

PREDIKSI HARGA SAHAM PT. GOTO GOJEK-TOKOPEDIA MENGGUNAKAN GEOMETRIC BROWNIAN MOTION TERMODIFIKASI KALMAN FILTER DENGAN KONSTRAIN

Salma Azmi Rasyidah

Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

e-mail : salma.20050@mhs.unesa.ac.id

Dimas Avian Maulana

Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

e-mail : dimasmaulana@unesa.ac.id

Abstrak

Saham adalah salah satu instrumen pasar modal paling populer saat ini yang berpengaruh untuk kemajuan ekonomi negara. Saham didefinisikan sebagai kepemilikan investor atas investasinya atau sejumlah dana yang diinvestasikan pada suatu emiten. Harga saham terus mengalami fluktuasi setiap harinya tetapi banyak investor yang tetap berminat untuk melakukan investasi. Salah satu emiten yang memiliki peminat sangat banyak adalah PT. GoTo Gojek Tokopedia Tbk (GOTO). Model *Geometric Brownian Motion* (GBM) berguna untuk memodelkan harga saham jika nilai *return* dari suatu saham di masa lalu berdistribusi normal tetapi pada jangka waktu yang lama cenderung menghasilkan error yang cukup besar. Oleh karena itu, ditambahkan metode *filtering Kalman Filter* dan konstrain yaitu batasan sesuai dengan *auto rejection* untuk meminimalkan error. Berdasarkan simulasi dengan 100, 500, dan 1000 iterasi menggunakan model GBM menghasilkan nilai MAPE berturut-turut 10,19%, 9,46%, dan 8,09%. Hasil terbaik diperoleh pada 1000 iterasi dengan nilai MAPE 8,09%, tetapi hasil prediksi model GBM-KF menghasilkan nilai MAPE yang jauh lebih kecil yaitu 2,56%. Penambahan konstrain ke dalam model GBM-KF tidak berpengaruh secara signifikan namun diperoleh nilai MAPE yang berbeda yaitu 2,96%. Ketiga model memiliki akurasi peramalan tinggi dibawah 10%. Model GBM-KF adalah metode yang paling baik untuk memprediksi harga saham GOTO.

Kata Kunci: *Geometric Brownian Motion*, *Kalman Filter*, Konstrain, Saham.

Abstract

Stocks are one of the most popular capital market instruments today that are influential for the country's economic progress. Shares are defined as an investor's ownership of his investment or a number of funds invested in an issuer. Stock prices continue to fluctuate every day but many investors are still interested in investing. One of the issuers that has very many enthusiasts is PT GoTo Gojek Tokopedia Tbk (GOTO). The *Geometric Brownian Motion* (GBM) model is useful for modeling stock prices if the return value of a stock in the past is normally distributed but on a long period of time tends to produce a large enough error. The *Kalman filter filtering method* and constraints are added according to the *auto rejection method* to minimize the error. Based on simulations with 100, 500, and 1000 iterations with the GBM model produces MAPE values of 10.19%, 9.46%, and 8.09%, respectively. The best results were obtained at 1000 iterations with a MAPE value of 8.09%, but the prediction results of the GBM-KF model produced a much smaller MAPE value of 2.56%. The addition of constraints into the GBM-KF model does not have a significant effect but a different MAPE value of 2.96% is obtained. All three models have high forecasting accuracy below 10%. The GBM-KF model is the best method for predicting GOTO stock prices.

Keywords: *Geometric Brownian Motion*, *Kalman Filter*, *Constraint*, *Stock*.

PENDAHULUAN

Pasar modal, sebagai sumber pendanaan alternatif yang dapat digunakan oleh perusahaan dan individu swasta, berperan penting dalam mengembangkan perusahaan untuk mengakses dana yang dibutuhkan untuk memajukan bisnis dan memperluas operasionalnya, sehingga dapat

berkontribusi pada pertumbuhan ekonomi nasional (Nasution, 2015). Pasar modal dapat mendorong pembangunan, meningkatkan kualitas hidup, dan memberdayakan masyarakat (Abi, 2016). Terdapat banyak sekali instrumen saham yang diperdagangkan di pasar modal, tetapi terdapat dua instrumen yang penting yaitu saham dan obligasi

(Supriadi dkk., 2023). Salah satu instrumen yang terpenting adalah saham (Abi, 2016).

Saham adalah sebuah uang yang diinvestasikan ke emiten atau bisa dikatakan dengan kepemilikan seseorang atas investasinya dalam suatu emiten (Bhakti, 2022). Emiten dapat berupa perusahaan yang telah mengeluarkan saham untuk diperdagangkan di pasar modal. Salah satu instrumen penting dalam saham adalah harga saham. Investor harus mengetahui harga saham yang nilainya dipengaruhi oleh penawaran dan permintaan saham di pasar modal. Faktor internal dan eksternal sangat mempengaruhi pergerakan harga saham yang mengalami fluktuasi (Mustapa dan Ismail, 2019). Ketika banyak penawaran pada saham tersebut maka harga sahamnya akan cenderung turun dan sebaliknya. Suatu emiten yang memiliki kinerja baik maka sahamnya akan menjadi incaran para investor begitupun sebaliknya (Faisal, 2021). Meskipun harga saham terus mengalami fluktuasi tetapi banyak investor yang tetap berminat untuk melakukan investasi. Hal ini berpengaruh dengan perkembangan ekonomi. Salah satu perusahaan yang memiliki peminat sangat banyak adalah PT. GoTo Gojek Tokopedia Tbk (Paramitha, 2023).

Pada tanggal 17 Mei 2020 Komisi Pengawasan dan Persaingan Usaha (KPPU) mengumumkan bahwa Gojek dan PT. Tokopedia melakukan akuisisi dimana membentuk perusahaan baru yaitu PT. GoTo Gojek-Tokopedia yang bergerak pada bidang usaha perusahaan induk dan digital pusat perbelanjaan (Khoeriyah dkk., 2023). Saham GoTo meraih rekor tertinggi dengan penawaran umum oleh 300.000 investor yang merupakan *initial public offering* (IPO) tertinggi menurut Bursa Efek sepanjang sejarah ini (Wardana dan Darma, 2022). Pada tahun 2020 lalu, harga IPO-nya dari perusahaan tersebut sebesar Rp 338/saham (Wulandari dan Pratiwi, 2023).

Pada bulan Desember 2023, saham GOTO menjadi topik hangat di kalangan masyarakat karena perusahaan tersebut mengumumkan resmi melakukan kerjasama dengan tiktok sebesar Rp23,46 triliun. Setelah kerjasama tersebut, harga sahamnya justru anjlok ke level Rp86 per saham yaitu turun sebesar 20,37% pada tanggal 11 Desember 2023. Di awal pembukaan perdagangan tanggal 11 April 2023, sempat menyentuh angka Rp110 per saham. Kesimpulan yang dapat diperoleh dari saham GOTO adalah selalu terjadi fluktuasi pada harga saham.

Oleh karena itu, dibutuhkan suatu cara untuk memprediksi harga saham agar investor mempunyai pandangan tentang prospek saham GOTO kedepannya.

Pemilihan metode yang tepat untuk memprediksi harga saham GOTO telah dilakukan sebelumnya oleh Putri pada tahun 2023 dengan penelitian yang berjudul "Komparasi Algoritma Dalam Memprediksi Perubahan Harga Saham Goto Menggunakan Rapidminer". Data saham yang akan diteliti adalah data saham GOTO pada periode 11 April 2022-06 Januari 2023. Dari hasil penelitian ini, didapat model yang paling baik untuk data tersebut adalah Neural Net (NN).

Tidak hanya saham GOTO, saham dari emiten lain juga mengalami fluktuasi di setiap harinya. Melihat kondisi saham yang terus mengalami fluktuasi, dibutuhkan suatu pendekatan untuk meramalkan harga saham di kemudian hari. Salah satu metode yang baik untuk memprediksi harga saham adalah peramalan. Metode peramalan digunakan untuk memperkirakan harga penutupan saham di masa depan untuk investasi jangka pendek dengan tingkat bunga rendah. Model GBM adalah salah satu model matematis yang dapat digunakan untuk memprediksi harga saham agar investor paham akan harga saham dikemudian hari untuk mengambil keputusan dengan bijak (Agustini dkk., 2018).

Model Geometric Brownian Motion (GBM) hanya bisa digunakan untuk prediksi data harga saham yang nilai *return* data sebelumnya berdistribusi normal (Mustika, 2019). Berdasarkan hasil peramalan menggunakan GBM diperoleh Mean Absolute Percent Error (MAPE) yang kecil pada peramalan dalam jangka waktu yang pendek sedangkan nilai MAPE akan cenderung besar jika dilakukan peramalan pada data dengan jangka waktu yang panjang. Hal ini disebabkan oleh parameter yang konstan dan hasil peramalan akan cenderung flat jika digunakan untuk data dalam jangka waktu yang panjang (Maulidya, 2020).

Penelitian menggunakan GBM untuk memprediksi harga saham telah dilakukan sebelumnya oleh Bhakti pada tahun 2022 dengan penelitian yang berjudul "Prediksi Harga Saham Subsektor Farmasi Menggunakan Geometric Brownian Motion". Pada penelitian kali ini akan menggunakan data *closing price* pada periode Januari

2020-Desember 2020 dari lima emiten subsektor farmasi. Dari hasil penelitian ini, dilakukan penelitian untuk 100, 1000, dan 10.000 iterasi. Nilai MAPE pada ketiga iterasi tersebut diatas 10% yang berarti tingkat akurasi prediksinya sangat tinggi (Bhakti, 2022). Untuk meminimalkan nilai galat yang dihasilkan pada penelitian kali ini akan dilakukan estimasi parameter yaitu dengan menambahkan *Kalman Filter* sebagai metode *filtering* (Mustika, 2019). *Kalman Filter* (KF) adalah sebuah metode *filtering* yang optimal dalam pengolahan data. KF bekerja melakukan estimasi variabel keadaan dari sistem dinamik linear diskrit dengan membuat nilai kovariansi error estimasi menjadi sekecil mungkin (Maulidya, 2020).

Prediksi menggunakan model Geometric Brownian Motion (GBM) termodifikasi Kalman Filter sebelumnya pernah dilakukan oleh Maulidya pada tahun 2020 yang berjudul "Prediksi Harga Saham Menggunakan Geometric Brownian Motion Termodifikasi Kalman Filter dengan Konstrain". Pada penelitian kali ini menggunakan data penutupan saham dari tiga emiten pada periode 1 Januari - 31 Desember 2019. Hasil penelitian ini adalah model GBM pada *data training* berada pada akurasi baik sedangkan pada *data testing* berada pada kurasi biasa. Model GBM-KF pada hasil penelitian kali ini memperoleh tingkat akurasi yang tinggi baik pada *data training* maupun *data testing*.

Suatu konstrain norm ditambahkan pada metode Kalman Filter untuk meminimalkan error dan mendapat hasil prediksi dengan tingkat akurasi yang tinggi. Konstrain norm merujuk pada pembatasan atau batasan yang diterapkan pada norma dari suatu vektor atau matriks dalam suatu masalah atau algoritma optimasi (Forbes dkk., 2014). Berdasarkan uraian di atas, agar dapat dilakukan prediksi untuk gambaran investor di masa yang akan datang dengan data harga saham GOTO pada periode Oktober 2023 - Desember 2023 maka akan dilakukan penelitian yang berjudul " Prediksi Harga Saham PT. GoTo Gojek - Tokopedia Menggunakan Geometric Brownian Motion Termodifikasi Kalman Filter dengan Konstrain".

KAJIAN TEORI

SAHAM

Saham adalah sebuah uang yang diinvestasikan ke emiten atau bisa dikatakan dengan kepemilikan

seseorang atas investasinya dalam suatu emiten(Bhakti, 2022) . Jenis saham terdapat dua macam yaitu saham biasa dan saham preferen (Nasution, 2015).

HARGA SAHAM

Harga saham nilainya dipengaruhi oleh penawaran dan permintaan saham di pasar modal. Terdapat beberapa bagian dari harga saham yaitu (Paramitha, 2023):

- *Previous price*
- *Opening price*
- *Lowest price*
- *Last price*
- *Change*
- *Closing Price*

RETURN SAHAM

Return adalah profit yang diharapkan oleh investor. *Return* yang akan digunakan adalah *log return* dengan rumus sebagai berikut (Ruppert dan Matteson, 2015):

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

Dengan R_t adalah *return* saham pada saat t dan P_t adalah harga saham pada saat t.

UJI NORMALITAS

Uji normalitas merupakan proses yang dilakukan untuk mengetahui apakah data yang digunakan berdistribusi normal. Uji normalitas yang akan digunakan adalah uji normalitas adalah *Kolmogorov-Smirnov*. Hipotesis yang digunakan adalah :

H_0 : Data *return* berdistribusi normal.

H_1 : Data *return* tidak berdistribusi normal.

Menentukan nilai $\alpha = 5\%$ dan daerah kritis ($D_{\alpha,n}$). Rumus statistik uji sebagai berikut :

$$D_{hitung} = \max |F(Z_i) - F(x_i)|. \quad (2)$$

Dengan $F(Z_i)$ adalah fungsi distribusi yang dihipotesiskan berdistribusi normal dan $F(x_i)$ adalah fungsi distribusi kumulatif dari data sampel. Kriteria pengujian yang digunakan adalah jika $D_{hitung} < D_{\alpha,n}$, maka H_0 diterima yang artinya data *return* berdistribusi normal. Jika $D_{hitung} > D_{\alpha,n}$ maka H_0 ditolak yang artinya data tidak berdistribusi normal.

VOLATILITAS

Volatilitas merupakan rentang fluktuasi dari data saham yang merupakan salah satu hal penting dalam

perdagangan (Agung dkk., 2021). Langkah-langkah untuk mencari nilai suatu Volatilitas, yaitu :

- Menentukan standar deviasi

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (R_k - \bar{R})^2} \tag{3}$$

Dengan n adalah banyak data *return*, R_k adalah nilai *return* pada saat k, dan \bar{R} adalah nilai *mean return*.

- Menentukan nilai volatilitas

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{t}} \tag{4}$$

Dengan s adalah standar deviasi dan t adalah banyak waktu.

DRIFT

Drift adalah pergerakan harga saham yang terjadi karena tren atau pola tertentu seiring waktu. Rumus *drift* adalah sebagai berikut (Mustika, 2019):

$$\mu = \frac{\bar{R}}{t} + \frac{\sigma^2}{2} \tag{5}$$

Dengan σ^2 adalah volatilitas kuadrat.

MODEL GBM

GBM adalah proses stokastik untuk memodelkan harga saham dengan waktu kontinu (Mustika, 2019). Proses stokastik adalah tahapan kejadian acak yang terus berubah berdasarkan data di masa lampau. Model GBM dinyatakan sebagai :

$$dS(t) = \mu S(t)dt + \sigma S(t)dW(t) \tag{6}$$

$$\frac{dS(t)}{S(t)} = \mu dt + \sigma dW(t). \tag{7}$$

Dengan $dS(t)$ adalah persamaan diferensial stokastik, μ adalah *drift*, σ adalah volatilitas, dan $W(t)$ adalah *brownian motion*. Diberikan fungsi $G(t, S) = \ln(S(t))$ dan diketahui bentuk umum rumus Ito's adalah:

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial S} \mu S(t) + \frac{\partial G}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial S^2} (\sigma S(t))^2 \right) dt + \frac{\partial G}{\partial S} \sigma S(t) dW(t), \tag{8}$$

dari rumus Ito's didapat persamaan sebagai berikut:

$$\frac{dS(t)}{S(t)} = dG = d(\ln(S(t))), \tag{9}$$

$$d(\ln(S(t))) = \ln\left(\frac{S(t+1)}{S(t)}\right). \tag{10}$$

Solusi untuk persamaan di atas didapat dengan penerapan rumus ito. Didapat turunan dari fungsi $G(t, S) = \ln(S(t))$ yaitu $\frac{\partial G}{\partial t} = 0, \frac{\partial G}{\partial S} = \frac{1}{S(t)}, \text{ dan } \frac{\partial^2 G}{\partial S^2} =$

$-\frac{1}{S(t)^2}$. Substitusi turunan-turunan tersebut ke rumus ito dan diperoleh model GBM untuk prediksi harga saham sebagai berikut :

$$S(t + 1) = S(t)e^{(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2)dt + \sigma dW(t)}. \tag{11}$$

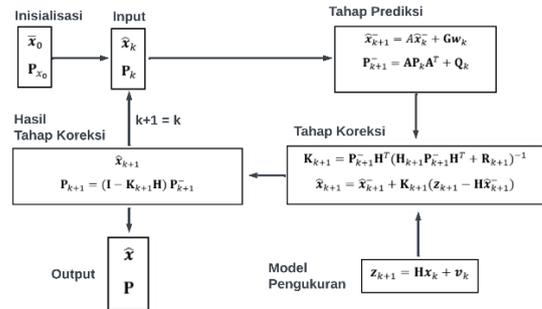
METODE KALMAN FILTER

Kalman Filter (KF) adalah sebuah metode *filtering* yang optimal dalam pengolahan data. KF bekerja melakukan estimasi variabel keadaan dari sistem dinamik linear diskrit dengan membuat nilai kovariansi error estimasi menjadi sekecil mungkin (Maulidya, 2020). Bentuk umum sistem dinamik stokastik dan pengukuran sebagai berikut :

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{B}_k \mathbf{u}_k + \mathbf{G} \mathbf{w}_k, \tag{12}$$

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{H} \mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k, \tag{13}$$

dengan \mathbf{x}_k adalah variabel keadaan pada waktu k, \mathbf{A} adalah matriks koefisien, \mathbf{G} adalah matriks koefisien *noise*, \mathbf{w}_k adalah *noise* sistem, \mathbf{H} matriks koefisien pengukuran. Berikut adalah algoritma kalman filter:



Gambar 1. Algoritma Kalman Filter

Berikut tahapan pada metode Kalman Filter (Maulidya, 2020):

- Pada tahap prediksi akan dilakukan prediksi variabel keadaan dan menentukan akurasi dengan kovariansi error.
- Pada tahap koreksi model pengukuran digunakan untuk mengoreksi hasil estimasi dan menentukan kalman gain untuk membuat nilai kovariansi error lebih kecil. Kalman gain adalah suatu matriks yang digunakan dalam Kalman Filter untuk menggabungkan informasi dari pengukuran aktual dengan estimasi sebelumnya dari keadaan sistem.

GBM-KF DENGAN KONSTRAIN NORM

Konstrain norm merujuk pada pembatasan atau batasan yang diterapkan pada norma dari suatu vektor atau matriks dalam suatu masalah atau algoritma optimasi (Forbes dkk., 2014). Aplikasi konstrain norm akan dilakukan pada variabel keadaan pada model sistem di *Kalman Filter*. Dinamika estimator linier dimisalkan sebagai berikut (Maulidya, 2020) :

$$\begin{bmatrix} \hat{\mu} \\ \hat{\sigma} \\ \hat{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{\mu\mu} & A_{\mu\sigma} & A_{\mu x} \\ A_{\sigma\mu} & A_{\sigma\sigma} & A_{\sigma x} \\ A_{x\mu} & A_{x\sigma} & A_{xx} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\mu} \\ \hat{\sigma} \\ \hat{x} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{\mu} \\ B_{\sigma} \\ B_x \end{bmatrix} u, \quad (14)$$

$$z = [H_{\mu} \quad H_{\sigma} \quad H_x] \begin{bmatrix} \mu \\ \sigma \\ x \end{bmatrix} + r_v v, \quad (15)$$

dengan $\hat{\mu}, \hat{\sigma},$ dan \hat{x} adalah estimasi dari $\mu, \sigma,$ dan x . Estimasi \hat{x} didefinisikan norm dengan $\|\hat{x}\| = \sqrt{\hat{x}^T \hat{x}}$ dan jika $\hat{x}^T \hat{x} = l$, maka $\|\hat{x}\| = \sqrt{l}$.

Sehingga dari persamaan di atas bisa ditulis menjadi :

$$\|\hat{x}\| = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_{n_x}^2} = \sqrt{l}, \quad (16)$$

Estimasi \hat{x} dapat dibatasi dengan cara berikut:

$$\hat{x}^T \hat{x} = l. \quad (17)$$

Nilai l mengikuti batasan *auto rejection* yang telah ditetapkan oleh bursa efek.

MAPE

Mean Absolute Percentage Error merupakan nilai yang menjadi acuan untuk keakuratan model. Nilai MAPE diperoleh dari data aktual dan hasil prediksi yang berarti jika nilainya semakin kecil maka semakin baik model tersebut. Rumus perhitungan MAPE adalah sebagai berikut (Pane dan Rahmadani, 2020) :

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|S_t - F_t|}{S_t}. \quad (17)$$

Dengan n adalah banyak data saham, S_t adalah nilai aktual harga saham pada waktu ke- t , dan F_t adalah nilai prediksi harga saham pada waktu ke- t . Tabel akurasi peramalan MAPE sebagai berikut :

Tabel 1. Akurasi MAPE

Persentase MAPE	Tingkat Akurasi
<10%	Akurasi peramalan tinggi
11%-20%	Akurasi peramalan baik
21%-50%	Akurasi peramalan biasa
>51%	Akurasi peramalan tidak akurat

METODE

JENIS DAN RANCANGAN PENELITIAN

Pada penelitian kali ini adalah penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif menekankan pengumpulan data numerik untuk dilakukan suatu prediksi. Penelitian kali ini menggunakan studi pustaka untuk menganalisis data numerik.

POPULASI DAN SAMPEL PENELITIAN

Populasi terdiri dari obyek atau subyek yang dipilih dan akan diambil kesimpulan oleh peneliti. Penelitian ini menggunakan populasi yaitu perusahaan yang datanya akan digunakan. Data saham yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah data saham PT. GoTo Gojek - Tokopedia.

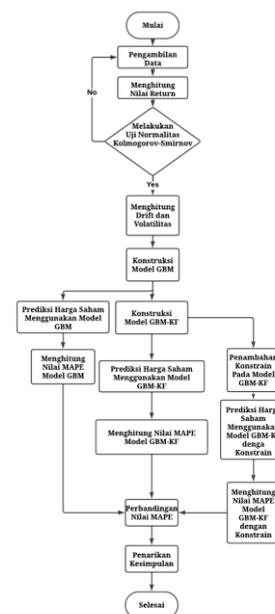
Sampel yaitu sebagian obyek dari populasi yang akan digunakan dalam penelitian. Sampel yang diambil oleh peneliti adalah perusahaan PT. GoTo Gojek - Tokopedia dengan menggunakan data saham periode Oktober - Desember 2023.

TEKNIK PENGUMPULAN DATA

Data sekunder digunakan dalam penelitian kali ini. Data sekunder adalah sumber data yang telah dikumpulkan dan dianalisis sebelumnya oleh orang lain atau organisasi lain. Data saham PT. GoTo Gojek - Tokopedia dalam penelitian ini diperoleh dengan mengunduh data pada website *finance.yahoo.com*.

TEKNIK ANALISIS DATA

Proses pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

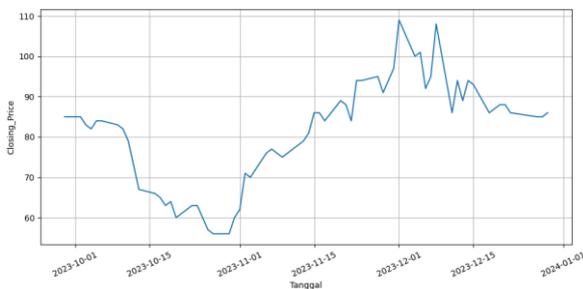
INFORMASI DATA

Data yang akan digunakan pada penelitian kali ini adalah data saham PT. GoTo Gojek-Tokopedia pada periode Oktober - Desember 2023. Data saham yang diperoleh mewakili hari aktif perdagangan. Data yang akan diolah adalah data penutupan harga saham (closing price). Data diambil dari situs finance.yahoo.com dan akan diolah menggunakan python. Pada tabel berikut dipaparkan statistik deskriptif dari data yang akan digunakan:

Tabel 2. Statistik Deskriptif

Count	63
Mean	81,142857
Min	56
Max	109

Berdasarkan tabel di atas diperoleh jumlah data, mean, nilai minimum, dan nilai maksimum dari data penutupan harga saham GOTO. Data tersebut memiliki jumlah 63 data, rata-ratanya adalah 81,142857, nilai minimum 56 yang mewakili harga terendah selama periode tersebut, dan nilai maksimum 109 yang mewakili harga tertinggi pada periode tersebut. Grafik data penutupan saham akan disajikan dalam gambar berikut :



Gambar 3. Grafik Data Penutupan Saham

TAHAP UJI DATA

Tahap uji data meliputi dua tahapan yaitu menghitung return dan uji normalitas.

1. Menghitung Nilai Return

Didapat hasil nilai return sebagai berikut :

Tabel 3. Data Return Saham

Tanggal	Return
02/10/2023	0,000000
03/10/2023	-0,023811
04/10/2023	-0,012121
05/10/2023	0,024098
...	...

22/12/2023	-0,022990
27/12/2023	-0,011696
28/12/2023	0,000000
29/12/2023	0,011696

2. Melakukan Uji Normalitas *Kolmogorov-Smirnov*

Dari data return yang diperoleh dilakukan uji normalitas dengan hipotesis yang sudah ditentukan di atas didapat hasil statistik uji sebagai berikut :

$$D_{hitung} = 0,109131421$$

dengan $D_{0,05,63} = 0,170084013$. Dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima yang berarti data pada saham GOTO berdistribusi normal.

ESTIMASI PARAMETER

Setelah diperoleh hasil bahwa data return berdistribusi normal, selanjutnya akan dihitung nilai drift (μ) dan volatility (σ) dari data return saham.

1. Volatilitas

Langkah pertama perhitungan volatility yaitu dengan menghitung standar deviasi dari nilaireturn dengan rumus sebagai berikut :

$$s = \sqrt{\frac{1}{63} \sum_{k=1}^{63} (R_k - 0,000186)^2} = 0,0578$$

kemudian untuk mendapatkan nilai volatility dengan rumus berikut :

$$\sigma = \frac{0,0578}{\sqrt{1}} = 0,05786$$

2. Drift

Perhitungan drift dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$\mu = \frac{0,000186}{1} + \frac{0,0578^2}{2} = 0,00186$$

PENERAPAN MODEL GBM

Menerapkan model GBM dengan rumus sebagai berikut :

$$S(t + 1) = S(t)e^{(0,00186 - \frac{1}{2} \cdot 0,05786^2)dt + 0,05786dW(t)}$$

$$S(t + 1) = S(t)e^{0,0002dt + 0,05786dW(t)}$$

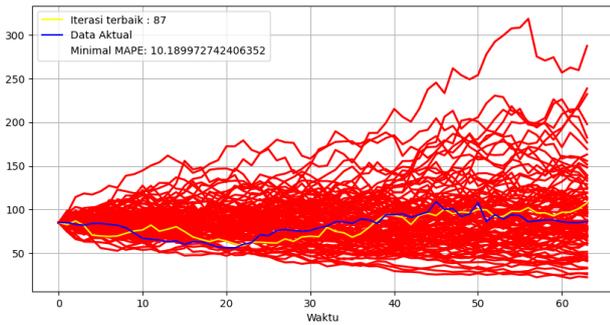
Setelah melakukan prediksi dengan iterasi sebanyak 100, 500, dan 1000 diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Prediksi GBM

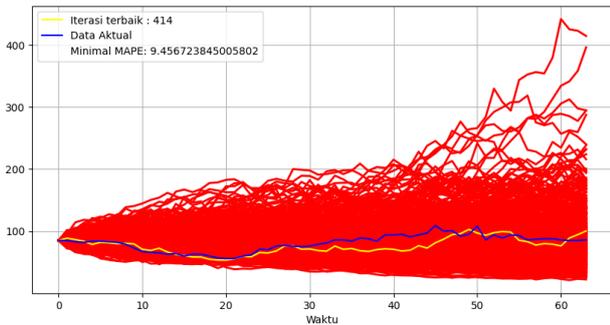
Banyak Iterasi	MAPE Minimum
100	10,19%

500	9,46%
1000	8,09%

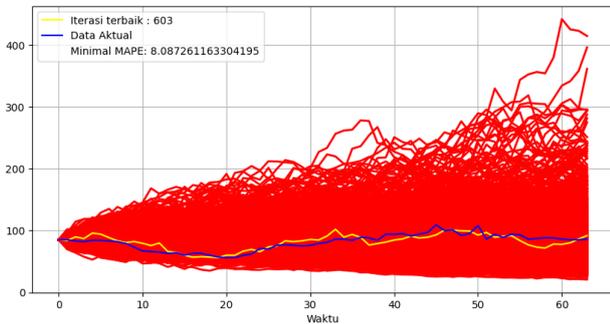
Tabel di atas menunjukkan jika semakin banyak iterasi maka akan diperoleh nilai MAPE yang semakin kecil dan sebaliknya. Banyak terasi terbaik pada prediksi kali ini adalah 1000 karena hasil prediksi akan semakin baik jika nilai MAPE yang diperoleh semakin kecil. Oleh karena itu, pada hasil prediksi menggunakan model GBM kali ini akan dipilih iterasi dengan MAPE minimum yaitu banyak iterasi 1000. Berikut ditampilkan hasil simulasi GBM ketiga iterasi pada grafik berikut:



Gambar 4. Hasil Prediksi GBM dengan 100 Iterasi



Gambar 5. Hasil Prediksi GBM dengan 500 Iterasi

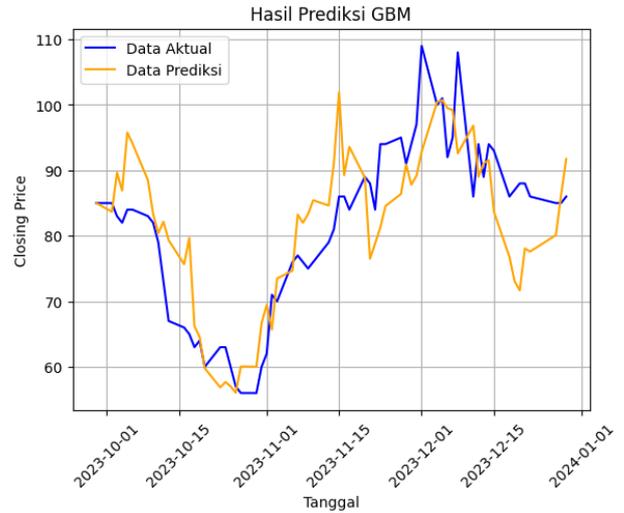


Gambar 6. Hasil Prediksi GBM dengan 1000 Iterasi

Ketiga grafik di atas menunjukkan hasil prediksi GBM dengan banyak iterasi 100, 500, dan 1000 yang mana kurva biru menunjukkan hasil prediksi pada setiap iterasi. Data aktual pada grafik ditunjukkan dengan kurva warna kuning sedangkan hasil prediksi terbaik yaitu yang iterasi yang memiliki nilai

MAPE minimum ditunjukkan dengan kurva warna orange. Hasil prediksi paling baik yaitu yang mendekati data aktual pada prediksi dengan banyak iterasi 1000. Gambar 6 menunjukkan bahwa dari 1000 kali iterasi model terbaik ditunjukkan pada iterasi ke-603.

Berikut adalah grafik data aktual dan data prediksi model GBM dengan MAPE terbaik :



Gambar 7. Hasil Prediksi GBM

Gambar di atas menunjukkan model GBM belum cukup untuk memprediksi harga saham GOTO karena dapat terlihat dari grafik belum memiliki nilai yang mirip antara data faktual dengan hasil prediksi. Oleh karena itu, akan dikonstruksi model GBM-KF dan GBM-KF dengan konstrain untuk hasil prediksi yang lebih baik.

PENERAPAN MODEL GBM-KF

Metode filter Kalman dapat digunakan baik di sistem linear maupun nonlinear. Model GBM digunakan dalam model nonlinear ini untuk menyelesaikan metode ini. Dalam hal ini, *Extended Kalman Filter* digunakan untuk melinearkan sistem nonlinear dengan matriks Jacobian.

Model Sistem :

$$x_{k+1} = A_k x_k + B_k u_k + G w_k$$

Model Pengukuran :

$$z_k = H x_k + v_k$$

Model di atas akan mengkonstruksi model GBM dalam dua tahapan yaitu model sistem dan model pengukuran.

- Model sistem

Pada tahap ini, model GBM akan dimasukkan ke dalam model sistem. Untuk memulai, persamaan berikut digunakan:

$\ln(S(t+1)) - \ln(S(t)) = \left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)dt + \sigma dW(t)$
 $\ln(S(t))$ dimisalkan dengan $x(t)$ sehingga,

$$x(t+1) = x(t) + \left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)dt + \sigma dW(t)$$

μ dan σ adalah parameter konstan yang nilainya akan selalu sama setiap saat. Di sisi lain, x , yang merupakan logaritma alami (Ln) dari harga saham, berubah setiap saat. Jadi, dibangun sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_{t+1} &= \mu_t \\ \sigma_{t+1} &= \sigma_t \\ x_{t+1} &= x_t + \left(\mu_t - \frac{1}{2}\sigma_t^2\right)dt + \sigma_t \epsilon \sqrt{dt} \end{aligned}$$

Kemudian akan diubah kedalam model *Kalman Filter* sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \mu_t \\ \sigma_t \\ x_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{t+1} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{t+1} & 0 \\ 0 & 0 & x_t + \left(\mu_t - \frac{1}{2}\sigma_t^2\right)dt \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \epsilon \sqrt{dt} \end{bmatrix}$$

$$x_{t+1} = f(x_k) + Gw_k$$

Untuk mengubah model sistem ke bentuk yang lebih umum, masing-masing parameter akan diturunkan secara parsial dengan fungsi $f(x_k)$. Dihasilkan matriks Jacobian dari $f(x_k)$ yaitu matriks A .

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \Delta t & \sigma \Delta t & 1 \end{bmatrix}$$

Sehingga, bentuk umum model sistem adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \mu_{t+1} \\ \sigma_{t+1} \\ x_{t+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \Delta t & \sigma \Delta t & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mu_t \\ \sigma_t \\ x_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \sigma \end{bmatrix} [\epsilon \sqrt{dt}]$$

$$x_{k+1} = A_k x_k + Gw_k$$

- Model Pengukuran

$$z_k = \begin{bmatrix} dx & dx & dx \\ d\mu & d\sigma & dx \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mu_{t+1} \\ \sigma_{t+1} \\ x_{t+1} \end{bmatrix} + v_k$$

$$z_k = [\Delta t \quad \sigma \Delta t \quad 1] \begin{bmatrix} \mu_{t+1} \\ \sigma_{t+1} \\ x_{t+1} \end{bmatrix} + v_k$$

$$z_k = Hx_k + v_k$$

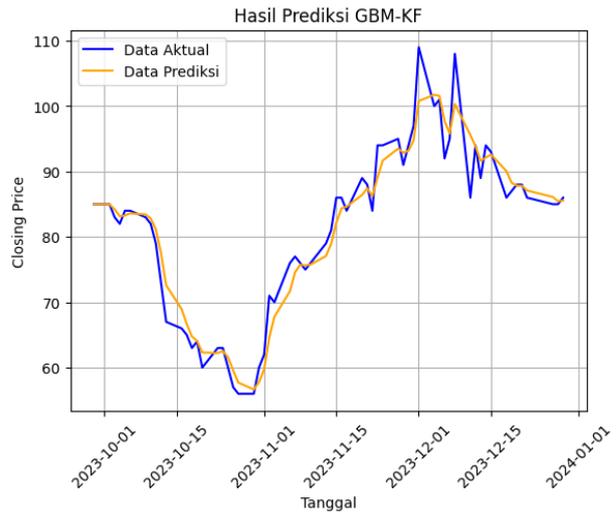
- Inisialisasi

Pada tahap inisialisasi, diberikan estimasi awal dan kovarian awal yang nilainya mendekati nol sebagai berikut :

$$\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} \mu_0 \\ \sigma_0 \\ x_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.00186 \\ 0.05786 \\ 85 \end{bmatrix}$$

$$P_0 = \begin{bmatrix} 10^{-8} & 0 & 0 \\ 0 & 10^{-8} & 0 \\ 0 & 0 & 10^{-8} \end{bmatrix}$$

Grafik hasil dari prediksi harga saham menggunakan model GBMKF sebagai berikut :



Gambar 8. Hasil Prediksi GBM-KF

Gambar di atas menunjukkan bahwa model GBM-KF memberikan hasil yang sangat baik dengan nilai MAPE 2,56% yang berarti akurasi yang sangat tinggi. Dapat dilihat juga bahwa data hasil prediksi sangat mendekati data faktual berbeda dengan hasil prediksi model GBM.

PENERAPAN MODEL GBM-KF DENGAN KONSTRAIN

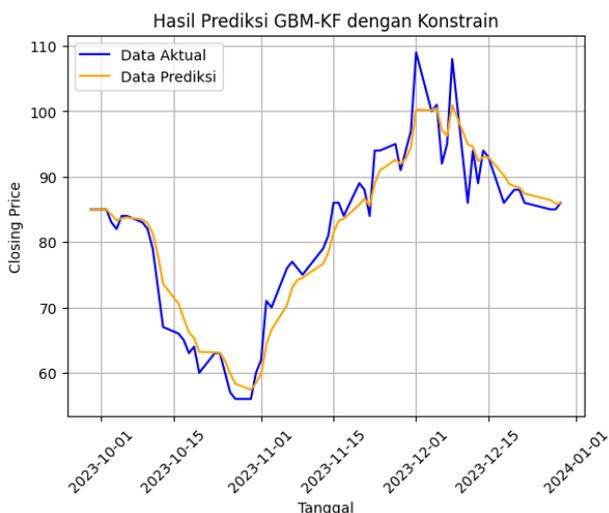
Konstrain ditambahkan pada tahap koreksi *Kalman Filter* untuk mengurangi error hasil simulasi. Konstrain norm adalah pembatasan atau batasan yang diterapkan pada norma vektor atau matriks dalam masalah atau algoritma optimasi (Forbes dkk., 2014). x_t adalah parameter variabel keadaan yang dibatasi, yang merupakan harga penutupan saham lognatural, dan nilai tersebut akan mengikuti batasan *auto rejection*.

Sistem Perdagangan Otomatis Jakarta (JATS) menetapkan *Auto Rejection* yaitu adalah penolakan permintaan beli maupun penawaran jual yang diajukan kepada JATS karena harga yang melampaui batasan Bursa Efek. Batasan atas *auto rejection* adalah kenaikan harga saham tertinggi yang diperoleh dari batas atas dikali dengan harga saham dan begitupun untuk batas bawah.

Pada tahap koreksi akan ditambahkan satu variabel untuk melihat apakah hasil dari tahap koreksi berada pada batas yang diinginkan.

$$\hat{x}_{k+1} = \max(\text{Batas Bawah}, \min(x_k, \text{Batas Atas}))$$

Grafik hasil prediksi model GBM-KF dengan konstrain adalah sebagai berikut :



Gambar 9. Hasil Prediksi GBM-KF dengan Konstrain

Gambar di atas menunjukkan bahwa model GBM-KF dengan Konstrain memberikan hasil yang sangat baik dengan nilai MAPE 2,98% yang berarti akurasi yang tinggi sama dengan hasil prediksi dari GBM-KF. Dapat dilihat bahwa penambahan konstrain tidak berpengaruh secara signifikan untuk prediksi harga saham. Perbedaan nilai MAPE antara model GBM-KF dan GBM-KF dengan konstrain dipengaruhi oleh penambahan variabel acak.

PERBANDINGAN AKURASI MODEL GBM, GBM-KF, DAN GBM-KF DENGAN KONSTRAIN

Nilai MAPE dari masing-masing model akan ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 5. Perbandingan Nilai MAPE

Model	MAPE Minimum
GBM	8,09%
GBM-KF	2,56%
GBM-KF dengan Konstrain	2,96%

Tabel diatas menunjukkan bahwa akurasi yang paling baik dengan nilai MAPE terkecil adalah model GBM-KF.

PENUTUP

SIMPULAN

Berdasarkan hasil prediksi harga saham dapat disimpulkan beberapa hal berikut :

1. Konstruksi model GBM menggunakan parameter *drift* dan *volatility*.

$$S(t + 1) = S(t)e^{0,0002dt+0,05786dW(t)}$$
2. Konstruksi model GBM-KF yang menghasilkan model sistem dan model pengukuran.

3. Penambahan konstrain pada tahap koreksi Kalman Filter terutama pada \hat{x}_{k+1} untuk mengurangi error hasil simulasi.
4. Akurasi terbaik adalah prediksi dengan model GBM-KF yang menghasilkan nilai MAPE 2,56%. Nilai tersebut berarti hasil prediksi memiliki akurasi yang tinggi. Konstrain yang ditambahkan pada model GBM-KF tidak berpengaruh secara signifikan dan perbedaan nilai MAPE antara GBM-KF dan GBM-KF dengan konstrain dipengaruhi oleh penambahan variabel acak.

SARAN

Dalam penelitian ini menggunakan konstrain dengan batas *auto rejection* untuk penelitian selanjutnya bisa menggunakan batasan lain . Salah satu contoh batasan lain yang dapat diterapkan yaitu *tick size*. Selain itu, pada penelitian selanjutnya juga bisa dilakukan menggunakan metode yang berbeda dengan data yang sama untuk mendapatkan akurasi yang lebih baik. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memprediksi harga saham yaitu ARIMA.

DAFTAR PUSTAKA

Abi, F. P., 2016. Semakin Dekat Dengan Pasar Modal Indonesia. 1 ed.

Agung, J., Harun, C., dan Derianto, E., 2021. Kebijakan Makro Prudensial di Indonesia. PT RajaGrafindo Persada.

Agustini, W. F., Affianti, I. R., dan Putri, E. R., 2018. Stock price prediction using geometric brownian motion. vol. 974. Institute of Physics Publishing.

Bhakti, H. D., 2022. Prediksi harga saham subsektor farmasi menggunakan geometric brownian motion. JURNAL MEDIA INFORMATIKA BUDIDARMA, 6, 395.

Faisal, A., 2021. Prediksi saham telkom dengan metode arima.

Forbes, J. R., Ruitter, A. H. D., dan Zlotnik, D. E., 2014. Continuoustime norm-constrained kalman filtering. Automatica, 50, 2546- 2554.

Hadi, N., 2013. Pasar modal: acuan teoretis dan praktis investasi di instrumen keuangan pasar modal.

Islam, U., Sultan, N., dan Riau, S. K., 2016. Perkembangan dan tantangan pasar modal indonesia faiza muklis.

Khoeriyah, T. A., Fatin, N. A., dan Panggiarti, E. K., 2023. Analisis merger dan akuisisi pt goto gojek tokopedia tbk.

Maulidya, V., 2020. Prediksi harga saham

menggunakan geometric brownian motion termodifikasi kalman filter dengan konstrain.
URL

<https://journal.itera.ac.id/index.php/indoja/m/>

- Mustapa, F. H., dan Ismail, M. T., 2019. Modelling and forecasting sp 500 stock prices using hybrid arima-garch model. vol. 1366. Institute of Physics Publishing.
- Mustika, N. T., 2019. Prediksi harga saham dengan geometric brownian motion dan arima - termodifikasi kalman filter.
- Nasution, Y. S. J., 2015. Peranan pasar modal dalam perekonomian negara.
- Pane, S., dan Rahmadani, E., 2020. Big Data: Forecasting Menggunakan Python. Kreatif.
- Paramitha, D., 2023. Pengaruh green shoe option and lock up saham goto dalam menstabilkan harga saham. JAMBURA, 6. URL <http://ejurnal.ung.ac.id/index.php/IJMB>
- Permata, C. P., dan Ghoni, M. A., 2019. Peranan pasar modal dalam perekonomian negara indonesia. Jurnal AkunStie (JAS), 5.
- Ruppert, D., dan Matteson, D. S., 2015. Statistics and data analysis for financial engineering with r examples second edition. URL <http://www.springer.com/series/417>
- Samuel, A. A., 2021. Stock prices prediction using geometric brownian motion: Motion:analysis of the nigerian stock exchange analysis of the nigerian stock exchange analysis of the nigerian stock exchange.
- Saumi, A., 2023. Auto rejection simetris mulai september 2023, ara-arb saham bisa 35 persen.
- Supriadi, I., Maghfiroh, R. U., Islam, U., Sunan, N., Surabaya, A., Permatasari, O., Mayjen, U., dan Mojokerto, S., 2023. Meningkatkan ekonomi berkeadilan: Solusi pasar modal syariah di indonesia increasing an equitable economy: Indonesia's sharia capital market solutions stie mahardhika surabaya.
- Usmandi, 2020. Pengujian persyaratan analisis (uji homogenitas dan uji normalitas). Inovasi Pendidikan, 7.
- Wardana, W. N., dan Darma, G. S., 2022. Menelisik fenomena online buzz pada ipo saham teknologi. J-MAS (Jurnal Manajemen dan Sains), 7, 920.
- Wulandari, T., dan Pratiwi, M. P., 2023. Saham goto menyentuh auto reject bawah (arb), saatnya sell atau buy? emilda.