

Implementation of Jump Diffusion to Predict Stock Prices and Risk Analysis Using Value At Risk and Expected Shortfall

(Case Study: PT. Indofood Sukses Makmur Tbk)

Implementasi *Jump Diffusion* Untuk Memprediksi Harga Saham Serta Analisis Risiko Menggunakan *Value At Risk* Dan *Expected Shortfall* (Studi Kasus: PT. Indofood Sukses Makmur Tbk)

Feby Seru^{1*}, Miftachul Jannah², Tiku Tandianga³

^{1,2,3}Departement of Mathematic, Universitas Cenderawasih, Indonesia
Email: febyseru.math@gmail.com¹, miftachuljannah291@gmail.com²,
tiku.tandianga@gmail.com³

Received: 5 March 2024, revised: 21 April 2024, accepted: 22 April 2024

Abstract

Stock prices often fluctuate; therefore, a model is needed to predict the stock price. One of the models that can be used to predict stock prices when experiencing a jump is Jump Diffusion. In addition to predicting, investment is inseparable from the risks that may be borne, so it is also necessary to measure risk. This study aims to implement the Jump Diffusion Model in predicting the stock price of PT Indofood Sukses Makmur Tbk and conduct a risk analysis of the prediction results using Value at Risk (VaR) and Expected Shortfall (ES). In this study, a model was obtained that was used to predict the share price of PT Indofood Sukses Makmur Tbk with a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) value of 6.41%. This shows that the accuracy of the stock price prediction results is included in the very good category. In addition, the VaR value of the prediction results with a confidence level of 90%, 95%, and 99% is 0.0292, 0.0372, and 0.0523, and the ES value is 0.0402, 0.0474, and 0.0613.

Keywords: *Jump Diffusion Model, Stock Return, Investment, Prediction, Risk Analysis*

Abstrak

Harga saham sering mengalami fluktuasi oleh karena itu diperlukan suatu model untuk memprediksi harga saham tersebut. Salah satu model yang dapat digunakan untuk memprediksi harga saham saat mengalami lompatan adalah *Jump Diffusion*. Selain memprediksi, investasi tidak terlepas dari adanya risiko yang mungkin ditanggung sehingga perlu juga untuk dilakukan



pengukuran risiko. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan Model *Jump Diffusion* dalam memprediksi harga saham PT. Indofood Sukses Makmur Tbk, serta melakukan analisis risiko dari hasil prediksi tersebut menggunakan *Value at Risk (VaR)* dan *Expected Shortfall (ES)*. Pada penelitian ini diperoleh suatu model yang digunakan untuk memprediksi harga saham PT. Indofood Sukses Makmur Tbk dengan nilai *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)* sebesar 6,41%. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat keakuratan hasil prediksi harga saham termasuk ke dalam kategori sangat baik. Selain itu, diperoleh Nilai VaR hasil prediksi dengan tingkat kepercayaan 90%, 95%, dan 99% berturut-turut adalah 0,0292; 0,0372; 0,0523, dan nilai ES sebesar 0,0402; 0,0474; 0,0613.

Kata kunci: Model Jump Diffusion, Return Saham, Investasi, Prediksi, Analisis Risiko

1. PENDAHULUAN

Investasi adalah suatu tindakan terhadap sejumlah dana atau sumber daya lainnya yang dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh sejumlah keuntungan di masa mendatang. Terdapat dua jenis investasi, yaitu investasi terhadap aset *real (real asset)* dan investasi terhadap aset finansial (*financial asset*). Aset *real* merupakan aset fisik atau aset yang memiliki wujud, sedangkan aset finansial merupakan aset yang tidak memiliki wujud. Contoh aset *real* seperti rumah, tanah dan emas. Sedangkan contoh aset finansial seperti saham, obligasi dan reksa dana. Investasi terhadap aset finansial yang sedang berkembang yaitu investasi di pasar modal, dengan salah satu produk yang paling banyak diperdagangkan adalah saham [6].

Menurut Azis dkk [2], saham merupakan tanda kepemilikan investor atas investasinya pada suatu perusahaan dan merupakan salah satu bentuk investasi yang paling diminati karena dapat memberikan tingkat keuntungan yang menarik. Salah satu cara agar investor dapat mengetahui seberapa besar hasil investasi saham adalah dengan melihat nilai *return* saham. Menurut Ruppert [14], *return* saham adalah tingkat pengembalian atas hasil yang diperoleh dari melakukan investasi. Harga saham sering mengalami fluktuasi sehingga menghasilkan nilai *return* saham yang tidak pasti. Terdapat beberapa faktor eksternal maupun internal yang mempengaruhi fluktuasi harga saham seperti kinerja perusahaan, risiko, dividen, tingkat suku bunga, kondisi perekonomian, kebijakan pemerintah, laju inflasi serta penawaran dan permintaan [2]. Adanya ketidakpastian nilai *return* saham, maka diperlukan suatu prediksi.

Prediksi merupakan kegiatan penaksiran hal yang mungkin akan terjadi di masa depan. Prediksi dilakukan dengan menggunakan informasi dari masa lalu yang dapat diuraikan secara sistematis. Untuk memprediksi harga saham maka diperlukan model matematis. Salah satu model yang digunakan untuk memprediksi harga saham di masa yang akan datang berdasarkan harga saham masa lalu adalah Model *Gerak Brown Geometrik (GBG)* [5]. Realibilitas terkait model ini juga sudah pernah di teliti oleh Sinha [17] dalam memprediksi S&P500 nilai index. Namun, Model GBG kurang akurat untuk memprediksi harga saham pada kondisi fluktuasi harga saham yang memiliki lompatan. Adanya lompatan terjadi jika fluktuasi harga saham mengalami penurunan atau kenaikan secara drastis. Untuk mengatasi hal ini, maka digunakan Model *Geometric Brownian Motion With Jump* atau Model *Jump Diffusion* [3]. Untuk mengukur tingkat keakuratan atau persentase kesalahan model maka digunakan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*). MAPE adalah rata-rata persentase absolut dari kesalahan peramalan. Jika nilai MAPE yang diperoleh semakin kecil maka model peramalan tersebut semakin baik [1].

Penelitian-penelitian telah dilakukan untuk memprediksi harga saham menggunakan Model *Jump Diffusion* diantaranya oleh Trimono & Maruddani [19], yang memprediksi harga saham PT. Aneka Tambang Tbk (ANTM.JK) menggunakan model GBG dan *Jump Diffusion*. Hasil penelitian yang diperoleh yaitu model *Jump Diffusion* memberikan hasil prediksi yang lebih akurat daripada Model GBG. Hal ini ditunjukkan dengan nilai MAPE *Jump Diffusion* (1,95%)

yang lebih kecil daripada nilai MAPE Model GBG (11,01%). Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Ilyas dkk [9] dengan menggunakan Model *Jump Diffusion* untuk memprediksi harga saham Bank Negara Indonesia (BBNI). Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan akurasi peramalan harga saham Bank Negara Indonesia (BBNI) termasuk ke dalam kategori sangat baik dengan MAPE sebesar 1,76%. Pada tahun 2022, Khoir dkk [11] menggunakan model *Jump Diffusion* untuk memprediksi harga saham PT. Waskita Karya Persero Tbk (WSKT). Hasil penelitian yang diperoleh yaitu model ini memprediksi harga saham beberapa perusahaan dengan kategori baik dengan MAPE sebesar 13,00474%.

Berinvestasi saham, selain memberikan keuntungan juga tidak terlepas dari adanya risiko yang mungkin terjadi selama melakukan investasi, sehingga diperlukan pengelolaan risiko [7]. Terdapat dua metode yang dapat digunakan untuk menganalisis risiko yaitu Metode *Value at Risk* (VaR) dan *Expected Shortfall* (ES) [18]. VaR adalah kerugian yang dapat ditoleransi dengan tingkat kepercayaan tertentu. VaR merupakan metode pengukuran risiko yang cukup diminati, namun VaR juga memiliki kelemahan yaitu VaR hanya mengukur keuntungan atau kerugian, tanpa memperhitungkan kerugian yang paling buruk. Padahal, terdapat kemungkinan bahwa kerugian yang terjadi lebih besar dari Nilai VaR yang sudah ditetapkan [13]. Untuk mengatasi kelemahan VaR maka digunakan ES. ES didefinisikan sebagai ekspektasi dari ukuran risiko yang nilainya lebih besar dari VaR. Keunggulan ES dibandingkan dengan VaR yaitu ES adalah ukuran risiko yang memperhitungkan potensi kerugian yang melebihi VaR [15].

Penelitian-penelitian untuk menghitung nilai risiko telah dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya Molino dan Carlo pada tahun 2020 [12]. Pada penelitiannya Molino dan Carlo memprediksi VaR dan CVaR menggunakan data pasar opsi dan menggunakan empat teknik ekonometrik yang berbeda. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Saepudin dkk [15] dengan menghitung nilai VaR dan ES untuk mengetahui besarnya risiko pada PT. Unilever Indonesia Tbk (UNVR.JK) dengan menggunakan tingkat kepercayaan 90%, 95% dan 99%. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai ES lebih tinggi dari nilai VaR. Pada tahun 2022, selain memprediksi harga saham menggunakan Model *Jump Diffusion*, Khoir dkk [11] juga melakukan perhitungan ES pada PT. Waskita Karya Persero Tbk (WSKT) menggunakan tingkat kepercayaan 90% dan 95%. Pada tahun 2023, Seru [16] melakukan analisis risiko VaR dan CVaR pada hasil prediksi harga saham PT. Astra International Tbk dengan tingkat kepercayaan 90%, 95% dan 99%.

PT. Indofood Sukses Makmur Tbk merupakan perusahaan yang bergerak dalam industri pengolahan makanan di Indonesia. Pada tahun 2020 pergerakan harga saham PT. Indofood Sukses Makmur Tbk (INDF.JK) mengalami penurunan drastis, yang diakibatkan oleh adanya pandemi Covid-19. Penurunan harga saham yang terjadi mengindikasikan adanya lompatan. Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini bertujuan mengaplikasikan model *Jump Diffusion* untuk memprediksi harga saham pada PT. Indofood Sukses Makmur Tbk, serta menganalisis tingkat risiko dari hasil prediksi tersebut menggunakan *Value at Risk* (VaR) dan *Expected Shortfall* (ES).

2. METODE

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data penutupan harga saham harian PT. Indofood Sukses Makmur Tbk (INDF.JK) periode Mei 2019 sampai dengan Juni 2020, yang diperoleh dari www.finance.yahoo.com. Data yang diperoleh dibagi menjadi 2 bagian yaitu 75% sebagai data *in-sample* dan 25% sebagai data *out-sample*.

Model Jump Diffusion

Model *jump diffusion* merupakan pengembangan dari model Gerak Brown Geometrik, khusus untuk mengatasi adanya “guncangan” pasar yang mengakibatkan perubahan "besar" dan tiba-tiba pada harga sekuritas berisiko dan hampir tidak dapat dimodelkan dengan deviasi besar dari komponen difusi [3]. Persamaan diferensial stokastik untuk Model *Jump Diffusion* dituliskan sebagai berikut [9] :

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t W_t + S_t dJ_t \quad (2.1)$$

dengan dS_t merupakan perubahan harga saham, S_t merupakan harga saham saat t , μ merupakan nilai *drift*, σ merupakan nilai volatilitas, W_t merupakan Gerak Brown standar, dan J_t merupakan proses *jump*. Selanjutnya pada Persamaan (2.1), kedua ruas dibagi dengan S_t sehingga diperoleh:

$$\frac{dS_t}{S_t} = \mu dt + \sigma W_t + dJ_t \quad (2.2)$$

dimana,

$$\frac{dS_t}{S_t} = d(\ln S_t) = \ln(S_t) - \ln(S_{t-1}) = \ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right) \quad (2.3)$$

Sehingga Persamaan (2.2) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right) = \mu dt + \sigma W_t + dJ_t \quad (2.4)$$

Persamaan stokastik (2.1) diselesaikan menggunakan Teorema Ito sebagai berikut:

Teorema 2.1 Jika terdapat suatu fungsi $G = G(X, t)$, maka fungsi G akan mengikuti persamaan berikut:

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

Misalkan fungsi $G = F(S_t, t)$ merupakan variabel terdiferensiasi dari variabel S_t dan t maka menurut Teorema 2.1:

$$dF(S_t, t) = \left(\frac{\partial F(S_t, t)}{\partial S_t} \mu S_t + \frac{\partial F(S_t, t)}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F(S_t, t)}{\partial S_t^2} \sigma^2 S_t \right) dt + \left(\frac{\partial F(S_t, t)}{\partial S_t} \sigma S_t \right) dW_t + (F(S_{t-} + \Delta S_t) - F(S_{t-})) \quad (2.5)$$

dengan S_{t-} merupakan harga saham sebelum terjadi lompatan, W_t merupakan Gerak Brown Standar dan nilai μ dan σ merupakan parameter. Selanjutnya dimisalkan $F(S_t, t) = \ln S_t$ maka diperoleh $\frac{\partial(\ln S_t)}{\partial S_t} = \frac{1}{S_t}$, $\frac{\partial^2(\ln S_t)}{\partial S_t^2} = -\frac{1}{S_t^2}$, dan $\frac{\partial(\ln S_t)}{\partial t} = 0$, sehingga Persamaan (2.5) menjadi:

$$\begin{aligned} d(\ln S_t) &= \left(\frac{\partial(\ln S_t)}{\partial S_t} \mu S_t + \frac{\partial(\ln S_t)}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2(\ln S_t)}{\partial S_t^2} \sigma^2 S_t^2 dt \right) + \left(\frac{\partial(\ln S_t)}{\partial S_t} \sigma S_t \right) dW_t + [F(S_{t-} + \Delta S_t) - F(S_{t-})] \\ &= \frac{1}{S_t} \mu S_t + 0 + \frac{1}{2} \left(-\frac{1}{S_t^2} \right) \sigma^2 S_t^2 dt + \left(\frac{1}{S_t} \sigma S_t \right) dW_t + [F(S_{t-} + \Delta S_t) - F(S_{t-})] \\ &= \left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) dt + \sigma dW_t + [F(S_{t-} + \Delta S_t) - F(S_{t-})] \end{aligned} \quad (2.6)$$

Berdasarkan Persamaan (2.3), maka Persamaan (2.6) dapat dituliskan sebagai:

$$\ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right) = \left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) dt + \sigma dW_t + [F(S_{t-} + \Delta S_t) - F(S_{t-})]$$

$$\exp\left(\ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right)\right) = \exp\left(\left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)dt + \sigma dW_t + [F(S_{t-} + \Delta S_t) - F(S_{t-})]\right)$$

$$\frac{S_t}{S_{t-1}} = \exp\left(\left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)dt + \sigma dW_t + [F(S_{t-} + \Delta S_t) - F(S_{t-})]\right)$$

$$S_t = S_{t-1} \exp\left(\left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)dt + \sigma dW_t + [F(S_{t-} + \Delta S_t) - F(S_{t-})]\right) \quad (2.7)$$

Jika perubahan harga saham periode berjalan dengan periode sebelumnya adalah satu hari dengan $t_0 < t_1 < \dots < t_n$, maka Persamaan (2.7) menjadi:

$$S_t = S_{t-1} \exp\left(\left(\hat{\mu} - \frac{\hat{\sigma}^2}{2} - \hat{\lambda}\right)(t - (t-1)) + \hat{\sigma}\sqrt{t - (t-1)}Z_{t-1} + N_t\right) \quad (2.8)$$

dengan S_t merupakan harga saham saat t , S_{t-1} merupakan harga saham saat $t-1$, parameter $\hat{\mu}$, $\hat{\sigma}$ dan $\hat{\lambda}$ masing-masing merupakan parameter drift, volatilitas, dan intensitas *jump*. Z_{t-1} merupakan data acak berdistribusi Normal baku saat $t-1$, dan N_t merupakan data acak berdistribusi Normal saat t . Persamaan (2.8) merupakan model harga saham dengan *jump diffusion*.

Berikut merupakan langkah-langkah untuk memprediksi harga saham dengan menggunakan model *Jump Diffusion*:

1. Menentukan data *in-sample* dan *out-sample*.
2. Menghitung nilai *return* saham data *in-sample* menggunakan persamaan berikut:

$$R_t = \ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right) \quad (2.9)$$

dengan R_t merupakan *return* saham saat t , S_t merupakan harga saham saat t , dan S_{t-1} merupakan harga saham saat $t-1$.

3. Melakukan uji normalitas data *in-sample return* saham menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov dengan hipotesis sebagai berikut:

H_0 : Data return berdistribusi normal

H_1 : Data return tidak berdistribusi normal

Statistik Uji:

$$D_{hitung} = \max|F(Z_i) - F(x_i)| \quad (2.10)$$

dengan:

$F(Z_i)$: Fungsi distribusi yang diasumsikan berdistribusi normal

$F(x_i)$: Fungsi distribusi kumulatif dari data sampel

Kriteria Pengujian:

Jika $D_{hitung} \leq D_{\alpha,n}$, maka H_0 diterima yang menunjukkan bahwa data sampel berdistribusi Normal, sebaliknya jika $D_{hitung} > D_{\alpha,n}$, maka H_0 ditolak yang menunjukkan bahwa data sampel tidak berdistribusi Normal. Uji Kolmogorov-smirnov dapat dilakukan menggunakan SPSS dengan kriteria pengujian sebagai berikut: jika nilai $P - value \geq \alpha$, maka H_0 diterima yang menunjukkan data sampel berdistribusi Normal. Sedangkan jika $P - value < \alpha$, maka H_0 ditolak yang menunjukkan data sampel tidak berdistribusi Normal.

4. Menghitung nilai *skewness* dan kurtosis data *in-sample*.
5. Menentukan nilai ekstrim dengan metode *Peak Over Threshold (POT)* pada data *in-sample return* saham dengan langkah-langkah sebagai berikut:
 - a. Mengurutkan seluruh data dari yang terbesar hingga terkecil.
 - b. Menghitung banyaknya data ekstrim dengan menggunakan persamaan:

$$k = 10\% \times n \quad (2.11)$$

dengan n adalah total data pengamatan sehingga diperoleh data pada urutan pertama hingga k merupakan nilai ekstrem.

- c. Menentukan ambang batas (*threshold*) u dengan persamaan:

$$u = k + 1 \quad (2.12)$$

sehingga data pada urutan ke- $(k + 1)$ merupakan nilai ambang batas u .

- d. Melakukan pemotongan k data terendah dan k data tertinggi pada data *return in-sample*.
6. Melakukan estimasi parameter $\mu, \sigma, \lambda, \alpha, \delta$ sebagai berikut:
- a. Parameter σ menyatakan nilai volatilitas dan diestimasi menggunakan persamaan berikut [20]:

$$\hat{\sigma} = \frac{s}{\Delta t} \quad (2.13)$$

dengan s merupakan standar deviasi data return saham dan Δt merupakan selang waktu.

- b. Parameter μ menyatakan nilai *drift* dan diestimasi menggunakan persamaan berikut [20]:

$$\hat{\mu} = \frac{\bar{R}}{\Delta t} + \frac{\hat{\sigma}^2}{2} \quad (2.14)$$

dengan \bar{R} merupakan *mean return*.

- c. Parameter λ menyatakan nilai intensitas *jump* dan diestimasi menggunakan persamaan berikut [9]:

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.15)$$

dengan x_i merupakan data *jump*.

- d. Parameter α menyatakan nilai rata-rata selisih *jump* dan diestimasi menggunakan persamaan berikut [9]:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.16)$$

dengan x_i merupakan selisih data *jump*

- e. Parameter δ menyatakan standar deviasi selisih *jump* dan diestimasi menggunakan persamaan berikut [9]:

$$\hat{\delta} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \alpha)^2} \quad (2.17)$$

7. Memprediksi harga saham menggunakan *jump diffusion* menggunakan Persamaan (2.8).

8. Menghitung nilai MAPE untuk masing-masing iterasi menggunakan persamaan berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|S_t - F_t|}{S_t} \cdot 100\% \quad (2.18)$$

Dengan S_t merupakan nilai aktual harga saham pada waktu ke- t dan F_t merupakan nilai prediksi harga saham pada waktu ke- t yang diperoleh pada langkah 7. Menurut Chang dkk [4], untuk mengetahui akurasi peramalan dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1. Tingkat akurasi prediksi pada MAPE

Nilai MAPE	Akurasi Peramalan
$MAPE < 10\%$	Akurasi peramalan 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

Value at Risk (VaR) dan Expected Shortfall (ES)

Menurut Jorion [10], Value at Risk (VaR) merupakan suatu metode untuk mengukur risiko dengan memprediksi kerugian maksimum yang terjadi pada waktu tertentu dengan tingkat kepercayaan tertentu atas suatu portofolio. Terdapat 3 metode untuk menghitung nilai VaR yaitu metode simulasi historis, metode *variance-covariance*, dan simulasi monte carlo. Pada penelitian ini, digunakan VaR dengan simulasi Monte Carlo. Sedangkan ES merupakan ukuran risiko uang menghitung besarnya kerugian yang melebihi VaR. ES digunakan untuk mengatasi kelemahan yang terjadi pada VaR. Berikut merupakan langkah-langkah untuk menghitung nilai VaR dan ES:

1. Menghitung nilai *return* prediksi harga saham.
2. Melakukan uji normalitas data *return* hasil prediksi saham dengan menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov.
3. Mengestimasi parameter μ dan σ yang diperoleh dari mean dan standar deviasi pada data *return* hasil prediksi.
4. Mensimulasi nilai *return* dengan membangkitkan data acak berdistribusi normal dengan nilai estimasi parameter yang diperoleh dari langkah ke-tiga. Pada penelitian ini, data yang dibangkitkan sebanyak 100 dan diulang 500 kali sehingga diperoleh distribusi empiris dari *return* hasil simulasi sebanyak 500 data.
5. Menghitung nilai VaR pada masing-masing tingkat kepercayaan. VaR didefinisikan sebagai [18]:

$$VaR_X(\alpha) = \inf\{x: P(X \leq x) \geq \alpha$$

Pada data berdistribusi normal, VaR dapat dirumuskan sebagai berikut [15] :

$$VaR_{(1-\alpha)} = \mu + \Phi^{-1}(1 - \alpha)\sigma \quad (2.19)$$

dengan $\Phi^{-1}(\cdot)$ merupakan invers fungsi distribusi Normal. Pada penelitian ini digunakan tingkat kepercayaan sebesar 90%, 95% dan 99%, sehingga diperoleh 500 nilai VaR yaitu $VaR_1, VaR_2, \dots, VaR_{500}$ untuk masing-masing tingkat kepercayaan.

6. Menghitung rata-rata VaR untuk masing-masing tingkat kepercayaan yang diperoleh dari langkah ke-lima untuk mendapatkan konsistensi nilai VaR.
7. Menghitung nilai ES yang didefinisikan sebagai [18]:

$$ES_X(\alpha) = \frac{1}{1 - \alpha} \int_{\alpha}^1 VaR(q) dq$$

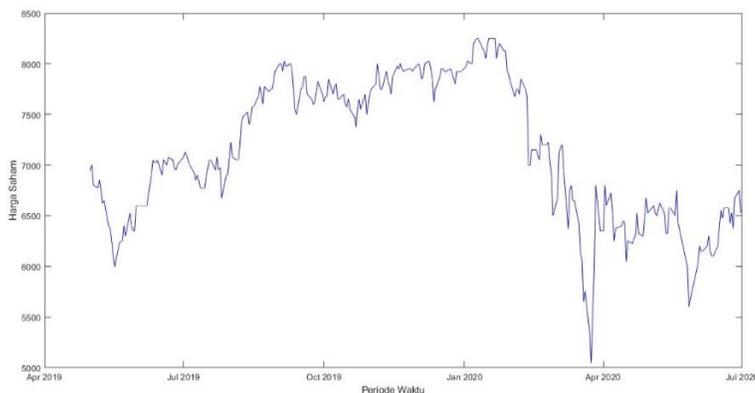
Pada data berdistribusi normal, ES dapat dirumuskan sebagai berikut [15] :

$$ES_{1-\alpha} = \left(\mu + \sigma \frac{\phi(\Phi^{-1}(1-\alpha))}{\alpha} \right) \cdot \sqrt{t} \quad (2.20)$$

dengan $\phi(\cdot)$ merupakan fungsi kepadatan peluang distribusi Normal. Pada perhitungan ES digunakan tingkat kepercayaan 90%, 95% dan 99%.

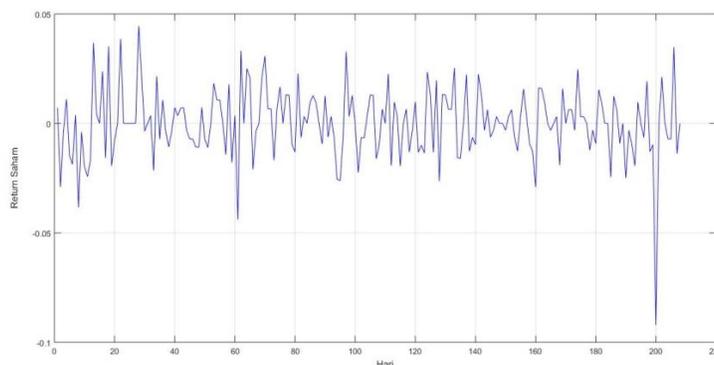
3. HASIL DAN PEMBAHASAN**Pemodelan Harga Saham Menggunakan Jump Diffusion**

Pada penelitian ini, data penutupan harga saham harian PT. Indofood Sukses Makmur Tbk (INDF.JK) dibagi menjadi dua 2 bagian yaitu sebanyak 209 data sebagai *in-sample* dan 83 data sebagai *out-sample*. Berikut merupakan grafik data *in-sample* pada harga saham harian PT. Indofood Sukses Makmur Tbk (INDF.JK):



Gambar 3.1. Grafik Data Harga Saham PT. Indofood Sukses Makmur Tbk

Berdasarkan Gambar 3.1, diketahui bahwa pergerakan saham PT. Indofood Sukses Makmur Tbk mengalami fluktuasi. Selain itu juga terdapat beberapa penurunan harga saham yang signifikan pada bulan Maret hingga Juni 2020, sehingga terindikasi adanya lompatan pada data tersebut. Berikut merupakan grafik nilai *return* saham dari data *in-sample* PT. Indofood Sukses Makmur Tbk.:



Gambar 3.2. Plot *Return* Saham

Berdasarkan Gambar 3.2, pergerakan *return* saham juga mengalami fluktuasi bahkan sempat mengalami kerugian yang cukup signifikan. Kerugian yang dialami disebabkan oleh adanya Pandemi Covid-19 yang masuk ke Indonesia pada bulan Maret 2020. Selanjutnya dilakukan uji Kolmogorov-Smirnov pada data *return* saham menggunakan SPSS dan diperoleh $P - value = 0,165 > \alpha = 0,05$, sehingga dapat disimpulkan bahwa data *return* saham PT. Indofood Sukses Makmur Tbk berdistribusi Normal.

Nilai *skewness* dan *kurtosis* yang diperoleh sebesar $-0,74028$ dan $4,99463$. Menurut Ghozali [8], nilai *skewness* yang berada pada rentang nilai -2 sampai dengan 2 menunjukkan data tersebut berdistribusi Normal. Berdasarkan nilai *skewness* yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa data *return* saham PT. Indofood Sukses Makmur Tbk berdistribusi Normal. Hal ini juga sesuai dengan uji Kolmogorov-Smirnov yang telah dilakukan sebelumnya. Sedangkan menurut Trimono & Maruddani [19], jika nilai *kurtosis* lebih dari 3 menunjukkan bahwa pada data tersebut terindikasi terdapat lompatan. Berdasarkan nilai *kurtosis* yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa data *return* saham PT. Indofood Sukses Makmur Tbk menunjukkan adanya lompatan sehingga data saham PT. Indofood Sukses Makmur Tbk (INDF.JK) dapat dimodelkan menggunakan model *jump diffusion*. Model *Jump diffusion* digunakan ketika harga saham mengalami lonjakan (*jump*) harga dan data harga saham bersifat fluktuatif.

Pada model *jump diffusion* pemotongan data ekstrem, dilakukan menggunakan metode *Peak Over Threshold* (POT) yaitu nilai ambang batas bawah dan ambang batas atas yang ditentukan dengan menggunakan nilai kuantil 10% :

$$k = 10\% \times 209 = 20,9 \approx 21 \text{ dan nilai ambang batas } u = 21 + 1 = 22$$

Sebanyak 21 data *return* saham bernilai negatif yang nilainya lebih rendah dari kuantil ambang batas bawah merupakan data *jump* dan sebanyak 21 data *return* saham bernilai positif yang nilainya lebih tinggi dari kuantil ambang batas atas merupakan data *jump*. Jadi diperoleh sebanyak 42 data *jump* yang akan digunakan untuk mengestimasi nilai intensitas *jump* dengan nilai ambang batas sebagai berikut:

Tabel 3.1. Nilai Ambang Batas

Ambang Batas	Nilai
Bawah	-0,01783
Atas	0,02083

Setelah diperoleh 42 data *jump*, selanjutnya dihitung selisih data tersebut, yang kemudian akan digunakan untuk mengestimasi nilai rata-rata dan standar deviasi selisih *jump*. Dengan menggunakan Persamaan (2.13)-(2.17) diperoleh nilai estimasi parameter $\mu, \sigma, \lambda, \alpha, \delta$ sebagai berikut:

Tabel 3.2. Nilai Estimasi Parameter

Parameter	Nilai
$\hat{\mu}$	0,000297
$\hat{\sigma}$	0,015933
$\hat{\lambda}$	0,000003
$\hat{\alpha}$	0,003330
$\hat{\delta}$	0,009552

Berdasarkan nilai parameter pada Tabel 3.2 maka diperoleh model harga saham dengan *Jump Diffusion* sebagai berikut:

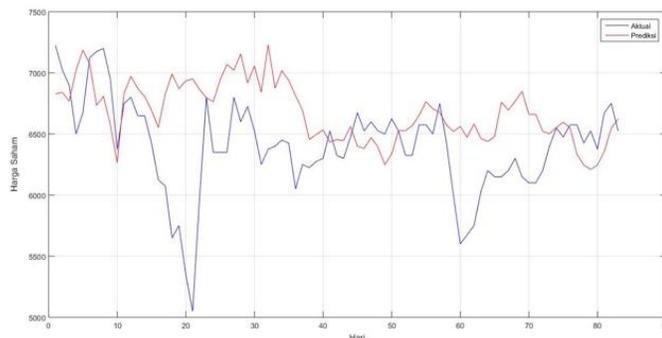
$$S_t =$$

$$S_{t-1} \exp \left(\left(0,000297 - \frac{(0,015933)^2}{2} - 0,000003 \right) (t - (t-1)) + 0,015933 \sqrt{t - (t-1)} Z_{t-1} + N_t \right) \quad (3.1)$$

Persamaan (3.1) merupakan model *Jump Diffusion* dari data harga saham PT. Indofood Sukses Makmur Tbk periode 1 Mei 2019 sampai 24 Februari 2020. Selanjutnya dilakukan prediksi harga saham untuk periode 25 Februari 2020 hingga 30 Juni 2020 menggunakan *Jump Diffusion*.

Prediksi Harga Saham Menggunakan *Jump Diffusion*

Perhitungan prediksi harga saham menggunakan model *Jump Diffusion* dilakukan menggunakan Persamaan (3.1) dan diulangi sebanyak 50 kali. Setiap perhitungan menghasilkan nilai prediksi yang berbeda karena adanya data acak yang terdapat pada model *Jump Diffusion*. Selanjutnya untuk mengetahui keakuratan hasil prediksi, maka dilakukan perhitungan MAPE menggunakan Persamaan (2.18) pada masing-masing hasil prediksi. Data aktual yang digunakan pada perhitungan MAPE adalah data *out-sample* dan diperoleh nilai MAPE terkecil berada pada iterasi ke-2 yaitu sebesar 6,41%. Berikut merupakan gambar perbandingan harga saham aktual dengan harga saham prediksi dengan nilai MAPE terkecil:



Gambar 3.1. Perbandingan Hasil Prediksi Harga Saham dengan Harga Saham Aktual

Gambar 3.1 menunjukkan bahwa hasil prediksi harga saham telah mendekati nilai aktual meskipun masih terdapat beberapa bagian yang memiliki perbedaan nilai yang signifikan. Namun berdasarkan Tabel (2.1) tingkat akurasi hasil prediksi termasuk dalam kategori sangat baik yaitu kurang dari 10%, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil prediksi harga saham PT. Indofood Sukses Makmur Tbk menggunakan model *jump diffusion*, sangat baik. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Khoir dkk [11].

Analisis Value at Risk dan Expected Shortfall

Pada penelitian ini, perhitungan *Value at Risk* (VaR) dilakukan dengan menggunakan Simulasi Monte Carlo. Metode ini dipilih karena metode tersebut dapat menghitung bermacam-macam susunan eksposur dan risiko, serta fleksibel untuk menggabungkan variasi waktu pada volatilitas, *fat tails*, dan skenario yang ekstrem [10]. Langkah pertama yang dilakukan untuk menghitung VaR dengan simulasi Monte Carlo adalah menghitung nilai *return* hasil prediksi harga saham yang telah diperoleh, kemudian melakukan uji normalitas terhadap data *return* tersebut. Uji normalitas dilakukan menggunakan Kolmogorov-Smirnov dan diperoleh $P - value = 0,897 > \alpha = 0,05$. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai *return* hasil prediksi saham PT. Indofood Sukses Makmur Tbk berdistribusi normal. Langkah selanjutnya adalah menghitung mean dan standar deviasi data *return* saham prediksi dan diperoleh $\hat{\mu} = -0,000375$ dan $\hat{\sigma} = 0,023136$. Nilai parameter tersebut kemudian digunakan untuk membangkitkan data acak berdistribusi Normal sebanyak 100 data dan diulangi sebanyak 500 kali agar diperoleh hasil yang lebih akurat, stabil, dan representatif dari distribusi potensial *return* saham. Selanjutnya menghitung nilai VaR untuk masing-masing pengulangan menggunakan Persamaan (2.19) dengan tingkat kepercayaan 90%, 95%, dan 99%, sehingga diperoleh 500 nilai VaR. Setiap data acak yang dibangkitkan akan menghasilkan nilai VaR yang berbeda, sehingga untuk mendapatkan konsistensi dari nilai VaR, maka diambil nilai rata-rata dari 500 nilai VaR yang diperoleh. Hasil perhitungan rata-rata nilai VaR untuk masing-masing tingkat kepercayaan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Nilai VaR

Tingkat Kepercayaan	Rata-rata VaR
90%	0,0292
95%	0,0372
99%	0,0523

Pada Tabel 3.3, diperoleh bahwa rata-rata VaR untuk tingkat kepercayaan 90% sebesar 0,0292 yang menunjukkan bahwa ada keyakinan 90%, kerugian yang terjadi tidak akan melebihi 2,92% dari investasi yang dilakukan dalam jangka waktu satu hari ke depan. Misalkan investor menginvestasikan dana awal sebesar Rp. 100.000.000 maka terdapat keyakinan 90% kerugian maksimal yang dialami investor sebesar Rp. 2.920.000 dalam jangka waktu 1 hari setelah tanggal 30 Juni 2020. Hal ini juga berlaku untuk tingkat kepercayaan 95% dan 99%. Berdasarkan nilai pada Tabel 3.3, nilai VaR tertinggi berada pada tingkat kepercayaan 99%.

Setelah diperoleh nilai VaR, langkah selanjutnya yaitu menghitung *Expected Shortfall* (ES) untuk tingkat kepercayaan 90%, 95%, dan 99%. Nilai ES diperlukan untuk mengetahui besarnya kerugian yang mungkin terjadi melebihi nilai VaR. Perhitungan ES dilakukan menggunakan Persamaan (2.20) untuk masing-masing tingkat kepercayaan 90%, 95%, dan 99% dan diperoleh hasil seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Nilai ES untuk Tingkat Kepercayaan 90%, 95%, dan 99%

Tingkat Kepercayaan	Nilai ES
90%	0,0402
95%	0,0474
99%	0,0613

Pada Tabel 3.4, untuk tingkat kepercayaan 90% diperoleh ES sebesar 0,0402 yang menunjukkan bahwa ada keyakinan sebesar 90%, kerugian yang akan terjadi melebihi nilai VaR yaitu sebesar 4,02% dalam jangka waktu satu hari kedepan. Misalkan investor melakukan investasi awal sebesar Rp. 100.000.000 maka ada keyakinan sebesar 90%, kerugian yang akan diderita mencapai Rp. 2.920.000 dan masih terdapat kemungkinan untuk terjadi kondisi yang lebih buruk dengan kerugian maksimal sebesar Rp. 4.020.000. Hal tersebut juga berlaku untuk tingkat kepercayaan 95% dan 99%. Pada Tabel 3.4, ES memiliki nilai tertinggi pada tingkat kepercayaan 99%.

Berdasarkan nilai VaR dan ES yang diperoleh, menunjukkan bahwa semakin besar tingkat kepercayaan maka semakin besar juga risiko yang ditanggung. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Khoir dkk [11]. Dengan demikian, tingkat kepercayaan mempengaruhi manajemen risiko dalam berinvestasi. Investor dengan tingkat kepercayaan rendah terhadap risiko mungkin cenderung mengambil posisi yang lebih konservatif dan menghindari risiko yang lebih besar, sementara investor yang memiliki tingkat kepercayaan yang tinggi mungkin bersedia mengambil risiko yang lebih besar untuk mencapai hasil investasi yang lebih tinggi. Tingkat kepercayaan membantu investor dalam menentukan batasan risiko yang dapat diterima dan strategi manajemen risiko yang tepat.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil prediksi harga saham PT. Indofood Sukses Makmur Tbk menggunakan model *Jump Diffusion* memiliki keakuratan yang sangat baik. Hal ini ditunjukkan dengan nilai MAPE yang diperoleh yaitu kurang dari 10%. Berdasarkan analisis risiko menggunakan VaR dan ES dengan tingkat kepercayaan 90%, 95%, dan 99% diperoleh bahwa tingkat kepercayaan mempengaruhi besarnya risiko yang ditanggung. Semakin besar tingkat kepercayaan yang diambil, maka semakin besar pula risiko yang akan ditanggung.

Pada penelitian ini, penulis melakukan prediksi dan pengukuran risiko pada aset tunggal, sedangkan salah satu cara untuk meminimalisir risiko adalah dengan membentuk portofolio (diversifikasi). Oleh karena itu, penulis merekomendasikan untuk melakukan penelitian

selanjutnya mengenai perhitungan prediksi pada aset portofolio, pengukuran risiko pada aset portofolio dan membentuk portofolio yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Abidin, S. N. Z., & Jaffar, M. M., 2012. Forecasting Share Prices of Small Size Companies in Bursa Malaysia Using Geometric Brownian Motion. *An International Journal of Applied Mathematics & Information Sciences*, Vol. 6, No. 1, 1–7.
- [2]. Azis, M., Mintarti, S., & Nadir, M., 2015. *Manajemen Investasi Fundamental, Teknikal, Perilaku Investor dan Return Saham* (Ed. 1). Yogyakarta: Deepublish. Jung, E., Lenhart S. & Feng Z., 2002. Optimal Control of Treatments in a Two-Strain Tuberculosis Model. *Disc. & Cont. Dynamical Systems–Series B*, Vol. 2, No. 4, 473-482.
- [3]. López, José E., Figueroa & Jeffrey Nisen., 2013. Optimally Thresholded Realized Power Variations for Lévy Jump Diffusion Models. *Stochastic Processes and their Applications*, Vol. 123, No. 7, 2648–2677.
- [4]. Chang, P. C., Wang, Y. W., & Liu, C. H., 2007. The Development of A Weighted Evolving Fuzzy Neural Network For PCB Sales Forecasting. *Expert Systems with Applications*, Vol. 32, No. 1, 86–96.
- [5]. Ditasari, P., Rohaeti, E., & Kamila, I., 2022. Aplikasi Geometric Brownian Motion dengan Jump Diffusion dalam Memprediksi Harga Saham Liquid Quality 45. *Euler : Jurnal Ilmiah Matematika, Sains Dan Teknologi*, Vol. 10, No. 1, 111–119.
- [6]. Fika, N., 2022. *Penentuan Value At Risk Saham PT. Telkom Indonesia TBK Menggunakan Model Jump Diffusion Pada Simulasi Monte Carlo*. Skripsi: Universitas Hasanuddin.
- [7]. Fitaloka, E., Sulistianingih, E., & Perdana, H., 2018. Pengukuran Value at Risk (VaR) Pada Portofolio dengan Simulasi Monte Carlo. *Buletin Ilmiah Math. Stat. Dan Terapannya (Bimaster)*, Vol. 7, No. 2, 141–148.
- [8]. Ghozali, I., 2016. *Aplikasi Analisis Multivariate dengan program IBM SPSS 23* (Ed. 8). Universitas Diponegoro, Semarang.
- [9]. Ilyas, I. A., Puspita, E., & Rachmatin, D., 2018. Prediksi Harga Saham Menggunakan Model Jump Diffusion. *EurekaMatika*, Vol. 6, No. 1, 33–42.
- [10]. Jorion, P., 2007. Value at Risk: The New Benchmark in Controlling Market Risk, Third Edition. In The Mc Graw-Hill Companies, New York.
- [11]. Khoir, N., Asih, D., Maruddani, I., & Ispriyanti, D., 2022. *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.)*, Vol. 11, No. 1, 153–162.
- [12]. Molino, A., dan Carlo S., 2020. Forecasting Value at Risk and Conditional Value at Risk Using Option Market Data. *Journal Of Forecasting*, Vol. 40, No. 7, 1–24.
- [13]. Prihatiningsih, D. R., Maruddani, D. A. I., & Rahmawati, R., 2020. Value at Risk (VaR) dan Conditional Value at Risk (CVaR) dalam Pembentukan Portofolio Bivariat Menggunakan Copula Gumbel. *Jurnal Gaussian*, Vol. 9, No. 3, 326–335.
- [14]. Ruppert, D., 2011. *Statistical Data Analysis for Financial Engineering*. Springer-Verlag, New York.
- [15]. Saepudin, Y., Yasin, H., & Santoso, R., 2017. Analisis Risiko Investasi Saham Tunggal Syariah dengan Value at Risk (VaR) dan Expected Shortfall (ES). *Jurnal Gaussian*, Vol. 6, No. 2, 271–280.

- [16]. Seru, F., 2023. Analisis Risiko VaR dan CVaR Pada Hasil Prediksi Harga Saham PT. Astra International Tbk. *Silogisme: Kajian Ilmu Matematika Dan Pembelajarannya*, Vol. 8, No. 1, 23–30.
- [17]. Sinha, Amit K., 2021. The Reliability of Geometric Brownian Motion Forecasts of S&P500 Index Values. *Jurnal of Forecasting*, Vol. 40, No. 8, 1–19.
- [18]. Su, Q., Zhongling Q., Liang P., dan Gengsheng Q., 2020. Efficiently Backtesting Conditional Value-at-Risk and Conditional Expected Shortfall. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 116, No. 536, 2041-2052.
- [19]. Trimono, & Maruddani, D. A. I., 2017. Valuasi Harga Saham PT Aneka Tambang Tbk sebagai Peraih IDX Best Blue 2016. *Jurnal Statistika*, Vol. 17, No. 1, 33–43.
- [20]. Zakia, H. I., 2017. *Prediksi Harga Komoditas Minyak Mentah Menggunakan Model Geometric Brownian Motion*. Tesis: Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.