

Analisis risiko pada Saham PT. Unilever Indonesia dengan metode *expected shortfall* berdasarkan model GBM with jump diffusion

(Risk analysis on Unilever Indonesia Tbk. stock using expected shortfall method based on GBM with jump diffusion model)

Rossy Prima Nada Utami, M. Al Haris*, Rochdi Wasono

Program Studi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Muhammadiyah Semarang
Semarang, Jawa Tengah, 50273, Indonesia

*korespondensi: alharis@unimus.ac.id

Received: 20-03-2023, accepted: 26-05-2023

Abstract

Stock investment activities had a high level of profit and a high level of risk as well. The risk could be known from fluctuations in stock price data on stock returns. Fluctuations in stock price data on stock returns in each period could not be controlled, so predicting stock prices through returns was relatively difficult to do. The Geometric Brownian Motion (GBM) with Jump Diffusion model was proposed because it was able to capture fluctuations in stock return value data. The GBM with Jump Diffusion model was used when the data has extreme data or jumps that did not meet the assumption of normality, for example stock price data. This research was conducted to calculate the estimated risk of predicting the value of stock returns at PT Unilever Indonesia (UNVR) data for the period January 4, 2021, to January 27, 2023. Based on the results of the analysis, the estimated investment risk in UNVR stocks using the Expected Shortfall method showed that at a confidence level of 95% was generated a risk value of 0.05229, at 90% confidence level resulted in a risk value of 0.04436, at 85% confidence level resulted in a risk value of 0.03747 and 80% confidence level resulted in a risk value of 0.03645. So it could be said that the higher the level of trust, the higher the level of risk.

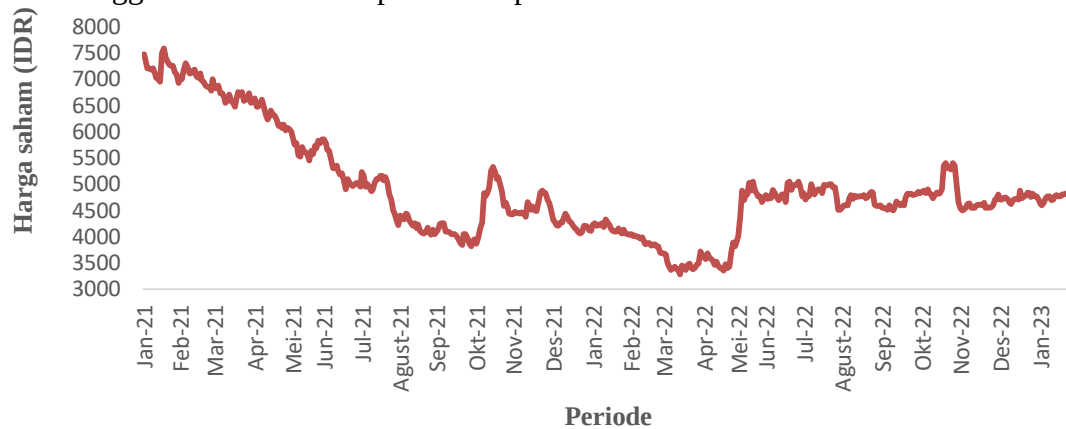
Keywords: GBM, jump diffusion, PT Unilever Indonesia, expected shortfall

MSC2020: 62P05, 91G70

1. Pendahuluan

Kecerdasan finansial ialah kemampuan mengambil keputusan yang tepat dalam mengelola sumber keuangan menjadi sebuah aset yang dapat memberikan keuntungan di masa mendatang, seperti berinvestasi saham [1]. Saham adalah salah satu bentuk investasi yang memiliki tingkat keuntungan yang menarik di masa mendatang dengan risiko rendah yang akan diterima [2]–[4]. Keuntungan berinvestasi terlihat pada nilai *return* saham

yaitu hasil atau tingkat pengembalian yang diperoleh dari kegiatan investasi [5]. Keuntungan yang didapat dalam berinvestasi pasti memiliki risiko, sehingga nilai *return* dan risiko saling berkaitan karena semakin tinggi *return* yang didapat maka semakin besar risiko yang diambil. Nilai *return* memberikan informasi kepada investor untuk melakukan beberapa strategi agar memperoleh keuntungan yang diharapkan, sehingga investor dapat memutuskan apakah akan berinvestasi di perusahaan tersebut [1], [6]. Salah satu yang menjadi tolak ukur kinerja perusahaan adalah kapitalisasi pasar, contohnya pada saham PT. Unilever Indonesia Tbk (UNVR). Saham UNVR adalah perusahaan *Fast Moving Consumer Goods* (FMCG) terbesar di Indonesia dan mendominasi pasar yang berada di sektor industri barang konsumsi. Saham UNVR salah satu dari tujuh perusahaan FMCG terbesar per Juni 2022 di Indonesia [7]. Pergerakan harga saham UNVR periode Januari 2021 hingga Januari 2023 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Time series plot* harga penutupan saham PT. Unilever Indonesia

Gambar 1 menunjukkan bahwa grafik harga saham memiliki pola yang berfluktuasi serta terdapat lonjakan-lonjakan di periode tertentu. Salah satu faktor yang menyebabkan ketidakstabilan harga saham adalah dipengaruhi oleh dinamika pandemi *Covid-19* [7]. Pergerakan harga saham menjadi pusat perhatian para investor dalam menganalisis data masa lalu pada harga saham di dunia investasi, karena perubahan harga saham tidak memberikan kepastian terkait keuntungan atau kerugian yang diterima. Sehingga dibutuhkan model untuk meramalkan harga saham yang akan datang berdasarkan data harga saham di masa lalu [8]–[10].

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memodelkan dan memprediksi harga saham adalah metode *Geometric Brownian Motion* (GBM) yang mengasumsikan bahwa nilai *return* saham berdistribusi normal [11], [12]. Akan tetapi terdapat beberapa data yang memiliki nilai *return* yang tidak berdistribusi normal karena keberadaan data pengamatan yang memiliki variabilitas yang tinggi, sehingga dikembangkannya metode GBM menjadi *GBM with Jump Diffusion*. Metode *GBM with Jump Diffusion* berfungsi ketika data *return* saham terindikasi mengandung lompatan yang menyulitkan bagi para investor dalam mengambil keputusan untuk bertransaksi [8], [10], [13]. Hasil prediksi

akan digunakan untuk menghitung nilai *return* pada data hasil prediksi yang akan digunakan untuk menghitung estimasi nilai risiko [14], [15]. Metode pengukuran risiko yang digunakan adalah metode *Expected Shortfall*, karena dapat digunakan pada data tidak berdistribusi normal serta mampu memperhitungkan kerugian maksimal yang akan terjadi [16].

Penelitian mengenai metode *GBM with Jump Diffusion* pernah dilakukan oleh Ilyas dkk. [10] tentang prediksi harga saham Bank Negara Indonesia (BNI). Hasil penelitian tersebut menghasilkan akurasi yang sangat baik pada model *GBM with Jump Diffusion*. Aniska dkk. [5] meneliti tentang *valuasi one period coupon bond* pada aset PT Bank CIMB Niaga Tbk yang menghasilkan akurasi sangat baik. Ditasari dkk. [13] meneliti tentang prediksi Harga Saham *Liquid Quality 45*, yang menghasilkan akurasi sangat baik.

Penelitian lainnya terkait analisis risiko pernah dilakukan oleh Prihatiningsih dkk. [17] tentang penerapan metode *Expected Shortfall* (ES) dalam mengukur risiko investasi saham PT. Astra Internasional Tbk (ASII), PT. Bank Negara Indonesia Tbk (BNII), dan PT. Indocement Tunggul Prakarsa Tbk (INTP). Hasil penelitian menyimpulkan bahwa pengukuran risiko menggunakan ES lebih baik dibandingkan *Value at Risk* (VaR) karena mampu menghitung risiko melebihi VaR. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan untuk melakukan peramalan menggunakan metode *GBM with Jump Diffusion* pada harga saham PT. Unilever Indonesia Tbk dan menganalisis risiko menggunakan metode *Expected Shortfall* (ES) untuk mengetahui kerugian yang akan diterima investor jika berinvestasi pada saham PT. Unilever Indonesia Tbk.

2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan data kuantitatif yang merupakan data sekunder berupa harga saham PT. Unilever Indonesia Tbk. pada periode Januari 2021 hingga Januari 2023. Jumlah observasi yang digunakan sebanyak 512 amatan yang diperoleh dari [website https://investing.com](https://investing.com).

Return saham adalah hasil atau tingkat pengembalian yang diperoleh dari kegiatan investasi. Menurut Syuhada dkk. [18] dan Trimono dan Maruddani [12] menghitung nilai *return* menggunakan metode *geometric return*, dengan formulasi persamaan (1).

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

dengan R_t adalah *return* saham pada saat ke- t , X_t adalah harga saham pada saat ke- t , dan X_{t-1} adalah harga saham pada saat ke- $(t - 1)$.

Menurut Maruddani [11], volatilitas merupakan simpangan baku dari nilai *return*. Nilai penduga volatilitas dengan n banyaknya observasi dari nilai *return* diformulasikan

sebagai berikut:

$$\underline{R} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n R_t \quad s^2 = \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (R_t - \underline{R})^2$$

dengan $\underline{R}$ adalah rata-rata *return* saham, R_t adalah *return* saham waktu ke- t , s^2 adalah variansi, dan $\sqrt{s^2}$ adalah estimasi nilai volatilitas harga saham.

Identifikasi data lompatan menggunakan perhitungan *skewness* dan kurtosis, apabila nilai kurtosis lebih dari 3 maka data tersebut memiliki data ekstrem atau terdapat data lompatan [12]. Perhitungan *skewness* dan kurtosis diformulasikan sebagai berikut [10], [12]:

$$\gamma_1 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x(t) - \mu)^3}{\sigma^3}$$

dengan γ_1 adalah *skewness*, n adalah jumlah data, $x(t)$ adalah data ke- n , μ adalah rata-rata, dan σ adalah standar deviasi.

$$\gamma_2 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x(t) - \mu)^4}{\sigma^4}$$

dengan γ_2 adalah kurtosis, n jumlah data, $x(t)$ data ke- t , μ rata-rata, dan σ standar deviasi.

Peak Over Threshold (POT) adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui banyak data yang mengalami lompatan atau *jump* pada *return* saham dengan menentukan nilai ambang atas dan bawah yang disebut *threshold* (u), apabila melebihi nilai *threshold*, maka dikatakan nilai ekstrem. Tahapan menentukan *Peak Over Threshold* (POT) adalah sebagai berikut [5], [10]:

1. Mengurutkan data *return* dari tertinggi hingga terendah
2. Menghitung banyaknya data yang melebihi batas u menggunakan persamaan (2),

$$k = 10\% \times n, \quad (2)$$

dengan k adalah jumlah data lompatan dan n adalah banyak data.

3. Menghitung nilai ambang batas atas dan batas bawah (*threshold*) dengan persamaan (3),

$$u = k + 1. \quad (3)$$

4. Melakukan pemotongan data *in sample* sebanyak k data tertinggi dan k data terendah yang sudah diurutkan.

Model *Geometric Brownian Motion with Jump Diffusion* memiliki 5 parameter yaitu volatilitas σ , μ , λ , α , dan δ [5], [8]. Persamaan penduga kelima parameter tersebut adalah sebagai berikut:

1. Estimasi parameter μ (nilai *return* saham) dengan persamaan (4),

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n R_t, \quad (4)$$

dengan $\hat{\mu}$ adalah nilai estimasi rata-rata dan R_t adalah nilai *return* saham waktu ke- t ;

2. Estimasi parameter σ (*return* saham) dengan persamaan (5),

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (R_t - \underline{R})^2, \quad (5)$$

dengan $\underline{R}$ adalah rata-rata nilai *return* saham, R_t adalah nilai *return* saham waktu ke- t , $\sqrt{\sigma^2}$ adalah estimasi nilai volatilitas harga saham;

3. Estimasi parameter λ (intensitas *jump*) dengan persamaan (6),

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (6)$$

dengan, x_i adalah data *jump* ke- i ;

4. Estimasi parameter α (rata-rata selisih lompatan) dan δ (simpangan baku selisih lompatan) dengan persamaan (7) dan persamaan (8),

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (7)$$

$$\hat{\delta} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \alpha)^2}, \quad (8)$$

dengan x_i adalah data selisih *jump* ke- i , n adalah jumlah data selisih *jump*, dan α adalah rata-rata selisih *jump*.

Model GBM *with jump diffusion* merupakan salah satu model pengembangan dari *Geometric Brownian Motion*. Model ini digunakan ketika keadaan data harga saham terdapat lompatan (*jump*) dan nilai *return* saham tidak memenuhi asumsi normalitas [8]. Perubahan harga saham periode sekarang dengan periode sebelumnya adalah satu hari dengan $t_0 < t_1 < t_2 \dots < t$, sehingga model GBM *with Jump Diffusion* diformulasikan dengan persamaan (9) ([5], [8], [10], [12], [13]).

$$\hat{S}(t_i) = \hat{S}(t_{i-1}) \exp \left(\left(\hat{\mu} - \frac{\hat{\sigma}^2}{2} - \hat{\lambda} \right) (t_i - t_{i-1}) + \hat{\sigma} \sqrt{t_i - t_{i-1}} Z_{i-1} + N_i \right), \quad (9)$$

dengan $\hat{S}(t_i)$: nilai estimasi harga saham pada waktu ke- t_i , $i = 0, 1, 2, \dots, n$; $\hat{S}(t_{i-1})$: nilai estimasi harga saham pada waktu ke- t_{i-1} ; $\hat{\mu}$: nilai estimasi rata-rata *return* saham; $\hat{\sigma}$: standar deviasi *return* saham; $\hat{\sigma}^2$: variansi *return* saham; $\hat{\lambda}$: Intensitas lompatan; Z_{i-1} : data bangkitan berdistribusi normal baku ke $i-1$ dengan $N(0,1)$; dan N_i : data bangkitan berdistribusi normal, dengan rata-rata α dan standar deviasi δ .

MAPE adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengevaluasi kebaikan model. Perhitungan MAPE dilakukan dengan persamaan (10) [19], [20],

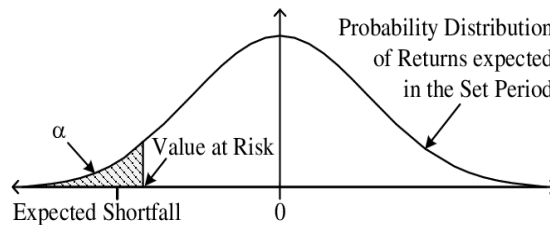
$$MAPE = \sum_{t=1}^n \frac{\left| \frac{X_t - Y_t}{X_t} \right|}{n} \times 100\%, \quad (10)$$

dengan X_t adalah harga saham pada waktu ke- t , Y_t adalah nilai prediksi harga saham aktual pada waktu ke- t , dan n adalah jumlah data harga saham. Tingkat akurasi peramalan dapat dilihat berdasarkan katagori persentase nilai MAPE yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi nilai MAPE berdasarkan tingkat akurasi

Persentase MAPE	Tingkat Akurasi
< 10%	Akurasi peramalan sangat baik
10% - 20%	Akurasi peramalan baik
21% - 50%	Akurasi peramalan masih dalam batas wajar
>50%	Peramalan tidak akurat

Expected Shortfall adalah metode pengukuran risiko yang memperhatikan setiap kerugian maksimal dan dapat mengestimasi risiko pada data berdistribusi normal maupun tidak normal [16], [18], [21], [22]. Metode *Expected Shortfall* dapat diilustrasikan seperti Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi metode *Expected Shortfall*

Metode *Expected Shortfall* merupakan metode non-parametrik yang dapat digunakan untuk mengukur risiko berdasarkan *return* saham historis dengan mengurutkan nilai *return* data prediksi dari terendah hingga nilai *return* tertinggi. Persamaan metode *Expected Shortfall* diformulasikan dengan Persamaan (11) [15], [22],

$$\hat{ES}_\alpha(X) = -\frac{1}{N\alpha} \sum_{i=1}^{N\alpha} X_i, \quad (11)$$

dengan N : banyak data *return* harga saham; $N\alpha$: bilangan integer yang nilainya $\leq N\alpha$; dan X_i : nilai *return* yang sudah diurutkan.

3. Hasil dan Pembahasan

Data saham UNVR yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 512 observasi. Data tersebut dibagi menjadi dua kelompok yaitu data *in sample* sebesar 90% atau sebanyak 461 data dari periode 04 Januari 2021 hingga 16 November 2022 dan data *out sample* sebesar 10% atau 51 data *out sample* dari periode 17 November 2022 hingga 27 Januari 2023. Data *in sample* dimanfaatkan untuk membuat model GBM *with Jump Diffusion* sedangkan data *out sample* dimanfaatkan untuk melakukan pengujian akurasi prediksi.

Tahap awal dalam penerapan metode GBM *with jump diffusion* adalah melakukan Identifikasi data lompatan/*jump* pada nilai return saham UNVR *in sample*. Identifikasi data *jump* dilakukan dengan memperhatikan nilai kurtosis dan *skewness* yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai *skewness* dan kurtosis

Variabel	<i>Skewness</i>	Kurtosis
Return saham UNVR	1,264311	7,906766

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai *skewness* sebesar 1,264311 dan kurtosis sebesar 7,906766. Karena nilai *kurtosis* lebih dari 3, maka dapat disimpulkan bahwa data nilai *return* saham UNVR terindikasi adanya lompatan atau data ekstrem. Hal tersebut juga dikuatkan dengan uji normalitas dengan menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov*. Berdasarkan uji *Kolmogorov-Smirnov* diperoleh nilai *p-value* sebesar 0,0007046. Karena nilai tersebut kurang dari α (0,05) yang ditentukan, maka data *return* saham UNVR terbukti tidak mengikuti distribusi normal.

Metode *Peak Over Threshold* (POT) digunakan untuk melihat banyak data lompatan atau *jump* pada data *in sample return* saham dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Data *return* berdasarkan perhitungan dengan persamaan (1) diurutkan dari tertinggi hingga terendah;
2. Menghitung banyaknya data *jump* dengan persamaan (2),

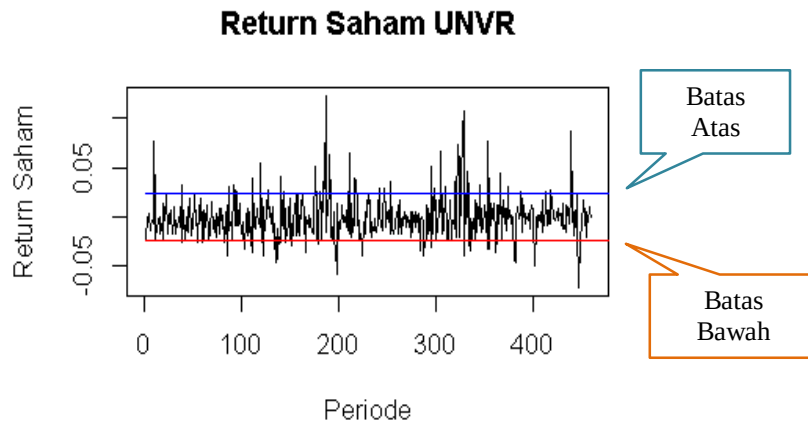
$$k = 10\% \times 461 = 46,1 \approx 46,$$

perhitungan data *jump* berdasarkan 10% dari jumlah data *return* saham *in sample* dihasilkan 46 observasi;

3. Menghitung nilai ambang batas atas dan batas bawah (*threshold*) menggunakan persamaan (3),

$$u = 46 + 1 = 47,$$

nilai ambang batas atas diperoleh dari data nilai *return* urutan ke-47 yaitu 0,023420 dan batas bawah pada urutan ke-47 dari urutan bawah yaitu 0,023189. Batas atas dan bawah diilustrasikan seperti pada Gambar 3;

Gambar 3. Batasan pada data nilai *return* saham *in sample*

4. Data *in sample* dilakukan pemotongan sebanyak 46 data terendah dan 46 data tertinggi, sehingga diperoleh 92 data *jump*;

Terdapat 5 parameter yang diperlukan untuk membuat model GBM *with jump diffusion*. Parameter-parameter tersebut diantaranya; rata-rata *return* saham (μ), volatilitas *return* saham (σ), rata-rata data *jump* (λ), rata-rata data selisih *jump* (α), dan standar deviasi data selisih *jump* (δ). Parameter-parameter tersebut diestimasi dengan memanfaatkan nilai *in sampel* dengan persamaan (4) hingga (8) yang hasilnya disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil estimasi parameter pada model GBM *with Jump Diffusion*

Parameter	Nilai
Rata-rata <i>return</i> saham (μ)	-0,001051
Volatilitas <i>return</i> saham (σ)	0,022123
Rata-rata data <i>jump</i> (λ)	0,005508
Rata-rata data selisih <i>jump</i> (α)	-0,002142
Standar deviasi data selisih <i>jump</i> (δ)	0,058680

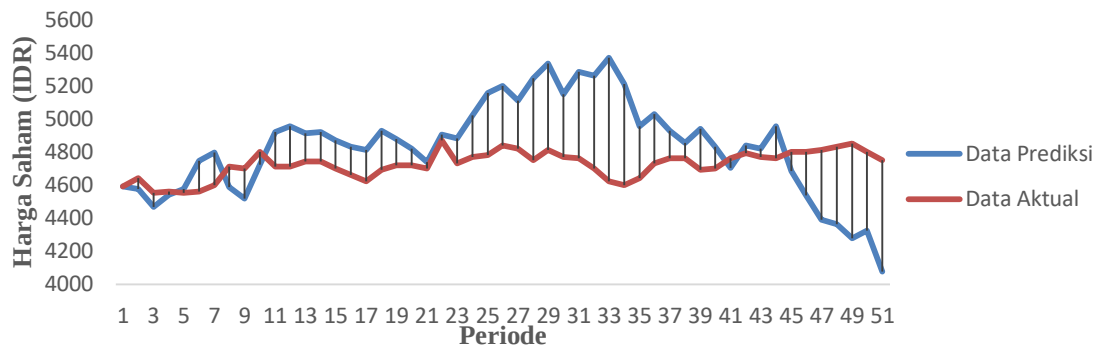
Model GBM *with Jump Diffusion* pada data nilai *return* saham UNVR berdasarkan hasil estimasi parameter dari Tabel 3 dapat diperoleh menggunakan persamaan (9),

$$\hat{S}(t_i) = \hat{S}(t_{i-1}) \exp \left(\left(\hat{\mu} - \frac{\hat{\sigma}^2}{2} - \hat{\lambda} \right) (t_i - t_{i-1}) + \hat{\sigma} \sqrt{t_i - t_{i-1}} Z_{i-1} + N_i \right)$$

$$\hat{S}(t_i) = \hat{S}(t_{i-1}) \exp \left(\left(-0,001084 - \frac{0,000493}{2} - 0,005508 \right) (t_i - t_{i-1}) + 0,022211 \sqrt{t_i - t_{i-1}} Z_{i-1} + N_i \right).$$

Model GBM *with Jump Diffusion* yang diperoleh kemudian dimanfaatkan untuk memprediksi harga saham 51 periode ke depan, yaitu periode 17 November 2022 hingga 27 Januari 2023. Hasil prediksi 51 periode ke depan digunakan untuk melakukan pengukuran kebaikan hasil prediksi dengan nilai MAPE pada persamaan (10) berdasarkan

data *out sample*. Perbandingan data aktual (*out sample*) dan data prediksi data saham UNVR disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan data aktual dan data prediksi

Berdasarkan data *out sample* serta hasil prediksi 51 periode ke depan dengan model GBM *with Jump Diffusion* dilakukan evaluasi kebaikan model dengan memperhatikan nilai MAPE. Hasil perhitungan nilai MAPE berdasarkan persamaan (10), dihasilkan nilai MAPE sebesar 5,262376%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa hasil prediksi harga saham dengan model GBM *with Jump Diffusion* dikategorikan sangat baik.

Tahap selanjutnya melakukan peramalan harga saham UNVR selama 50 periode hari aktif. Hasil peramalan tersebut dimanfaatkan untuk menaksir nilai resiko harga saham UNVR dengan metode *Expected Shortfall*. Hasil peramalan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil peramalan harga saham UNVR

<i>t</i>	Peramala n	<i>t</i>	Peramala n	<i>t</i>	Peramala n
1	4750	18	5097,329	35	5125,656
2	4736,350	19	5045,690	36	5203,946
3	4623,430	20	4986,728	37	5099,535
4	4697,995	21	4903,264	38	5022,054
5	4734,484	22	5073,773	39	5109,187
6	4912,142	23	5051,893	40	4998,083
7	4963,238	24	5193,560	41	4865,960
8	4745,753	25	5336,306	42	5007,468
9	4675,514	26	5377,289	43	4988,158
10	4886,517	27	5287,362	44	5125,870
11	5089,964	28	5427,767	45	4845,766
12	5125,281	29	5518,190	46	4693,507
13	5081,875	30	5328,813	47	4540,798
14	5090,914	31	5467,914	48	4512,830
15	5039,208	32	5442,551	49	4425,860
16	4999,138	33	5555,271	50	4476,235
17	4978,117	34	5390,786		

Perhitungan risiko menggunakan metode *Expected Shortfall* dilakukan dengan persamaan (11) berdasarkan hasil prediksi harga saham UNVR pada Tabel 4. Hasil perhitungan risiko pada berbagai tingkat kepercayaan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Estimasi nilai risiko dengan metode *Expected Shortfall*

Risiko	Tingkat kepercayaan(1- α)			
	80%	85%	90%	95%
UNVR	0,03937	0,0402	0,04659	0,05331

Tabel 5 menunjukkan bahwa pada tingkat kepercayaan 95% diperoleh nilai risiko maksimal sebesar 0,05331 atau dapat dikatakan ada kemungkinan 5% bahwa kerugian yang akan diterima oleh investor pada PT. Unilever Indonesia lebih besar dari 0,05331. Misalkan seorang investor memiliki investasi awal sebesar Rp 1.000.000, maka estimasi kerugian maksimal yang akan diterima oleh investor tersebut diperkirakan mencapai $Rp\ 1.000.000 \times 0,05331 = Rp53.310$ dalam jangka waktu 1 hari. Penjelasan tersebut berlaku pada tingkat kepercayaan lainnya.

4. Kesimpulan

Model GBM with *Jump Diffusion* pada data harga saham UNVR yang terbentuk berdasarkan estimasi parameter adalah sebagai berikut,

$$\hat{S}(t_i) = \hat{S}(t_{i-1}) \exp \left(\left(-0,001084 - \frac{0,000493}{2} - 0,005508 \right) (t_i - t_{i-1}) + 0,022211 \sqrt{t_i - t_{i-1}} Z_{i-1} + N_i \right).$$

Model yang terbentuk menghasilkan akurasi peramalan berdasarkan nilai MAPE sebesar 5,26% atau dapat dikategorikan sangat baik. Hasil estimasi nilai risiko harga saham UNVR menggunakan metode *Expected Shortfall* bahwa semakin tinggi tingkat kepercayaan yang digunakan, maka semakin tinggi pula tingkat risikonya.

Daftar Pustaka

- [1] T. Ratnawati, D. Aprilianto, and I. Luqyana, "Kecerdasan finansial calon investor LQ-45," *JEB17 (Jurnal Ekon. Bisnis)*, vol. 5, no. 1, pp. 60–66, 2020. [[CrossRef](#)]
- [2] A. Rakhman, "Analysis Effect of Investment Behavior, Reaction to Risks and Knowledge in Stock Exchange to the Use of Financial Analysis and Investor Performance at the Indonesian Stock Exchange (a Survey of Investors' Behaviour in Makassar, Indonesia)," *Int. J. Appl. Bus. Econ. Res.*, vol. 14, no. 3, pp. 2299–2319, 2016.

- [3] N. Nareswari, A.S. Balqista, and N.P. Negoro, “The impact of behavioral aspects on investment decision making,” *J. Manaj. dan Keuang.*, vol. 10, no. 1, pp. 15–27, 2021. [[CrossRef](#)]
- [4] Abdurakhman and D.A.I. Maruddani, “Pengaruh skewness dan kurtosis dalam model valuasi obligasi,” *Media Stat.*, vol. 11, no. 1, pp. 39–51, 2018. [[CrossRef](#)]
- [5] M. Aniska, D.A.I. Maruddani, and Suparti, “Valuasi one period coupon bond dengan aset mengikuti model geometric brownian motion with jump diffusion,” *Indones. J. Appl. Stat.*, vol. 3, no. 2, pp. 94–108, 2020. [[CrossRef](#)]
- [6] W.F.Agustini, I.R. Affianti, and E.R.M. Putri, “Stock price prediction using geometric Brownian motion,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 974, no. 1, 2018. [[CrossRef](#)]
- [7] A.L. Mukrimatin and N.A. Khabibah, “Analisis Fundamental Laporan Keuangan pada PT Unilever Indonesia Tbk Terhadap Pengambilan Keputusan Investasi,” *J. Ilm. Akunt. Kesatuan*, vol. 9, no. 3, pp. 523–530, 2021. [[CrossRef](#)]
- [8] D.A.I. Maruddani and Trimono, “Prediksi Harga Saham PT. Astra Agro Lestari Tbk. dengan Jump Diffusion Model,” *JRAMB J. Ris. Akunt. Mercuri Buana*, vol. 3, no. 1, pp. 57–67, 2017. [[CrossRef](#)]
- [9] V. Maulidya, E. Apriliani, and E.R.M. Putri, “Prediksi harga saham menggunakan geometric brownian motion termodifikasi kalman filter dengan konstrain,” *Indones. J. Appl. Math.*, vol. 1, no. 1, pp. 6–18, 2020. [[CrossRef](#)]
- [10] I.A. Ilyas, E. Puspita, and D. Rachmatin, “Prediksi harga saham menggunakan model jump diffusion,” *J. EurekaMatika*, vol. 6, no. 1, pp. 33–42, 2018.
- [11] D.A.I. Maruddani, “Pengaruh data ekstrim aset perusahaan pada valuasi obligasi,” in *Prosiding Seminar Nasional VARIANSI*, 2018, pp. 221–233. [[CrossRef](#)]
- [12] Trimono and D.A.I. Maruddani, “Valuasi harga saham PT Aneka Tambang Tbk sebagai peraih IDX best blue 2016,” *Stat. J. Theor. Stat. Its Appl.*, vol. 17, no. 1, pp. 33–43, 2017. [[CrossRef](#)]
- [13] P. Ditasari, E. Rohaeti, and I. Kamila, “Aplikasi geometric brownian motion dengan jump diffusion dalam memprediksi harga saham liquid quality 45,” *Euler J. Ilm. Mat. Sains dan Teknol.*, vol. 10, no. 1, pp. 111–119, 2022. [[CrossRef](#)]
- [14] N.F.F. Rizani, Mustafid, and Suparti, “Penerapan metode expected shortfall pada pengukuran risiko investasi saham dengan volatilitas model GARCH,” *J. Gaussian*, vol. 8, no. 2, pp. 184–193, 2019. [[CrossRef](#)]
- [15] N.L. Nikasari, K. Dharmawan, and I.G.A.M. Srinadi, “Estimasi nilai average value at risk pada saham portofolio dengan menggunakan metode analisis komponen utama,” *E-Jurnal Mat.*, vol. 6, no. 1, pp. 56–64, 2017. [[CrossRef](#)]

- [16] U. Azmi, G.O. Siswono, W.H. Syaifudin, W.H. Saputra, and P.M.A. Ningtyas, “Risk analysis on agricultural commodity portfolio using value at risk (VaR) and expected shortfall (ES) based on ARIMA-GARCH,” in *AIP Conference Proceedings*, 2022, p. 2641. [[CrossRef](#)]
- [17] D.R. Prihatiningsih, D.A.I. Maruddani, and R. Rahmawati, “Value at risk (VaR) dan conditional value at risk (CVaR) dalam pembentukan portofolio bivariat menggunakan copula gumbel,” *J. Gaussian*, vol. 9, no. 3, pp. 326–335, 2020. [[CrossRef](#)].
- [18] K. Syuhada, A. Hakim, and R. Nur’aini, “The expected-based value-at-risk and expected shortfall using quantile and expectile with application to electricity market data,” *Commun. Stat. Simul. Comput.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–20, 2021. [[CrossRef](#)]
- [19] S.W. Utami, I.M. Nur, and M. Al Haris, “Peramalan nilai ekspor Provinsi Jawa Tengah dengan metode fuzzy time series berbasis algoritma novel,” *J Stat. J. Ilm. Teor. dan Apl. Stat.*, vol. 15, no. 1, pp. 195–202, 2022. [[GreenVersion](#)]
- [20] I.N. Hidayati, M. Al Haris, and T.W. Utami, “Metode average based fuzzy time series markov chain pada data laju inflasi di Indonesia,” in *Seminar Nasional UNIMUS*, 2022, pp. 581–597.
- [21] E.P. Setiawan and D. Rosadi, “Portfolio optimisation with cardinality constraint based on expected shortfall,” *Int. J. Comput. Sci. Math.*, vol. 12, no. 3, pp. 262–273, 2020. [[CrossRef](#)]
- [22] D. Jadhav, T.V. Ramanathan, and U.V. Naik-Nimbalkar, “Modified estimators of the expected shortfall,” *J. Emerg. Mark. Financ.*, vol. 8, no. 2, pp. 87–107, 2009. [[GreenVersion](#)]