakan metode kuadrat terkecil (*ordinary least square*) yaitu dengan menentukan turunan fungsi terhadap parameter-parameter model dengan cara meminimumkan jumlah kuadrat kekeliruan *error* (Sembiring, 2003).

persamaan linear berganda yaitu :

$$\hat{Y}_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_n X_{in} + e_i, \quad n = 1, 2, \dots, i \quad (2.8)$$

Persamaan kuadrat *error* untuk regresi linear berganda, yaitu :

$$J = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.9)$$

Pada *time series* diganti Y_i dengan Y_t , e_i dengan e_t , maka persamaan (2.9) menjadi:

$$J = \sum_{t=1}^n e_t^2 = \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2 \quad (2.10)$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan (2.4) ke Persamaan (2.9), maka jumlah kuadrat error menjadi:

$$\begin{aligned}
 J &= \sum_{t=1}^n e_t^2 = \sum_{t=1}^n (Y_t - \alpha_{10} + \alpha_{11}Y_{t-1} + \alpha_{12}X_{t-1})^2 \\
 &= \sum_{t=1}^n (Y_t - \alpha_{10} - \alpha_{11}Y_{t-1} - \alpha_{12}X_{t-1})^2
 \end{aligned}$$

Meminimumkan kuadrat *error* berarti mencari turunan terhadap nilai α_{10} , α_{11} dan α_{12} kemudian disamakan dengan nol. Menurunkan fungsi J terhadap α_{10} , maka diperoleh :

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial J}{\partial \alpha_{10}} &= 0 \\
 \frac{\partial J}{\partial \alpha_{10}} &= \frac{\partial \sum_{t=1}^n (Y_t - \alpha_{10} - \alpha_{11}Y_{t-1} - \alpha_{12}X_{t-1})^2}{\partial \alpha_{10}} \\
 2 \sum_{t=1}^n (Y_t - \alpha_{10} - \alpha_{11}Y_{t-1} - \alpha_{12}X_{t-1}) (-1) &= 0 \\
 -2 \sum_{t=1}^n (Y_t - \alpha_{10} - \alpha_{11}Y_{t-1} - \alpha_{12}X_{t-1}) &= 0 \\
 \sum_{t=1}^n Y_t - \sum_{t=1}^n \alpha_{10} - \alpha_{11} \sum_{t=1}^n Y_{t-1} - \alpha_{12} \sum_{t=1}^n X_{t-1} &= 0 \\
 \sum_{t=1}^n Y_t - n\alpha_{10} - \alpha_{11} \sum_{t=1}^n Y_{t-1} - \alpha_{12} \sum_{t=1}^n X_{t-1} &= 0 \\
 \sum_{t=1}^n Y_t &= n\alpha_{10} + \alpha_{11} \sum_{t=1}^n Y_{t-1} + \alpha_{12} \sum_{t=1}^n X_{t-1} \tag{2.11}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya menurunkan persamaan untuk α_{11} dari fungsi J adalah :

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial J}{\partial \alpha_{11}} &= \frac{\partial \sum_{t=1}^n (Y_t - \alpha_{10} - \alpha_{11}Y_{t-1} - \alpha_{12}X_{t-1})^2}{\partial \alpha_{11}} \\
 2 \sum_{t=1}^n (Y_t - \alpha_{10} - \alpha_{11}Y_{t-1} - \alpha_{12}X_{t-1}) (-Y_{t-1}) &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -2 \sum_{t=1}^n Y_t - \alpha_{10} - \alpha_{11} Y_{t-1} - \alpha_{12} X_{t-1} (Y_{t-1}) = 0 \\
& \sum_{t=1}^n (Y_t Y_{t-1} - \alpha_{10} Y_{t-1} - \alpha_{11} Y_{t-1}^2 - \alpha_{12} X_{t-1} Y_{t-1}) = 0 \\
& \sum_{t=1}^n Y_t Y_{t-1} = \alpha_{10} \sum_{t=1}^n Y_{t-1} + \alpha_{11} \sum_{t=1}^n Y_{t-1}^2 + \alpha_{12} \sum_{t=1}^n X_{t-1} Y_{t-1} \quad (2.12)
\end{aligned}$$

dan untuk α_{12} turunan dari fungsi J adalah :

$$\begin{aligned}
\frac{\partial J}{\partial \alpha_{12}} &= \frac{\partial \sum_{t=1}^n (Y_t - \alpha_{10} - \alpha_{11} Y_{t-1} - \alpha_{12} X_{t-1})^2}{\partial \alpha_{12}} \\
2 \sum_{t=1}^n Y_t - \alpha_{10} - \alpha_{11} Y_{t-1} - \alpha_{12} X_{t-1} (-X_{t-1}) &= 0 \\
\sum_{t=1}^n Y_t - \alpha_{10} - \alpha_{11} Y_{t-1} - \alpha_{12} X_{t-1} (X_{t-1}) &= 0 \\
\sum_{t=1}^n (Y_t X_{t-1} - \alpha_{10} X_{t-1} - \alpha_{11} Y_{t-1} X_{t-1} - \alpha_{12} X_{t-1}^2) &= 0 \\
\sum_{t=1}^n Y_t X_{t-1} = \alpha_{10} \sum_{t=1}^n X_{t-1} + \alpha_{11} \sum_{t=1}^n Y_{t-1} X_{t-1} + \alpha_{12} \sum_{t=1}^n X_{t-1}^2 \quad (2.13)
\end{aligned}$$

Persamaan (2.11), (2.12) dan (2.13) dapat dibentuk matriks sehingga menjadi:

$$\begin{aligned}
& \sum_{t=1}^n Y_t \quad \sum_{t=1}^n Y_{t-1} \quad \sum_{t=1}^n X_{t-1} \\
& \sum_{t=1}^n Y_t Y_{t-1} = \sum_{t=1}^n Y_{t-1} \quad \sum_{t=1}^n Y_{t-1}^2 \quad \sum_{t=1}^n Y_{t-1} X_{t-1} \quad \begin{matrix} \alpha_{10} \\ \alpha_{11} \\ \alpha_{12} \end{matrix} \\
& \sum_{t=1}^n Y_t X_{t-1} \quad \sum_{t=1}^n X_{t-1} \quad \sum_{t=1}^n Y_{t-1} X_{t-1} \quad \sum_{t=1}^n X_{t-1}^2 \\
& \begin{matrix} \alpha_{10} \\ \alpha_{11} \\ \alpha_{12} \end{matrix} = \begin{matrix} \sum_{t=1}^n Y_{t-1} & \sum_{t=1}^n Y_{t-1}^2 & \sum_{t=1}^n Y_{t-1} X_{t-1} & \sum_{t=1}^n Y_t Y_{t-1} \\ \sum_{t=1}^n X_{t-1} & \sum_{t=1}^n Y_{t-1} X_{t-1} & \sum_{t=1}^n X_{t-1}^2 & \sum_{t=1}^n Y_t X_{t-1} \end{matrix} \quad \begin{matrix} -1 \\ -1 \\ -1 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \sum_{t=1}^n Y_t \\ \sum_{t=1}^n Y_t Y_{t-1} \\ \sum_{t=1}^n Y_t X_{t-1} \end{matrix}
\end{aligned}$$

2.7.5 Verifikasi Model

Setelah estimasi parameter model diperoleh, maka selanjutnya adalah melakukan verifikasi yaitu memeriksa apakah fungsi peramalan telah mewakili data yang ada. Dalam runtun waktu (*time series*) ada asumsi bahwa *residual* mengikuti proses *white noise* yang berarti *residual* harus independen (tidak berkorelasi). Statistik uji *Portmanteau* digunakan untuk melakukan diagnostik terhadap independensi *residual*. Adapun ujinya adalah sebagai berikut (Tita Rosita, 2011):

$$Q = T \sum_{i=1}^p \text{tr}(R_i^T R_e^{-1} R_i R_e^{-1})$$

dengan :

T = banyak pengamatan untuk *error*

R_e = matriks korelasi *error* model VAR berukuran $n \times n$

R_i = matriks korelasi *error* model VAR sampai *lag* ke p berukuran $n \times n$

P = *lag* VAR

n = banyak parameter VAR

Adapun hipotesis uji *Portmanteau* adalah:

$H_0 = r_1 = r_2 = \dots = r_p = 0$ (*error* tidak ada autokorelasi)

$H_1 = r_1 = r_2 = \dots = r_p \neq 0$ (*error* terdapat autokorelasi)

Statistik Q mengikuti sebaran *Chi-Square* dengan derajat bebas $n^2 p$. Jika nilai $Q < \chi^2_{\alpha}$ maka terima H_0 yang berarti *error* tidak ada autokorelasi atau *p-value* > nilai α (taraf signifikan 5%).

Tahap dalam verifikasi model dapat digunakan uji kenormalan *residual*. Uji kenormalan *residual* dilakukan dengan melihat histogram *residual* yang dihasilkan model. Model yang telah memenuhi asumsi kenormalan dapat digunakan untuk peramalan, dengan asumsi histogram yang dihasilkan model mengikuti pola kurva normal. Ada pun uji kenormalan *residual* dengan uji *Jarque Berra* (JB) adalah sebagai berikut:

$$JB = \frac{n}{6} S_k^2 + \frac{K - 3}{4}$$

dengan:

n = banyaknya observasi

S_k = estimasi dari kemencengan

K = estimasi dari kurtosis

$$S_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right)^{3/2}}$$

dan

$$K = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right)^2}$$

Adapun hipotesis uji *Jarque Berra* adalah:

H_0 = residual berdistribusi normal

H_1 = residual tidak berdistribusi normal

Statistik JB mengikuti distribusi *Chi-square* dengan derajat kebebasan 2. Apabila nilai *Jarque Berra* < *Chi-Square* maka terima H_0 yang menunjukkan bahwa residual berdistribusi normal atau *p-value* > nilai (taraf signifikan 5%).

Jika model yang dihasilkan lebih dari satu, untuk memilih model yang terbaik dilakukan uji *means square error* (MSE), persamaan matematis dari uji MSE dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$MSE = \frac{\sum (Z_t - \hat{Z}_t)^2}{n}$$

dengan:

Z_t adalah data pada periode t

\hat{Z}_t adalah data peramalan pada periode t

n adalah jumlah data

Model yang digunakan adalah model yang memiliki *Means Square Error* (MSE) yang terkecil.

2.7.6 Peramalan (*Forecasting*)

Peramalan adalah alat atau teknik untuk memprediksi suatu nilai pada masa yang akan datang dengan memperhatikan data atau informasi yang relevan baik data atau informasi masa lalu maupun data saat ini (Djalal N.N dkk, 2004).

Setelah melewati semua tahap dan memperoleh model maka langkah berikutnya dalam model VAR yaitu peramalan. Model VAR yang terbentuk dari data digunakan untuk melakukan peramalan yang meliputi *training* dan peramalan. Adapun tahapnya adalah sebagai berikut:

1. *Training*

Peramalan dengan menggunakan data *training* adalah peramalan dengan menggunakan unsur data aktual.

$$\begin{matrix} Y_2 \\ X_2 \end{matrix} = \begin{matrix} \alpha_{10} \\ \alpha_{20} \end{matrix} + \begin{matrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} \end{matrix} \begin{matrix} Y_1 \\ X_1 \end{matrix} + \begin{matrix} \epsilon_{1t} \\ \epsilon_{2t} \end{matrix}$$

dan seterusnya hingga data terakhir pada data *training*

2. *Testing*

$$\begin{matrix} \hat{Y}_t \\ \hat{X}_t \end{matrix} = \begin{matrix} \alpha_{10} \\ \alpha_{20} \end{matrix} + \begin{matrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} \end{matrix} \begin{matrix} \hat{Y}_{t-1} \\ \hat{X}_{t-1} \end{matrix} + \begin{matrix} \hat{\epsilon}_{1t} \\ \hat{\epsilon}_{2t} \end{matrix} \quad (2.9)$$

dengan $\hat{Y}_{t-1}, \hat{X}_{t-1}$ adalah data terakhir hasil peramalan pada data *training*.

3. Peramalan untuk waktu yang akan datang.

Tahap ini sama dengan model matematis data testing pada Persamaan (2.9), tetapi $\hat{Y}_{t-1}, \hat{X}_{t-1}$ adalah data terakhir hasil peramalan pada data *testing*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis dan Sumber Data

3.1.1 Jenis Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data runtun waktu yaitu data CO, curah hujan, radiasi matahari dan suhu udara bulan Januari 2008 sampai bulan Desember 2012.

3.1.2 Sumber Data

Sumber data yang digunakan adalah data dari Badan Lingkungan Hidup Kota Pekanbaru.

3.2 Metode Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan model *vector autoregressive* (VAR). Variabel yang digunakan terdiri dari variabel endogen yaitu CO dan variabel eksogen yaitu curah hujan, radiasi matahari serta suhu udara. Selanjutnya pengolahan data dilakukan dengan bantuan *software* statistika yaitu Eviews dan minitab. Adapun tahapan dalam analisis data dengan model VAR adalah sebagai berikut:

1. Uji Kestasioneritas Data

Langkah pertama yang dilakukan adalah melihat data stasioner atau tidak stasioner, dapat dilakukan dengan pembuatan plot data aktual, pembuatan grafik fungsi autokorelasi (ACF) dan pembuatan grafik fungsi autokorelasi parsial (PACF) dengan bantuan *software* minitab serta menggunakan uji *unit root* Augmented Dickey-fuller (ADF), Phillips-Perron (PP) dan Kwiatkowski Phillips Schmidt Shin (KPSS) dengan bantuan *software* Eviews.

2. Menentukan *Lag* Optimal

Tahapan ini yaitu menentukan panjang *lag* optimal yang digunakan untuk estimasi parameter dari model VAR. Pengujiannya menggunakan *Akaike*

Information Criterion (AIC), Schwarz Information Criterion (SIC) dan Hannan-Quinn Information Criterion(HQ).

3. Uji Kausalitas Granger

Tahapan ini dilakukan untuk menganalisis hubungan kausalitas antar variabel yang diamati.

4. Estimasi Parameter

Tahapan ini yaitu menentukan parameter dalam model dengan menggunakan metode kuadrat terkecil (*ordinary least squares*).

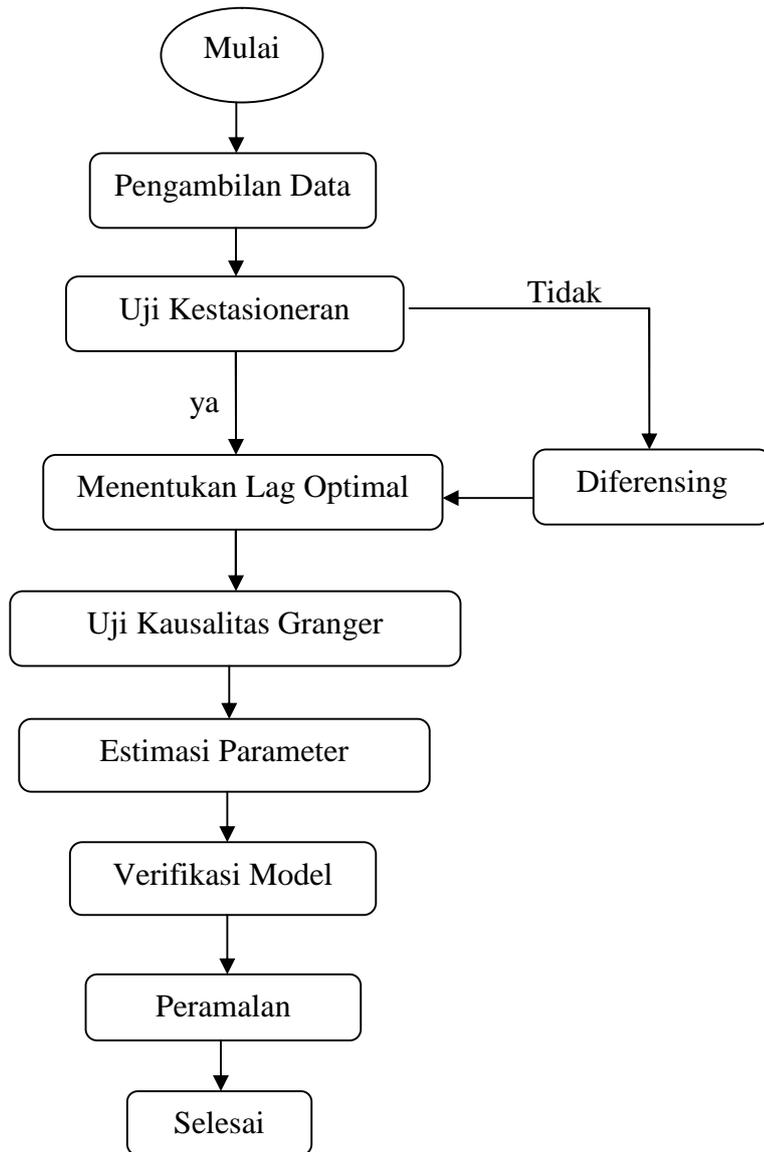
5. Verifikasi Model VAR

Tahapan ini yaitu memeriksa kelayakan model. Uji yang dilakukan adalah uji *Portmanteau* yaitu mendiagnostik independensi residual. Selanjutnya melihat kenormalan residual dengan melihat histogram residual yang dihasilkan model. Jika histogram residual telah mengikuti pola kurva normal, maka asumsi kenormalan telah terpenuhi.

6. Selanjutnya Meramalkan Periode Mendatang

Setelah didapatkan model peramalan terbaik, maka dilakukan peramalan. Dalam tahap ini terdiri dari tiga bagian, yaitu data *training*, *testing* dan peramalan.

Langkah-langkah membentuk model tersebut dapat digambarkan dengan *flowchart* sebagai berikut:

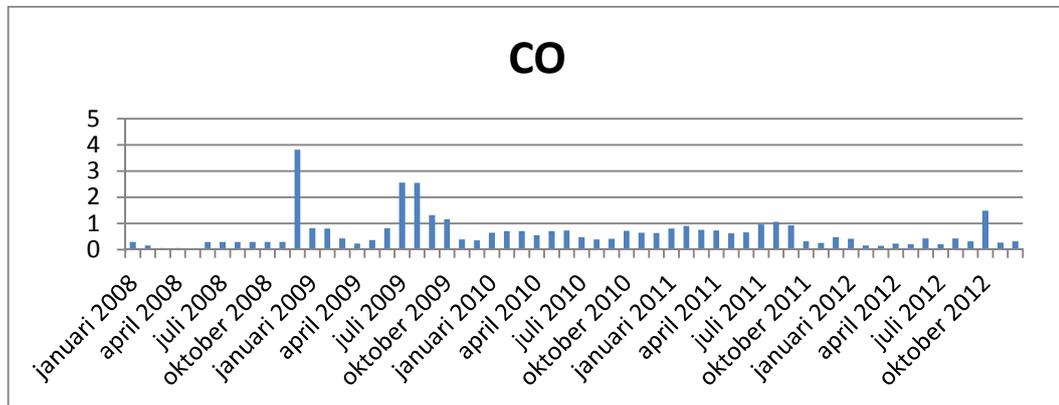


Gambar 3.1 *Flowchart* Membentuk Model Peramalan VAR

BAB IV PEMBAHASAN

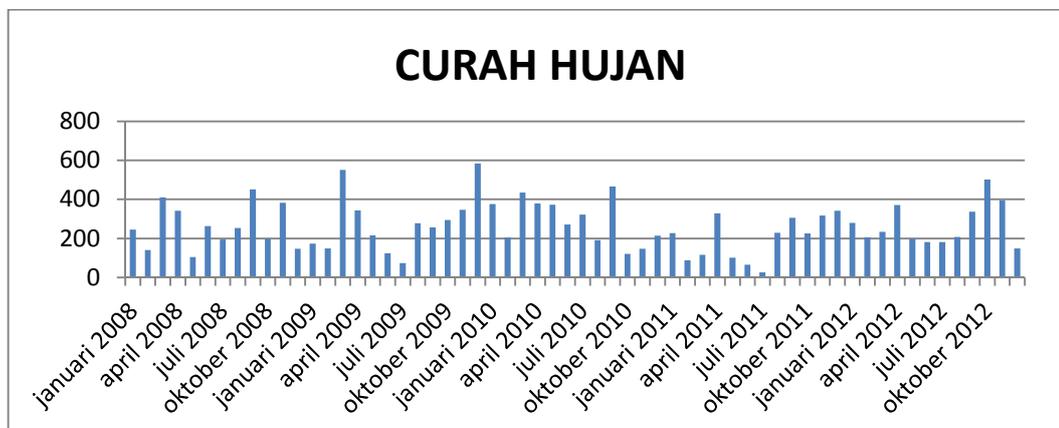
4.1 Deskriptif Jumlah Karbon Monoksida, Curah Hujan, Radiasi Matahari dan Suhu Udara Kota Pekanbaru

Karbon monoksida, curah hujan, radiasi matahari dan suhu udara kota pekanbaru pada bulan Januari 2008 sampai Desember 2012 mengalami kenaikan dan penurunan setiap bulan. Untuk lebih jelasnya jumlah CO, curah hujan, suhu udara dan radiasi matahari disajikan pada Gambar berikut:



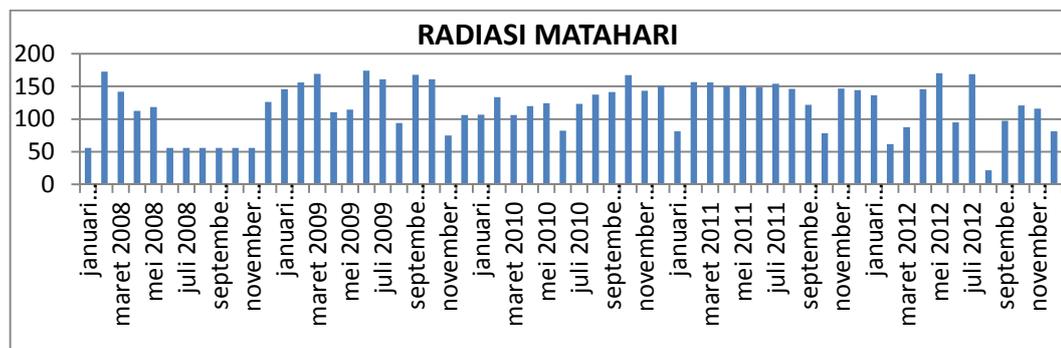
Gambar 4.1 Histogram Jumlah CO kota Pekanbaru

Berdasarkan Gambar 4.1 menunjukkan jumlah CO kota Pekanbaru sebanyak 60 bulan dihitung Januari 2008 sampai Desember 2012. Jumlah CO tertinggi terjadi pada bulan ke-12 dan terendah terjadi pada bulan ke-5.



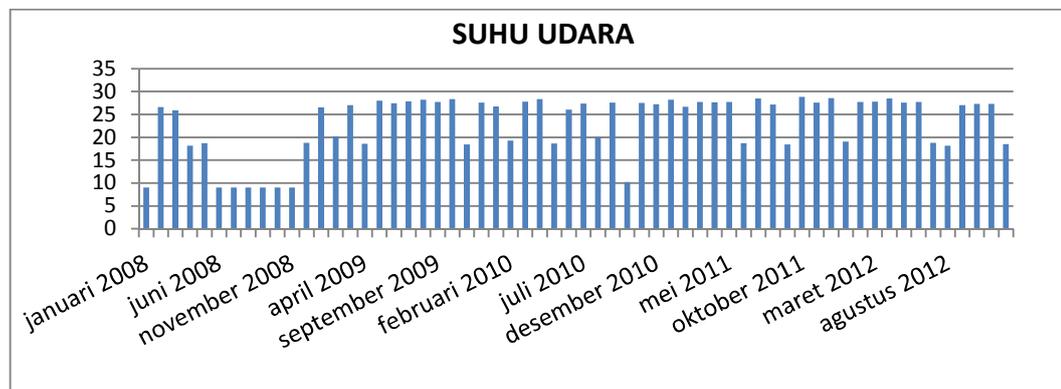
Gambar 4.2 Histogram Jumlah Curah Hujan kota Pekanbaru

Berdasarkan Gambar 4.2 menunjukkan jumlah curah hujan kota Pekanbaru sebanyak 60 bulan terhitung Januari 2008 sampai Desember 2012. Jumlah curah hujan tertinggi terjadi pada bulan ke-25 dan terendah terjadi pada bulan ke-43.



Gambar 4.3 Histogram Jumlah Radiasi Matahari kota Pekanbaru

Berdasarkan Gambar 4.3 menunjukkan jumlah radiasi matahari kota Pekanbaru sebanyak 60 bulan terhitung Januari 2008 sampai Desember 2012. Jumlah radiasi matahari tertinggi terjadi pada bulan ke-18 dan terendah terjadi pada bulan ke-56.



Gambar 4.4 Histogram Suhu Udara kota Pekanbaru

Berdasarkan Gambar 4.4 menunjukkan jumlah radiasi matahari kota Pekanbaru sebanyak 60 bulan terhitung Januari 2008 sampai Desember 2012. Jumlah suhu udara tertinggi terjadi pada bulan ke-45 dan terendah terjadi pada bulan ke-1, bulan ke-6 sampai bulan ke-12.

Tabel 4.1 Statistik Deskriptif Jumlah CO, Curah Hujan, Radiasi Matahari dan Suhu Udara Kota Pekanbaru

Variabel	N (Jumlah Data)	Mean	Minimum	Maksimum
CO	60	0.64	0.01	3.81
Curah hujan	60	255.16	26.10	584.10
Radiasi matahari	60	119.58	21.74	174
Suhu udara	60	22.93	9.02	28.85

Berdasarkan Tabel 4.1 diketahui bahwa rata-rata perbulan CO, curah hujan, radiasi matahari dan suhu udara adalah 0.64mg/m^3 , 255.16 mm , 119.58 W/m^2 dan 22.93°C . Jumlah CO tertinggi adalah 3.81mg/m^3 dan terendah adalah 0.01mg/m^3 . Jumlah curah hujan tertinggi adalah 584.10 mm dan terendah adalah 26.10mm . Jumlah radiasi matahari tertinggi adalah 174W/m^2 dan terendah 21.74W/m^2 . Jumlah suhu udara tertinggi adalah 28.85°C dan terendah 9.02°C .

4.2 Pembentukan Model Peramalan Karbon Monoksida

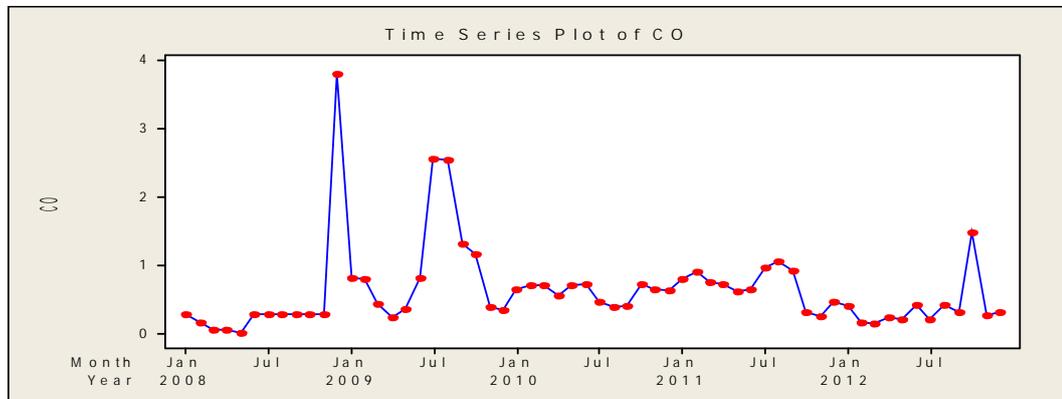
Bagian ini menjelaskan mengenai tahapan dalam pembentukan model peramalan CO dengan model VAR. Data yang digunakan untuk pembentukan model tersebut sebanyak 60 data yaitu data bulan Januari 2008 sampai Desember 2012 yang terdiri dari data CO, curah hujan, radiasi matahari dan suhu udara. Data CO, curah hujan, radiasi matahari dan suhu udara disajikan pada Lampiran A dan Gambar 4.1. Adapun tahapan dalam pembentukan model yaitu uji stasioneritas data, penentuan *lag* optimal, uji kausalitas Granger, estimasi parameter, verifikasi model dan penerapan model untuk peramalan.

Tahapan 1. Uji Kestasioneran Data

a. Karbon Monoksida

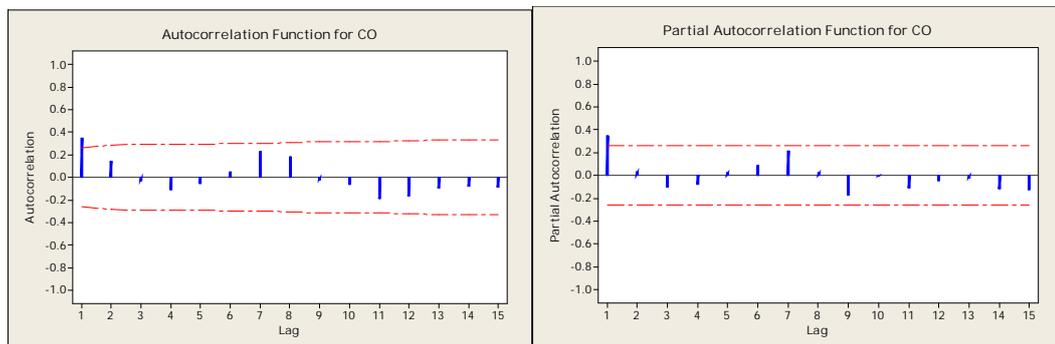
Langkah stasioner data adalah langkah untuk melihat apakah data stasioner sehingga dapat digunakan untuk pembentukan model selanjutnya. Penulis menggunakan bantuan *software* minitab dalam proses analisa agar mempermudah dalam perhitungan, maka diperoleh plot data aktual terhadap waktu pada Gambar 4.2 dan plot ACF serta PACF pada Gambar 4.3 berikut merupakan grafik data

aktual jumlah CO kota pekanbaru sebanyak 60 bulan terhitung mulai bulan Januari 2008 sampai Desember 2012 dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.2 Grafik CO Kota Pekanbaru

Berdasarkan Gambar 4.2 menunjukkan bahwa data CO memenuhi syarat kestasioneran dan rata-rata serta varians dari data CO adalah konstan sehingga data dikatakan stasioner.



Gambar 4.3 ACF dan PACF Data Aktual CO Kota Pekanbaru

Berdasarkan plot ACF dan PACF CO di kota Pekanbaru pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa data stasioner karena *lag-lag* pada plot ACF menyusut ke nol secara sinus, sedangkan untuk PACF terlihat bahwa nilainya terpotong setelah *lag* pertama.

Selain menggunakan plot data aktual dan plot ACF serta PACF untuk menentukan kestasioneran data dapat dilakukan menggunakan uji *unit root*. *Software* Eviews dapat digunakan untuk menguji kestasioneran data, karena dalam proses analisa agar mempermudah dalam perhitungan. Berikut merupakan uji *unit root* yang digunakan untuk kestasioneran data:

1. Uji *Unit Root* ADF

Adapun hipotesis uji ADF yang digunakan untuk CO kota Pekanbaru adalah sebagai berikut:

H_0 : CO kota Pekanbaru terdapat *unit root* (CO tidak stasioner)

H_1 : CO kota Pekanbaru tidak terdapat *unit root* (CO stasioner).

Berikut adalah hasil uji stasioner menggunakan uji *unit root* yang disajikan dalam tabel:

Tabel 4.2 Uji *Unit Root* ADF untuk CO

		Statistik- <i>t</i>	Prob.
<i>Augmented Dickey-Fuller</i> (ADF)		-5.251725	0.0003
Nilai Kritik Mackinnon	1%	-4.121303	
	5%	-3.487845	
	10%	-3.172314	

Berdasarkan output yang disajikan dalam Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa nilai mutlak statistik-*t* untuk uji ADF lebih besar dari nilai mutlak statistik-*t* untuk nilai kritik Mackinnon pada tingkat kepercayaan 0.05. Jadi dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tolak H_0 yang berarti data CO kota Pekanbaru tidak terdapat *unit root*. Artinya bahwa data CO kota Pekanbaru adalah stasioner.

2. Uji *Unit Root* PP

Adapun hipotesis uji PP yang digunakan untuk CO kota Pekanbaru adalah sebagai berikut:

H_0 : CO kota Pekanbaru terdapat *unit root* (CO tidak stasioner)

H_1 : CO kota Pekanbaru tidak terdapat *unit root* (CO stasioner).

Hasil uji stasioner menggunakan uji *unit root* dengan *software* Eviews yang disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.3 Uji *Unit Root* PP untuk CO

		Statistik- <i>t</i>	Prob.
<i>Phillips-Perron</i> (PP)		-5.261596	0.0003
Nilai Kritik Mackinnon	1%	-4.121303	
	5%	-3.487845	
	10%	-3.172314	

Berdasarkan output yang disajikan dalam Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa nilai mutlak statistik- t untuk uji PP mutlak statistik- t lebih besar dari nilai mutlak kritik mackinnon pada tingkat kepercayaan 0.05. Jadi dapat disimpulkan bahwa tolak H_0 yang berarti data CO kota Pekanbaru tidak terdapat *unit root*. Hal ini berarti bahwa data CO kota Pekanbaru adalah stasioner.

3. Uji *Unit Root* KPSS

Adapun hipotesis uji KPSS yang digunakan untuk CO kota Pekanbaru adalah sebagai berikut:

H_0 : CO kota Pekanbaru stasioner

H_1 : CO kota pekanbaru tidak stasioner.

Hasil uji stasioner menggunakan uji *unit root* dapat disajikan dalam tabel berikut:

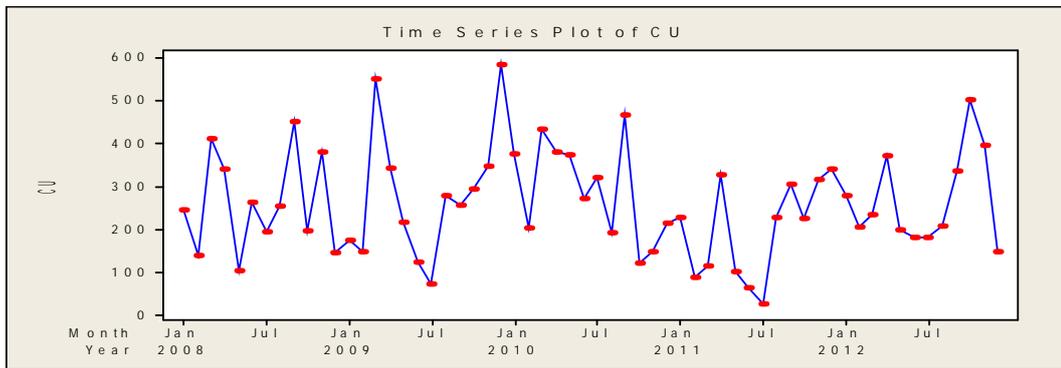
Tabel 4.4 Uji *Unit Root* KPSS untuk CO

		Statistik- t
<i>Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin</i> (KPSS)		0.127694
Nilai Kritik Mackinnon	1%	0.216000
	5%	0.146000
	10%	0.119000

Berdasarkan output yang disajikan dalam Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai mutlak statistik- t untuk uji KPSS lebih kecil dari nilai mutlak nilai kritik Mackinnon pada tingkat kepercayaan 0.05. Sehingga terima H_0 yang berarti data CO kota Pekanbaru adalah stasioner.

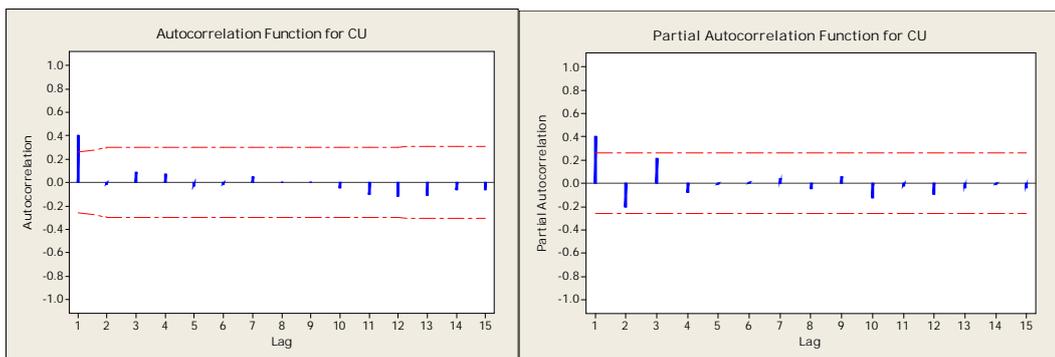
b. **Curah Hujan**

Uji kestasioneran data curah hujan kota Pekanbaru diperoleh plot data aktual terhadap waktu pada Gambar 4.4 dan plot ACF serta PACF pada Gambar 4.6. Berikut merupakan plot data aktual jumlah curah hujan kota Pekanbaru sebanyak 60 bulan terhitung mulai bulan Januari 2008 sampai Desember 2012 dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.4 Grafik Curah Hujan Kota Pekanbaru

Berdasarkan Gambar 4.4 menunjukkan bahwa data curah hujan memenuhi syarat kestasioneran dan rata-rata serta varians dari data curah hujan adalah konstan sehingga data dikatakan stasioner.



Gambar 4.5 ACF dan PACF Data Aktual Curah Hujan Kota Pekanbaru

Berdasarkan plot ACF dan PACF curah hujan Kota Pekanbaru pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa data stasioner karena *lag-lag* pada plot ACF turun secara eksponensial, sedangkan plot untuk PACF terlihat bahwa nilainya terpotong setelah *lag* pertama.

Selain menggunakan plot data aktual dan plot ACF serta PACF untuk menentukan kestasioneran data dapat dilakukan menggunakan uji *unit root*. Penulis menggunakan *software* Eviews dalam menganalisa perhitungannya. Berikut merupakan uji *unit root* yang digunakan untuk kestasioneran data:

1. Uji *Unit Root* ADF

Adapun hipotesis uji ADF yang digunakan untuk curah hujan kota Pekanbaru adalah sebagai berikut:

H_0 : Curah hujan kota Pekanbaru terdapat *unit root* (curah hujan tidak stasioner)

H_1 : Curah hujan kota Pekanbaru tidak terdapat *unit root* (curah hujan stasioner).

Tabel 4.5 Uji *Unit Root* ADF Curah Hujan

		Statistik- <i>t</i>	Prob.
<i>Augmented Dickey-Fuller</i> (ADF)		-5.042835	0.0006
Nilai Kritik Mackinnon	1%	-4.121303	
	5%	-3.487845	
	10%	-3.172314	

Berdasarkan output yang disajikan dalam Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa nilai mutlak statistik-*t* untuk uji ADF lebih besar dari nilai mutlak statistik-*t* untuk nilai kritik Mackinnon pada tingkat kepercayaan 0.05. Jadi dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tolak H_0 yang berarti data curah hujan kota Pekanbaru tidak terdapat *unit root*. Hal ini berarti bahwa data curah hujan kota Pekanbaru adalah stasioner.

2. Uji *Unit Root* PP

Adapun hipotesis uji PP yang digunakan untuk curah hujan kota Pekanbaru adalah sebagai berikut:

H_0 : Curah hujan kota Pekanbaru terdapat *unit root* (curah hujan tidak stasioner)

H_1 : Curah hujan kota pekanbaru tidak terdapat *unit root* (curah hujan stasioner).

Hasil uji stasioner dengan menggunakan uji *unit root* dapat disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.6 Uji *Unit Root* PP untuk Curah Hujan

		Statistik- <i>t</i>	Prob.
<i>Phillips-Perron</i> (PP)		-4.936462	0.0009
Nilai Kritik Mackinnon	1%	-4.121303	
	5%	-3.487845	
	10%	-3.172314	

Berdasarkan output yang disajikan dalam Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa nilai mutlak statistik- t untuk uji PP lebih besar dari nilai mutlak statistik- t untuk nilai kritik mackinnon pada tingkat kepercayaan 0.05. Jadi dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tolak H_0 yang berarti data curah hujan kota Pekanbaru tidak terdapat *unit root*. Artinya bahwa data curah hujan kota Pekanbaru adalah stasioner.

3. Uji *Unit Root* KPSS

Adapun hipotesis uji KPSS yang digunakan untuk curah hujan kota Pekanbaru adalah sebagai berikut:

H_0 : curah hujan kota Pekanbaru stasioner

H_1 : curah hujan kota Pekanbaru tidak stasioner.

Hasil uji stasioner yang digunakan dapat dilihat dalam tabel sebagai berikut:

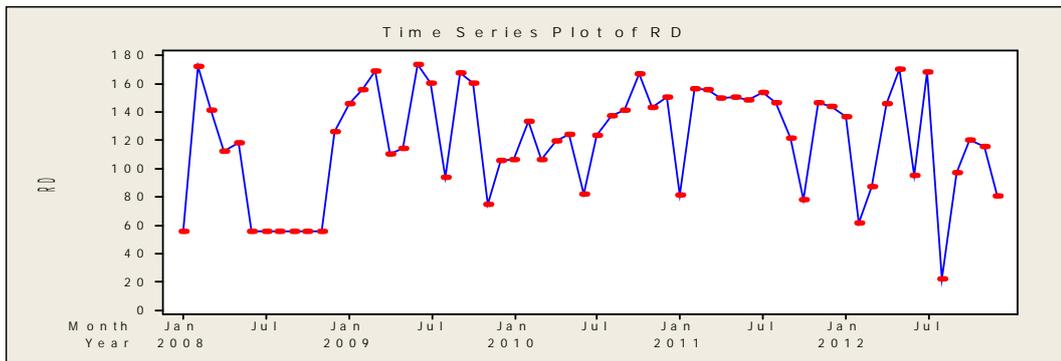
Tabel 4.7 Uji *Unit Root* KPSS untuk Curah Hujan

		Statistik- t
<i>Kwiatkowski Phillips Schmidt Shin</i> (KPSS)		0.101423
Nilai Kritik Mackinnon	1%	0.216000
	5%	0.146000
	10%	0.119000

Berdasarkan output yang disajikan Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa nilai mutlak statistik- t untuk uji KPSS lebih kecil dari nilai mutlak kritik Mackinnon pada tingkat kepercayaan 0.05. Sehingga terima H_0 yang berarti data curah hujan kota Pekanbaru adalah stasioner.

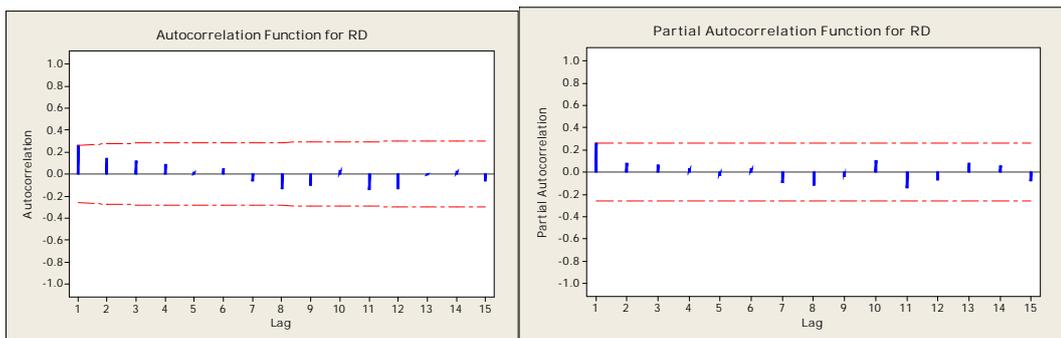
c. **Radiasi Matahari**

Uji kestasioneran data radiasi matahari kota Pekanbaru diperoleh plot data aktual terhadap waktu pada Gambar 4.6 dan plot ACF serta PACF pada Gambar 4.7. Berikut merupakan grafik data aktual jumlah radiasi matahari kota Pekanbaru sebanyak 60 bulan terhitung mulai bulan Januari 2008 sampai Desember 2012 dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.6 Grafik Radiasi Matahari Kota Pekanbaru

Berdasarkan Gambar 4.6 menunjukkan bahwa data radiasi matahari memenuhi syarat kestasioneran dan rata-rata serta varians dari data radiasi matahari adalah konstan sehingga data dikatakan stasioner.



Gambar 4.7 ACF dan PACF Data Aktual Radiasi Matahari Kota Pekanbaru

Berdasarkan plot ACF dan PACF radiasi matahari kota Pekanbaru pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa data stasioner karena *lag-lag* pada plot ACF menyusut ke nol secara sinus, sedangkan plot PACF terlihat bahwa nilainya menyusut ke nol secara sinus.

Selain menggunakan plot data aktual dan plot ACF serta PACF untuk menentukan kestasioneran data dapat dilakukan menggunakan uji *unit root*. Berikut merupakan uji *unit root* yang digunakan untuk kestasioneran data:

1. Uji *Unit Root* ADF

Adapun hipotesis uji ADF yang digunakan untuk radiasi matahari kota Pekanbaru adalah sebagai berikut:

H_0 : Radiasi matahari kota Pekanbaru terdapat *unit root* (radiasi matahari tidak stasioner)

H_1 : Radiasi matahari kota Pekanbaru tidak terdapat *unit root* (suhu udara stasioner).

Hasil uji stasioner menggunakan uji *unit root* dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 4.8 Uji *Unit Root* ADF untuk Radiasi Matahari

		Statistik- <i>t</i>	Prob.
<i>Augmented Dickey-Fuller</i> (ADF)		-5.768054	0.0001
Nilai Kritik Mackinnon	1%	-4.121303	
	5%	-3.487845	
	10%	-3.172314	

Berdasarkan output yang disajikan dalam Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa nilai mutlak statistik-*t* untuk uji ADF lebih besar dari nilai mutlak statistik-*t* untuk nilai kritik Mackinnon pada tingkat kepercayaan 0.05. Jadi dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tolak H_0 yang berarti data radiasi matahari kota Pekanbaru tidak terdapat *unit root*. Artinya bahwa data radiasi kota Pekanbaru adalah stasioner.

2. Uji *Unit Root* PP

Adapun hipotesis uji PP yang digunakan untuk radiasi matahari kota Pekanbaru adalah sebagai berikut:

H_0 : Radiasi matahari kota Pekanbaru terdapat *unit root* (radiasi matahari tidak stasioner)

H_1 : Radiasi matahari kota Pekanbaru tidak terdapat *unit root* (radiasi matahari stasioner).

Hasil uji stasioner menggunakan uji *unit root* dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 4.9 Uji *Unit Root* PP untuk Radiasi Matahari

		Statistik- <i>t</i>	Prob.
<i>Phillips-Perron</i> (PP)		-5.842717	0.0000
Nilai Kritik Mackinnon	1%	-4.121303	
	5%	-3.487845	
	10%	-3.172314	

Berdasarkan output yang disajikan dalam Tabel 4.9 dapat dilihat bahwa nilai mutlak statistik-t untuk uji PP lebih besar dari nilai mutlak statistik-t untuk nilai kritik mackinnon pada tingkat kepercayaan 0.05. Jadi dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tolak H_0 yang berarti data radiasi matahari kota Pekanbaru tidak terdapat *unit root*. Artinya bahwa data radiasi kota Pekanbaru adalah stasioner.

3. Uji *Unit Root* KPSS

Adapun hipotesis uji KPSS yang digunakan untuk radiasi matahari kota Pekanbaru adalah sebagai berikut:

H_0 : Radiasi matahari kota Pekanbaru stasioner

H_1 : Radiasi matahari kota Pekanbaru tidak stasioner.

Hasil uji stasioner yang digunakan dapat dilihat dalam tabel sebagai berikut:

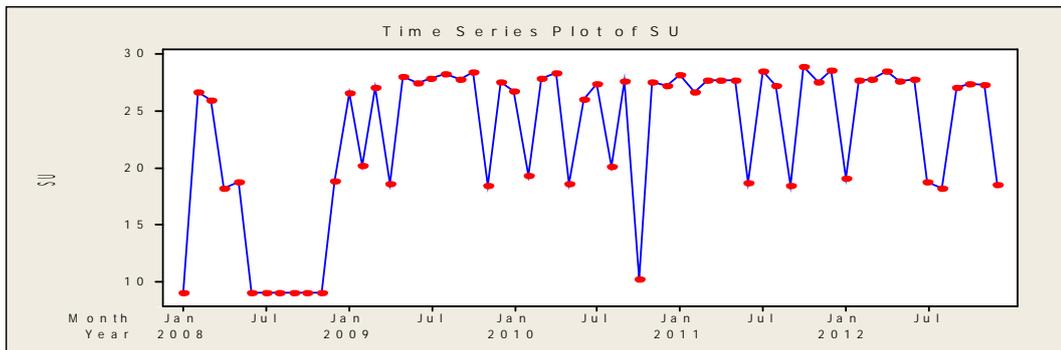
Tabel 4.10 Uji *Unit Root* KPSS untuk Radiasi Matahari

		Statistik-t
<i>Kwiatkowski Phillips Schmidt Shin</i> (KPSS)		0.135896
Nilai Kritik Mackinnon	1%	0.216000
	5%	0.146000
	10%	0.119000

Berdasarkan output yang disajikan Tabel 4.10 dapat dilihat bahwa nilai mutlak statistik-t untuk uji KPSS lebih kecil dari nilai mutlak kritik Mackinnon pada tingkat kepercayaan 0.05. Sehingga terima H_0 yang berarti data radiasi matahari kota Pekanbaru adalah stasioner.

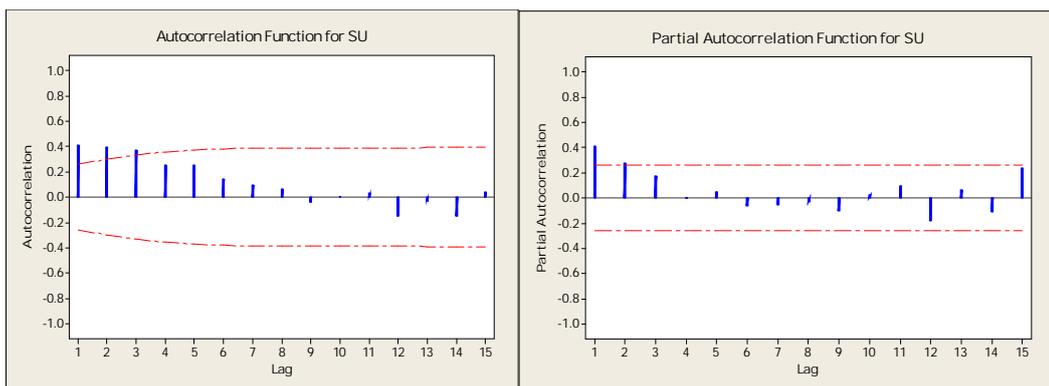
d. Suhu Udara

Selanjutnya dilakukan uji kestasioneran data terhadap suhu udara. Maka diperoleh plot data aktual terhadap waktu pada Gambar 4.8 dan ACF serta PACF pada Gambar 4.9. Berikut merupakan grafik data aktual jumlah suhu udara kota Pekanbaru sebanyak 60 bulan terhitung mulai bulan Januari 2008 sampai Desember 2012 dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.8 Grafik Suhu Udara Kota Pekanbaru

Berdasarkan Gambar 4.8 menunjukkan bahwa data suhu udara memenuhi syarat kestasioneran data dan rata-rata serta varians dari data suhu udara adalah konstan sehingga data dikatakan stasioner.



Gambar 4.9 ACF dan PACF Data Aktual Suhu Udara Kota Pekanbaru

Berdasarkan plot ACF dan PACF suhu udara Kota Pekanbaru pada Gambar 4.9 menunjukkan bahwa data stasioner karena *lag-lag* pada plot ACF menyusut ke nol secara sinus, sedangkan plot untuk PACF terlihat bahwa nilainya terpotong pada *lag* pertama.

Selain menggunakan plot data aktual dan plot ACF serta PACF untuk menentukan kestasioneran data dapat dilakukan menggunakan uji *unit root*. Berikut merupakan uji *unit root* yang digunakan untuk kestasioneran data:

1. Uji *Unit Root* ADF

Adapun hipotesis uji ADF yang digunakan untuk suhu udara kota Pekanbaru adalah sebagai berikut:

$$H_0 : \text{Suhu udara kota Pekanbaru terdapat } \textit{unit root} \text{ (suhu udara tidak stasioner)}$$

H_1 : Suhu udara kota Pekanbaru tidak terdapat *unit root* (suhu udara stasioner).

Hasil uji stasioner menggunakan uji *unit root* dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 4.11 Uji Unit Root ADF untuk Suhu Udara

		Statistik-t	Prob.
<i>Augmented Dickey-Fuller (ADF)</i>		-5.462026	0.0002
Nilai Kritik Mackinnon	1%	-4.121303	
	5%	-3.487845	
	10%	-3.172314	

Berdasarkan output yang disajikan dalam Tabel 4.11 dapat dilihat bahwa nilai mutlak statistik-*t* untuk uji ADF lebih besar dari nilai mutlak statistik-*t* untuk nilai kritik Mackinnon pada tingkat kepercayaan 0.05. Jadi dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tolak H_0 yang berarti data suhu udara kota Pekanbaru tidak terdapat *unit root*. Artinya bahwa data suhu udara kota Pekanbaru adalah stasioner.

2. Uji Unit Root PP

Adapun hipotesis uji PP yang digunakan untuk suhu udara kota Pekanbaru adalah sebagai berikut

H_0 : Suhu udara kota Pekanbaru terdapat *unit root* (suhu udara tidak stasioner)

H_1 : Suhu udara kota Pekanbaru tidak terdapat *unit root* (suhu udara stasioner).

Hasil uji stasioner menggunakan uji *unit root* dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 4.12 Uji Unit Root PP untuk Suhu Udara

		Statistik-t	Prob.
<i>Phillips-Perron (PP)</i>		-5.777456	0.0001
Nilai Kritik Mackinnon	1%	-4.121303	
	5%	-3.487845	
	10%	-3.172314	

Berdasarkan output yang disajikan dalam Tabel 4.12 dapat dilihat bahwa nilai mutlak statistik-*t* untuk uji PP lebih besar dari nilai mutlak statistik-*t* untuk nilai kritik mackinnon pada tingkat kepercayaan 0.05. Jadi dengan demikian dapat

disimpulkan bahwa tolak H_0 yang berarti data suhu udara kota Pekanbaru tidak terdapat *unit root*. Hal ini berarti data suhu udara kota Pekanbaru adalah stasioner.

3. Uji *Unit Root* KPSS

Adapun hipotesis uji KPSS yang digunakan untuk suhu udara kota Pekanbaru adalah sebagai berikut:

H_0 : Suhu udara kota Pekanbaru stasioner

H_1 : Suhu udara kota Pekanbaru tidak stasioner.

Hasil uji stasioner yang digunakan dapat dilihat dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 4.13 Uji *Unit Root* KPSS untuk Suhu Udara

		Statistik- <i>t</i>
<i>Kwiatkowski Phillips Schmidt Shin</i> (KPSS)		0.135531
Nilai Kritik Mackinnon	1%	0.216000
	5%	0.146000
	10%	0.119000

Berdasarkan output yang disajikan Tabel 4.13 dapat dilihat bahwa nilai mutlak statistik-*t* untuk uji KPSS lebih kecil dari nilai mutlak kritik Mackinnon pada tingkat kepercayaan 0.05. Sehingga terima H_0 yang berarti data suhu udara kota Pekanbaru adalah stasioner.

Tahapan 2. Pengujian *Lag* optimal

Setelah diketahui keseluruhan data telah stasioner, maka tahap selanjutnya adalah menentukan *lag* optimal yang akan digunakan dalam model VAR. Hasil penentuan panjang *lag* dengan *software* Eviews dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 4.14 Panjang *Lag* Optimal

<i>Lag</i>	AIC	SIC	HQ
0	32.78378	32.92977*	32.84024
1	32.47666*	33.20660	32.75893*
2	32.64181	33.95570	33.14991
3	32.81984	34.71768	33.55375
4	33.02870	35.51049	33.98843
5	33.29333	36.35907	34.47888

Berdasarkan output yang disajikan dalam Tabel 4.14 dapat dilihat bahwa jumlah nilai AIC, SIC dan HQ yang terkecil diantara berbagai *lag* yang diajukan berada pada lag 1, yang berarti bahwa *lag* optimal adalah lag 1.

Langkah 3. Uji Kausalitas Granger

Setelah didapat panjang *lag* optimal maka langkah selanjutnya yaitu uji kausalitas Granger untuk mengetahui ada atau tidaknya keterkaitan hubungan antar variabel. Hasil uji kausalitas Granger dengan *software* Eviews dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 4.15 Uji Kausalitas Granger

Hipotesis Null	Obs	F-Statistik	P-value
CU tidak mempengaruhi CO	59	0.54989	0.4615
CO tidak mempengaruhi CU		0.15172	0.6984
RD tidak mempengaruhi CO	59	0.04412	0.8344
CO tidak mempengaruhi RD		1.58534	0.2132
SU tidak mempengaruhi CO	59	0.03720	0.8478
CO tidak mempengaruhi SU		3.21521	0.0784
RD tidak mempengaruhi CU	59	0.02136	0.8843
CU tidak mempengaruhi RD		1.86482	0.1775
SU tidak mempengaruhi CU	59	0.90108	0.3466
CU tidak mempengaruhi SU		3.45331	0.0684
SU tidak mempengaruhi RD	59	10.2496	0.0023
RD tidak mempengaruhi SU		0.70788	0.4037

Dari hasil pengujian kausalitas Granger diperoleh:

1. a. H_0 = Curah hujan tidak mempengaruhi CO

H_1 = Curah hujan mempengaruhi CO

Uji statistik:

Jika nilai $P\text{-value} < \alpha$ maka H_0 ditolak.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh $P\text{-value} = 0.4615 > \alpha = 5\%$ sehingga H_0 diterima yang berarti curah hujan tidak mempengaruhi CO.

b. H_0 = CO tidak mempengaruhi curah hujan

H_1 = CO mempengaruhi Curah hujan

Uji statistik:

Jika nilai $P\text{-value} < \alpha$ maka H_0 ditolak.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh $P\text{-value} = 0.6984 > \alpha = 5\%$ sehingga H_0 diterima yang berarti CO tidak mempengaruhi curah hujan.

2. a. H_0 = Radiasi matahari tidak mempengaruhi CO

H_1 = Radiasi matahari mempengaruhi CO

Uji statistik:

Jika nilai $P\text{-value} < \alpha$ maka H_0 ditolak.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh $P\text{-value} = 0.8344 > \alpha = 5\%$ sehingga H_0 diterima yang berarti radiasi matahari tidak mempengaruhi CO.

- b. H_0 = CO tidak mempengaruhi radiasi matahari

H_1 = CO mempengaruhi radiasi matahari

Uji statistik:

Jika nilai $P\text{-value} < \alpha$ maka H_0 ditolak.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh $P\text{-value} = 0.2132 > \alpha = 5\%$ sehingga H_0 diterima yang berarti CO tidak mempengaruhi radiasi matahari.

3. a. H_0 = Suhu udara tidak mempengaruhi CO

H_1 = Suhu udara mempengaruhi CO

Uji statistik:

Jika nilai $P\text{-value} < \alpha$ maka H_0 ditolak.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh $P\text{-value} = 0.8478 > \alpha = 5\%$ sehingga H_0 diterima yang berarti suhu udara tidak mempengaruhi CO.

- b. H_0 = CO tidak mempengaruhi suhu udara

H_1 = CO mempengaruhi suhu udara

Uji statistik:

Jika nilai $P\text{-value} < \alpha$ maka H_0 ditolak.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh $P\text{-value} = 0.0784 < \alpha = 5\%$ sehingga H_0 diterima yang berarti CO tidak mempengaruhi suhu udara.

4. a. H_0 = Radiasi matahari tidak mempengaruhi curah hujan

H_1 = Radiasi matahari mempengaruhi curah hujan

Uji statistik:

Jika nilai $P\text{-value} < \alpha$ maka H_0 ditolak.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh $P\text{-value} = 0.8843 > \alpha = 5\%$ sehingga H_0 diterima yang berarti radiasi matahari tidak mempengaruhi curah hujan.

b. H_0 = Curah hujan tidak mempengaruhi radiasi matahari

H_1 = Curah hujan mempengaruhi radiasi matahari

Uji statistik:

Jika nilai $P\text{-value} < \alpha$ maka H_0 ditolak.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh $P\text{-value} = 0.1775 > \alpha = 5\%$ sehingga H_0 diterima yang berarti curah hujan tidak mempengaruhi radiasi matahari.

5. a. H_0 = Suhu udara tidak mempengaruhi curah hujan

H_1 = Suhu udara mempengaruhi curah hujan

Uji statistik:

Jika nilai $P\text{-value} < \alpha$ maka H_0 ditolak.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh $P\text{-value} = 0.3466 > \alpha = 5\%$ sehingga H_0 diterima yang berarti suhu udara tidak mempengaruhi curah hujan

b. H_0 = Curah hujan tidak mempengaruhi suhu udara

H_1 = Curah hujan mempengaruhi suhu udara

Uji statistik:

Jika nilai $P\text{-value} < \alpha$ maka H_0 ditolak.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh $P\text{-value} = 0.0684 > \alpha = 5\%$ sehingga H_0 diterima yang berarti curah hujan tidak mempengaruhi suhu udara.

6. a. H_0 = Suhu udara tidak mempengaruhi radiasi matahari

H_1 = Suhu udara mempengaruhi radiasi matahari

Uji statistik:

Jika nilai $P\text{-value} < \alpha$ maka H_0 ditolak.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh $P\text{-value} = 0.0023 < \alpha = 5\%$ sehingga H_0 ditolak yang berarti suhu udara mempengaruhi radiasi matahari.

b. H_0 = Radiasi matahari tidak mempengaruhi suhu udara

H_1 = Radiasi matahari mempengaruhi suhu udara

Uji statistik:

Jika nilai $P\text{-value} < \alpha$ maka H_0 ditolak.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh $P\text{-value} = 0.4037 > \alpha = 5\%$ sehingga H_0 diterima yang berarti radiasi matahari tidak mempengaruhi suhu udara.

Berdasarkan uji kausalitas Granger dapat disimpulkan bahwa CO memiliki hubungan searah terhadap curah hujan, suhu udara dan radiasi matahari. Curah hujan memiliki hubungan searah terhadap suhu udara dan radiasi matahari serta suhu udara memiliki hubungan searah terhadap radiasi matahari.

Langkah 4. Estimasi Parameter

Tahap ini adalah mengestimasi nilai dari parameter VAR. Pada uji sebelumnya diperoleh panjang *lag* adalah 1 yang terdiri dari 4 variabel sehingga model yang dihasilkan untuk diestimasi parameter adalah VAR(1). Adapun persamaan dari model tersebut adalah:

$$CO_t = \alpha_{10} + \alpha_{11}CO_{t-1} + \alpha_{12}CU_{t-1} + \alpha_{13}RD_{t-1} + \alpha_{14}SU_{t-1} \quad (4.1)$$

$$CU_t = \alpha_{20} + \alpha_{21}CO_{t-1} + \alpha_{22}CU_{t-1} + \alpha_{23}RD_{t-1} + \alpha_{24}SU_{t-1} \quad (4.2)$$

$$SU_t = \alpha_{30} + \alpha_{31}CO_{t-1} + \alpha_{32}CU_{t-1} + \alpha_{33}RD_{t-1} + \alpha_{34}SU_{t-1} \quad (4.3)$$

$$RD_t = \alpha_{40} + \alpha_{41}CO_{t-1} + \alpha_{42}CU_{t-1} + \alpha_{43}RD_{t-1} + \alpha_{44}SU_{t-1} \quad (4.4)$$

dengan:

CO_t adalah karbon monoksida pada waktu t

CU_t adalah curah hujan pada waktu t

RD_t adalah radiasi matahari pada waktu t

SU_t adalah suhu udara pada waktu t

Berikut adalah hasil estimasi parameter model VAR(1) dengan *software* Eviews yang dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 4.16 Estimasi Parameter Model VAR(1)

Parameter	Koefisien
α_{10}	0.4897
α_{11}	0.3286
α_{12}	-0.0001
α_{13}	0.0008
α_{14}	-0.0040
α_{20}	97.4794
α_{21}	-31.3430
α_{22}	0.3839
α_{23}	-0.3449
α_{24}	6.8775
α_{30}	62.6994
α_{31}	6.2508
α_{32}	-0.0218
α_{33}	0.0215
α_{34}	2.5339
α_{40}	13.5573
α_{41}	1.6881
α_{42}	-0.0038
α_{43}	0.0127
α_{44}	0.3571

Berdasarkan Tabel 4.16, model VAR(1) pada Persamaan (4.1), (4.2),(4.3) dan (4.4) yang terbentuk adalah:

$$CO_t = 0.4897 + 0.3286CO_{t-1} - 0.0001CU_{t-1} + 0.0008RD_{t-1} - 0.0040SU_{t-1} \quad (4.4)$$

$$CU_t = 97.4794 - 31.3430CO_{t-1} + 0.3839CU_{t-1} - 0.3449RD_{t-1} + 6.8775SU_{t-1} \quad (4.5)$$

$$RD_t = 62.6994 + 6.2508CO_{t-1} - 0.0218CU_{t-1} + 0.0215RD_{t-1} + 2.5339SU_{t-1} \quad (4.6)$$

$$SU_t = 13.5573 + 1.6881CO_{t-1} - 0.0038CU_{t-1} + 0.0127RD_{t-1} + 0.3571SU_{t-1} \quad (4.7)$$

Persamaan (4.4), (4.5), (4.6) dan (4.7) dapat dibentuk ke dalam bentuk matriks sehingga menjadi:

$$\begin{matrix} CO_t \\ CU_t \\ RD_t \\ SU_t \end{matrix} = \begin{matrix} 0.4897 & 0.3286 & -0.0001 & 0.0008 & -0.0040 \\ 97.4794 & -31.3430 & 0.3839 & -0.3449 & 6.8775 \\ 62.6994 & 62.6994 & -0.0218 & 0.0215 & 2.5339 \\ 13.5573 & 13.5573 & -0.0038 & 0.0127 & 0.3571 \end{matrix} + \begin{matrix} CO_{t-1} \\ CU_{t-1} \\ RD_{t-1} \\ SU_{t-1} \end{matrix} \quad (4.8)$$

Tahapan 5. Verifikasi Model VAR

Berdasarkan langkah pertama uji stasioneritas, diperoleh bahwa variabel-variabel dalam model VAR stasioner bersama, selanjutnya memeriksa model mengikuti proses *white noise* yang berarti residual harus independen (tidak berkorelasi). Berdasarkan uji *Portmanteau* menggunakan bantuan Eviews diperoleh hasil uji *portmanteau* yaitu sebagai berikut:

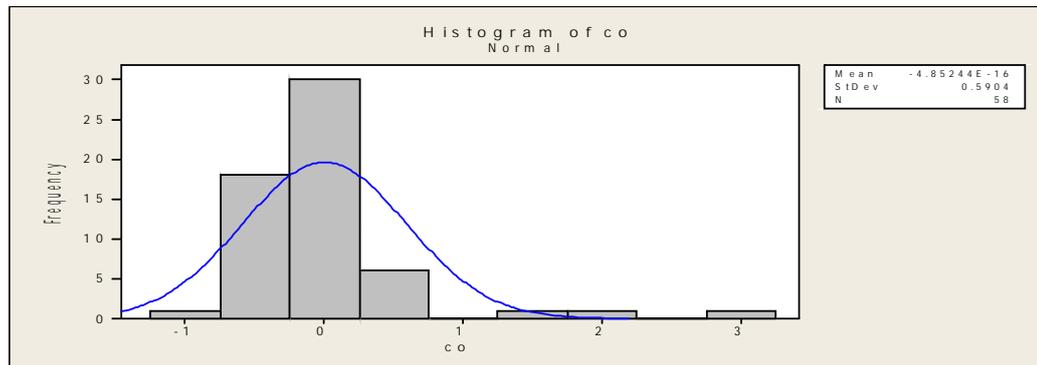
Tabel 4.17 Hasil Uji Portmanteau Q

<i>Lags</i>	<i>Q-Stat</i>	<i>Prob.</i>	<i>Adj.Q-Stat</i>	<i>p-value</i>	<i>Df</i>
1	2.975755	NA*	3.027062	NA*	NA*
2	17.97304	0.3255	18.55057	0.2927	16
3	33.66534	0.3868	35.08352	0.3240	32
4	47.67031	0.4863	50.10704	0.3898	48
5	57.96874	0.6884	61.35902	0.5705	64
6	68.47486	0.8174	73.05452	0.6959	80
7	76.27610	0.9313	81.90592	0.8468	96
8	89.11214	0.9455	96.75547	0.8470	112

Terlihat dari output bahwa hingga *lag* ke delapan, tidak ada komponen autokorelasi yang signifikan pada tingkat kesalahan 5%, semua *p-value* > 0.05. Sehingga menunjukkan bahwa *error* tidak ada autokorelasi.

Uji selanjutnya untuk verifikasi model adalah uji kenormalan *residual*. Dalam uji kenormalan *residual* untuk mengambil keputusan dapat dilihat dari histogram *residual* yang dihasilkan model. Jika histogram *residual* yang dihasilkan model telah mengikuti pola kurva normal, maka model telah memenuhi asumsi kenormalan.

Berdasarkan hasil pengujian normalitas *residual* menggunakan uji *Jarque Berra* dengan bantuan Eviews didapat nilai dari kemencengan (*skewness*) adalah 0.395884, *kurtosis* (keruncingan) adalah 3.194683, statistik *Jarque Berra* adalah 1.661992. Karena nilai statistik *Jarque Berra* kecil dari nilai kritis *Chi-Square* 5.99 maka *residual* berdistribusi normal. Berikut disajikan histogram *residual* model VAR(1) pada data polusi udara oleh CO di kota Pekanbaru.



Gambar 4.10 Histogram *Residual* CO yang Dihasilkan Model

Gambar 4.10 menunjukkan histogram *residual* yang dihasilkan model, dapat dilihat bahwa telah mengikuti pola kurva normal, sehingga asumsi kenormalan terpenuhi. Berdasarkan uji yang dilakukan pada verifikasi, model VAR(1) layak digunakan untuk tahap peramalan.

Tahapan 6. Penerapan untuk Model Peramalan

Setelah diperoleh model peramalan VAR yaitu model VAR(1) dengan empat variabel, maka model dapat digunakan untuk peramalan.

a. Data *Training*

Data training yaitu data yang digunakan untuk membangun model peramalan. Penulis menggunakan data *training* sebanyak 60 data yaitu data dari bulan Januari 2008 sampai Desember 2012. Peramalan menggunakan model VAR(1) dengan Persamaan (4.8) untuk data *training* adalah sebagai berikut:

$$\begin{array}{r}
 \begin{array}{l}
 CO_t \\
 CU_t \\
 RD_t \\
 SU_t
 \end{array}
 =
 \begin{array}{l}
 0.4897 \\
 97.4794 \\
 62.6994 \\
 13.5573
 \end{array}
 +
 \begin{array}{l}
 0.3286 \\
 -31.3430 \\
 62.6994 \\
 13.5573
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 -0.0001 \\
 0.3839 \\
 -0.0218 \\
 -0.0038
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 0.0008 \\
 -0.3449 \\
 0.0215 \\
 0.0127
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 -0.0040 \\
 6.8775 \\
 2.5339 \\
 0.3571
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 CO_{t-1} \\
 CU_{t-1} \\
 RD_{t-1} \\
 SU_{t-1}
 \end{array}
 \\
 \begin{array}{l}
 CO_2 \\
 CU_2 \\
 RD_2 \\
 SU_2
 \end{array}
 =
 \begin{array}{l}
 0.4897 \\
 97.4794 \\
 62.6994 \\
 13.5573
 \end{array}
 +
 \begin{array}{l}
 0.3286 \\
 -31.3430 \\
 62.6994 \\
 13.5573
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 -0.0001 \\
 0.3839 \\
 -0.0218 \\
 -0.0038
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 0.0008 \\
 -0.3449 \\
 0.0215 \\
 0.0127
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 -0.0040 \\
 6.8775 \\
 2.5339 \\
 0.3571
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 0.29 \\
 245.2 \\
 56.03 \\
 9.02
 \end{array}
 \\
 \begin{array}{l}
 0.569218 \\
 225.2325 \\
 99.59729 \\
 20.48978
 \end{array}
 \end{array}$$

Berdasarkan hasil peramalan data *training* diperoleh peramalan CO, curah hujan, radiasi matahari dan suhu udara kota Pekanbaru pada bulan Februari

0.569218 mg/m³, 225.2325 mm, 99.59729 W/m² dan 20.48978⁰C. Hasil peramalan *training* mengikuti pola data aktual karena data yang digunakan pada peramalan data *training* adalah data aktual. Selanjutnya untuk peramalan data *training* yang lain dapat dilihat dalam Lampiran C.

b. Data *Testing*

$$\begin{array}{r}
 \begin{array}{l}
 \widehat{CO}_t \\
 \widehat{CU}_t \\
 \widehat{RD}_t \\
 \widehat{SU}_t
 \end{array}
 =
 \begin{array}{l}
 0.4897 \\
 97.4794 \\
 62.6994 \\
 13.5573
 \end{array}
 +
 \begin{array}{l}
 0.3286 \\
 -31.3430 \\
 62.6994 \\
 13.5573
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 -0.0001 \\
 0.3839 \\
 -0.0218 \\
 -0.0038
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 0.0008 \\
 -0.3449 \\
 0.0215 \\
 0.0127
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 -0.0040 \\
 6.8775 \\
 2.5339 \\
 0.3571
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \widehat{CO}_{t-1} \\
 \widehat{CU}_{t-1} \\
 \widehat{RD}_{t-1} \\
 \widehat{SU}_{t-1}
 \end{array}
 \\
 \\
 \begin{array}{l}
 \widehat{CO}_3 \\
 \widehat{CU}_3 \\
 \widehat{RD}_3 \\
 \widehat{SU}_3
 \end{array}
 =
 \begin{array}{l}
 0.4897 \\
 97.4794 \\
 62.6994 \\
 13.5573
 \end{array}
 +
 \begin{array}{l}
 0.3286 \\
 -31.3430 \\
 62.6994 \\
 13.5573
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 -0.0001 \\
 0.3839 \\
 -0.0218 \\
 -0.0038
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 0.0008 \\
 -0.3449 \\
 0.0215 \\
 0.0127
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 -0.0040 \\
 6.8775 \\
 2.5339 \\
 0.3571
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 0.569218 \\
 225.2325 \\
 99.597229 \\
 20.48978
 \end{array}
 \\
 \\
 \begin{array}{l}
 0.651940495 \\
 272.6725189 \\
 147.5393535 \\
 29.00026165
 \end{array}
 \end{array}$$

Berdasarkan hasil peramalan data *testing* diperoleh peramalan CO, curah hujan, radiasi matahari dan suhu udara kota Pekanbaru pada bulan Maret 0.651940495 mg/m³, 272.6725189 mm, 147.5393535 W/m² dan 29.00026165⁰C. Selanjutnya untuk peramalan data *testing* yang lain dapat dilihat dalam Lampiran D.

c. Data Peramalan

Tahapan berikutnya yang akan dilakukan adalah meramalkan CO kota Pekanbaru untuk BLH kota Pekanbaru. Akan dilakukan peramalan CO untuk bulan Januari 2013 sampai Desember 2014. Untuk hasil peramalan akan disajikan dalam Tabel 4.18 berikut:

Tabel 4.18 Data Hasil Peramalan CO Kota Pekanbaru

No	Bulan	Ramalan (\widehat{CO}_t)
1	Januari 2013	0.702587493
2	Februari 2013	0.684591948
3	Maret 2013	0.678196527
4	April 2013	0.676422747

No	Bulan	Ramalan (CO _t)
5	Mei 2013	0.676320193
6	Juni 2013	0.676664443
7	Juli 2013	0.67701405
8	Agustus 2013	0.677256822
9	September 2013	0.677397592
10	Oktober 2013	0.677469121
11	November 2013	0.677501074
12	Desember 2013	0.677513167
13	Januari 2014	0.677516512
14	Februari 2014	0.677516616
15	Maret 2014	0.67751587
16	April 2014	0.67751514
17	Mei 2014	0.677514639
18	Juni 2014	0.677514351
19	Juli 2014	0.677514206
20	Agustus 2014	0.677514142
21	September 2014	0.677514118
22	Oktober 2014	0.677514111
23	November 2014	0.677514111
24	Desember 2014	0.677514113

Berdasarkan Tabel 4.18 dapat dilihat hasil peramalan CO kota Pekanbaru dari BLH kota Pekanbaru pada bulan Januari sampai Desember 2014 mengalami peningkatan dan penurunan yang tidak berbeda jauh dari bulan ke bulan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan pada bab sebelumnya bahwa model yang diperoleh untuk peramalan CO kota Pekanbaru dari BLH Kota Pekanbaru dengan menggunakan tahapan-tahapan model VAR adalah model VAR(1) dengan persamaan matematisnya yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}CO_t &= 0.4897 + 0.3286CO_{t-1} - 0.0001CU_{t-1} + 0.0008RD_{t-1} \\ &\quad - 0.0040SH_{t-1} \\ CU_t &= 97.4794 - 31.3430CO_{t-1} + 0.3839CU_{t-1} - 0.3449RD_{t-1} \\ &\quad + 6.8775SH_{t-1} \\ RD_t &= 62.6994 + 6.2508CO_{t-1} - 0.0218CU_{t-1} + 0.0215RD_{t-1} \\ &\quad + 2.5339SH_{t-1} \\ SU_t &= 13.5573 + 1.6881CO_{t-1} - 0.0038CU_{t-1} + 0.0127RD_{t-1} \\ &\quad + 0.3571SH_{t-1}\end{aligned}$$

Secara umum hasil peramalan pada data *training* mendekati data aktual sedangkan pada data *testing* kurang mendekati data aktual. Hal ini disebabkan oleh data yang digunakan pada *training* masih terdapat unsur data aktual sedangkan pada *testing* tidak menggunakan data aktual tetapi menggunakan data hasil peramalan pada *training*. Walaupun demikian, hasil peramalan secara keseluruhan mempunyai pola yang sama dengan pola data aktual tahun-tahun sebelumnya.

5.2 Saran

Tugas akhir ini menjelaskan peramalan polusi udara oleh karbon monoksida kota Pekanbaru dari BLH kota Pekanbaru dengan variabel curah hujan, radiasi matahari dan suhu udara menggunakan model VAR. Bagi para pembaca, penulis menyarankan meramalkan jenis polusi udara lainnya dengan menggunakan metode yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Diah, Safitri Asih. 2008. “*Vector Autoregressive (VAR) untuk peramalan harga saham PT.Indofood Sukses Makmur Indonesia Tbk*”. *Jurnal Matematika Vol 11*.
- Djalal, N.N, dkk. 2010. *Penggunaan Teknik Ekonometri*. PT.Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Enders W. 1995. *Applied Econometric Times Series*. New York. Willey and Sons,Inc.
- Hadiyatullah. 2011. “*Model Vector Autoregressive (VAR) dan Penerapannya Untuk Analisis Pengaruh Harga Migas Terhadap Indeks Harga Konsumen (IHK)*”. *Skripsi Mahasiswa Universitas Negeri Yogyakarta*.
- Rafi’I, Suryatna. 2006. *Meteorologi dan Klimatologi*. Penerbit Angkasa. Bandung.
- Ratnawati. 2012. Penerapan Model Vector Autoregressive (VAR) untuk peramalan Curah Hujan Kota Pekanbaru. *Skripsi Mahasiswa UIN SUSKA RIAU*.
- R. Ajija Shchochrul, dkk. 2011. Cara Cerdas Menguasai Eviews. Salemba Empat. Jakarta.
- Rosadi, Dedi. 2011. *Analisis Ekonometrika dan Runtun Waktu Terapan dengan R*. CV. Andi.Yogyakarta.
- Rosita Tita. 2011. “*Analisis Vector Autoregressive (VAR) untuk Curah Hujan di Darmaga Bogor*”. *Tesis Mahasiswa Pascasarjana Institut Pertanian Bogor*.
- Sembiring, R.K. 1995. *Analisis Regresi*. Edisi kedua. Penerbit ITB.
- Setiawan dkk. 2012. “*Pemodelan Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG), Kurs dan Harga Minyak Dunia dengan Pendekatan VAR*”. *Jurnal sains dan seni Vol 1*.
- Siadari, Mutiara. 2008. *Evaluasi Kualitas Udara Perkotaan*. MENLH.
- Soedomo, Moestikahadi. 2001. *Pencemaran Udara*. ITB. Bandung.

- Syakir Akhmad Kurnia. 2005. "Analisis Interpedensi Neraca Transaksi Berjalan-Neraca Modal Indonesia Pendekatan Model *Vector Autoregressive* dan *Vector Error Correction* 1981.1-2002.3". *Jurnal Ekonomi Pembangunan*.
- Xiao Han Cai. 2008. Time Series Analysis of Air Pollution CO in California South Coast Area, with Seasonal ARIMA model and VAR model. *Thesis Master of Science in Statistics*
- Zivot, E dan Wang, J. 2005. *Modelling Financial Times Series with S-PLUS*. Edisi kedua.