

# ***MARKOV SWITCHING AUTOREGRESSIVE***

Jaelani Rahman, Entit Puspita, Maman Suherman

Departemen Pendidikan Matematika, FPMIPA, UPI

## **ABSTRAK**

Runtun waktu ialah himpunan observasi yang dicatat berurut berdasarkan waktu. Tujuan dari metode runtun waktu ialah menemukan model yang sesuai sehingga didapatkan hasil peramalan yang baik. Salah satu model runtun waktu yang telah dikenal adalah *Autoregressive*. Pada data ekonomi sering terjadi perubahan struktur yang di akibatkan oleh perubahan kebijakan pemerintah, krisis ekonomi, perang dan model *Autoregressive* belum mampu menjelaskan perubahan struktur tersebut. Perubahan struktur biasanya ditandai dengan adanya perubahan dramatis. *Markov Switching Autoregressive* adalah salah satu model yang dapat digunakan jika pada data ditemui adanya perubahan struktur. Model dengan perubahan struktur ialah model dengan parameter yang berubah-ubah dalam periode waktu tertentu. Ide dasar dari *Markov Switching Autoregressive* ialah membuat model yang dinamis seiring dengan berubahnya data. Perubahan yang terjadi pada data seringkali dipengaruhi faktor-faktor yang tidak dapat diamati secara langsung. *Markov Switching Autoregressive* adalah salah satu model alternatif untuk memodelkan data yang dipengaruhi variabel tidak teramati. Dalam literatur variabel tidak teramati tersebut disebut *state* atau disimbolkan dengan  $S_t$ , dimana  $S_t$  mengikuti rantai Markov. Nilai tukar rupiah terhadap dollar mengalami perubahan dramatis pada periode 1997-1998 dan perubahan tersebut dapat terjadi kembali di masa yang akan datang. Penyebab terjadinya perubahan pada nilai tukar tersebut juga seringkali tidak dapat diamati secara langsung. Estimasi parameter dengan menggunakan maksimum likelihood dan perhitungannya menggunakan algoritma *Expectation Maximization*. Dalam pendugaan parameter menggunakan *software* Eviews dan Oxmetrics 7. *Chow test* menangkap adanya perubahan struktur pada data nilai tukar dollar terhadap rupiah November 1995 sampai Maret 2015 dan model yang sesuai adalah MSAR(3,1).

**Kata kunci:** runtun waktu, *Autoregressive*, perubahan struktur, *Markov Switching Autoregressive*

## **1. PENDAHULUAN**

Model *Autoregressive Moving Average* (ARMA) adalah salah satu model yang sangat populer dan sering digunakan dalam pemodelan data runtun waktu. Pada data runtun waktu ekonomi sering kali terjadi perubahan struktur yang diakibatkan oleh krisis keuangan, perang dan perubahan kebijakan pemerintah. Perubahan struktur adalah perubahan pola yang terjadi pada data runtun waktu.

Model ARMA belum mampu untuk menjelaskan perubahan struktur yang terjadi pada data runtun waktu.

Terdapat beberapa model untuk mengatasi masalah perubahan struktur diantaranya *Threshold Autoregressive* (TAR), *Self Exciting Threshold Autoregressive* (SETAR) dan *Markov Switching Autoregressive* (MSAR). Model TAR dan SETAR memungkinkan adanya pergeseran model seiring terjadinya perubahan pola pada data runtun waktu. Namun model TAR dan SETAR tidak mempertimbangkan peluang untuk bertahan dalam satu model atau berpindah ke model lainnya. Hamilton (1989) memperkenalkan *Markov Switching Autoregressive*, pada model *Markov Switching Autoregressive* selain dapat menjelaskan perubahan struktur, model ini juga mempertimbangkan peluang untuk bertahan pada satu model atau berpindah ke model yang lain. Berdasarkan data masa lalu dengan model *Markov Switching Autoregressive* dapat diketahui berapa peluang dari keadaan normal berubah ke keadaan krisis ataupun sebaliknya, yang sangat berguna salah satunya untuk sistem peringatan dini.

Perubahan pola pada data dalam *Markov Switching Autoregressive* dianggap dipengaruhi oleh peubah acak diskrit tidak teramati.  $S_t$  yang biasa disebut *state* atau *regime*, dimana peubah acak diskrit  $S_t$  diasumsikan mengikuti rantai Markov orde pertama.

Krisis ekonomi pada periode 1997-1998 ditandai dengan menurunnya nilai tukar rupiah terhadap dollar secara dramatis. Penurunan nilai tukar rupiah ini berdampak besar pada perekonomian Indonesia dan dapat terulang kembali di masa yang akan datang. Pada tulisan ini model *Markov Switching Autoregressive* akan diterapkan pada data rata-rata bulanan nilai tukar dollar terhadap rupiah.

## 2. LANDASAN TEORI

### 1. Proses *Autoregressive* (AR)

Bentuk umum suatu proses *Autoregressive* tingkat  $p$ , ditulis  $AR(p)$  adalah

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t$$

### 2. Proses *Moving Average* (MA)

Model *moving average* tingkat  $q$ , dinotasikan dengan  $MA(q)$  adalah

$$Z_t = \theta_1 a_{t-1} + \theta_2 a_{t-2} + \dots + \theta_q a_{t-q} + a_t$$

### 3. Proses *Autoregressive Moving Average*, ditulis $ARMA(p,q)$ adalah sebagai

berikut

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t + \theta_1 a_{t-1} + \dots + \theta_q a_{t-q}.$$

Model-model tersebut adalah model untuk runtun waktu jika pada data tidak ditemui perubahan struktur. Parameter-parameter pada AR, MA dan ARMA konstan sepanjang waktu. Model dengan perubahan struktur adalah model dengan parameter yang berubah-ubah pada periode waktu tertentu.

### 3. **MARKOV SWITCHING AUTOREGRESSIVE (MSAR)**

#### 3.1 **Model Markov Switching Autoregressive**

Model runtun waktu *Markov Switching Autoregressive* adalah salah satu model runtun waktu yang merupakan perluasan dari model *Autoregressive* (AR). Ide dasar dari model ini adalah membuat model yang dinamis seiring dengan terjadinya perubahan pola data. Perubahan pola data dianggap dipengaruhi oleh peubah acak diskrit tak teramati  $S_t$  yang biasa disebut *state* atau *regime*, dimana peubah acak diskrit  $S_t$  diasumsikan mengikuti rantai Markov orde pertama. Suatu rantai Markov dikatakan berorde satu jika nilai suatu *state* pada periode tertentu hanya bergantung pada *state* satu periode sebelumnya.

Secara umum model *Markov switching Autoregressive* dengan  $m$  *regimes* di definisikan sebagai berikut

$$y_t = \phi_{0, S_t} + \phi_{1, S_t} y_{t-1} + \dots + \phi_{p, S_t} y_{t-p} + \varepsilon_t, \quad \text{jika } S_t = j \quad (3.3)$$

dimana  $\varepsilon_t \sim i. i. d. N(0, \sigma^2)$

$j = 1, \dots, m$ , dengan peluang transisi

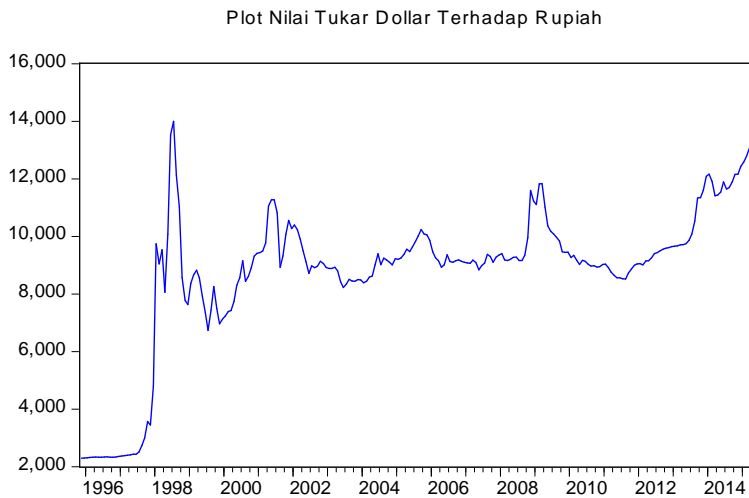
$$p_{ij} = P(S_t = j | S_{t-1} = i), \quad i, j = 1, \dots, m,$$

$p_{ij} \geq 0$  untuk  $i, j = 1, \dots, m$  dan  $\sum_{j=1}^m p_{ij} = 1$  untuk semua  $i = 1, \dots, m$ .

### 4. **STUDI KASUS**

#### 4.1 **Deskripsi Data**

Data yang digunakan adalah data sekunder berupa data bulanan rata-rata nilai tukar dollar terhadap rupiah periode November 1995 sampai Maret 2015 yang diambil dari database Prof. Werner Antweiler, Ph.D. Data dapat di akses pada situs *The University of British Columbia* berikut: <http://fx.sauder.ubc.ca/data.html>. Plot data nilai tukar dollar terhadap rupiah ditunjukkan pada gambar 4.1 sebagai berikut



Gambar 4.1

Plot Data Rata-rata Nilai Tukar Dollar Terhadap Rupiah Bulanan

## 4.2 Uji Stasioneritas

Langkah pertama adalah menguji stasioneritas dari data dengan *Augmented Dickey-Fuller (ADF) Test*. Hipotesis yang akan di uji adalah

$H_0$  : data nilai tukar dollar terhadap rupiah tidak stasioner

$H_1$  : data nilai tukar dollar terhadap rupiah stasioner

dengan kriteria pengujian Tolak  $H_0$  jika  $\tau_{\alpha} > |\tau_{(n,\alpha)}|$  atau  $\alpha < \hat{\alpha}$

Tabel 4.1 Uji *Augmented Dickey-Fuller (ADF) Test*

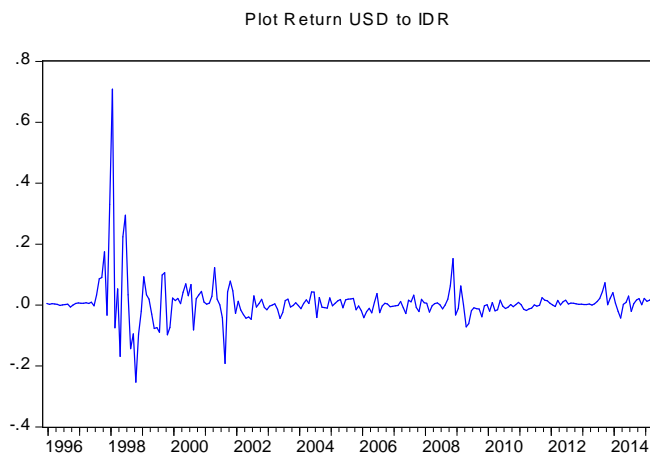
Null Hypothesis: IDR\_USD has a unit root

Exogenous: Constant

Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=14)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.762922	0.0653
Test critical values:		
1% level	-3.458594	
5% level	-2.873863	
10% level	-2.573413	

Jika digunakan  $\alpha = 5\%$ , maka berdasarkan hasil output Eviews 8 pada tabel 4.1, nilai  $p = 0,0653 > \alpha = 5\%$  dan nilai  $|\tau_\delta| = 2,762922 < |\tau_{(1)\alpha}| = 2,873863$ , maka  $H_0$  diterima artinya data tidak stasioner. Karena data belum stasioner maka data diubah ke dalam bentuk *return* untuk mengatasi ketidakstasioneran tersebut. Plot data *return* dapat dilihat pada gambar 4.2 sebagai berikut:



Gambar 4.2

Plot Data *Return* Dollar Terhadap Rupiah

Di uji kembali kestasioneran data dengan *Augemented Dickey-Fuller*, hasil output Eviews 8 di sajikan pada tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Hasil Uji *Augemented Dickey-Fuller* (ADF) Data *Return*

Null Hypothesis: DLIDR\_USD has a unit root

Exogenous: Constant

Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=14)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-11.47700	0.0000
Test critical values:		
1% level	-3.458594	
5% level	-2.873863	
10% level	-2.573413	

Berdasarkan hasil output Eviews 8 pada tabel 4.2 nilai  $p = 0 < \alpha = 5\%$  dan nilai  $|\tau_{\hat{\rho}}| = 11,47700 > |\tau_{(n,\alpha)}| = 2,873863$ , maka  $H_0$  ditolak artinya data *return* stasioner.

### 4.3 Pembentukan Model Box-Jenkins

#### 4.3.1 Identifikasi Model

Identifikasi model yang sesuai untuk data *return* dapat dilihat dari fak dan fakk pada menu correlogram pada eviews 8 sebagai berikut:

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.270	0.270	17.074	0.000
I		2	-0.010	-0.060	17.100	0.000
I		3	0.058	0.053	17.885	0.000
J		4	0.088	0.069	18.248	0.000
		5	0.223	0.208	20.171	0.000
		6	0.112	-0.006	20.205	0.000
I		7	-0.017	-0.023	20.201	0.000
I		8	0.044	0.061	22.327	0.000
		9	0.105	0.151	20.005	0.000
		10	0.113	0.118	20.628	0.000
		11	0.103	0.082	22.428	0.000
I		12	-0.030	0.004	22.792	0.000
I		13	-0.035	-0.063	22.008	0.000
I		14	0.040	0.060	23.142	0.000
I		15	0.071	0.123	23.774	0.000
		16	0.083	0.158	24.482	0.000
		17	0.125	0.085	24.825	0.000
		18	-0.100	-0.042	25.068	0.000
I		19	-0.030	-0.017	25.066	0.000
I		20	0.057	-0.040	25.812	0.000
I		21	-0.053	-0.078	25.847	0.000
I		22	0.058	0.039	24.810	0.000
I		23	0.025	0.005	24.981	0.000
I		24	0.007	0.020	24.993	0.000
I		25	0.023	0.020	25.120	0.000
I		26	-0.001	0.005	25.135	0.000

Gambar 4.3 plot fak dan fakk data *return*

Berdasarkan plot fak dan fakk pada gambar 4.3 dapat diketahui bahwa fak dan fakk terputus setelah lag ke-1, sehingga model yang mungkin ialah AR(1), MA(1) dan ARMA(1,1).

#### 4.3.2 Estimasi Parameter

Estimasi parameter dengan menggunakan Eviews 8 didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 4.3

Model	Variable	Coefficient	Std. Error	Prob.
Model AR(1)	C	0.007545	0.006215	0.226
	AR(1)	0.269587	0.063641	0
Model MA(1)	C	0.007523	0.005792	0.1953
	MA(1)	0.286137	0.063184	0
Model ARMA(1,1)	C	0.007531	0.005923	0.2048
	AR(1)	0.051212	0.230156	0.8241
	MA(1)	0.239717	0.223732	0.2851

Setelah mengestimasi parameter, selanjutnya dilakukan uji keberartian koefisien, dengan kriteria koefisien berarti atau signifikan dengan nol jika  $|k| > 2S(k)$ . Model yang lolos uji keberartian koefisien yaitu AR(1) dan MA(1), sedangkan model ARMA(1,1) tidak lolos uji ini karena mutlak semua koefisiennya lebih kecil dari 2 standar error.

#### 4.4 Pemodelan *Markov Switching Autoregressive*

##### 4.4.1 Uji Perubahan Struktur

Hipotesis untuk menguji ada tidaknya perubahan struktur pada data adalah sebagai berikut:

$H_0$  : tidak terdapat perubahan struktur dalam data

$H_1$  : terdapat perubahan struktur dalam data

dengan kriteria penolakan, tolak  $H_0$  jika F statistik Chow lebih besar dari F tabel atau tolak  $H_0$  jika p-value  $< \alpha = 0.05$

Tabel 4.6 Uji Perubahan Struktur

Chow Breakpoint Test

Null Hypothesis: No breaks at specified breakpoints

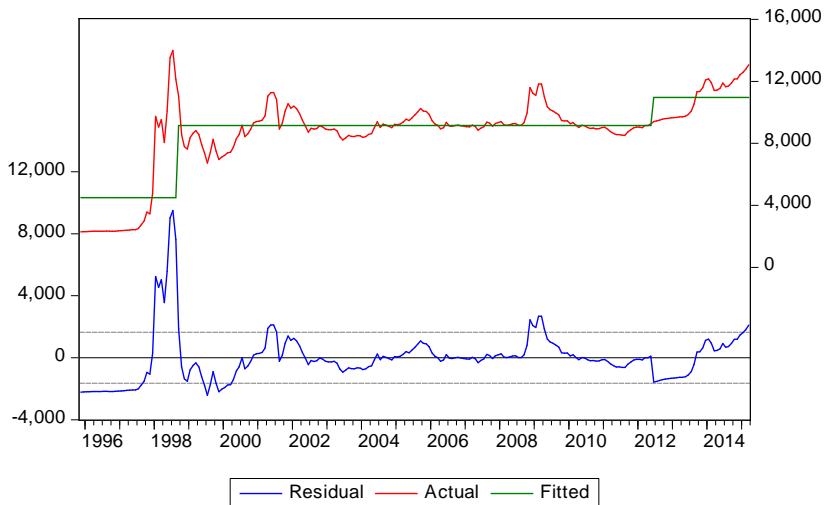
Varying regressors: All equation variables

Equation Sample: 1995M11 2015M03

F-statistic	801.6645	Prob. F(1,231)	0.0000
Log likelihood ratio	348.9128	Prob. Chi-Square(1)	0.0000
Wald Statistic	801.6645	Prob. Chi-Square(1)	0.0000

Pada tabel 4.6 terlihat  $p\text{-value} = 0 < \alpha = 0.05$ , artinya  $H_0$  ditolak, sehingga terdapat perubahan struktur pada data nilai tukar dollar terhadap rupiah.

#### 4.4.2 Penentuan Banyak States



Gambar 4.4 Plot Bai Perron

Berdasarkan output Eview 8 didapat *breaks* atau patahan adalah 2 yakni pada bulan September 1998 dan Juni 2012. Plot pada gambar 4.4 mengisyaratkan ada 3 periode fluktuasi nilai tukar, sehingga dipilih banyaknya *states* adalah 3.

#### 4.4.3 Estimasi Parameter

Berdasarkan pembentukan model Box-Jenkins model yang sesuai adalah AR(1) dan MA(1). Pada tulisan ini hanya akan dibahas *Markov Switching Autoregressive*, sehingga dipilih model AR(1). Estimasi parameter dilakukan dengan bantuan *software* Oxmetrics 7 dan diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.7 Estimasi Parameter

	Coefficient	Std.Error	t-value	t-prob
AR-1 (0)	0.764643	0.06717	11.4	0.000
AR-1 (1)	1.10077	0.1385	7.95	0.000
AR-1 (2)	0.190121	0.09466	2.01	0.046
Constant(0)	0.0120099	0.009901	1.21	0.226
Constant(1)	-0.137754	0.01125	-12.2	0.000
Constant(2)	0.347129	0.02415	14.4	0.000



Dari tabel 4.8 terlihat bahwa hanya constant (0) yang tidak berbeda secara signifikan dengan nol,  $|0.012009| < 2 (0.009901) = 2S$ . Sedangkan parameter-parameter lain berbeda secara signifikan dengan nol karena mutlak estimasi parameternya lebih besar dari 2 standar error.

Oleh karena itu model Markov Switching untuk studi kasus nilai tukar dollar terhadap rupiah adalah sebagai berikut

$$r_t = \begin{cases} 0.764643r_{t-1} + \varepsilon_t, & j | S_t = 0 \\ -0.137754 + 1.10077r_{t-1} + \varepsilon_t, & j | S_t = 1 \\ 0.347129 + 0.190121r_{t-1} + \varepsilon_t, & j | S_t = 2 \end{cases}$$

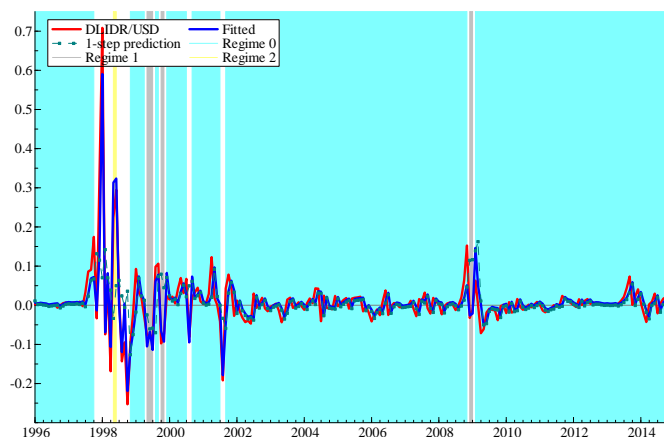
dengan  $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$

Sedangkan peluang transisi nya adalah sebagai berikut

Tabel 4.8 Peluang Transisi

Transition probabilities $p_{\{i j\}} = P(\text{Regime } i \text{ at } t+1   \text{Regime } j \text{ at } t)$			
	Regime 0,t	Regime 1,t	Regime 2,t
Regime 0,t+1	0.95321	0.67939	0.33548
Regime 1,t+1	0.042086	0.24522	0.33267
Regime 2,t+1	0.0047016	0.075386	0.33186

Berdasarkan tabel 4.9 peluang proses berada pada *regime* 0 pada saat t+1 dengan syarat pada saat t ada pada *regime* 0 adalah sebesar 0,95321. Peluang proses berada pada *regime* 1 pada saat t+1 dengan syarat pada saat t ada pada *regime* 0 adalah 0,042086 dan seterusnya. Dengan Model MSAR(3,1) yang diterapkan pada *software* Oxmetrics didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 4.5 Perbandingan nilai estimasi dengan nilai sesungguhnya

Dari gambar 4.5 terlihat bahwa fluktuasi nilai estimasi dengan nilai sebenarnya relatif sama.

#### 4.4.4 Uji Nonlinearitas

Setelah mengestimasi model *Markov switching* selanjutnya dilakukan uji nonlinearitas. Misalkan  $\tau$  menotasikan *Likelihood ratio* statistik,  $m$  adalah banyaknya koefisien yang tidak terdapat dalam hipotesis nol dan  $q$  banyaknya peluang transisi yang tidak terdapat dalam hipotesis nol, *Likelihood ratio test* nya sebagai berikut:

$$P[\chi^2(m + q) > \tau]$$

Aproksimasi batas atas, Davies (1987):

$$P[\chi^2(q) > \tau] + 2\tau^{1/2} e^{-\tau} \left\{ \left( \frac{q}{2} - 0,5 \right) \log(\tau) - \frac{\tau}{2} - \frac{q}{2} \log(2) - \ln \left( \frac{q}{2} \right) \right\}$$

Jika nilai p-value dari LR test > batas atas atau *upper bound* maka linearitas ditolak

Berdasarkan hasil output Oxmetrics didapat

Linearity LR-test Chi<sup>2</sup>(10) = 205.14 [0.0000]\*\* approximate upperbound: [0.0000]\*\*

dari hasil output Oxmetrics p-value dari LR test = 0.0000 > 0.0000 =  $u > b$  artinya linearitas ditolak yang berarti nonlinearitas terpenuhi.

#### 4.4.5 Peramalan

Peramalan yang dilakukan dalam skripsi ini adalah peramalan 3 bulan ke belakang dan 3 bulan ke depan. Berikut adalah hasil peramalan *Markov Switching Autoregressive* dengan menggunakan Oxmetrics.

Tabel 4.9 Nilai Ramalan *Return* nilai tukar dollar terhadap rupiah

Tanggal	Return	
	Ramalan	Aktual
Dec-14	0.0054501	0.021742285
Jan-15	0.0102	0.012072131
Feb-15	0.014531	0.015729359
Mar-15	0.018172	0.022241103
Apr-15	0.021116	-0.010436188
May-15	0.023452	0.016043658
Jun-15	0.025286	0.012549967

Berdasarkan tabel 4.10 nilai ramalan *return* dengan nilai *return* sebenarnya tidak terlalu jauh. Untuk membandingkan ramalan nilai tukar dollar terhadap rupiah nilai *return* ini akan diubah ke dalam bentuk awal. Nilai ramalan nilai tukar dollar terhadap rupiah dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut

$$Z_t = Z_{t-1} e^{r_t}$$

Setelah dilakukan perubahan *return* ke dalam bentuk awal didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 4.10

Nilai Ramalan Nilai Tukar Dollar Terhadap Rupiah

Tanggal	Nilai Tukar Dollar Terhadap Rupiah	
	Ramalan	Aktual
Dec-14	12231.88365	12432.8
Jan-15	12560.26352	12583.8
Feb-15	12767.99019	12783.3
Mar-15	13017.72163	13070.8
Apr-15	13349.73767	12935.1
May-15	13242.03906	13144.3
Jun-15	13480.90453	13310.3

Dari tabel 4.11 terlihat bahwa nilai ramalan nilai tukar dollar terhadap rupiah tidak jauh berbeda dan cukup mendekati dengan nilai sebenarnya.

Dengan MAPE dan RMSE sebagai berikut

```
Standard errors based on M=10000 replications
mean(Error) = 0.0058579 RMSE = 0.0084696
SD(Error) = 0.0061171 MAPE = 29.088
```

Makin kecil nilai RMSE dan MAPE maka peramalan semakin baik.

## 5. KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan data, model *Markov switching Autoregressive* yang sesuai pada data nilai tukar dollar terhadap rupiah yaitu MSAR(3,1) sebagai berikut:

$$r_t = \begin{cases} 0.764643r_{t-1} + \varepsilon_t, & j_t \quad S_t = 0 \\ -0.137754 + 1.10077r_{t-1} + \varepsilon_t, & j_t \quad S_t = 1 \\ 0.347129 + 0.190121r_{t-1} + \varepsilon_t, & j_t \quad S_t = 2 \end{cases}$$

$$\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$$

Dengan peluang transisi:

$$p_t = \begin{bmatrix} 0.95321 & 0.67939 & 0.33548 \\ 0.042086 & 0.24522 & 0.33267 \\ 0.0047016 & 0.075386 & 0.33186 \end{bmatrix}$$

Hasil peramalan dan nilai aktual nilai tukar dollar terhadap rupiah untuk beberapa bulan sebagai berikut:

Tanggal	Ramalan		Aktual	
	Return	Nilai Tukar	Return	Nilai Tukar
Dec-14	0.0054501	12231.88365	0.021742285	12432.8
Jan-15	0.0102	12560.26352	0.012072131	12583.8
Feb-15	0.014531	12767.99019	0.015729359	12783.3
Mar-15	0.018172	13017.72163	0.022241103	13070.8
Apr-15	0.021116	13349.73767	-0.010436188	12935.1
May-15	0.023452	13242.03906	0.016043658	13144.3
Jun-15	0.025286	13480.90453	0.012549967	13310.3

Hasil peramalan nilai tukar dollar terhadap rupiah dengan menggunakan model MSAR(3,1) tidak terlalu jauh berbeda dengan nilai sebenarnya. Sehingga model yang dibentuk cukup baik digunakan untuk peramalan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Amami, Surya. (2010). *Peramalan Pangsa Pasar Kartu GSM dengan Pendekatan Rantai Markov*. Skripsi FPMIPA UPI. Bandung: tidak diterbitkan.
- Anggraeni, Silvy. (2012). *Model Volatilitas Conditional Heteroscedastic Autoregressive Moving Average*. Skripsi FPMIPA UPI. Bandung: tidak diterbitkan.
- Bergman, U.Michael dan Hansson, Jesper. (2005). "Real Exchange Rate and Switching Regimes". *Journal of International Money and Finance*. 24, 121-138.
- Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. (1976). *Time Series Analysis Forecasting and Control*. Holden-Day, California.
- Clements, Michael P. dan Krolzig, Hans Martin. (1997). A Comparison of the Forecast Performance of Markov Switching and Threshold Autoregressive models of US GNP.
- Djuranovik, Leslie. (2001). *Penyusunan Composit Index Indonesia 1983-2000 dan Pemodelan Menggunakan MSAR*. Skripsi FMIPA Institut Pertanian Bogor. Bogor: tidak diterbitkan.
- Doornik, Jurgen A. (2013). *Econometric Analysis with Markov Switching Models*. Timberlake.
- Ekasari, Yunita. (2012). *Model Nilai Tukar Kanada Terhadap Rupiah Menggunakan Markov Switching GARCH*. Skripsi FMIPA Universitas Sebelas Maret. Surakarta: tidak diterbitkan.
- Frances, Philip Hans dan Dijk, Dick Van. (2003). *Non Linear Time Series Models in Empirical Finance*. Cambridge University Press.

- Hamilton, James D. (1989). "A New Approach to the Economics Analysis of Nonstationary Time Series and The Business Cycle". *Econometrica*. 57, (2), 357-384.
- Hamilton, James D. (1990). "Analysis of Time Series Subject to Changes in Regime". *Journal of Econometrics*. 45, 39-70.
- Hamilton, James D. (1994). *Time Series Analysis*. New Jersey: Princeton University Press.
- Krolzig, Hans Martin. (1997). *Markov Switching Vector Autoregressions*. Oxford.
- Mostafaei, Hamid Reza dan Safaei Maryam. (2012). "Point Forecast Markov Switching Model for U.S. Dollar/Euro Exchange Rate". *Sain Malaysiana*. 41, (4), 481-488.
- Retnowati, Enung. (2011). *Pemodelan Smooth Transition Autoregressive*. Skripsi FPMIPA UPI. Bandung: tidak diterbitkan.
- Soejoeti, Zanzawi. (1987). *Analisis Runtun Waktu*. Jakarta: Karunika, Universitas Terbuka.
- Yarmohammadi, Masoud. Mostafaei, Hamid Reza dan Safaei Maryam. (2012). "Markov Switching Models for Time Series Data with Dramatic Jumps". *Sain Malaysiana*. 41, (3), 371-377.