

A top-down view of a wooden desk with various objects. In the center is a teal vintage typewriter with a keyboard of light-colored keys. To its left is a closed dark green book. To its right is an open, blank, cream-colored notebook. Below the typewriter is a large orange oval containing the text 'APPLE STOCK'. In the bottom left corner is a pinecone and a pair of black-rimmed glasses. In the bottom right corner is a small orange book with 'COLOR S' visible on its cover and a cinnamon stick.

APPLE STOCK

DATA :

DATA : ข้อมูลราคาหุ้นของ Apple (APPL) ตั้งแต่วันที่ 2 มกราคม 2007
ถึง 30 พฤศจิกายน 2011 แบบรายวัน

Packages : สำหรับใช้บนโปรแกรม R

- Quandl
- tidyquant
- timetk
- dplyr
- tseries
- forecast
- fGarch
- ggplot2



เอาข้อมูลเข้าโปรแกรม R :

CODE :

```
library(Quandl)
library(tidyquant)
library(timetk)
library(dplyr)

price_data = tq_get('AAPL',
                    from = '2007-01-02',
                    to = '2011-11-30',
                    get = 'stock.prices')

head(price_data)
```

OUTPUT :

```
A tibble: 6 x 8
symbol date      open  high  low close  volume adjusted
<chr>  <date>    <dbl> <dbl> <dbl> <dbl>   <dbl>   <dbl>
AAPL   2007-01-03  3.08  3.09  2.92  2.99  1238319600  2.59
AAPL   2007-01-04  3.00  3.07  2.99  3.06  847260400  2.64
AAPL   2007-01-05  3.06  3.08  3.01  3.04  834741600  2.62
AAPL   2007-01-08  3.07  3.09  3.05  3.05  797106800  2.64
AAPL   2007-01-09  3.09  3.32  3.04  3.31  3349298400  2.86
AAPL   2007-01-10  3.38  3.49  3.34  3.46  2952880000  2.99
```

หาค่า return ของหุ้น :

CODE :

```
adjreturn = price_data %>% tq_transmute(select = adjusted, mutate_fun = periodReturn,  
                                         period = 'daily', col_rename = 'return')
```

OUTPUT :

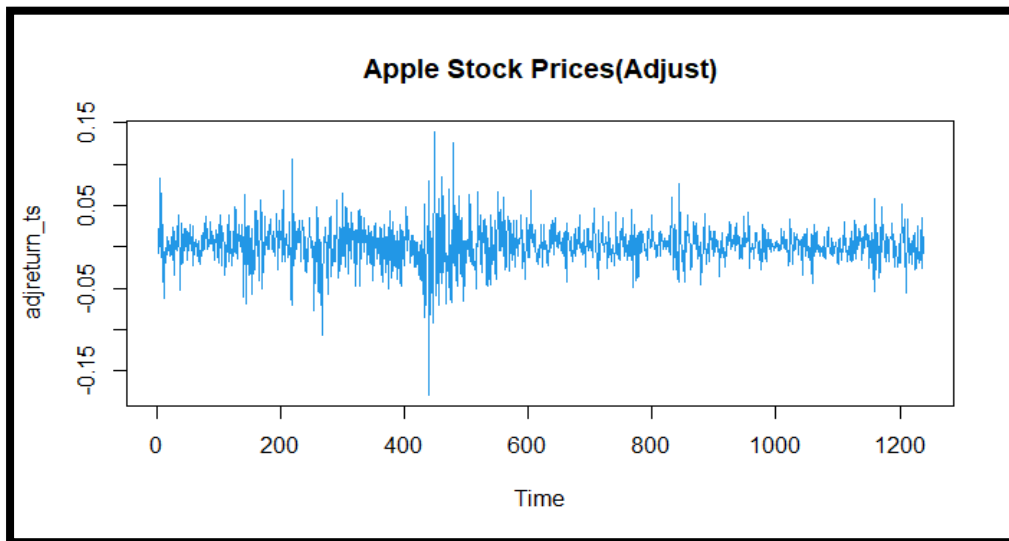
```
A tibble: 1,238 x 2  
  date      return  
  <date>    <dbl>  
1 2007-01-03      0  
2 2007-01-04  0.0222  
3 2007-01-05 -0.00712  
4 2007-01-08  0.00494  
5 2007-01-09  0.0831  
6 2007-01-10  0.0479  
7 2007-01-11 -0.0124  
8 2007-01-12 -0.0123  
9 2007-01-16  0.0262  
10 2007-01-17 -0.0221  
... with 1,228 more rows
```

Plot กราฟดูการเคลื่อนไหวของข้อมูล :

CODE :

```
adjreturn_ts = ts(adjreturn$return)  
plot.ts(adjreturn_ts, main='Apple Stock Prices(Adjust)', col=4)
```

OUTPUT :





ทดสอบว่าข้อมูลเป็น Stationary หรือไม่ ? :

CODE :

```
library(tseries)  
adf.test(adjreturn_ts)
```

OUTPUT :

```
Augmented Dickey-Fuller Test  
data: adjreturn_ts  
Dickey-Fuller = -10.319, Lag order = 10, p-value = 0.01  
alternative hypothesis: stationary
```

สรุปผล : จากค่า p-value = 0.01 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ข้อมูล
เป็น Stationary หรือก็คือ ข้อมูลมีการเคลื่อนไหวแบบคงที่

ใช้ auto.arima() มา Fit Model:

CODE :

```
library(forecast)

adjreturn_fit_auto = auto.arima(adjreturn_ts)
```

OUTPUT :

```
Series: adjreturn_ts
ARIMA(3,0,2) with non-zero mean

Coefficients:
      ar1      ar2      ar3      ma1      ma2      mean
    -0.0225 -0.9178 -0.0129  0.0146  0.8681  0.0015
s.e.   0.0924  0.0402  0.0356  0.0879  0.0497  0.0007

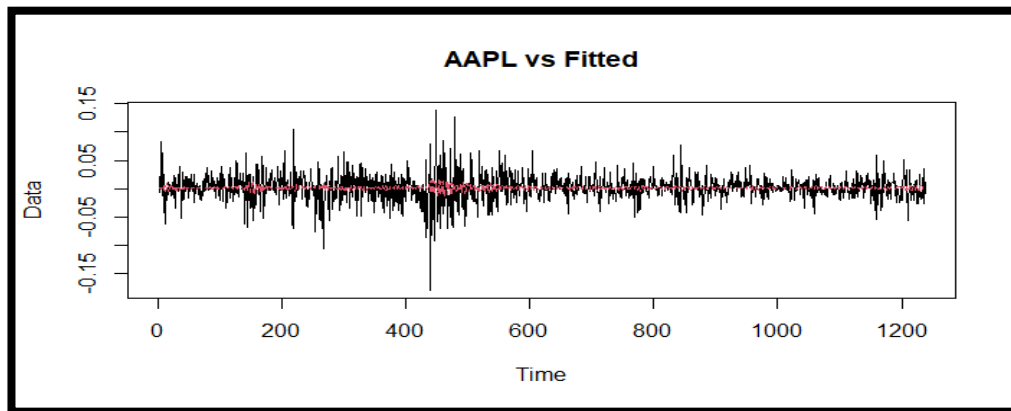
sigma^2 estimated as 0.0005899: log likelihood=2848.94
AIC=-5683.88   AICc=-5683.79   BIC=-5648.03
```


Fit Model :

CODE :

```
ml_arima = arima(adjreturn_ts , order = c(3, 0, 2))  
residuals = residuals(ml_arima)  
ml_arima_fitted = adjreturn_ts - residuals  
ts.plot(adjreturn_ts , main="AAPL vs Fitted", ylab="Data")  
points(ml_arima_fitted, type = "l", col = 2, lty = 2)
```

OUTPUT :



จากรูป ทำให้เห็นว่าข้อมูลไม่เหมาะสมกับ ARIMA(3,0,2)



ทำการ Diff ค่า return :

CODE :

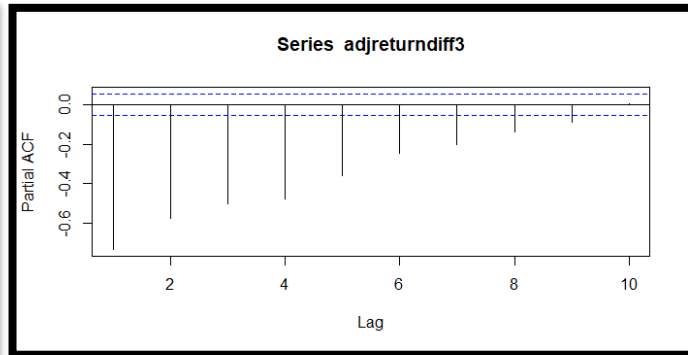
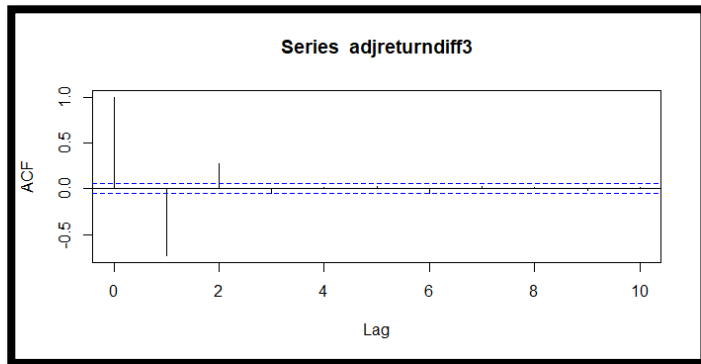
```
adjreturndiff3 = diff(adjreturn_ts, differences = 3)
```

อ่านตัวแบบจาก ACF & PACF:

CODE :

```
acf(adjreturndiff3, lag.max = 10)  
pacf(adjreturndiff3, lag.max = 10)
```

OUTPUT :



ตัวแบบที่อ่านได้ : ARIMA(0,3,2)



Fit Model :

CODE :

```
ml_arma_mg = arima(adjreturn_ts , order = c(0, 3, 2))  
residuals = residuals(ml_arma_mg)  
ml_arma__mg_fitted = adjreturn_ts - residuals
```

OUTPUT :

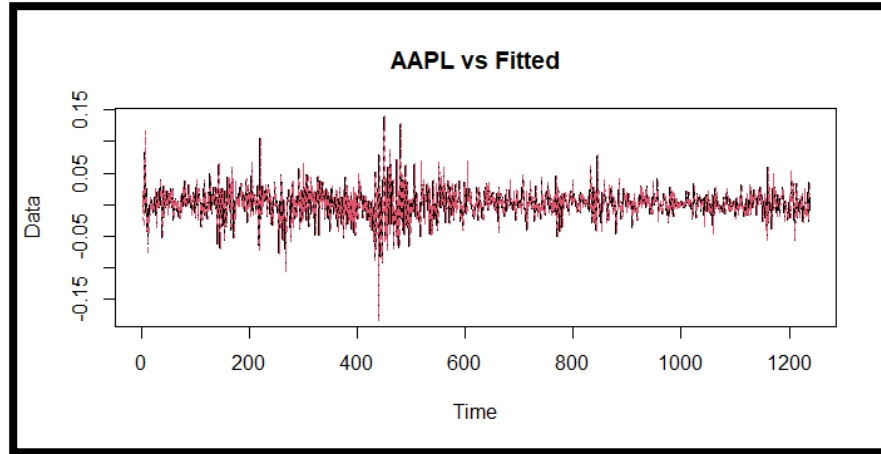
```
Call:  
arima(x = adjreturn_ts, order = c(0, 3, 2))  
  
Coefficients:  
          ma1      ma2  
      -1.9844  0.9853  
s.e.    0.0146  0.0148  
  
sigma^2 estimated as 0.001223:  log likelihood = 2381.83,  aic = -4757.65
```


Fit Model :

CODE :

```
ts.plot(adjreturn_ts , main="AAPL vs Fitted", ylab="Data")  
points(ml_arima__mg_fitted, type = "l", col = 2, lty = 2)
```

OUTPUT :



จากรูป ทำให้เห็นว่าข้อมูลเหมาะสมกับ $ARIMA(0,3,2)$



ทดสอบว่าข้อมูลมีค่าเฉลี่ยเป็น 0 ? :

CODE :

```
t.test(adjreturn_ts)
```

OUTPUT :

```
One Sample t-test
data: adjreturn_ts
t = 2.17, df = 1237, p-value = 0.0302
alternative hypothesis: true mean is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.0001444664 0.0028686053
sample estimates:
 mean of x
0.001506536
```

สรุปผล : จากค่า p-value = 0.0302 มีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งปฏิเสธ H_0 จึงสรุปได้ว่า
ข้อมูลชุดนี้มีค่าเฉลี่ยไม่เท่ากับ 0



ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูล :

CODE :

```
Box.test(adjreturn_ts , lag=10, type='Ljung')
```

OUTPUT :

```
Box-Ljung test  
data:  adjreturn_ts  
X-squared = 16.772, df = 10, p-value = 0.07956
```

สรุปผล : จากค่า p-value = 0.07956 มีค่ามากกว่า 0.05 ยอมรับ H_0

จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กับแบบต่อเนื่อง



ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูล :

CODE :

```
Box.test(abs(adjreturn_ts), lag=10, type='Ljung')
```

OUTPUT :

```
Box-Ljung test  
data: abs(adjreturn_ts)  
X-squared = 595.11, df = 10, p-value < 2.2e-16
```

สรุปผล : จากค่า $p\text{-value} < 2.2e-16$ มีค่าน้อยกว่า 0.05 ปฏิเสธ H_0
จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความสัมพันธ์กับแบบต่อเนื่อง



ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูล :

CODE :

```
y = adjreturn_ts - mean(adjreturn_ts )  
Box.test(y^2, lag=10, type='Ljung')
```

OUTPUT :

```
Box-Ljung test  
  
data: y^2  
X-squared = 479.93, df = 10, p-value < 2.2e-16
```

สรุปผล : จากค่า $p\text{-value} < 2.2e-16$ มีค่าน้อยกว่า 0.05 ปฏิเสธ H_0
จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความสัมพันธ์กับแบบต่อเนื่อง

ทดสอบว่ามี ARCH EFFECT ? :

CODE :

```
library(MTS)  
archTest(y,10)
```

OUTPUT :

```
Q(m) of squared series(LM test):  
Test statistic: 479.9336 p-value: 0  
Rank-based Test:  
Test statistic: 299.5032 p-value: 0
```

สรุปผล : จากค่า p-value = 0 มีค่าน้อยกว่า 0.05 ปฏิเสธ H_0

จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลมี ARCH EFFECT

GARCH MODEL : GARCH(1,1)

CODE :

```
library(fGarch)
garchm1 = garchFit(~1+garch(1,1), data = adjreturn_ts, trace = F)
summary(garchm1)
vgarchm1 = volatility(garchm1)
```

Gaussian

```
garchm2 = garchFit(~1+garch(1,1), data = adjreturn_ts, trace = F, cond.dist = 'std')
summary(garchm2)
vgarchm2 = volatility(garchm2)
```

Student-t

```
garchm3 = garchFit(~1+garch(1,1), data = adjreturn_ts, trace = F, cond.dist = 'sstd')
summary(garchm3)
vgarchm3 = volatility(garchm3)
```

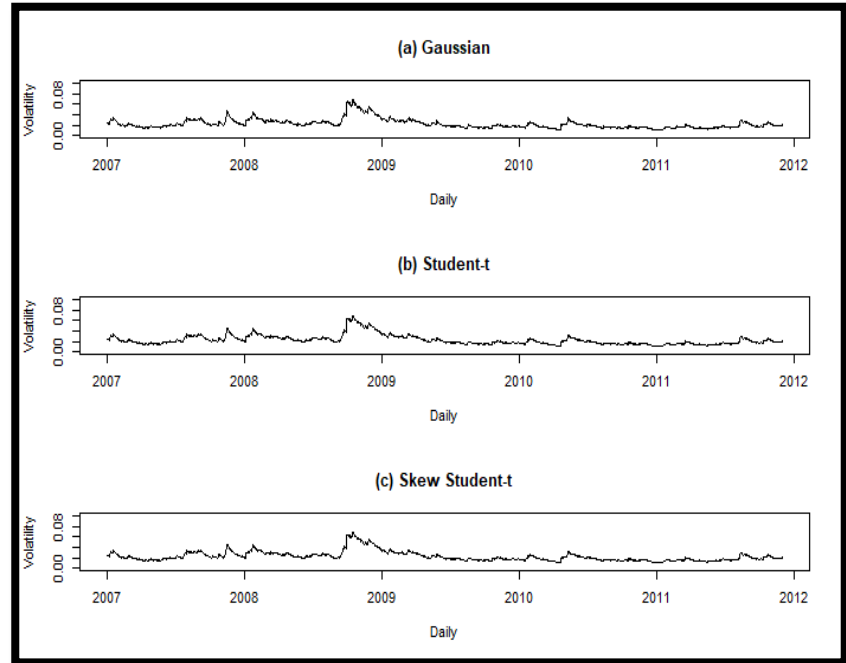
Skew Student-t

GARCH(1,1) : Graph for comparison

CODE :

```
library(ggplot2)
tdx = c(1:1238)/252+2007
par(mfcol=c(3,1))
plot(tdx,vgarchm1,xlab='Daily',ylab='Volatility',type='l',ylim=c(0,0.1))
title(main='(a) Gaussian')
plot(tdx,vgarchm12,xlab='Daily',ylab='Volatility',type='l',ylim=c(0,0.1))
title(main='(b) Student-t')
plot(tdx,vgarchm13,xlab='Daily',ylab='Volatility',type='l',ylim=c(0,0.1))
title(main='(c) Skew Student-t')
```

OUTPUT :



GARCH(1,1) : Correlation

CODE :

```
cor(cbind(vgarchm11, vgarchm11, vgarchm11))
```

OUTPUT :

	vgarchm11	vgarchm11	vgarchm11
vgarchm11	1	1	1
vgarchm11	1	1	1
vgarchm11	1	1	1

สรุปผล : จากรูปทางด้านบน มีค่าเป็น 1 ทั้งหมด จะเลือกแบบใดก็ได้ แต่ในที่นี้จะเลือก

GARCH(1,1) ที่ใช้ Gaussian

GARCH(1,1) : Gaussian

OUTPUT :

```
Title:
  GARCH Modelling

Call:
  garchFit(formula = ~1 + garch(1, 1), data = adjreturn_ts, trace = F)

Mean and Variance Equation:
  data ~ 1 + garch(1, 1)
<environment: 0x00000134b0b64830>
 [data = adjreturn_ts]

Conditional Distribution:
  norm

Coefficient(s):
      mu      omega    alpha1    beta1
2.4033e-03  9.8757e-06  8.8245e-02  8.9425e-01

Std. Errors:
  based on Hessian

Error Analysis:
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
mu      2.403e-03  5.426e-04   4.430 9.44e-06 ***
omega   9.876e-06  3.725e-06   2.651 0.00802 **
alpha1  8.824e-02  1.796e-02   4.913 8.98e-07 ***
beta1   8.943e-01  2.154e-02  41.516 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Log Likelihood:
3005.503      normalized:  2.427708

Description:
  Tue Oct 20 13:57:42 2020 by user: renuK

Standardised Residuals Tests:

      Jarque-Bera Test  R      Chi^2  101.9964  0
      Shapiro-Wilk Test R      W      0.9894789 9.300495e-08
      Ljung-Box Test   R      Q(10)  8.87      0.544484
      Ljung-Box Test   R      Q(15)  13.63263  0.5535535
      Ljung-Box Test   R      Q(20)  21.23176  0.3836062
      Ljung-Box Test   RA^2  Q(10)  7.387813  0.6883956
      Ljung-Box Test   RA^2  Q(15)  10.48987  0.7878481
      Ljung-Box Test   RA^2  Q(20)  15.4628   0.749342
      LM Arch Test     R      TR^2   10.49049  0.5730123

Information Criterion Statistics:
      AIC      BIC      SIC      HQIC
-4.848954 -4.832407 -4.848975 -4.842731
```

ARMA(0,2) – GARCH(1,1) :

CODE :

```
armagarchm1 = garchFit(~arma(0,2)+garch(1,1), data = adjreturn_ts, trace = F)
summary(armagarchm1)
varmagarchm1 = volatility(armagarchm1)
```

Gaussian

```
armagarchm2 = garchFit(~arma(0,2)+garch(1,1), data = adjreturn_ts, trace = F, cond.dist = 'std')
summary(armagarchm2)
varmagarchm2 = volatility(armagarchm2)
```

Student-t

```
armagarchm3 = garchFit(~arma(0,2)+garch(1,1), data = adjreturn_ts, trace = F, cond.dist = 'sstd')
summary(armagarchm3)
varmagarchm3 = volatility(armagarchm3)
```

Skew Student-t

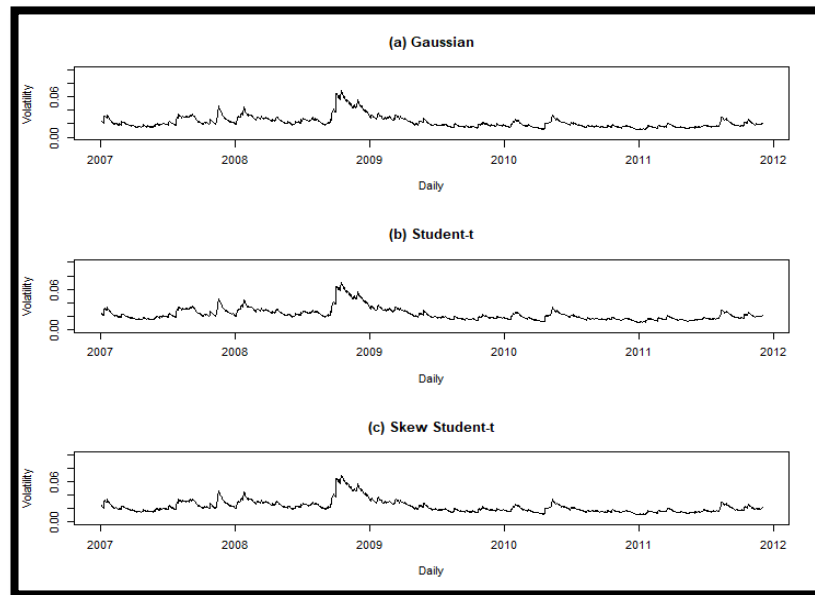
ARMA(0,2) – GARCH(1,1) :

Graph for comparison

CODE :

```
library(ggplot2)
tdx = c(1:1238)/252+2007
par(mfcol=c(3,1))
plot(tdx,varmagarchm1,xlab='Daily',ylab='Volatility',type='l',ylim=c(0,0.1))
title(main='(a) Gaussian')
plot(tdx,varmagarchm12,xlab='Daily',ylab='Volatility',type='l',ylim=c(0,0.1))
title(main='(b) Student-t')
plot(tdx,varmagarchm13,xlab='Daily',ylab='Volatility',type='l',ylim=c(0,0.1))
title(main='(c) Skew Student-t')
```

OUTPUT :



ARMA(0,2) – GARCH(1,1) : Correlation

CODE :

```
cor(cbind(varmagarchm11, varmagarchm11, varmagarchm11))
```

OUTPUT :

	varmagarchm11	varmagarchm11	varmagarchm11
varmagarchm11	1	1	1
varmagarchm11	1	1	1
varmagarchm11	1	1	1

สรุปผล : จากรูปทางด้านบน มีค่าเป็น 1 ทั้งหมด จะเลือกแบบใดก็ได้ แต่ในที่นี้จะเลือก

ARMA(0,2) - GARCH(1,1) ที่ใช้ Gaussian

ARMA(0,2) – GARCH(1,1) : Gaussian

OUTPUT :

```
Title:
GARCH Modelling

Call:
garchFit(formula = ~arma(0, 2) + garch(1, 1), data = adjreturn_ts,
  trace = F)

Mean and Variance Equation:
data ~ arma(0, 2) + garch(1, 1)
<environment: 0x00000215df895690>
[data = adjreturn_ts]

Conditional Distribution:
norm

Coefficient(s):
      mu      ma1      ma2      omega      alpha1      beta1
2.4107e-03  2.3844e-02 -1.1509e-03  9.8095e-06  8.7249e-02  8.9522e-01

Std. Errors:
based on Hessian

Error Analysis:
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
mu      2.411e-03  5.548e-04  4.345 1.39e-05 ***
ma1      2.384e-02  2.993e-02  0.797  0.42565
ma2     -1.151e-03  2.897e-02 -0.040  0.96831
omega    9.809e-06  3.709e-06  2.645  0.00817 **
alpha1   8.725e-02  1.767e-02  4.937 7.92e-07 ***
beta1    8.952e-01  2.133e-02  41.962 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Log Likelihood:
3005.831    normalized:  2.427974

Description:
Tue Oct 20 14:47:57 2020 by user: renuK

Standardised Residuals Tests:

      Jarque-Bera Test  R      Chi^2  Statistic p-Value
Shapiro-Wilk Test    R      W      0.989341  7.800883e-08
Ljung-Box Test       R      Q(10)  7.809637  0.6474252
Ljung-Box Test       R      Q(15)  12.57349  0.6352038
Ljung-Box Test       R      Q(20)  19.92633  0.4625467
Ljung-Box Test      RA2     Q(10)  7.150416  0.7111726
Ljung-Box Test      RA2     Q(15)  9.922439  0.8245901
Ljung-Box Test      RA2     Q(20)  14.95216  0.7791384
LM Arch Test         R      TR^2   10.17271  0.6008118

Information Criterion Statistics:
      AIC      BIC      SIC      HQIC
-4.846254 -4.821434 -4.846301 -4.836919
```

ARMA(3,2) – GARCH(1,1) :

CODE :

```
armagarchm14 = garchFit(~arma(3,2)+garch(1,1), data = adjreturn_ts, trace = F)
summary(armagarchm14)
varmagarchm14 = volatility(armagarchm14)
```

Gaussian

```
armagarchm15 = garchFit(~arma(3,2)+garch(1,1), data = adjreturn_ts, trace = F, cond.dist = 'std')
summary(armagarchm15)
varmagarchm15 = volatility(armagarchm15)
```

Student-t

```
armagarchm16 = garchFit(~arma(3,2)+garch(1,1), data = adjreturn_ts, trace = F, cond.dist = 'sstd')
summary(armagarchm16)
varmagarchm16 = volatility(armagarchm16)
```

Skew Student-t

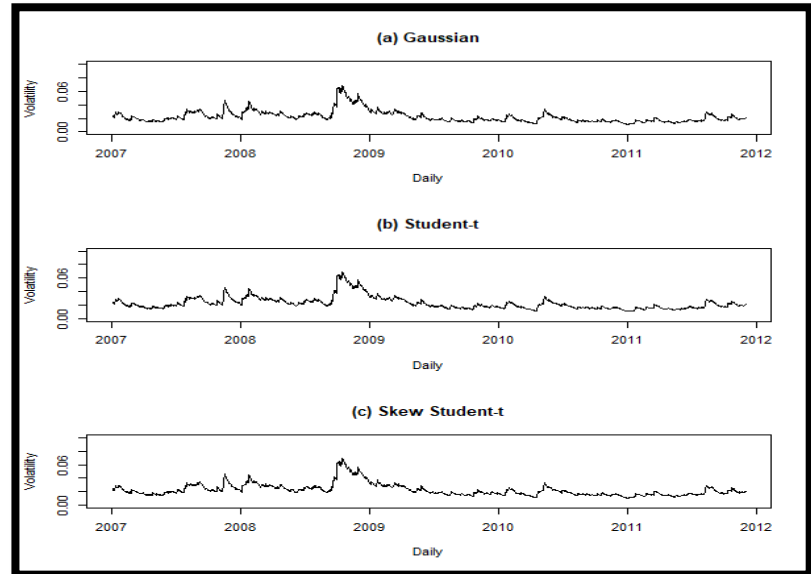
ARMA(3,2) – GARCH(1,1) :

Graph for comparison

CODE :

```
library(ggplot2)
tdx = c(1:1238)/252+2007
par(mfcol=c(3,1))
plot(tdx,varmagarchm14,xlab='Daily',ylab='Volatility',type='l',ylim=c(0,0.1))
title(main='(a) Gaussian')
plot(tdx,varmagarchm15,xlab='Daily',ylab='Volatility',type='l',ylim=c(0,0.1))
title(main='(b) Student-t')
plot(tdx,varmagarchm16,xlab='Daily',ylab='Volatility',type='l',ylim=c(0,0.1))
title(main='(c) Skew Student-t')
```

OUTPUT :



ARMA(3,2) – GARCH(1,1) : Correlation

CODE :

```
cor(cbind(varmagarchm14, varmagarchm15, varmagarchm16))
```

OUTPUT :

	varmagarchm14	varmagarchm15	varmagarchm16
varmagarchm14	1.0000000	0.9980093	0.9979731
varmagarchm15	0.9980093	1.0000000	0.9999998
varmagarchm16	0.9979731	0.9999998	1.0000000

สรุปผล : จากรูปทางด้านบน มีค่าเข้าใกล้ 1 ดังนั้นจะเลือกแบบใดก็ได้ แต่ในที่นี้
จะเลือก ARMA(0,2) - GARCH(1,1) ที่ใช้ Gaussian

ARMA(3,2) – GARCH(1,1) : Gaussian

OUTPUT :

```
Title:
GARCH Modelling

Call:
garchFit(formula = ~arma(3, 2) + garch(1, 1), data = adjreturn_ts,
  trace = F)

Mean and Variance Equation:
data ~ arma(3, 2) + garch(1, 1)
<environment: 0x00000215d9277250>
[data = adjreturn_ts]

Conditional Distribution:
norm

Coefficient(s):
      mu      ar1      ar2      ar3      ma1      ma2
5.0018e-03 -1.0103e-01 -9.1011e-01 1.8021e-03 1.2696e-01 9.0169e-01
      omega      alpha1      beta1
1.0291e-05 9.1314e-02 8.9042e-01

Std. Errors:
based on Hessian

Error Analysis:
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
mu      5.002e-03 1.126e-03 4.441 8.96e-06 ***
ar1     -1.010e-01 4.992e-02 -2.024 0.04298 *
ar2     -9.101e-01 5.616e-02 -16.204 < 2e-16 ***
ar3      1.802e-03 3.007e-02 0.060 0.95221
ma1      1.270e-01 4.035e-02 3.147 0.00165 **
ma2      9.017e-01 6.273e-02 14.375 < 2e-16 ***
omega    1.029e-05 3.942e-06 2.610 0.00904 **
alpha1   9.131e-02 1.934e-02 4.722 2.34e-06 ***
beta1    8.904e-01 2.332e-02 38.183 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Log Likelihood:
3011.588 normalized: 2.432624

Description:
Tue Oct 20 14:50:04 2020 by user: renu

Standardised Residuals Tests:

			Statistic	p-Value
Jarque-Bera Test	R	Chi^2	83.80725	0
Shapiro-Wilk Test	R	W	0.9909289	6.413716e-07
Ljung-Box Test	R	Q(10)	6.910667	0.7338508
Ljung-Box Test	R	Q(15)	10.72056	0.7721401
Ljung-Box Test	R	Q(20)	15.13169	0.7688232
Ljung-Box Test	RA2	Q(10)	7.199274	0.7065079
Ljung-Box Test	RA2	Q(15)	9.748985	0.8352253
Ljung-Box Test	RA2	Q(20)	15.3088	0.7584735
LM Arch Test	R	TR^2	9.676959	0.6442772

Information Criterion Statistics:

AIC	BIC	SIC	HQIC
-4.850708	-4.813478	-4.850813	-4.836705



Comparison Model :

Models	AIC	BIC
ARIMA(0,3,2)	-4757.65	-
GARCH(1,1)	-4.848954	-4.832407
ARMA(0,2) – GARCH(1,1)	-4.84654	-4.821434
ARMA(3,2) – GARCH(1,1)	-4.850708	-4.813478

ในที่นี้จะใช้ ค่า AIC เป็นเกณฑ์ในการเลือกตัวแบบ ดังนั้นตัวแบบที่ได้คือ
ARMA(0,2) – GARCH(1,1)



ARMA(0,2) – GARCH(1,1) :

$$X_t = 2.4107e - 03 + 2.3844e - 02\varepsilon_{t-1} - 1.1509e - 03\varepsilon_{t-2}$$

$$\varepsilon_t = \sigma_t Z_t$$

$$\sigma_t^2 = 9.8095e - 06 + 8.7249e - 02\varepsilon_{t-1}^2 + 8.9522e - 01\sigma_t^2$$

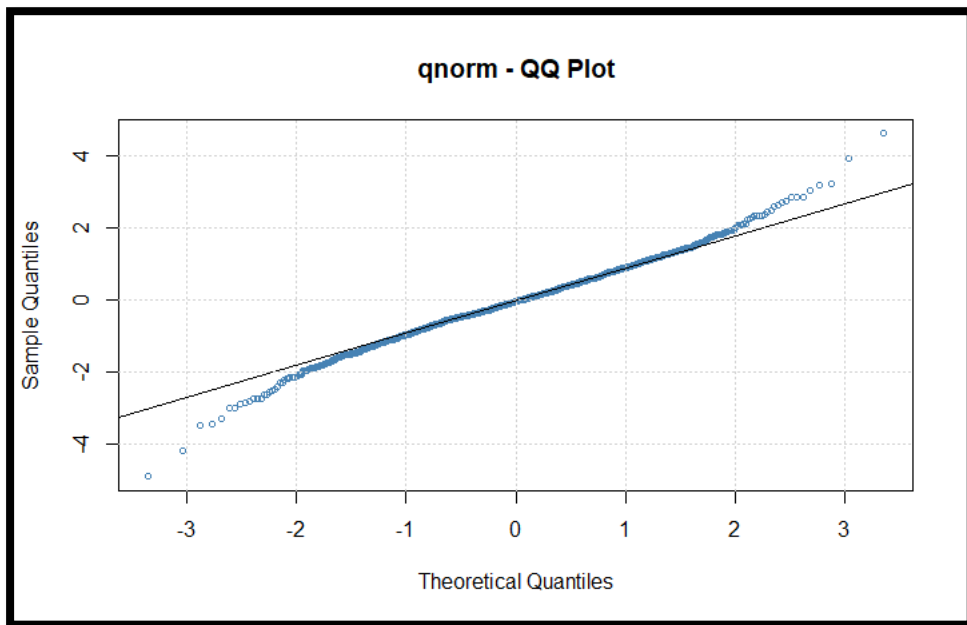
ARMA(0,2) – GARCH(1,1): QQ-Plot of Standardized Residuals :

CODE :

```
plot(armagarchm1)
```

Select 13

OUTPUT :



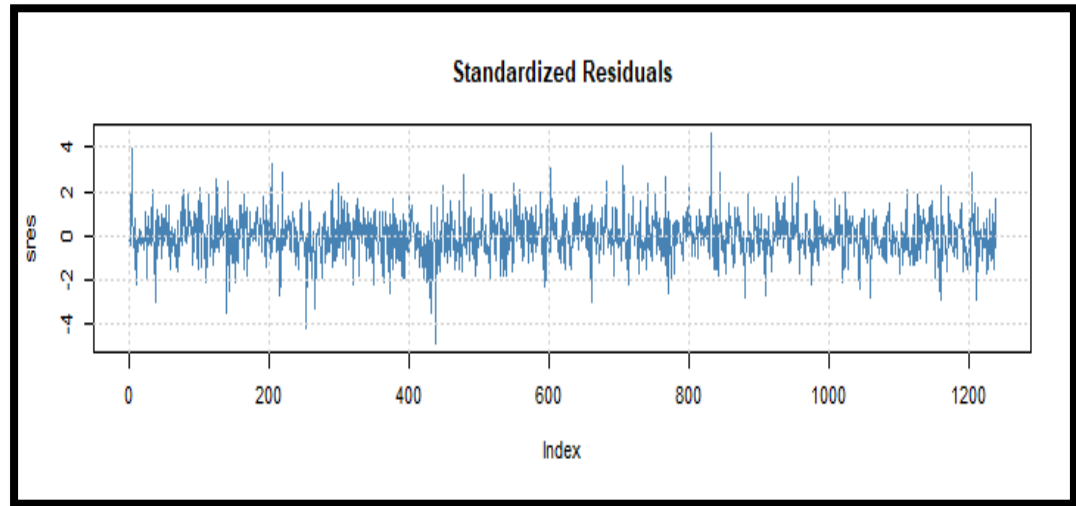
ARMA(0,2) – GARCH(1,1) : Standardized Residuals :

CODE :

```
plot(armagarchm1)
```

Select 9

OUTPUT :





Thank you!