

Value-at-Risk Menggunakan Markov Regime Switching Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (Studi Kasus: Saham PT. Indofood Sukses)

Value-at-Risk Using Markov Regime Switching Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (Case Study: Stock of PT. Indofood Sukses)

Raisa Betha Meiliza

Program Studi Ilmu Komputasi, Fakultas Informatika, Universitas Telkom

raisabetham@gmail.com

Abstrak

Pesatnya perkembangan pasar modal tidak dapat dipisahkan dari peran investor yang melakukan transaksi di pasar modal. Salah satu informasi penting yang dibutuhkan investor sebelum menginvestasikan dananya adalah prediksi risiko terhadap investasi pembelian saham karena kenaikan dan penurunan harga saham yang fluktuatif. Salah satu metode yang digunakan pada pengukuran risiko adalah *Value-at-Risk* (VaR). VaR ditentukan dengan melibatkan model volatilitas dan dalam Tugas Akhir ini menggunakan model volatilitas *Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity* (GARCH) dan *Markov Regime Switching* yang disebut model *Markov Regime Switching Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity* (MRS-GARCH). Pada Tugas Akhir ini menentukan akurasi nilai VaR menggunakan metode *correct VaR* dan model GARCH yang digunakan adalah GARCH dengan orde (1,1). Berdasarkan hasil analisis, metode VaR dengan menggunakan model MRS-GARCH (1,1) $s_t = 0$ dapat mengantisipasi risiko lebih baik dibandingkan model GARCH (1,1) $s_t = 1$. Seperti pada tingkat kepercayaan 95% model MRS-GARCH (1,1) mengalami kegagalan sebesar 0.3% sedangkan model GARCH (1,1) mengalami kegagalan sebesar 0.8%.

Kata Kunci : *Return, Value-at-Risk, GARCH, Markov regime switching, MRS-GARCH, correct VaR*

Abstract

The rapid growth of stock market can't be separated from the role of investor who conduct transaction in stock market. One of important information which is necessary for investor prior investing their fund is the prediction of risk to the investment of stock purchase because the fluctuative of stock price. One of method that can be used for measuring the risk is VaR. VaR is determined by involving volatility model and in this research using Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (GARCH) and Markov Regime Switching Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (MRS-GARCH). In this research to determine the accuracy of VaR value using method of correct VaR and model GARCH with orde (1,1). Based on the results of the analysis, VaR method using MRS-GARCH (1,1) $s_t = 0$ model can anticipate risks better than MRS-GARCH (1,1) $s_t = 1$ model. Such as in the confidence level 95%, model MRS-GARCH (1,1) experienced failure 0,3% while model GARCH (1,1) did failure 0,8%.

Keywords : *Return, Value-at-Risk, GARCH, Markov regime switching, MRS-GARCH, correct VaR*

1. Pendahuluan

Pertumbuhan ekonomi yang terus meningkat menuntut perusahaan atau suatu individu untuk memperoleh kebutuhan dana yang besar. Pasar modal berkembang pesat sebagai tempat yang paling memungkinkan untuk menjadi sumber pendapatan suatu perusahaan maupun individu [1].

Pesatnya perkembangan pasar modal tersebut tidak dapat dipisahkan dari peran investor yang melakukan transaksi di pasar modal. Sebelum para investor memutuskan untuk menginvestasikan dananya di pasar modal, mereka harus mengetahui salah satu informasi penting sebelum menginvestasikan dananya yaitu prediksi risiko

terhadap investasi pembelian saham karena kenaikan dan penurunan harga saham yang fluktuatif.

Dengan dilakukan kajian tentang prediksi risiko terhadap investasi pembelian saham maka suatu perusahaan maupun individu dapat mengantisipasi keadaan di masa yang akan datang sehingga risiko dapat diminimalkan. Salah satu metode yang digunakan pada pengukuran risiko adalah *Value-at-Risk* (VaR). VaR adalah tingkat kerugian maksimum yang mungkin terjadi dengan tingkat kepercayaan (keamanan) tertentu atau dengan kata lain, apabila nilai VaR suatu investasi adalah 100 dengan tingkat kepercayaan 95 persen, maka dapat diartikan bahwa potensi kerugian maksimum yang dapat ditoleransi (dengan tingkat kepercayaan 95 persen) adalah 100 [2].

Salah satu metode dalam VaR adalah penentuan VaR dengan melibatkan model volatilitas. Volatilitas merupakan deviasi standar dari perubahan jarak dari naik turunnya suatu return yang mana berbanding lurus dengan naik turunnya suatu harga. Prakteknya volatilitas selalu bergerak terhadap waktu sehingga muncul model volatilitas heteroskedastik untuk memodelkan volatilitas yang selalu bergerak terhadap waktu. Dalam Tugas Akhir ini menggunakan model volatilitas *Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity* (GARCH). Model volatilitas GARCH adalah pemodelan runtun waktu yang mampu memodelkan adanya heteroskedastik dengan baik [3].

Markov Regime Switching merupakan alternatif pemodelan data runtun waktu yang mengalami perubahan keadaan. Hal ini yang mendasari munculnya model *Markov Regime Switching Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity* (MRS-GARCH) untuk mengatasi heteroskedastisitas sekaligus mengetahui perubahan antara *regime* volatilitas rendah dan

tinggi [4]. Pada Tugas Akhir Juri Marcucci (2005), menggunakan data pasar saham Amerika Serikat menunjukkan bahwa model MRS-GARCH memiliki kemampuan prediksi yang unggul dalam peramalan volatilitas [5]. Oleh karena itu, pada Tugas Akhir ini MRS-GARCH digunakan untuk prediksi risiko terhadap investasi pembelian saham dengan menggunakan batasan masalah yaitu menentukan akurasi nilai VaR dengan metode *correct* VaR dan model GARCH yang digunakan adalah GARCH dengan orde (1,1) dengan mempertimbangkan kesederhanaan model.

2. Kajian Pustaka

2.1 Return Saham

Return saham adalah hasil yang diperoleh dari investasi dengan cara menghitung selisih harga saham periode berjalan dengan periode sebelumnya dengan mengabaikan dividen [6]. Menurut Jogiyanto (2003: 109) *return* saham dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu *return* realisasi (*realized return*) dan *return* ekspektasi (*expected return*). *Return* realisasi merupakan *return* yang sudah terjadi dan dihitung berdasarkan data historis. *Return* realisasi dapat digunakan sebagai dasar penentu *return* ekspektasi dan risiko di masa yang akan datang, sedangkan *return* ekspektasi merupakan *return* yang diharapkan terjadi di masa mendatang dan masih bersifat tidak pasti. Perhitungan nilai *return* sederhana sebagai berikut [7]:

$$R_t = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}} \quad (2.1)$$

Keterangan:

R_t : *Return* sederhana

P_t : Harga saham pada periode t

P_{t-1} : Harga saham pada periode $t - 1$

Pada return sederhana tidak memiliki sifat aditif. Sifat aditif adalah penjumlahan *return* pada setiap periode dapat menentukan *return* pada suatu periode. Oleh karena itu *return* majemuk dapat memenuhi kekurangan tersebut karena memiliki sifat aditif. Berikut perhitungan nilai *return* majemuk:

$$R_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right) \quad (2.2)$$

Keterangan:

R_t : *Return* saham pada periode t

P_t : Harga saham pada periode t

P_{t-1} : Harga saham pada periode $t - 1$

2.2 Model GARCH

Pada tahun 1986, Tim Bollerslev mengembangkan model *Autoregressive Conditional Heteroscedasticity* (ARCH) menjadi *Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity* (GARCH) untuk memberikan hasil yang lebih efisien dibandingkan model ARCH. Secara sederhana volatilitas berdasarkan GARCH(p, q) mengasumsikan bahwa variansi data fluktuasi dipengaruhi oleh sejumlah p data fluktuasi sebelumnya dan sejumlah q data volatilitas sebelumnya [8].

Model GARCH merupakan model heteroskedastik karena memiliki nilai volatilitas yang bergerak terhadap waktu. Model GARCH melibatkan *autoregressive* karena dalam pemodelannya melibatkan variabel pengamatan sebelumnya (X_{t-1}), volatilitas sebelumnya (σ_{t-1}) dan waktu pengamatan. Secara umum X_t dalam model GARCH(p, q) mengikuti model berikut [9]:

$$X_t = \sigma_t \cdot \varepsilon_t \quad (2.3)$$

dengan σ_t^2

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i X_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{t-i}^2 \quad (2.4)$$

dengan $p \geq 0$, $q \geq 0$, $\alpha_0 > 0$ dan $\alpha_i \geq 0$ untuk $i = 1, \dots, q$ dan $\beta_j \geq 0$ untuk $j = 1, \dots, p$. Seperti ARCH syarat $\alpha_0 > 0$, $\alpha_i \geq 0$ dan $\beta_j \geq 0$ dibutuhkan agar variansi bersyarat $\sigma_t^2 > 0$. Tugas Akhir ini menggunakan GARCH(1,1), yang dirumuskan sebagai berikut:

$$X_t = \sigma_t \cdot \varepsilon_t \quad (2.5)$$

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 \quad (2.6)$$

Keterangan:

X_t : Nilai *return* pada waktu t

ε_t : Barisan *error* yang diasumsikan saling bebas dan berdistribusi identik normal baku, $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma_{\varepsilon}^2)$ iid

σ_t^2 : Variansi pada waktu t

α_0 : Konstanta

α_i : Koefisien ARCH, dimana $i = 1, 2, \dots, q$

β_j : Koefisien GARCH, dimana $j = 1, 2, \dots, p$

2.3 Model Markov Regime Switching GARCH

2.3.1 Model Markov Regime Switching

Model *Markov Regime Switching* yang merupakan alternatif pemodelan data runtun waktu yang mengalami perubahan keadaan. Perubahan struktur model yang terjadi di dalam *markov regime switching* disebut *state* karena dianggap sebagai suatu hasil variabel random tak teramati. s_t merepresentasikan periode *state* yang berbeda. Jika probabilitas s_t sama dengan nilai tertentu sebesar j , untuk $j \in \{0, 1\}$ yang dependen terhadap nilai masa

lalunya hanya berdasarkan nilai s_{t-1} yang terkini [10].

Pada Tugas Akhir ini digunakan metode persentase untuk mencari *threshold*. Penentuan nilai *threshold* dengan menggunakan metode persentase didapatkan dengan cara sebagai berikut [11]:

1. Mengurutkan data dari yang terbesar hingga terkecil.
2. Menghitung 10% dari jumlah data (k)

$$k = 10\% \times N$$

$$N = \text{jumlah data}$$

3. Menentukan nilai *threshold* (u) yaitu *threshold* berada pada data urutan

$$(k + 1) \tag{2.7}$$

2.3.2 Model Markov Regime Switching GARCH

Model *Markov Regime Switching* dapat menjelaskan perubahan struktur, namun tidak bisa menjelaskan pergeseran volatilitas. Sehingga diperlukan model yang dapat menjelaskan perubahan struktur dan perubahan antara *regime* volatilitas rendah dan tinggi, yaitu model *Markov Regime Switching Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity* (MRS-GARCH). Model *Markov Regime Switching GARCH* dirumuskan sebagai berikut [12]:

$$X_t = \sigma_t \cdot \varepsilon_t \tag{2.8}$$

dengan σ_t^2

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 s_t + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 \tag{2.9}$$

$$\alpha_0 s_t = \gamma_0 + \gamma_1 \cdot s_t \tag{2.10}$$

2.4 Value-at-Risk (VaR)

Value-at-Risk didefinisikan sebagai penduga kerugian maksimum yang didapatkan oleh investor selama periode tertentu. VaR adalah nilai

kemungkinan yang memberikan informasi yang penting tentang probabilitas dan jumlah nilai kerugian, dinyatakan secara sederhana dan mudah dimengerti tentang pengukuran unit aset yang merugi. Secara sederhana VaR membantu menjawab “seberapa besar (dalam persen atau sejumlah uang tertentu) investor dapat merugi selama waktu T dengan tingkat kepercayaan sebesar $(1 - \alpha)$ ”.

Tingkat kepercayaan adalah probailitas dimana nilai VaR tidak akan melebihi kerugian maksimum. Penentuan tingkat kepercayaan sangat berperan penting karena dapat menggambarkan seberapa besar perusahaan mampu mengambil suatu risiko dan harga kerugian yang melebihi VaR [13]. VaR pada tingkat kepercayaan $(1 - \alpha)$ adalah sebagai berikut [14]:

$$VaR_{1-\alpha}(X) = F_x^{-1}(1 - \alpha) \tag{2.11}$$

Keterangan:

$VaR_{1-\alpha}$: VaR pada tingkat kepercayaan $1 - \alpha$

F^{-1} : Merupakan invers dari fungsi distribusi F

2.5 Correct VaR

Correct VaR menghitung perbandingan banyaknya nilai return saham yang lebih besar dari nilai $VaR_{1-\alpha}$ untuk suatu $1 - \alpha$ dibandingkan dengan total keseluruhan nilai $VaR_{1-\alpha}$ yang dihitung. Berikut rumusan untuk menentukan *correct VaR* [15]:

$$correct VaR = \frac{K}{N} \tag{2.12}$$

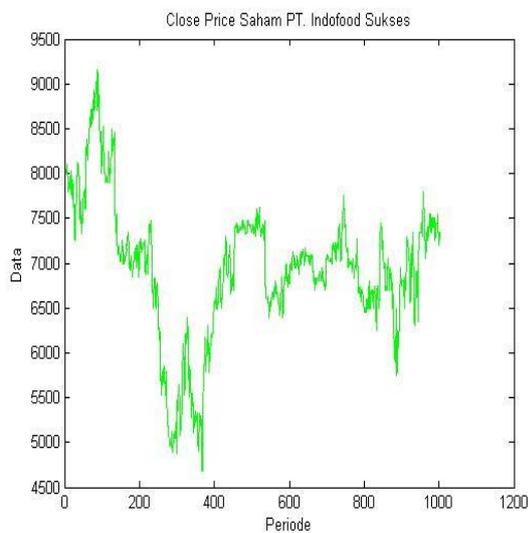
Keterangan:

K : Banyaknya nilai *return* > VaR

N : Banyaknya nilai VaR yang dihitung

3. Metodologi dan Desain Sistem

3.1 Data



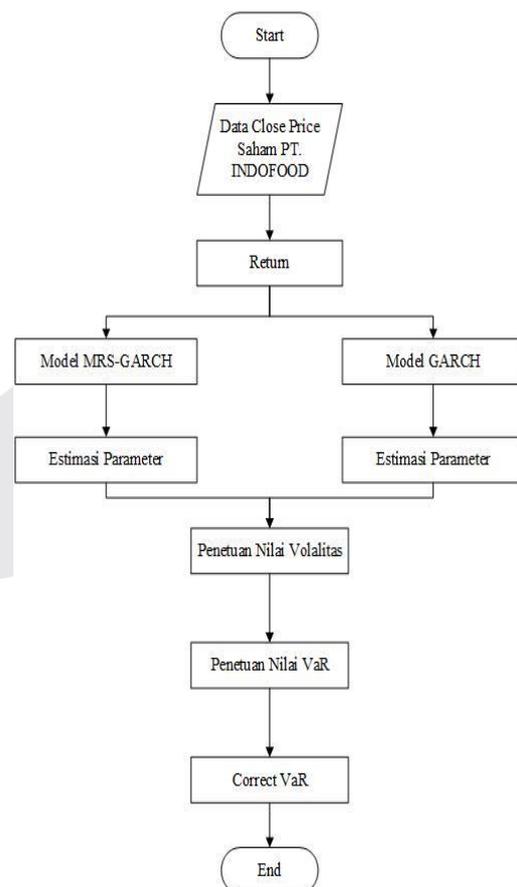
Gambar 3-1 Grafik Close Price Saham PT. Indofood Sukses

Data dalam Tugas Akhir ini menggunakan data saham PT. Indofood yang diambil dari Yahoo Finance. Data yang dipilih berdasarkan observasi selama empat tahun dari tanggal 21 Maret 2013 sampai dengan 30 Januari 2017. Jumlah data historis harian yang tersedia pada rentang waktu tersebut adalah 1001 data. Data yang didapat terdiri dari *Date*, *Open Price*, *High Price*, *Low Price*, *Volume*, *Adj Close* dan *Close*. Pada Tugas Akhir ini digunakan data *Close Price* dalam pengolahan data.

3.2 Alur Perancangan Sistem

1. Input data *Close Price* saham PT. Indofood,
2. Menentukan nilai *return* majemuk dari data *Close Price* saham menggunakan formula (2.2),
3. Mengidentifikasi model MRS-GARCH(1,1) dan model GARCH(1,1) dari data *Close Price* saham,

4. Menentukan estimasi parameter model MRS-GARCH(1,1) dan GARCH(1,1) dari data *Close Price* saham dengan menggunakan *maximum likelihood estimation* (MLE),
5. Menentukan nilai volatilitas berdasarkan estimasi parameter model MRS-GARCH(1,1) dan GARCH(1,1),
6. Menentukan nilai VaR dari data *Close Price* saham menggunakan formula (2.11),
7. Menentukan akurasi nilai VaR dengan metode *correct VaR* menggunakan formula (2.12),
8. Menganalisa hasil yang diperoleh dari langkah 1 sampai 7.

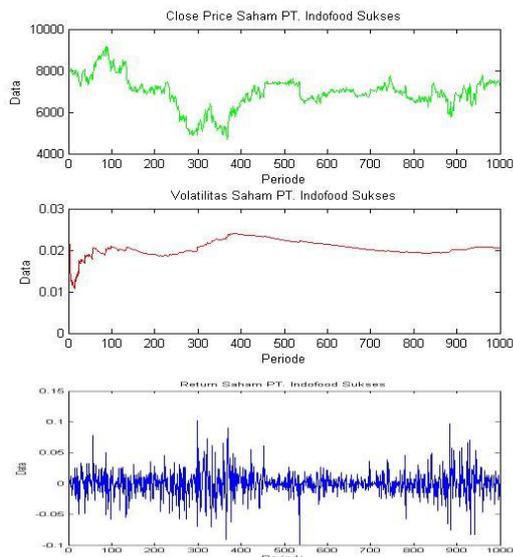


Gambar 3-2 Alur Sistem kerja Value-at-Risk menggunakan MRS-GARCH dan GARCH

4. Pengujian dan Analisis

4.1 Analisis Data

Hasil dari data historis harian pada *Close Price* saham PT. Indofood Sukses didapatkan nilai *return* majemuk menggunakan formula (2.2) dan nilai volatilitas. Berikut adalah grafik analisis data:



Gambar 4-1 Grafik Analisis Data Saham PT. Indofood Sukses

Pada Gambar 4-1 terlihat bahwa penurunan harga saham lebih memiliki dampak terhadap volatilitas dibandingkan dengan kenaikan harga saham. Ketika harga saham mengalami penurunan maka volatilitas mengalami kenaikan dan sebaliknya ketika harga saham mengalami kenaikan maka volatilitas mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa volatilitas memiliki sifat asimetris

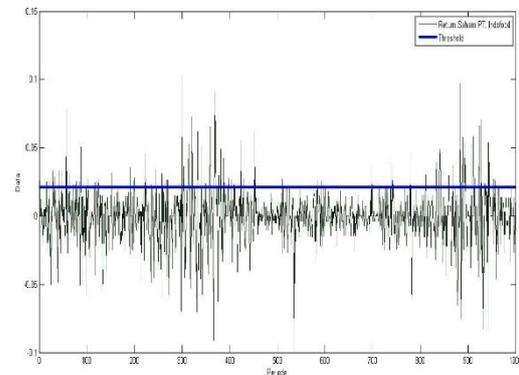
4.2 Model Markov Regime Switching GARCH(1,1)

4.2.1 Threshold

Berdasarkan pembahasan pada kajian pustaka mengenai metode persentase untuk mencari *threshold* pada data *return* saham PT. Indofood Sukses menggunakan formula (2.7) maka

didapatkan nilai k sebesar 100 sehingga *threshold* berada di data ke 101.

Sehingga nilai ambang batas pada data return saham PT. Indofood Sukses yang didapat yaitu sebesar 0.021128



Gambar 4-2 Grafik Threshold Return Saham PT. Indofood Sukses

Pada Gambar 4-2, terdapat garis berwarna biru sepanjang *return* dari proses MRS-GARCH. Garis tersebut merupakan batas dari *high volatility* dan *low volatility*. Proses dikatakan *low volatility* ($s_t = 0$) apabila *return* berada dibawah garis tersebut, sedangkan untuk keadaan *high volatility* atau ($s_t = 1$) apabila *return* berada diatas garis tersebut.

Pada Tugas Akhir ini menggunakan model *Markov Regime Switching Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity* (MRS-GARCH) yang merupakan model time series yang dikaitkan dengan data saham PT. Indofood Sukses yang merupakan data time series. Untuk memperoleh pola data time series harus menggunakan data masa lalu yang digunakan untuk meramalkan suatu nilai pada masa yang akan datang. Oleh karena itu dalam Tugas Akhir ini menggunakan ekspektasi bersyarat dan variansi bersyarat observasi sebelumnya untuk mengestimasi parameter.

4.2.2 Markov Regime Switching GARCH(1,1) untuk $s_t = 0$

1. Ekpektasi Bersyarat

Berdasarkan pembahasan pada kajian pustaka mengenai model *Markov Regime Switching GARCH(1,1)* pada formula (2.8) maka:

$$\begin{aligned} E(X_t|X_{t-1}) &= E(\sigma_t \cdot \varepsilon_t | X_{t-1}) \\ &= E(\sigma_t | X_{t-1}) \cdot E(\varepsilon_t | X_{t-1}) \\ &= E\left(\left(\sqrt{\gamma_0 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2}\right) | X_{t-1}\right) \cdot E(\varepsilon_t) \\ &= 0 \end{aligned}$$

2. Variansi Bersyarat

$$\begin{aligned} Var(X_t|X_{t-1}) &= E(X_t^2|X_{t-1}) - (E(X_t|X_{t-1}))^2 \\ &= E(\sigma_t^2 \cdot \varepsilon_t^2 | X_{t-1}) \\ &= E(\gamma_0 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 | X_{t-1}) \cdot E(\varepsilon_t^2 | X_{t-1}) \\ &= \gamma_0 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 \\ &= \sigma_t^2 \end{aligned}$$

3. Fungsi Likelihood MRS-GARCH(1,1) untuk $s_t = 0$

Untuk menentukan estimasi nilai parameter menggunakan persamaan 2.9. Persamaan tersebut memerlukan nilai γ_0 , α_1 dan β_1 sebagai koefisien untuk $s_t = 0$. Untuk memperoleh parameter tersebut menggunakan fungsi maksimum likelihood sebagai penaksir parameter.

$$f_{X_t|X_{t-1}}(x_t|x_{t-1}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \sigma_t^2}} \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{(x_t - \mu_t)^2}{\sigma_t^2}\right) \quad (4.1)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot (\gamma_0 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2)}} \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{x_t^2}{(\gamma_0 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2)}\right) \quad (4.2)$$

dengan fungsi likelihoodnya adalah:

$$L(\gamma_0, \alpha_1, \beta_1 | (X_t | X_{t-1})) =$$

$$= \prod_{t=2}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot (\gamma_0 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2)}} \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{x_t^2}{(\gamma_0 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2)}\right) \quad (4.3)$$

$$l(\theta) = \log(L(\gamma_0, \alpha_1, \beta_1 | (X_t | X_{t-1})))$$

$$= -\frac{1}{2} \sum_{t=2}^n \left(\log(2\pi) + \log(\gamma_0 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2) + \frac{x_{0t}^2}{(\gamma_0 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2)} \right) \quad (4.4)$$

Dari persamaan (4.4) diaplikasikan ke dalam fungsi *fminsearch* pada Matlab untuk mendapatkan nilai parameter model MRS-GARCH(1,1) untuk $s_t = 0$ dengan memaksimumkan fungsi likelihood.

4. Nilai Parameter Likelihood MRS-GARCH untuk $s_t = 0$

Berikut nilai parameter γ_0 , α_1 dan β_1 yang diperoleh dengan menggunakan metode Maksimum Likelihood:

Tabel 4-1 Parameter MRS-GARCH(1,1) untuk $s_t = 0$

γ_0	α_1	β_1
0.000117	0.7237	0.81098

Pada Tabel 4-1 tersebut didapatkan nilai yang memenuhi syarat estimasi parameter pada model MRS-GARCH(1,1) untuk $s_t = 0$ dengan syarat $\alpha_0 > 0$, $\alpha_1 \geq 0$, dan $\beta_1 \geq 0$. Setelah diperoleh nilai parameter γ_0 , α_1 dan β_1 dari data saham PT. Indofood Sukses kemudian dimasukkan dalam persamaan MRS-GARCH(1,1) untuk $s_t = 0$.

$$X_t = \sigma_t \cdot \varepsilon_t \quad (4.5)$$

$$\sigma_t^2 = \alpha_{0s_t} + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 \quad (4.6)$$

$$\alpha_{00t} = \gamma_0 + \gamma_1 \cdot 0 \quad (4.7)$$

$$\sigma_t^2 = 0.000117 + 0.7237(X_{t-1}^2) + 0.81098(\sigma_{t-1}^2) \quad (4.8)$$

4.2.3 Markov Regime Switching GARCH(1,1)

untuk $s_t = 1$

1. Ekpektasi Bersyarat

Berdasarkan pembahasan pada kajian pustaka mengenai model *Markov Regime Switching GARCH(1,1)* pada formula (2.8) maka:

$$\begin{aligned}
 E(X_t|X_{t-1}) &= E(\sigma_t \cdot \varepsilon_t|X_{t-1}) \\
 &= E(\sigma_t|X_{t-1}) \cdot E(\varepsilon_t|X_{t-1}) \\
 &= E\left(\left(\sqrt{\gamma_0 + \gamma_1 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2}\right)|X_{t-1}\right) \cdot E(\varepsilon_t) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

2. Variansi Bersyarat

$$\begin{aligned}
 Var(X_t|X_{t-1}) &= E(X_t^2|X_{t-1}) - (E(X_t|X_{t-1}))^2 \\
 &= E(\sigma_t^2 \cdot \varepsilon_t^2|X_{t-1}) \\
 &= E(\gamma_0 + \gamma_1 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2|X_{t-1}) \cdot E(\varepsilon_t^2|X_{t-1}) \\
 &= \gamma_0 + \gamma_1 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 \\
 &= \sigma_t^2
 \end{aligned}$$

3. Fungsi Likelihood MRS-GARCH(1,1)

untuk $s_t = 1$

Untuk menentukan estimasi nilai parameter menggunakan persamaan 2.9. Persamaan tersebut memerlukan nilai $\gamma_0, \gamma_1, \alpha_1$ dan β_1 sebagai koefisien untuk $s_t = 1$. Untuk memperoleh parameter tersebut menggunakan fungsi maksimum likelihood sebagai penaksir parameter.

$$f_{X_t|X_{t-1}}(x_t|x_{t-1}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \sigma_t^2}} \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{(x_t - \mu_t)^2}{\sigma_t^2}\right) \quad (4.9)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot (\gamma_0 + \gamma_1 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2)}} \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{x_t^2}{(\gamma_0 + \gamma_1 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2)}\right) \quad (4.10)$$

dengan fungsi likelihoodnya adalah:

$$L(\gamma_0, \gamma_1, \alpha_1, \beta_1 | (X_t | X_{t-1})) =$$

$$= \prod_{t=2}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot (\gamma_0 + \gamma_1 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2)}} \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{x_t^2}{(\gamma_0 + \gamma_1 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2)}\right) \quad (4.11)$$

$$l(\theta) = \log(L(\gamma_0, \gamma_1, \alpha_1, \beta_1 | (X_t | X_{t-1})))$$

$$= -\frac{1}{2} \sum_{t=2}^n \left(\log(2\pi) + \log(\gamma_0 + \gamma_1 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2) + \frac{x_t^2}{(\gamma_0 + \gamma_1 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2)} \right) \quad (4.12)$$

Dari persamaan (4.12) diaplikasikan ke dalam fungsi *fminsearch* pada Matlab untuk mendapatkan nilai parameter model MRS-GARCH(1,1) untuk $s_t = 1$ dengan memaksimumkan fungsi likelihood.

4. Nilai Parameter Likelihood MRS-GARCH

untuk $s_t = 1$

Berikut nilai parameter $\gamma_0, \gamma_1, \alpha_1$ dan β_1 yang diperoleh dengan menggunakan metode Maksimum Likelihood:

Tabel 4-2 Parameter MRS-GARCH(1,1)

untuk $s_t = 1$

γ_0	γ_1	α_1	β_1
0.08640	-0.08608	0.25798	0.51109

Pada Tabel 4-2 tersebut didapatkan nilai yang memenuhi syarat estimasi parameter pada model MRS-GARCH(1,1) untuk $s_t = 1$ dengan syarat $\alpha_0 > 0, \alpha_1 \geq 0$, dan $\beta_1 \geq 0$. Setelah diperoleh nilai parameter $\gamma_0, \gamma_1, \alpha_1$ dan β_1 dari data saham PT. Indofood Sukses kemudian dimasukkan dalam persamaan MRS-GARCH(1,1) untuk $s_t = 1$.

$$X_t = \sigma_t \cdot \varepsilon_t \quad (4.13)$$

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 s_t + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 \quad (4.14)$$

$$\alpha_{01t} = \gamma_0 + \gamma_1 \cdot 1 \quad (4.15)$$

$$\sigma_t^2 = 0.08640 - 0.08608 + 0.25798(X_{t-1}^2) + 0.51109(\sigma_{t-1}^2) \quad (4.16)$$

4.3 Value-at-Risk (VaR)

Value-at-Risk pada Tugas Akhir ini menggunakan formula (2.12) untuk mencari nilai Value-at-Risk dengan tingkat kepercayaan 90%, 95%, dan 99%. Hasil dari model *markov regime switching* GARCH(1,1) dapat dilihat dari nilai VaR yang tidak melewati return *close price* saham PT. Indofood Sukses dengan tingkat kepercayaan $(1 - \alpha)$ yang ditentukan.

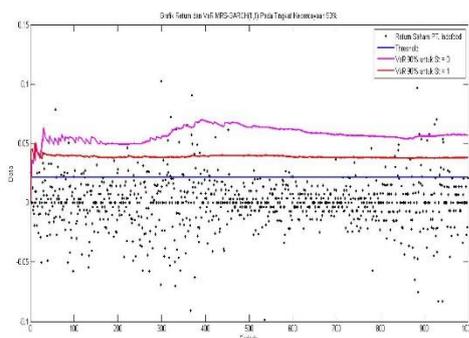
4.3.1 VaR-MRS-GARCH(1,1)

Berikut adalah hasil VaR-MRS-GARCH(1,1) dengan tiga jenis tingkat kepercayaan, yaitu tingkat tingkat kepercayaan 90%, tingkat kepercayaan 95%, dan tingkat kepercayaan 99%, dicontohkan nilai VaR pada saat hari ke 1000:

Tabel 4-3 VaR-MRS-GARCH(1,1)

VaR	Tingkat Kepercayaan $(1 - \alpha)$		
	90%	95%	99%
MRS-GARCH untuk $s_t = 0$	0.0568	0.0768	0.1371
MRS-GARCH untuk $s_t = 1$	0.0381	0.0495	0.0811

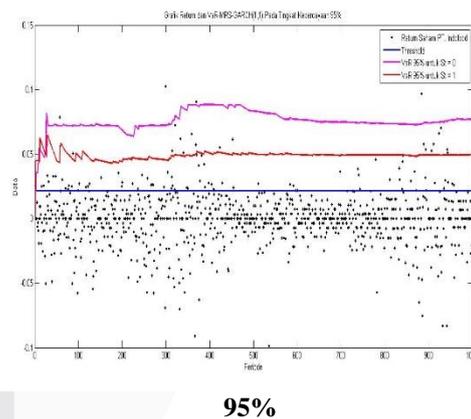
Pada Tabel 4-3 terlihat bahwa nilai VaR pada tiga jenis tingkat kepercayaan memiliki nilai yang berbeda. Analisis nilai VaR-MRS-GARCH(1,1) disetiap tingkat kepercayaan dapat dilihat juga pada plot grafik berikut:



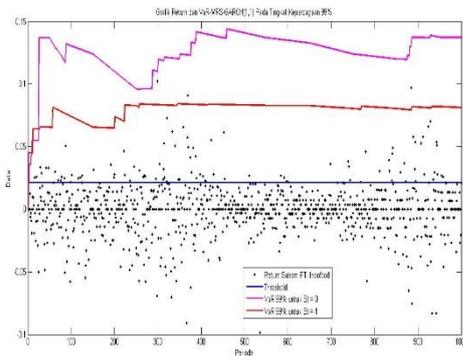
Gambar 4-3 Grafik Return Saham dan VaR-MRS-GARCH(1,1) Pada Tingkat Kepercayaan 90%

Pada Gambar 4-3 terlihat threshold (garis biru), nilai *return* (titik hitam) saham PT. Indofood, VaR-MRS-GARCH (1,1) untuk $s_t = 0$ (garis magenta) pada tingkat kepercayaan 90% bernilai 0.0568 dapat mengantisipasi risiko lebih baik dibandingkan dengan VaR-MRS-GARCH (1,1) untuk $s_t = 1$ (garis merah) pada tingkat kepercayaan 90% bernilai 0.0381, meskipun pada gambar terlihat masih ada risiko yang tidak dapat diantisipasi oleh VaR-MRS-GARCH (1,1) untuk $s_t = 0$ pada tingkat kepercayaan 90%.

Gambar 4-4 Grafik Return Saham dan VaR-MRS-GARCH(1,1) Pada Tingkat Kepercayaan 95%



Pada Gambar 4-4 terlihat threshold (garis biru), nilai *return* (titik hitam) saham PT. Indofood, VaR-MRS-GARCH (1,1) untuk $s_t = 0$ (garis magenta) pada tingkat kepercayaan 95% bernilai 0.0768 dapat mengantisipasi risiko lebih baik dibandingkan dengan VaR-MRS-GARCH (1,1) untuk $s_t = 1$ (garis merah) pada tingkat kepercayaan 95% bernilai 0.0495, meskipun pada gambar terlihat masih ada risiko yang tidak dapat diantisipasi oleh VaR-MRS-GARCH (1,1) untuk $s_t = 0$ pada tingkat kepercayaan 95%.



Gambar 4-5 Grafik Return Saham dan VaR-MRS-GARCH(1,1) Pada Tingkat Kepercayaan 99%

Pada Gambar 4-5 terlihat threshold (garis biru), nilai return (titik hitam) saham PT. Indofood, VaR-MRS-GARCH (1,1) untuk $s_t = 0$ (garis magenta) pada tingkat kepercayaan 99% bernilai 0.1371 dapat mengantisipasi risiko dengan baik dibandingkan dengan VaR-MRS-GARCH (1,1) untuk $s_t = 1$ (garis merah) pada tingkat kepercayaan 99% bernilai 0.0811, karena pada gambar terlihat semua risiko dapat diantisipasi oleh VaR-MRS-GARCH (1,1) untuk $s_t = 0$ pada tingkat kepercayaan 99%.

4.3.2 Correct VaR

Tabel 4-4 Correct VaR MRS-GARCH(1,1)

Banyaknya Periode	1000			Mean error
	10%	5%	1%	
Expected Number of Correct VaR	100	50	10	
MRS-GARCH(1,1) untuk $s_t = 0$	6	3	0	151
MRS-GARCH(1,1) untuk $s_t = 1$	20	8	3	129

Pada Tabel 4-4 terlihat bahwa MRS-GARCH(1,1) untuk $s_t = 0$ memiliki mean error sebesar 151 dan MRS-GARCH(1,1) untuk $s_t = 1$ memiliki mean error sebesar 129, mean error

didapatkan dari kesalahan prediksi yang dijumlahkan, dengan perbandingan jumlah nilai mean error pada kedua metode tersebut dapat disimpulkan bahwa metode VaR-MRS-GARCH(1,1) untuk $s_t = 1$ adalah metode VaR yang lebih efisien dalam menyediakan dana untuk mengantisipasi risiko kerugian.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Berdasarkan hasil implementasi model GARCH(1,1) dan MRS-GARCH(1,1) pada data close price saham PT. Indofood, dapat diperoleh nilai volatilitas untuk dilibatkan dalam perhitungan Value at Risk.
2. Nilai VaR-MRS-GARCH (1,1) untuk keadaan low volatility ($s_t = 0$) memiliki nilai VaR yang lebih besar disetiap tingkat kepercayaan yaitu 90%, 95%, dan 99% dibandingkan VaR-MRS-GARCH (1,1) untuk keadaan high volatility ($s_t = 1$), sehingga VaR-MRS-GARCH (1,1) untuk keadaan low volatility ($s_t = 0$) lebih aman untuk mengantisipasi risiko.
3. Hasil akurasi dengan Correct VaR menyatakan VaR-MRS-GARCH (1,1) untuk keadaan high volatility ($s_t = 1$) lebih efisien dalam menyediakan dana untuk mengantisipasi risiko kerugian dibandingkan VaR-MRS-GARCH (1,1) untuk keadaan low volatility ($s_t = 0$).

5.2 Saran

Saran yang bisa penulis berikan setelah pengerjaan Tugas Akhir ini adalah:

Untuk mengantisipasi nilai risiko yang melebihi VaR, dapat menggunakan *Expected Shortfall*. Kebutuhan yang diakomodir oleh ukuran risiko *Expected Shortfall* adalah seberapa besar kerugian yang harus ditanggung oleh seorang investor apabila terjadi kerugian melebihi VaR.

Referensi

- [1] Mulyono. (2015). Peran dan Fungsi Pasar Modal dan Penatalaksanaannya Dalam Pembangunan Perekonomian Nasional. Indonesia.
- [2] Dharmawan, Komang. (2012). Estimasi Nilai VaR Dinamis Indeks Saham Menggunakan *Peak-Over Threshold* dan *Block Maxima*. Universitas Udayana, Bali.
- [3] Pratama, Alvan. (2014). Peramalan Data Runtun Waktu dengan Model ARIMAX-GARCH dalam Pasar Modal Syariah. Skripsi. UIN Sunan Kalijaga, Yogyakarta, Indonesia.
- [4] Farida, Nur; Nelliawati; Fauzana, Rhinta; Kurniaty, Vinta. (2012). *Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity* (GARCH). Universitas Riau, Pekanbaru.
- [5] Marcucci, Juri. (2005). Forecasting Stock Market Volatility with Regime Switching GARCH Models. University of California, San Diego, United States.
- [6] Haryono; Akbar, M. Sjahid; Zuhara Ummi. (2012). "Penggunaan Metode VaR (*Value at Risk*) dalam Analisis Risiko Investasi Saham dengan Pendekatan *Generalized Pareto Distribution (GPD)*". Jurnal Sains dan Seni ITS,(1),(1). ISSN: 2301-928X
- [7] Ross, A Stephen. Westerfield, Randolph W. Jordan, Bradford D. (2003). *Fundamentals of Corporate Finance* Sixth edition. New York: Mc Graw-Hill.
- [8] Marvillia, Bunga Lety. (2013). Pemodelan dan Peramalan Penutupan Harga Saham PT. Telkom dengan Metode ARCH – GARCH. Universitas Negeri Surabaya, Indonesia.
- [9] Bollerslev, Tim. *Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity*, *Econometrics* 31 (1986), 307-327.
- [10] Augustsson, Viktor. (2014). Evaluating Switching GARCH Volatility Forecasts During the Recent Financial Crisis. Master Thesis. Lund University.
- [11] Malika, Rosna; Sutikno. Declustering Peaks Over Threshold Pada Data Curah Hujan Ekstrim Dependen di Sentra Produksi Padi Jawa Timut. FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia.
- [12] Cai, J. (1994). A Markov Model of Switching-Regime ARCH. *Journal of Business and Economic Statistics*.
- [13] Suhadi. (2012). Evaluasi Perhitungan *Value at Risk* dengan simulasi Monte Carlo dan Simulasi Historis pada Tiga Bank Badan Usaha Milik Negara(BUMN). Universitas Indonesia, Indonesia.
- [14] Paridi; Noviyanti, Lienda; Handoko, Budi. (2015). Estimasi Value at Risk Dinamis Menggunakan Metode Block Maxima. Universitas Padjajaran, Bandung, Indonesia.

- [15] Arifin, Yulianto Nur. (2014). Ukuran Risiko Pada Portofolio Aset. Tugas Akhir. Institut Teknologi Bandung, Indonesia.

