

PREDIKSI HARGA SAHAM MENGGUNAKAN GEOMETRIC BROWNIAN MOTION WITH JUMP DIFFUSION DAN ANALISIS RISIKO DENGAN EXPECTED SHORTFALL (Studi Kasus: Harga Penutupan Saham PT. Waskita Karya Persero Tbk.)

Nidaul Khoir¹, Di Asih I Maruddani^{2*}, Dwi Ispriyanti³

^{1,2,3}Departemen Statistika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro

*email: maruddani@live.undip.ac.id

ABSTRACT

Investment is an activity that is quite popular among investors in recent years. One of the forms of investment in the financial sector is investing in the capital market by buying stocks in a company. The level of profit from stock investment activities can be seen from the value of stock returns. Factors that can affect the value of stock returns are stock prices. However, stock prices often experience unpredictable changes so that they experience fluctuating movements with increasing time and developing situations, therefore a stock price model is needed to predict stock prices in the future period. The Geometric Brownian Motion with Jump Diffusion's method is more appropriate to be used in predicting stock prices if there is a jump in stock price data. Predicted stock prices can be used as a basis for measuring the value of investment risk. The results of data processing indicate that the stock return data of PT. Waskita Karya Persero Tbk has a kurtosis value > 3 which means there is a jump in stock return data so that it is more accurately modeled using the Geometric Brownian Motion with Jump Diffusion's method. The prediction results have a good level of accuracy based on the MAPE value of 18,733%. Furthermore, in order to measure the investment risk of the predicted stock price of PT. Waskita Karya Persero Tbk used the Expected Shortfall Historical Simulation's method with a significance level of $\alpha = 5\%$, the results were 0,10939, and for the significance level $\alpha = 10\%$, the results were 0,07596. The calculation results show that the greater the trust level used, the greater the risk borne by investors.

Keywords: *Jump Diffusion Process, Expected Shortfall, Risk, Extreme Value*

1. PENDAHULUAN

Investasi merupakan hal yang cukup digemari beberapa tahun terakhir ini oleh masyarakat Indonesia. Menurut Tandelilin (2001), investasi merupakan komitmen atas sejumlah dana atau sumber daya lainnya yang dilakukan saat ini, dengan tujuan memperoleh sejumlah keuntungan di masa mendatang. Investasi yang saat ini sedang digemari investor khususnya di bidang finansial adalah investasi di pasar modal. Salah satu surat berharga yang diperdagangkan di pasar modal yang bersifat kepemilikan adalah saham.

Investor dalam melakukan investasi saham dapat melakukan beberapa strategi agar memperoleh keuntungan yang diharapkan. Salah satu cara investor untuk mengetahui seberapa besar tingkat keuntungan dari kegiatan investasi saham adalah dengan melihat nilai *return* saham. Harga saham sering mengalami perubahan yang tidak dapat diprediksi sehingga mengalami pergerakan yang fluktuatif dan berakibat pada tidak pastinya nilai *return* saham dan seringkali terdapat lompatan (*jump*), oleh karena itu diperlukan suatu model matematis untuk memprediksi harga saham di masa yang akan datang. Investasi saham selain dapat memberikan keuntungan juga mengandung unsur risiko. Metode yang dapat digunakan untuk mengukur risiko adalah *Expected Shortfall*.

Penelitian terdahulu mengenai metode *Geometric Brownian Motion with Jump Diffusion* yang menjadi referensi dalam penelitian ini antara lain Maruddani dan Trimono (2017) yang melakukan penelitian mengenai prediksi harga saham PT. Astra Agro Lestari Tbk. dengan *Jump Diffusion* model. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa metode *Geometric Brownian Motion with Jump Diffusion* lebih tepat digunakan untuk memodelkan

dan memprediksi harga saham PT. Astra Agro Lestari Tbk. karena menghasilkan nilai *error* pemodelan yang lebih kecil yaitu 2,60% dibandingkan dengan metode *Geometric Brownian Motion* yaitu 11,26%. Penelitian mengenai analisis risiko menggunakan metode *Expected Shortfall* yang menjadi referensi dalam penelitian ini antara lain Saepudin *et al.* (2017) yang melakukan penelitian mengenai Analisis Risiko Investasi Saham Tunggal Syariah dengan *Value at Risk (VaR)* dan *Expected Shortfall*. Hasil penelitian ini menyatakan nilai *Expected Shortfall* (ES) untuk tingkat kepercayaan 99%, 95%, 90% diperoleh nilai sebesar 0.039415, 0.030608, 0.026110. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perhitungan analisis risiko menggunakan *Expected Shortfall* memperlihatkan semakin besar tingkat kepercayaan yang digunakan semakin besar risiko yang akan ditanggung oleh investor. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah harga penutupan saham (*closing price*) dari saham PT. Waskita Karya Persero Tbk periode 2 Januari 2020 sampai dengan 29 Januari 2021 dengan tujuan untuk memprediksi harga saham menggunakan *Geometric Brownian Motion with Jump Diffusion* berdasarkan nilai *return* saham periode sebelumnya serta untuk menganalisis risiko harga saham prediksi dengan *Expected Shortfall*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Saham

Saham merupakan surat berharga sebagai bentuk penyertaan modal seseorang atau badan usaha dalam suatu perusahaan atau perseroan terbatas. Menurut Anoraga dan Pakarti (2001), harga saham didefinisikan sebagai harga pada pasar *real* serta harga yang paling mudah untuk ditentukan.

Menurut Jogiyanto (2000), *return* saham merupakan hasil yang akan diperoleh dari investasi serta dibedakan menjadi dua yaitu *realized return* dan *expected return*. Menurut Tsay (2005), untuk menghitung nilai *return* saham diformulasikan sebagai berikut:

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

dengan:

R_t = *return* aset pada waktu ke-t

P_t = harga aset pada waktu ke-t

P_{t-1} = harga aset pada waktu ke-(t-1)

Menurut Hull (2009), volatilitas harga saham didefinisikan sebagai nilai standar deviasi dari *return* saham. Apabila ada sejumlah n *return*, nilai rata-rata *return* saham dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (2)$$

Return dari rata-rata kemudian digunakan untuk mengestimasi varian tiap periode yaitu:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2 \quad (3)$$

Akar dari s^2 (varian) merupakan estimasi volatilitas harga saham.

Skewness merupakan ukuran kemiringan yang terdapat pada suatu bilangan yang dapat menunjukkan adanya suatu kemiringan atau tidaknya pada distribusi frekuensi. Jika kurva pada suatu distribusi memiliki ekor memanjang ke kanan maka dikatakan menceng kanan (positif) dan jika sebaliknya maka dikatakan menceng kiri (negatif). Perhitungan *skewness* adalah sebagai berikut (Surya dan Situngkir, 2006):

$$\gamma_1 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{s^3} \quad (4)$$

Kurtosis adalah derajat keruncingan pada suatu distribusi dan secara umum diukur relative terhadap distribusi normal. Pada kurtosis, kurva yang berbentuk seperti distribusi normal disebut mesokurtik dengan nilai kurtosis = 3, kurva yang lebih runcing disebut leptokurtik yang memiliki nilai kurtosis >3 dan yang lebih datar disebut platikurtik dengan nilai kurtosis <3. Perhitungan *skewness* adalah sebagai berikut (Surya dan Situngkir, 2006):

$$\gamma_2 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{s^4} \quad (5)$$

Peak Over Threshold merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya nilai ekstrem pada suatu data dengan menentukan nilai patokan atau disebut *threshold* (u). Data yang melebihi dari nilai *threshold* disebut dengan nilai esktrim. Menurut Chaves dan Embrechts (2002), metode POT (*Peak Over Threshold*) yang tergolong mudah dan praktis serta menghasilkan nilai ambang batas yang cukup akurat adalah dengan metode kuantil 10% dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mengurutkan seluruh data pengamatan dari nilai terbesar ke nilai terkecil.
2. Menghitung banyak data yang melebihi batas u dengan menggunakan rumus $k = 10\% \times n$ dengan n merupakan total dari pengamatan, sehingga data yang berada di urutan 1 hingga k merupakan nilai ekstrem.
3. Menentukan nilai ambang batas u dengan rumus $u = k + 1$. Sehingga data yang berada pada urutan ke- ($k + 1$) merupakan nilai ambang batas u .
4. Dari data *return in sample* dilakukan pemotongan k data terendah dan k data tertinggi untuk dilanjutkan ke prosedur berikutnya.

2.2. Proses Stokastik dan Gerak Brown

Proses stokastik adalah himpunan peubah acak $\{X(t), t \in T\}$ dengan t menyatakan waktu dan $X(t)$ menyatakan keadaan pada waktu ke- t . Himpunan T pada suatu proses stokastik disebut dengan himpunan indeks. Jika pada himpunan T merupakan himpunan terhingga $t \in [0, T]$, maka proses stokastik yang digunakan adalah proses stokastik diskrit yang dinyatakan dalam bentuk $\{X(t); t = 0, 1, 2, \dots\}$. Jika pada himpunan T merupakan suatu interval waktu $t \in [0, \infty]$, maka proses stokastik yang digunakan adalah proses stokastik kontinu yang dinyatakan dalam bentuk $\{X(t); t \geq 0\}$. Macam-macam Gerak Brown adalah sebagai berikut:

1. Gerak Brown

Menurut Dmouj (2006), suatu proses stokastik dengan $\{W(t), t \in T\}$ dikatakan sebagai Gerak Brown jika memenuhi kriteria sebagai berikut:

- a. $W(0) = 0$
 - b. Untuk $0 \leq s \leq t \leq T$, variabel acak yang diberikan oleh perubahan $W(t) - W(s)$ berdistribusi normal dengan mean $\mu = 0$ dan varian $\sigma^2(t - s)$
 - c. Untuk $0 \leq s < t < u < v \leq T$, perubahan $W(t) - W(s)$ adalah saling bebas (independen).
2. Gerak Brown Standar

Menurut Higham (2001), proses stokastik $\{W(t), t \in T\}$ dikatakan Gerak Brown Standar jika proses tersebut memenuhi kriteria sebagai berikut:

- a. $W(0) = 0$

- b. Untuk $0 \leq s \leq t \leq T$, variabel acak yang diberikan oleh perubahan secara ekuivalen $W(t) - W(s) \sim \sqrt{t-s} N(0,1)$, dengan keterangan $N(0,1)$ merupakan distribusi Normal dengan mean 0 dan varian 1
- c. Untuk $0 \leq s < t < u < v \leq T$, perubahan $W(t) - W(s)$ dan $W(v) - W(u)$ saling bebas (independen).

3. Gerak Brown dengan *Drift*

Gerak Brown dengan suku *drift* memiliki persamaan sebagai berikut (Dmouj, 2006):

$$B(t) = \mu(t) + \sigma W(t) \quad (6)$$

dengan $\mu(t)$ merupakan nilai rata-rata dan σ adalah nilai standar deviasi dari proses t , $W(t) = Z\sqrt{t}$ dengan Z adalah bilangan random dari distribusi Normal standar.

4. Gerak Brown Geometri

Jika diberikan model Gerak Brown dengan suku *drift* $B(t) = \mu^*(t) + \sigma W(t); t \geq 0$ dengan parameter *drift* $\mu^* = \mu - \frac{1}{2}\sigma^2$, parameter varian σ^2 dan $W(t)$ merupakan proses Gerak Brown yang dimulai pada $W(0) = 0$ (Dmouj, 2006). Pada pemodelan harga saham, suatu proses stokastik $\{P(t); t \geq 0\}$ disebut Gerak Brown Geometri jika $B(t) = \ln \frac{P(t)}{P(t-1)}$ dengan $B(t)$ merupakan *return* saham pada waktu ke- t .

Menurut Higham (2006), persamaan diferensial stokastik untuk model *Jump Diffusion* memiliki persamaan sebagai berikut:

$$dX_t = f(X_t)dt + g(X_t)dW_t + (t, X_t)dJ_t \quad (7)$$

dengan X_t merupakan proses stokastik, W_t merupakan Gerak Brown standar, J_t merupakan proses *jump*, t merupakan jangka waktu, $f(X_t)$ merupakan koefisien *drift*, dan $g(X_t)$ merupakan koefisien difusi.

Berdasarkan Hull (2009), apabila terdapat peubah acak X_t yang mengikuti proses $It\hat{o}$ mempunyai persamaan:

$$dX_t = \alpha(X, t)dt + \sigma(X, t)dW_t \quad (8)$$

dengan W_t merupakan Gerak Brown Standar, nilai μ dan σ merupakan parameter dari X dan t . Pada teorema $It\hat{o}$, apabila terdapat fungsi $G = G(X, t)$, maka fungsi G akan mengikuti persamaan sebagai berikut:

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial X_t} \alpha X_t + \frac{\partial G}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial X_t^2} \sigma^2 X_t^2 \right) dt + \frac{\partial G}{\partial X_t} \sigma X_t dW_t \quad (9)$$

Berdasarkan Matsuda (2004), persamaan diferensial stokastik pada *Geometric Brownian Motion with Jump Diffusion* dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$dX_t = (\alpha - \lambda)X_t dt + \sigma X_t dW_t + X_t dJ_t \quad (10)$$

dengan W_t adalah gerak Brown Standar, J_t adalah proses *jump* standar dan dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$J_t = \sum_{i=1}^{N_t} (Y_i - 1) \text{ dan } dJ_t = (Y_{N_t} - 1)dN_t$$

N_t merupakan Proses Poisson dengan intensitas lompatan λ dengan W_t, N_t , dan Y_j saling bebas. W_t adalah Gerak Brown, nilai μ dan σ adalah parameter dari X dan t . Pada Proses $It\hat{o}$ untuk model *Geometric Brownian Motion with Jump Diffusion*, jika terdapat fungsi $G = G(X, t)$, maka fungsi G mengikuti persamaan berikut:

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial X_t} \alpha X_t + \frac{\partial G}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial X_t^2} \sigma^2 X_t^2 \right) dt + \frac{\partial G}{\partial X_t} \sigma X_t dW_t + (G(X_{t-} + \Delta X_t) - G X_{t-}) \quad (11)$$

Misal fungsi $G = \ln X_t$, dengan $\frac{\partial G}{\partial X_t} = \frac{1}{X_t}$, $\frac{\partial^2 G}{\partial X_t^2} = -\frac{1}{X_t^2}$, $\frac{\partial G}{\partial t} = 0$, diperoleh:

$$dG = \left((\alpha - \lambda) \cdot \frac{1}{X_t} \cdot X_t + 0 + \frac{1}{2} \cdot \left(-\frac{1}{X_t^2} \right) \cdot \sigma^2 X_t^2 \right) dt + \left(\sigma \cdot \frac{1}{X_t} \cdot X_t dW_t \right) + (G(X_{t^-} + \Delta X_t) - GX_{t^-})$$

$$dG = \left(\alpha - \lambda - \frac{\sigma^2}{2} \right) dt + \sigma dW_t + (G(X_{t^-} + \Delta X_t) - GX_{t^-}) \quad (12)$$

Jika perubahan harga saham periode sekarang dengan periode sebelumnya merupakan satu hari dengan $t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_n$, maka didapatkan model akhir harga saham dengan *Jump Diffusion* sebagai berikut:

$$\hat{X}(t_i) = \hat{X}(t_{i-1}) \exp \left[\left(\hat{\alpha} - \frac{\hat{\sigma}^2}{2} - \hat{\lambda} \right) (t_i - t_{i-1}) + \hat{\sigma} \sqrt{t_i - t_{i-1}} Z_{i-1} + N_i \right] \quad (13)$$

2.3. MAPE (Mean Absolute Percentage Error)

Menurut Makridakis (1999), perhitungan nilai MAPE adalah sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n |PE_i|}{n} \quad (14)$$

dengan:

$$|PE_i| = \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100\%$$

dengan y_i merupakan nilai aktual pada waktu ke- i . \hat{y}_i merupakan nilai prediksi (peramalan) pada waktu ke- i dan n merupakan banyaknya data observasi.

Tabel 1. Skala Penilaian Akurasi MAPE

Nilai MAPE	Akurasi Peramalan
$MAPE < 10\%$	Akurasi peramaan sangat baik
$10\% \leq MAPE < 20\%$	Akurasi peramalan baik
$20\% \leq MAPE \leq 50\%$	Akurasi peramalan masih dalam batas wajar
$MAPE > 50\%$	Akurasi peramalan tidak akurat

2.4. Expected Shortfall (ES)

Menurut Rockafellar dan Uryasev (2000), *Conditional Value at Risk* merupakan suatu ukuran risiko yang memperhitungkan kerugian melebihi tingkat VaR. *Expected Shortfall* dikatakan koheren apabila memenuhi aksioma-aksioma sebagai berikut dengan V merupakan peubah acak bilangan real:

1. Invarian Terhadap Translasi

Untuk setiap $X \in V$ dan semua bilangan real c berlaku:

$$ES(X + c) = ES(X) + c$$

2. Sub-additive

Untuk setiap $X_1, X_2 \in V$ berlaku:

$$ES(X_1 + X_2) \leq ES(X_1) + ES(X_2)$$

3. Positif Homogen

Untuk setiap $a \geq 0$ dan untuk setiap $X \in V$ berlaku:

$$ES(aX) = a ES(X)$$

4. Kemonotonan

Untuk setiap $X, Y \in V$ dengan $X \leq Y$ berlaku:

$$ES(X) \leq ES(Y)$$

Bentuk umum dari Expected Shortfall dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} ES_{\alpha}(X) &= E[-X | -X \geq VaR_{(\alpha)}(X)] \\ &= -\frac{1}{\alpha} \int_0^{\alpha} F_x^{-1}(p) dp \end{aligned} \quad (15)$$

Menurut Jadhav *et al.* (2009), estimasi *Expected Shortfall* dengan simulasi historis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\hat{E}S_{(\alpha)}(X) = -\frac{1}{[n\alpha]} \sum_{i=1}^{[n\alpha]} X_i \quad (16)$$

dengan:

- n : banyak data *return* harga saham.
- X_i : statistika terurut data *return* harga saham.
- $[n\alpha]$: bilangan integer yang nilainya $\leq n\alpha$.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Sumber Data dan Variabel Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yaitu data harga penutupan saham PT. Waskita Karya Persero Tbk. pada periode 2 Januari 2020 sampai dengan 29 Januari 2021 yang diambil dari website <http://yahoo.finance.com>.

3.2. Tahapan Analisis

Program komputer yang digunakan untuk penelitian ini adalah *RStudio*. Adapun tahapan analisis yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data harga penutupan saham yang akan digunakan dalam penelitian pada PT. Waskita Karya Persero (Tbk.) periode 2 Januari 2020 - 29 Januari 2021.
2. Menentukan data *in sample* dan *out sample*.
3. Menghitung nilai *return* saham data *in sample*.
4. Menghitung kurtosis untuk mengetahui adanya data ekstrem pada data *return* saham *in sample*.
5. Melakukan uji normalitas data *in sample return* saham dengan menggunakan uji Kolomogorov-Smirnov.
6. Melakukan *Peak Over Threshold* data *in sample return* saham.
7. Melakukan estimasi parameter model harga saham *Geometric Brownian Motion with Jump Diffusion*.
8. Melakukan pemodelan harga saham dengan metode *Geometric Brownian Motion with Jump Diffusion*.
9. Melakukan prediksi harga saham *out sample* dengan metode *Geometric Brownian Motion with Jump Diffusion*.
10. Menghitung nilai *error* prediksi data *out sample* menggunakan metode MAPE.
11. Mengestimasi dan menghitung nilai *Expected Shortfall return* harga saham prediksi.
12. Intepretasi nilai *Expected Shortfall*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Penentuan Data *In Sample* dan Data *Out Sample*

Data *in sample* ditentukan sebanyak 202 data dari periode 2/1/2020 sampai dengan 27/10/2020. Data *out sample* ditentukan sebanyak 60 data dari periode 2/11/2020 sampai dengan 29/1/2021. Data *in sample* digunakan untuk membangun model harga saham dan data *out sample* digunakan untuk validasi model.

4.2. Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov

Uji normalitas dilakukan dengan menggunakan uji kolmogorov-smirnov dan diperoleh nilai $D = 0,45648$ dan nilai $p - value = 2,2 \times 10^{-16}$. Karena nilai $p - value$ lebih besar dari batas kesalahan $\alpha = 5\%$, maka data *in sample return* saham tidak berdistribusi normal.

4.3. Peak Over Threshold Data in Sample Return Saham

Peak Over Threshold digunakan untuk melihat *jump* yang terjadi pada data *in sample return* saham. Indikasi adanya *jump* dapat dilihat dari nilai *kurtosis* pada perhitungan statistik deskriptif. Nilai *kurtosis* dianggap sebagai indikator awal yang dapat menunjukkan keberadaan *jump*. Apabila nilai *kurtosis* berada di atas 3 (*leptokurtosis*) maka data tersebut dianggap mengandung *jump* atau nilai ekstrem. Selain dengan nilai *kurtosis* dapat dibuktikan juga dengan menggunakan uji normalitas Kolmogorov-Smirnov.

Berdasarkan tabel 2, pada data *in sample return* saham terindikasi adanya *jump* karena memiliki nilai *kurtosis* lebih besar dari 3 serta tidak berdistribusi normal.

Tabel 2. Statistik Deskriptif Data in Sample Return Saham

Parameter	Nilai
<i>Skewness</i>	0,40304
<i>Kurtosis</i>	5,07662

Selanjutnya, dilakukan perhitungan jumlah *worse case* data dengan *extreme value* menggunakan metode *Peak Over Threshold* karena pada data *in sample return* terdapat *jump*, dengan nilai kuantil 10% ditentukan nilai ambang batas atas dan nilai ambang batas bawah yang terdapat pada tabel 3.

Tabel 3. Nilai Kuantil Ambang Batas Data Return Saham

Kuantil	Nilai
Kuantil ambang batas bawah	-0,05449
Kuantil ambang batas atas	0,04410

Berdasarkan tabel 3, diperoleh nilai kuantil ambang batas bawah -0,05449. Sebanyak 20 data bernilai negatif merupakan *jump*. Nilai kuantil ambang batas memiliki nilai 0,4410. Sebanyak 20 data bernilai positif merupakan *jump*. Sehingga dari data tersebut dilakukan pemotongan 20 data terendah dan 20 data tertinggi untuk dilanjutkan ke prosedur berikutnya.

4.4. Estimasi nilai parameter model Geometric Brownian Motion with Jump Diffusion PT. Waskita Karya Persero Tbk.

Parameter dalam model *Geometric Brownian Motion with Jump Diffusion* meliputi nilai ekspektasi *return* saham (μ), nilai volatilitas *return* saham (σ), nilai intensitas *jump* (λ), nilai rata-rata selisih *jump* (k), dan nilai standar deviasi selisih *jump* (δ). *Return* saham yang digunakan adalah *return* saham data *in sample*. Berdasarkan tabel 4 diperoleh nilai estimasi parameter sebagai berikut:

Tabel 4. Estimasi Nilai Parameter Model GBM Jump

Parameter	Nilai
-----------	-------

Rata-rata <i>return</i> saham (μ)	0,00353
Volatilitas <i>return</i> saham (σ)	0,04262
Intensitas <i>jump</i> (λ)	-0,00148
Rata-rata selisih <i>jump</i> (k)	0,01016
Standar deviasi selisih <i>jump</i> (δ)	0,02330

Berdasarkan persamaan (28), maka model harga saham *Geometric Brownian Motion with Jump Diffusion* PT. Waskita Karya Persero Tbk. adalah sebagai berikut:

$$\hat{X}(t_i) = \hat{X}(t_{i-1}) \exp \left[\left(0,00353 - \frac{0,00182}{2} - (-0,00148) \right) (t_i - t_{i-1}) + 0,04262 \sqrt{t_i - t_{i-1}} Z_{i-1} + N_i \right]$$

4.5. Prediksi harga saham PT. Waskita Karya Persero Tbk.

Setelah diperoleh nilai estimasi parameter dan model harga saham adalah melakukan prediksi harga saham. Prediksi harga saham dilakukan untuk mengetahui besar harga saham dan pergerakannya untuk 60 periode ke depan, yaitu mulai tanggal 2 November 2020 sampai dengan 29 Januari 2021. Hasil prediksinya disajikan pada tabel 5.

Tabel 5. Harga Saham Aktual dan Prediksi PT. Waskita Karya Persero Tbk.

n	Tanggal	Aktual	Prediksi	n	Tanggal	Aktual	Prediksi
1	02 Nov 2020	720	780	31	15 Des 2020	1190	1191
2	03 Nov 2020	755	822	32	16 Des 2020	1210	1178
3	04 Nov 2020	735	835	33	17 Des 2020	1455	1232
4	05 Nov 2020	750	900	34	18 Des 2020	1500	1247
5	06 Nov 2020	750	933	35	21 Des 2020	1510	1410
6	09 Nov 2020	790	890	36	22 Des 2020	1415	1477
7	10 Nov 2020	880	935	37	23 Des 2020	1395	1605
8	11 Nov 2020	930	901	38	28 Des 2020	1400	1609
9	12 Nov 2020	915	926	39	29 Des 2020	1485	1749
10	13 Nov 2020	940	924	40	30 Des 2020	1440	1778
11	16 Nov 2020	1020	979	41	04 Jan 2021	1500	1805
12	17 Nov 2020	1005	1047	42	05 Jan 2021	1505	1928
13	18 Nov 2020	1025	1065	43	06 Jan 2021	1660	1903
14	19 Nov 2020	1060	1021	44	07 Jan 2021	1670	1890
15	20 Nov 2020	1025	1064	45	08 Jan 2021	1650	1885
16	23 Nov 2020	1095	1090	46	11 Jan 2021	1665	2021
17	24 Nov 2020	1085	1077	47	12 Jan 2021	1660	2227
18	25 Nov 2020	1045	1112	48	13 Jan 2021	1715	2391
19	26 Nov 2020	1055	1056	49	14 Jan 2021	1685	2306
20	27 Nov 2020	1110	1032	50	15 Jan 2021	1890	2156
21	30 Nov 2020	1040	1109	51	18 Jan 2021	1920	2206
22	01 Des 2020	1070	1077	52	19 Jan 2021	1790	2146
23	02 Des 2020	1135	1066	53	20 Jan 2021	1850	2277
24	03 Des 2020	1165	1072	54	21 Jan 2021	1825	2183
25	04 Des 2020	1165	1059	55	22 Jan 2021	1700	2212
26	07 Des 2020	1200	1008	56	25 Jan 2021	1585	1901
27	08 Des 2020	1180	1073	57	26 Jan 2021	1475	1912
28	10 Des 2020	1155	1145	58	27 Jan 2021	1630	1834

29	11 Des 2020	1160	1137	59	28 Jan 2021	1520	1957
30	14 Des 2020	1200	1137	60	29 Jan 2021	1415	1843

4.6. Penentuan Nilai MAPE

MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) merupakan metode yang dapat digunakan untuk mengevaluasi nilai peramalan serta membantu menyimpulkan sejauh mana akurasi peramalan yang dilakukan. Melalui bantuan software *RStudio*, diperoleh nilai MAPE prediksi harga saham PT. Waskita Karya Persero Tbk. dengan metode *Geometric Brownian Motion with Jump Diffusion* sebesar 13,00474% (akurasi peramalan baik).

4.7. *Expected Shortfall* dengan Simulasi Historis untuk Return Harga Saham Prediksi

Setelah melakukan perhitungan MAPE harga saham prediksi untuk mengetahui akurasi data, langkah selanjutnya adalah menganalisis risiko dengan *Expected Shortfall* (ES) simulasi historis untuk masing-masing tingkat kepercayaan dan diperoleh hasil pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan *Expected Shortfall* dengan Simulasi Historis.

Tingkat Kepercayaan ($1-\alpha$)	Nilai <i>Expected Shortfall</i>
98%	0,15152
95%	0,10939
90%	0,07596
80%	0,05693

Pada tingkat kepercayaan 95% diperoleh nilai ES sebesar 0,10939 (bernilai positif dengan asumsi nilai ES tetap menunjukkan kerugian yang akan diterima). Hal ini dapat diartikan ada keyakinan 95% bahwa kerugian yang akan diterima investor tidak akan melebihi 10,939% dalam jangka waktu satu hari setelah tanggal 29 Januari 2021 atau dapat dikatakan ada kemungkinan 5% bahwa kerugian investasi pada saham PT. Waskita Karya Persero Tbk. sebesar 10,939%. Apabila dana investasi awal sebesar Rp 1.000.000.000, maka estimasi kerugian yang akan diderita oleh investor akan mencapai Rp 109.390.000.

Pada tingkat kepercayaan 90% diperoleh nilai ES sebesar 0,07596 (bernilai positif dengan asumsi nilai ES tetap menunjukkan kerugian yang akan diterima). Hal ini dapat diartikan ada keyakinan 90% bahwa kerugian yang akan diterima investor tidak akan melebihi 7,596% dalam jangka waktu satu hari setelah tanggal 29 Januari 2021 atau dapat dikatakan ada kemungkinan 10% bahwa kerugian investasi pada saham PT. Waskita Karya Persero Tbk. sebesar 7,596%. Apabila dana investasi awal sebesar Rp 1.000.000.000, maka estimasi kerugian yang akan diderita oleh investor akan mencapai Rp 75.960.000. Sehingga dapat dikatakan bahwa semakin besar tingkat kepercayaan yang digunakan maka akan semakin besar pula kerugian yang akan diterima.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya diperoleh kesimpulan bahwa:

1. Metode *Geometric Brownian Motion with Jump Diffusion* dapat digunakan pada data-data dengan *return* tidak berdistribusi normal dengan asumsi yang harus dipenuhi yaitu nilai kurtosis harus diatas 3 karena menunjukkan adanya lompatan/*jump*. Dari model yang diperoleh akan didapatkan perkiraan harga saham di masa mendatang, selain itu juga diperoleh grafik pergerakan harga saham periode 2 Januari 2020 – 29 Januari 2021.

2. Dengan menggunakan metode *Geometric Brownian Motion with Jump Diffusion* untuk memprediksi harga saham PT. Waskita Karya Persero Tbk. diperoleh model sebagai berikut:

$$\hat{X}(t_i) = \hat{X}(t_{i-1}) \exp \left[\left(0,00353 - \frac{0,00182}{2} - (-0,00148) \right) (t_i - t_{i-1}) + 0,04262 \sqrt{t_i - t_{i-1}} Z_{i-1} + N_i \right]$$

dengan nilai MAPE atau kesalahan prediksi sebesar 13,00474% yang dapat diartikan bahwa akurasi peramalan masuk dalam kategori baik.

3. Dari hasil perhitungan nilai *Expected Shortfall* (ES) untuk tingkat kepercayaan 95% diperoleh nilai sebesar 0,10939 dan untuk tingkat kepercayaan 90% diperoleh nilai sebesar 0,07596 sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar tingkat kepercayaan yang digunakan maka akan semakin besar pula tingkat kerugian akan diterima oleh investor.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, S.N.Z dan Jaffar, M.M. 2014. Forecasting Share Prices of Small Size Companies in Bursa Malaysia Using Geometric Brownian Motion. *Applied Mathematics and Information Sciences*. Vol 8(1), 107-112.
- Brigo *et al.* 2008. A Stochastic Processes Toolkit for Risk Management. *Journal of Risk Management in Financial Institutions*. Vol 1(4), 5-13.
- Cont, R dan Tankov, P. 2004. *Financial Modelling with Jump Processes*. Chapman & Hall/CRC Financial Mathematics Series.
- Dmouj, A. 2006. *Stock Price Modelling: Theory and Practice*. Amsterdam: BMI Paper.
- Hunt, P.J. dan Kennedy, J.E. 2004. *Financial Derivatives in Theory and Practice. Revised Edition*. United Kingdom: John Wiley & Sons.
- Ilyas, Agustia Isti, Puspita, E, Rachmatin, Dewi. 2018. Prediksi Harga Saham Menggunakan Model *Jump Diffusion*. *Jurnal EurekaMatika*. Vol 6(1), 33-42.
- Jadhav, Deepak, Ramanathan, T.V., dan Naik-Nimbalkar, U.V. 2009. *Modified Estimators of the Expected Shortfall*. *Journal of Emerging Market Finance*. Vol. 8(2), 87-107.
- Maruddani, D.A.I., dan Trimono. 2017. Prediksi Harga Saham PT. Astra Argo Lestari Tbk. dengan *Jump Diffusion* Model. *Jurnal Riset Akuntansi Mercu Buana*. Vol 3(1), 57-67.
- Maruddani, D.A.I., dan Trimono. 2021. Valuation of Portfolio Blue Chip Stocks in Indonesia using Value-at-Risk based on *n-Dimensional Geometric Brownian Motion*. *Thailand Statistician*. Vol 19(3), 501-510.
- Matsuda, K. 2014. *Introduction to Merton Jump Diffusion Model*. Working Paper.
- Rockafellar, R.T., dan Uryasev, S. 2000. *Optimization of Conditional Value at Risk*. *Journal of Risk*. Vol. 2(3)
- Scherbacov. 2013. A Survey of Forecast Error Measures. *World Applied Science Journal*. Vol. 3(24), 171-176.
- Taylor, H.M. dan Karlin, S. 1998. *An Introducing to Stochastic Modeling. Third Edition*. United States of America: Academic Press.
- Trimono dan Maruddani, D.A.I. 2017. Valuasi Harga Saham PT. Aneka Tambang Tbk. Sebagai Peraih IDX Best Blue 2016. *Statistika: Journal of Theoretical Statistics and Its Application*. Vol. 17(1), 33-43.