

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Demam investasi kian melanda masyarakat Indonesia dalam beberapa tahun terakhir. Dorongan untuk mencapai kebebasan finansial serta mengamankan masa depan menjadi pemicu utama. Selain itu, investasi dapat menjaga nilai kekayaan investor dan mencegahnya tergerus oleh inflasi (Hersugendo dkk., 2022). Berkat kemajuan teknologi melalui adanya *platform* investasi digital, masyarakat dapat menjadi seorang investor sektor pasar modal dengan mudah tanpa harus mengunjungi kantor sekuritas. Investasi dapat dilakukan melalui berbagai produk dari pasar modal, seperti saham, obligasi, dan reksadana (Indarningsih & Hasbi, 2022).

Saham adalah bukti atas bagian kepemilikan dalam sebuah perusahaan. Saham dinilai dapat memberikan imbal hasil atau *return* yang cukup tinggi. Akan tetapi, *return* yang tinggi biasanya diikuti dengan risiko yang tinggi pula. Harga saham dapat turun dan investor akan mengalami kerugian jika menjual saham dengan harga yang lebih rendah dari harga pembelian (Rabbaniyah & Azmi, 2022). Fluktuasi harga saham yang tajam dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kinerja perusahaan, kondisi ekonomi dan politik negara, serta kebijakan pemerintah (Redja dkk., 2022).

Ketidakpastian harga saham membuat estimasi risiko menjadi sangat penting bagi investor. Salah satu metode estimasi risiko yang digunakan adalah *Value at Risk* (VaR). VaR merupakan statistik yang mengukur potensi kerugian maksimum yang mungkin terjadi pada portofolio investasi dalam periode waktu tertentu pada tingkat kepercayaan tertentu (Lisnawati & Subekti, 2018). Kekurangan VaR terletak pada ketidakmampuan memperhitungkan risiko ekstrem di luar tingkat kepercayaan yang ditetapkan. Risiko ekstrem merujuk pada peristiwa yang jarang terjadi dan berdampak besar, namun kerugian yang dihasilkan dari peristiwa ini sering kali berada di luar asumsi distribusi normal (Almeida dkk., 2022).

Metode *Conditional Value at Risk* (CVaR) diperkenalkan untuk mengatasi kekurangan *Value at Risk* (VaR). CVaR memperkirakan kerugian potensial yang melebihi nilai VaR dengan menghitung rata-rata kerugian pada bagian distribusi *return* terburuk di luar tingkat kepercayaan yang digunakan. CVaR dianggap lebih informatif dibandingkan VaR karena memberikan pandangan yang lebih mendalam tentang risiko ekstrem, sehingga dapat membantu investor dalam mengelola risiko portofolio secara lebih komprehensif (Prihatiningsih dkk., 2020).

Salah satu ukuran yang perlu diperhatikan dalam estimasi risiko adalah volatilitas. Secara matematis, volatilitas adalah standar deviasi dari *return* suatu aset.



Salah satu aset yang memiliki volatilitas yang tinggi, maka harga saham tersebut akan mengalami perubahan yang signifikan bahkan ekstrem dalam waktu singkat. Volatilitas akan meningkatkan nilai VaR dan CVaR. Sebaliknya, saham dengan volatilitas rendah memiliki pergerakan harga yang lebih stabil serta risiko yang lebih rendah. Volatilitas konstan memiliki keterbatasan. Pada kenyataannya, volatilitas dapat berubah seiring waktu (Shreve, 2004).

Penggunaan model volatilitas stokastik dalam perhitungan CVaR dapat memberikan perkiraan risiko yang lebih akurat dan handal (Shreve, 2004). Model volatilitas stokastik (*Stochastic Volatility*) mengasumsikan bahwa volatilitas bergerak secara acak dan bersifat fluktuatif atau tidak konstan. Model volatilitas stokastik dianggap sebagai pendekatan yang paling realistis karena mampu mencerminkan kondisi dunia nyata, seperti adanya lonjakan volatilitas secara tiba-tiba dan volatilitas yang bersifat *mean-reverting* atau cenderung kembali ke nilai rata-ratanya setelah mengalami fluktuasi (Cerrato, 2012). Beberapa contoh model volatilitas stokastik yang umum digunakan dalam keuangan meliputi model Heston, model Bates, dan model *Stochastic Alpha Beta Rho* (SABR) (Shreve, 2004).

Model Heston merupakan salah satu model volatilitas stokastik yang dapat digunakan untuk memprediksi harga dan volatilitas aset di masa depan. Model ini dikembangkan untuk mengisi kekurangan pada model *Geometric Brownian Motion* (GBM). Model GBM mempunyai kelemahan pada asumsi volatilitas aset yang konstan serta distribusi *return* historis normal (Daniel, 2005). Model Heston menggunakan persamaan diferensial stokastik tambahan yang diadaptasi dari Model Cox–Ingersoll–Ross (CIR) untuk menjelaskan perilaku volatilitas. Model Heston pada dasarnya mengasumsikan bahwa komponen volatilitas dalam model GBM tidak konstan, melainkan diatur oleh proses stokastik tambahan tersebut. Pemodelan harga aset dan volatilitasnya menggunakan tiga persamaan diferensial stokastik terpisah yang melibatkan lima parameter (Shannon & Fontas, 2021).

Estimasi parameter dalam model Heston merupakan langkah penting untuk memahami dinamika volatilitas stokastik pada harga aset. Metode yang paling umum digunakan untuk estimasi parameter model Heston adalah *Maximum Likelihood Estimation* (MLE). MLE memungkinkan untuk memperoleh nilai parameter model dengan cara memaksimalkan kemungkinan data yang diamati. Kelebihannya terletak pada kemampuannya untuk memberikan estimasi yang konsisten dan efisien, serta memanfaatkan data historis untuk menghasilkan parameter yang paling sesuai dengan distribusi harga yang diamati. Implementasi MLE seringkali melibatkan metode numerik yang intensif dikarenakan tidak adanya solusi bentuk tertutup yang sederhana untuk model Heston. Fungsi *likelihood* model Heston biasanya dibangun berdasarkan distribusi transisi bersyarat dari harga aset dan volatilitas pada interval waktu diskrit (Dunn, 2014). Oleh karena itu, sebelum estimasi parameter dilakukan, diperlukan proses diskritisasi terhadap persamaan diferensial stokastik model Heston yang berbentuk kontinu (Gruzka & Szwabinski, 2023).

Kelebihan model Heston adalah kemampuannya untuk menangkap dinamika pasar tanpa harus bergantung pada asumsi *return* historis berdistribusi normal



Model Heston dapat menghasilkan hasil estimasi volatilitas yang lebih akurat karena dapat menangkap distribusi data yang sering kali kejadian ekstrem yang lebih tinggi (*heavy tail*). Model Heston juga dapat menangkap kondisi *volatility clustering*, *leverage effect*, dan *skewness* pada data historis yang mempunyai kondisi *volatility clustering*, *leverage effect*, dan *skewness*. Model Heston memberikan gambaran yang lebih realistis terhadap perubahan volatilitas pasar (Gatheral, 2006).

Beberapa penelitian terdahulu telah menggunakan model Heston dalam analisis keuangan. Damiyanti dkk. (2018) berhasil mengestimasi VaR pada nilai tukar harian Dollar (USD) terhadap Rupiah dengan model Heston. Oyuna dan Yaobin (2021) menemukan bahwa model Heston menghasilkan peramalan harga minyak mentah yang lebih akurat dibandingkan model GARCH, EGARCH, dan TGARCH. Dewi dkk. (2022) berhasil mengestimasi volatilitas mata uang kripto Bitcoin menggunakan model Heston.

Telkom Indonesia adalah perusahaan telekomunikasi terbesar di Indonesia yang berstatus sebagai Badan Usaha Milik Negara. Prospeknya semakin cerah seiring dengan meningkatnya adopsi digital dan pengembangan infrastruktur telekomunikasi di Indonesia (Sulastri & Suselo, 2022). Telkom Indonesia menjadi pilihan investasi yang menarik bagi investor jangka panjang. Meskipun demikian, harga saham TLKM menunjukkan tren penurunan pada tahun 2024. Oleh karena itu, estimasi risiko menjadi faktor penting yang perlu dipertimbangkan sebelum berinvestasi ke Telkom Indonesia.

Harga saham PT. Telkom Indonesia Tbk. (TLKM) menunjukkan karakteristik data yang dapat dianalisis dengan model Heston untuk keperluan perhitungan CVaR. Data *return* saham TLKM tidak berdistribusi normal dengan adanya *heavy tail* serta *kurtosis* lebih besar dari tiga yang mengindikasikan distribusi leptokurtik. Fluktuasi harga saham TLKM juga menunjukkan adanya perubahan volatilitas yang signifikan dari waktu ke waktu. Oleh karena itu, estimasi CVaR dengan model Heston lebih akurat dan handal dibandingkan model pendahulunya yaitu model *Geometric Brownian Motion*. Berdasarkan uraian dan penelitian sebelumnya, penulisan ini mengangkat judul “Estimasi Parameter Model Volatilitas Stokastik Heston dan Aplikasinya pada *Conditional Value at Risk* (Studi Kasus: Data Saham PT. Telkom Indonesia Tbk. Tahun 2021-2024)”.

1.2 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Data yang digunakan merupakan data harga penutupan saham harian PT. Telkom Indonesia Tbk. periode 4 Januari 2021 hingga 29 November 2024.
2. Diskritisasi persamaan diferensial stokastik model Heston dilakukan dengan menggunakan skema Euler-Maruyama.
3. Estimasi parameter model Heston dilakukan dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation*.
4. Estimasi CVaR dilakukan dengan menggunakan simulasi Monte Carlo.



elitan

adalah:

estimator parameter model Heston dengan menggunakan *mum Likelihood Estimation*.

hasil estimasi parameter model Heston berdasarkan data penutupan saham harian PT. Telkom Indonesia Tbk.

3. Mendapatkan hasil peramalan harga dan volatilitas saham harian PT. Telkom Indonesia Tbk. menggunakan model Heston.
4. Mendapatkan nilai risiko yang diperoleh dari estimasi CVaR dengan model Heston pada data harga saham PT. Telkom Indonesia Tbk.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan gambaran tentang pemodelan statistika terhadap data harga saham dan menambah pengetahuan dalam mengestimasi CVaR dengan menggunakan model volatilitas stokastik Heston.
2. Memberikan tambahan informasi kepada para investor sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan investasi.
3. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai bahan referensi untuk penelitian berikutnya.

1.5 Landasan Teori

1.5.1 Return Saham

Return saham merupakan imbal hasil yang diperoleh dari investasi saham. *Return* saham dikategorikan menjadi tiga macam, yaitu *capital gain*, *capital loss*, dan *dividen*. *Capital gain* merupakan keuntungan yang diperoleh investor karena nilai pembelian saham lebih kecil dibandingkan nilai penjualan. *Capital loss* merupakan kerugian yang diperoleh investor karena nilai penjualan saham lebih kecil daripada nilai pembelian. *Dividen* diartikan sebagai keuntungan bersih yang diperoleh perusahaan yang diberikan kepada para pemilik perusahaan (Sincere, 2004).

Nilai *return* saham selama periode tertentu t dapat dihitung berdasarkan data harga saham historis menggunakan Persamaan (1) berikut:

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

dengan R_t adalah nilai *return* pada periode ke- t , S_t adalah harga saham pada periode ke- t , dan S_{t-1} adalah harga saham pada satu periode sebelumnya (Ruppert, 2015).

1.5.2 Volatilitas Saham

Volatilitas saham menyatakan besarnya perubahan dari harga saham pada periode tertentu (Damiyanti dkk., 2018). Hartono (2017) berpendapat bahwa volatilitas adalah derajat variabilitas atau perubahan dari suatu seri data dari waktu ke waktu.

Volatilitas sering diartikan sebagai tingkat fluktuasi *return* dari suatu aset. Semakin besar fluktuasi *return* yang mungkin terjadi, baik ke positif maupun ke negatif. Volatilitas yang tinggi menunjukkan bahwa *return* aset memiliki rentang nilai yang lebar. Oleh karena itu, volatilitas dapat diukur dengan ukuran dispersi atau penyebaran distribusi probabilitas dari *return* (Bollerslev & Brown, 2012).



Volatilitas tinggi menandakan harga naik tinggi dengan cepat lalu tiba-tiba turun dengan cepat juga, sehingga memunculkan selisih sangat besar antara harga terendah dan harga tertinggi dalam suatu waktu. Jika harganya relatif stabil, maka aset tersebut mempunyai volatilitas yang rendah. Investor yang menyukai investasi jangka panjang cenderung memilih saham yang memiliki volatilitas rendah, karena volatilitas rendah menunjukkan risiko yang lebih rendah dan stabilitas harga yang lebih tinggi. Di sisi lain, investor yang suka melakukan strategi *trading* cenderung memilih saham yang memiliki volatilitas tinggi, karena volatilitas tinggi menunjukkan potensi keuntungan yang lebih besar dalam jangka pendek (Leirvik, 2022).

Volatilitas secara matematis pada umumnya dinyatakan sebagai standar deviasi dari *return* suatu aset atau akar kuadrat dari varians *return*. Volatilitas selama periode pengamatan tertentu diperoleh sebagai:

$$\sqrt{v} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (R_t - \bar{R})^2} \quad (2)$$

dengan v adalah varians *return*, sehingga $\sqrt{v}$ adalah volatilitas. n adalah jumlah sampel *return*, R_t adalah *return* pada waktu t , dan $\bar{R}$ adalah ekspektasi atau rata-rata *return* (Hull, 2012).

Asumsi volatilitas konstan yang dinyatakan dalam Persamaan (2) mempunyai kelemahan, yaitu tidak mencakup kondisi *volatility clustering* dan *heavy tail*. *Volatility clustering* menyatakan bahwa volatilitas cenderung muncul dalam pola tertentu, dimana periode volatilitas tinggi sering diikuti oleh periode volatilitas tinggi lainnya, dan begitu pula sebaliknya. Contohnya pada saat krisis keuangan tahun 2008, dimana volatilitas pasar saham melonjak tajam dan bertahan tinggi dalam waktu lama sebelum akhirnya menurun. Model volatilitas konstan cenderung meremehkan kemungkinan terjadinya pergerakan harga ekstrem (*heavy tail*), sehingga kurang tepat dalam mengukur risiko yang sebenarnya (Cerrato, 2012). Volatilitas yang dihitung dengan standar deviasi *return* sebenarnya merupakan rata-rata dari volatilitas yang berubah-ubah selama periode waktu tertentu (Shreve, 2004).

1.5.3 Kurtosis dan Skewness

Pemahaman terkait bentuk distribusi probabilitas dari *return* saham sangat krusial untuk estimasi risiko. Meskipun beberapa model keuangan terdahulu mengikuti asumsi *return* historis distribusi normal, karakteristik data *return* saham di dunia nyata seringkali menunjukkan penyimpangan yang signifikan. Oleh karena itu, ukuran



osis dan *skewness* digunakan untuk mengidentifikasi dan igan *return* saham dari asumsi normalitas (Cerrato, 2012).

h ukuran statistik yang menggambarkan keruncingan atau suatu distribusi data. *Kurtosis* mengukur seberapa banyak lam suatu distribusi. Adapun bentuk distribusi berdasarkan nilai sebagai berikut: (Ruppert, 2015)

1. Distribusi Mesokurtik dengan $kurtosis = 3$. Distribusi normal adalah contoh klasik dari distribusi mesokurtik. Ciri-ciri bentuk visualnya yaitu puncak sedang dan ekor biasa.
2. Distribusi Leptokurtik dengan $kurtosis > 3$. Ciri-ciri bentuk visualnya yaitu puncak yang lebih tajam dan ekor yang lebih berat (lebih banyak pencilan daripada distribusi normal).
3. Distribusi Platykurtik dengan $kurtosis < 3$. Ciri-ciri bentuk visualnya yaitu puncak yang lebih datar dan ekor yang lebih ringan (lebih sedikit pencilan daripada distribusi normal).

Skewness adalah ukuran statistik yang menggambarkan kemencengan atau ketidaksimetrisan distribusi data terhadap rata-ratanya. *Skewness* menunjukkan arah dan jauhnya data menyimpang dari distribusi normal. Adapun jenis *skewness* dikategorikan sebagai berikut: (Ruppert, 2015)

1. Simetris dengan $skewness = 0$. Distribusi normal adalah contoh distribusi simetris sempurna, dimana distribusi seimbang di kiri dan kanan rata-rata.
2. Positif (*right-skewed*) dengan $skewness > 0$. Ekor distribusi lebih panjang di sisi kanan dari nilai rata-ratanya. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat lebih banyak nilai ekstrem positif atau keuntungan besar.
3. Negatif (*left-skewed*) dengan $skewness < 0$. Ekor distribusi lebih panjang di sisi kiri dari nilai rata-ratanya. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat lebih banyak nilai ekstrem negatif atau kerugian besar.

1.5.4 Proses Stokastik

Proses stokastik adalah konsep dalam matematika yang digunakan untuk menggambarkan perubahan acak dari variabel atau sistem dalam waktu. Suatu variabel dikatakan mengikuti proses stokastik apabila variabel tersebut berubah nilainya seiring waktu dengan cara yang tidak pasti. Meskipun bernilai acak, perubahan variabel mengikuti pola tertentu yang dapat dijelaskan dengan probabilitas (Jones & Smith, 2017).

Proses stokastik merupakan himpunan variabel acak dalam bentuk $X_t, t \in T$ dengan t mewakili waktu, dan X_t menunjukkan proses pada saat waktu t . Ketika T merupakan himpunan yang dapat dihitung (*countable set*) atau $T = 1, 2, 3, \dots$, maka X_t dikatakan sebagai proses stokastik waktu diskrit (*discrete-time process*). Jika T adalah interval pada garis bilangan real atau $T = [0, \infty)$, maka X_t dikatakan sebagai proses stokastik waktu kontinu (*continuous-time process*). Ruang keadaan (*state space*) dari suatu proses stokastik didefinisikan sebagai himpunan semua nilai yang mungkin dimiliki oleh variabel acak X_t (Ross, 2010).



Salah satu contoh nyata proses stokastik adalah perubahan harga saham. Harga saham merupakan variabel acak yang pergerakannya tidak dapat dipastikan pada waktu t dan mengikuti prinsip Gerak Brown atau gerak acak sederhana, proses stokastik merupakan himpunan variabel acak yang menggambarkan dinamika dari suatu proses atau sistem (Shreve, 2004).

1.5.5 Proses Wiener

Gerak Brown atau Proses Wiener merupakan salah satu proses stokastik waktu kontinu. Definisi formal secara matematis dari gerak Brown diberikan oleh Nobert Wiener sehingga sering Gerak Brown disebut juga dengan proses Wiener. Perubahan harga saham sering mengalami naik turun atau disebut fluktuatif. Fluktuasi harga saham dipengaruhi oleh *drift* dan volatilitas. Oleh karena itu, Proses Wiener digunakan secara luas untuk memodelkan perilaku harga saham. Perubahan Proses Wiener disimbolkan dengan $\Delta W(t) = W(t + \Delta t) - W(t)$. Suatu unsur acak $W(t)$ pada $t \geq 0$ merupakan Proses Wiener dimana jika memenuhi ketentuan sebagai berikut (Tsay, 2010):

1. $W(0) = 0$
2. $\Delta W(t) = \varepsilon \sqrt{\Delta t}$, dengan ε adalah variabel acak standar berdistribusi normal.
3. $\Delta W(t)$ bersifat independen terhadap nilai proses Wiener $W(a)$ untuk $0 \leq a < t$, maka pergerakan $W(t)$ tidak dipengaruhi oleh perubahan masa lalu $W(a)$. Perubahan $W(t) - W(a)$ untuk $0 \leq a < t$ berdistribusi normal.
4. Jika $0 \leq a < t < b < c$, maka perubahan $W(t) - W(a)$ dan $W(b) - W(c)$ saling bebas.

Pemodelan Proses Wiener terhadap harga saham dengan parameter perubahan harga (*drift*) dan volatilitas ditulis dengan persamaan berikut:

$$dX(t) = \mu dt + \sigma dW(t) \quad (3)$$

dengan $dX(t)$ menyatakan perubahan sangat kecil pada harga saham dalam interval waktu yang sangat singkat dt , $X(t)$ merupakan harga saham pada waktu ke- t , μ merupakan nilai rata-rata atau ekspektasi dari *return*, σ merupakan nilai standar deviasi dari *return* atau volatilitas, dan $dW(t)$ merupakan perubahan sangat kecil pada Proses Wiener dalam interval waktu yang sangat singkat dt (Ross, 2010).

Parameter μ dan σ dari Persamaan (3) tidak berubah seiring waktu. Jika persamaan tersebut diperluas lebih lanjut dengan memungkinkan μ dan σ menjadi fungsi dari proses stokastik $X(t)$, maka diperoleh Proses Ito. Proses Ito untuk proses harga saham ditulis berdasarkan Persamaan (3) sebagai berikut:

$$dX(t) = \mu(X(t), t)dt + \sigma(X(t), t)dW(t) \quad (4)$$

dengan $\mu(X(t), t)$ merupakan *drift* harga saham yang menentukan arah rata-rata pergerakan harga saham $X(t)$, $\sigma(X(t), t)$ merupakan volatilitas harga saham yang menentukan intensitas fluktuasi acak $X(t)$ yang disebabkan oleh $dW(t)$ (Jones & Smith, 2017).



metric Brownian Motion

ownian Motion (GBM) adalah model stokastik yang digunakan pergerakan harga aset seperti saham, obligasi, atau komoditas. umiskan bahwa perubahan harga aset relatif terhadap harga proses stokastik yang disebut Gerak Brown atau Proses Wiener

(Hersugendo dkk., 2022). Persamaan diferensial stokastik untuk model GBM ditulis sesuai Proses Ito pada Persamaan (4), yaitu:

$$dS(t) = \mu S(t)dt + \sigma S(t)dW(t) \quad (5)$$

dengan $dS(t)$ menyatakan perubahan sangat kecil pada harga aset dalam interval waktu yang sangat singkat dt , $S(t)$ merupakan harga aset pada waktu t , μ merupakan *drift rate* yang menentukan tingkat pertumbuhan rata-rata harga aset, σ merupakan volatilitas aset, serta $dW(t)$ menyatakan perubahan sangat kecil pada Proses Wiener dalam interval waktu yang sangat singkat dt (Shreve, 2004).

Meskipun mudah dipahami, model GBM memiliki beberapa kekurangan. Model GBM mengasumsikan bahwa volatilitas aset bersifat konstan serta data *return* historis berdistribusi normal. Hal ini tidak sesuai dengan kenyataan di pasar keuangan, dimana volatilitas aset cenderung berubah-ubah seiring waktu dan *return* aset yang seringkali mengalami fluktuasi signifikan dan ekstrem dengan *skewness* tidak sama dengan nol dan *kurtosis* lebih besar dari tiga. Selain itu, model GBM tidak memodelkan korelasi antara harga aset dan volatilitas, sehingga GBM tidak dapat menangkap *leverage effect* atau kondisi volatilitas cenderung meningkat ketika harga aset turun (Gatheral, 2006).

1.5.7 Model Cox-Ingersoll-Ross

Model Cox-Ingersoll-Ross (CIR) adalah model stokastik yang digunakan untuk menggambarkan perubahan suku bunga dari waktu ke waktu. Model CIR mengasumsikan bahwa suku bunga bersifat stokastik dan mengikuti proses *mean-reverting*. Artinya, suku bunga cenderung bergerak kembali ke nilai rata-rata tahunannya meskipun mengalami fluktuasi acak (Sulma dkk., 2023). Persamaan diferensial stokastik model CIR ditulis dengan persamaan berikut:

$$dr(t) = \kappa(\theta - r(t))dt + \sigma\sqrt{r(t)}dW(t) \quad (6)$$

dengan $dr(t)$ menyatakan perubahan sangat kecil pada suku bunga dalam interval waktu yang sangat singkat dt , $r(t)$ adalah suku bunga pada waktu t , θ adalah suku bunga rata-rata tahunan (*mean-reversion level*), κ adalah laju suku bunga kembali ke nilai rata-rata tahunannya (*mean-reversion speed*), σ merupakan volatilitas suku bunga $r(t)$, dan $dW(t)$ menyatakan perubahan sangat kecil pada Proses Wiener dalam interval waktu yang sangat singkat dt (Brigo & Mercurio, 2001).

1.5.8 Model Heston



Optimized using
trial version
www.balesio.com

Model Heston merupakan model volatilitas stokastik yang digunakan untuk menganalisis perubahan volatilitas aset. Model ini dikemukakan oleh seorang ekonom Amerika, Robert Heston, pada tahun 1993 dalam tulisannya yang berjudul *A closed-form solution for the Heston stochastic volatility model with applications to bond and option pricing*. Model ini dikembangkan untuk memperluas model Geometric Brownian Motion (GBM) dengan asumsi volatilitas tidak konstan (Rouah, 2013).

Model Heston menggunakan persamaan diferensial stokastik tambahan dari model Cox-Ingersoll-Ross (CIR) untuk menjelaskan perilaku volatilitas. Model Heston mengasumsikan bahwa komponen volatilitas dalam model GBM tidak konstan, melainkan diatur oleh proses stokastik tambahan yang diadaptasi dari model CIR. Volatilitas aset dapat berubah atau berfluktuasi seiring waktu. Implikasi dari hal ini adalah *return* historis diasumsikan tidak berdistribusi normal, karena fluktuasi volatilitas menyebabkan penyimpangan *return* dari asumsi distribusi normal yang digunakan dalam model GBM (Shannon & Fontas, 2021). Model Heston dinyatakan dengan persamaan diferensial stokastik yang ditulis sebagai berikut (Heston, 1993):

$$dS(t) = \mu S(t)dt + \sqrt{v(t)} S(t)dW^s(t) \quad (7)$$

$$dv(t) = \kappa(\theta - v(t))dt + \sigma\sqrt{v(t)} dW^v(t) \quad (8)$$

Persamaan (7) dikembangkan dari Persamaan (5) untuk menggambarkan proses harga aset. Persamaan (8) diadaptasi dari Persamaan (6) untuk menggambarkan proses varians *return*. $dS(t)$ menyatakan perubahan sangat kecil pada harga aset $S(t)$ dan $dv(t)$ menyatakan perubahan sangat kecil pada varians *return* aset $v(t)$ dalam interval waktu yang sangat singkat dt . $\sqrt{v(t)}$ merupakan volatilitas aset atau akar kuadrat dari varians *return*. μ adalah rata-rata perubahan harga tahunan (*drift*), θ adalah varians *return* rata-rata tahunan (*mean-reversion level*), κ adalah laju varians *return* untuk kembali ke nilai rata-rata tahunannya (*mean-reversion speed*), dan σ adalah fluktuasi atau perubahan dari $v(t)$. $dW^s(t)$ menyatakan perubahan sangat kecil pada Proses Wiener harga aset dalam interval waktu yang sangat singkat dt , adapun $dW^v(t)$ berlaku untuk varians *return* aset. Kedua proses stokastik tersebut didasarkan pada proses Wiener, yaitu $W^s(t)$ dan $W^v(t)$. Model Heston memungkinkan kedua proses tersebut berkorelasi satu sama lain dengan koefisien korelasi konstan $\rho \in [-1,1]$ yang ditulis sebagai (Rouah, 2013):

$$dW^s(t)dW^v(t) = \rho dt \quad (9)$$

Persamaan diferensial stokastik model Heston tidak memiliki solusi analitis tertutup (*closed-form solution*). Oleh karena itu, diperlukan diskritisasi untuk memecahkan persamaan diferensial stokastik model Heston secara numerik (Gatheral, 2006).

1.5.9 Diskritisasi Euler-Maruyama

Diskritisasi adalah proses mengubah model atau persamaan matematika kontinu menjadi bentuk diskrit. Sederhananya diskritisasi adalah seperti membagi sesuatu



agian-bagian kecil yang terpisah. Diskritisasi dilakukan untuk i numerik dengan komputasi karena komputasi mengolah data Gruzka & Szwabinski, 2023).

memperlakukan pergerakan harga aset sebagai proses waktu pengukuran harga aset terjadi dalam waktu diskrit. Oleh karena proses estimasi parameter dari data historis harga aset, sangat kan proses diskritisasi, yaitu menuliskan ulang persamaan

kontinu (teoritis) ke dalam bentuk diskrit sehingga nilai proses diberikan pada titik-titik waktu yang berjarak sama. Untuk tujuan ini, domain waktu $[0, T]$ dibagi menjadi n interval pendek, masing-masing sepanjang $n\Delta t = T$. Dalam analisis keuangan, langkah waktu (Δt) dalam model stokastik umumnya diasumsikan sebesar $1/252$ yang merepresentasikan 252 hari perdagangan dalam setahun ($T = 1$). Untuk mengubah persamaan diferensial stokastik model ke dalam domain waktu ini, skema diskritisasi Euler-Maruyama digunakan. Persamaan (7) yaitu proses harga aset dapat didiskritisasi menjadi:

$$\begin{aligned} S_{t+1} - S_t &= \mu S_t \Delta t + S_t \sqrt{v_t} \varepsilon_{S;t+1} \sqrt{\Delta t} \\ S_{t+1} &= S_t + \mu S_t \Delta t + S_t \sqrt{v_t} \varepsilon_{S;t+1} \sqrt{\Delta t} \end{aligned} \quad (10)$$

dimana S_{t+1} adalah harga pada satu periode berikutnya, $\varepsilon_{S;t+1}$ adalah galat berdistribusi normal standar yang memengaruhi perubahan harga aset dari waktu t ke waktu $t + 1$. Untuk menggambarkan rasio antara dua nilai harga saham harian yang berurutan, Persamaan (10) ditulis ulang sebagai:

$$\frac{S_{t+1}}{S_t} = 1 + \mu \Delta t + \sqrt{v_t} \varepsilon_{S;t+1} \sqrt{\Delta t} \quad (11)$$

Return aset pada periode waktu tertentu t ditulis sebagai R_t . R_{t+1} mewakili *return* aset dari periode t ke satu periode berikutnya. *Return* R_{t+1} dihitung sebagai rasio antara S_{t+1} dengan S_t , sehingga Persamaan (11) dapat ditulis sebagai:

$$R_{t+1} = 1 + \mu \Delta t + \sqrt{v_t} \varepsilon_{S;t+1} \sqrt{\Delta t} \quad (12)$$

Skema diskritisasi yang sama diterapkan pada Persamaan (8) untuk mendapatkan persamaan varians *return* atau volatilitas kuadrat aset, yaitu:

$$\begin{aligned} v_{t+1} - v_t &= \kappa(\theta - v_t)\Delta t + \sigma\sqrt{v_t} \varepsilon_{v;t+1} \sqrt{\Delta t} \\ v_{t+1} &= v_t + \kappa(\theta - v_t)\Delta t + \sigma\sqrt{v_t} \varepsilon_{v;t+1} \sqrt{\Delta t} \end{aligned} \quad (13)$$

dimana v_{t+1} adalah varians *return* pada satu periode berikutnya, $\varepsilon_{v;t+1}$ merupakan galat yang memengaruhi perubahan varians *return* dari waktu t ke waktu $t + 1$. Jika $\rho = 0$, maka $\varepsilon_{v;t+1}$ berdistribusi normal standar. Jika $\rho \neq 0$, maka $\varepsilon_{v;t+1}$ ditentukan oleh hasil diskritisasi Persamaan (9), yaitu:

$$\varepsilon_{v;t+1} = \rho \varepsilon_{S;t+1} + \sqrt{1 - \rho^2} \varepsilon_{z;t+1} \quad (14)$$



ah serangkaian tambahan variabel acak normal standar atau bahan yang digunakan dalam diskritisasi model Heston untuk alam volatilitas yang independen terhadap *noise* dalam harga binnski, 2023).

1.5.10 Maximum Likelihood Estimation

Maximum Likelihood Estimation (MLE) adalah metode statistik untuk memperkirakan nilai parameter model dengan memaksimalkan kemungkinan (*likelihood*) bahwa model yang dibangun sesuai dengan data pengamatan berdistribusi probabilitas tertentu. Fungsi *likelihood* didefinisikan sebagai produk dari fungsi kepadatan probabilitas atau *probability density function* (PDF) untuk setiap observasi dari variabel acak (Dewi dkk., 2022). Fungsi *likelihood* model Heston dibangun berdasarkan distribusi normal bivariat untuk memodelkan dua variabel acak yang saling berkorelasi secara simultan, yaitu *return* dan *varians return*. Jika $L(\mu, \kappa, \theta, \sigma, \rho)$ merupakan fungsi *likelihood* model Heston dari data historis dan $f(R_{t+1}, v_{t+1})$ merupakan PDF gabungan dari *return* R_{t+1} dan *varians return* v_{t+1} , maka fungsi *likelihood* didefinisikan sebagai berikut (Dunn, 2014):

$$L(\mu, \kappa, \theta, \sigma, \rho) = \prod_{t=1}^n f(R_{t+1}, v_{t+1} | R_t, v_t; \mu, \kappa, \theta, \sigma, \rho) \quad (15)$$

Logaritma dari fungsi *likelihood* atau *log-likelihood* digunakan untuk menyederhanakan perhitungan. *Log-likelihood* dilambangkan dengan $l(\mu, \kappa, \theta, \sigma, \rho)$. Logaritma fungsi pada Persamaan (15) dapat diambil, sehingga diperoleh fungsi *log-likelihood* sebagai:

$$l(\mu, \kappa, \theta, \sigma, \rho) = \sum_{t=1}^n \ln [f(R_{t+1}, v_{t+1}) | R_t, v_t; \mu, \kappa, \theta, \sigma, \rho] \quad (16)$$

Tahap selanjutnya yaitu mengambil turunan parsial dari *log-likelihood* terhadap masing-masing parameter, tetapkan turunan parsial tersebut sama dengan nol, dan selesaikan untuk mendapatkan estimasi parameter MLE. Turunan kelima parameter secara beruntun yaitu:

$$\frac{\partial l(\mu, \kappa, \theta, \sigma, \rho)}{\partial \mu} = 0 \quad (17)$$

$$\frac{\partial l(\mu, \kappa, \theta, \sigma, \rho)}{\partial \kappa} = 0 \quad (18)$$

$$\frac{\partial l(\mu, \kappa, \theta, \sigma, \rho)}{\partial \theta} = 0 \quad (19)$$

$$\frac{\partial l(\mu, \kappa, \theta, \sigma, \rho)}{\partial \sigma} = 0 \quad (20)$$

$$\frac{\partial l(\mu, \kappa, \theta, \sigma, \rho)}{\partial \rho} = 0 \quad (21)$$



Mean Absolute Percentage Error

Salah satu acuan untuk menilai kelayakan model stokastik in harga aset pada periode mendatang. Akurasi peramalan umumnya diukur menggunakan *Mean Absolute Percentage Error*

(MAPE). MAPE menunjukkan persentase rata-rata kesalahan absolut antara nilai aktual dan nilai peramalan. Persamaan untuk menghitung nilai MAPE yaitu (Maruddani, 2023):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^n \left| \frac{Y_p - F_p}{Y_p} \right| \times 100\% \quad (22)$$

dengan Y_p adalah nilai aktual pada data ke- p , F_p adalah nilai yang diprediksi oleh model pada data ke- p , dan n adalah jumlah observasi. Kriteria umum untuk menilai akurasi peramalan berdasarkan nilai MAPE tertera pada Tabel 1 (Seru dkk., 2024).

Tabel 1. Kategori Tingkat Akurasi Prediksi Berdasarkan 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 cukup
$MAPE > 50\%$	Akurasi peramalan tidak baik

1.5.12 Value at Risk

Value at Risk (VaR) merupakan metode pengukuran risiko secara statistik untuk memperkirakan kerugian maksimum yang mungkin terjadi atas suatu aset atau portofolio pada jangka waktu dan tingkat kepercayaan tertentu. Terdapat tiga pendekatan yang umum digunakan untuk menghitung VaR, yaitu varian-kovarian, simulasi historis, dan simulasi Monte Carlo. Metode VaR dalam perhitungannya menerapkan konsep kuantil dari suatu distribusi data pada nilai peluang tertentu. Data yang digunakan dalam perhitungan VaR adalah tingkat pengembalian atau *return* dari aset tunggal atau portofolio (R). Nilai VaR ditentukan berdasarkan fungsi kepadatan peluang dari distribusi *return* yaitu $f(R)$. VaR dengan tingkat kepercayaan $(1 - \alpha)$ dinyatakan sebagai nilai kuantil ke- α dari distribusi return yang dapat dinyatakan dalam persamaan berikut (Ikshan dkk., 2023):

$$\int_{-\infty}^{VaR} f(R) dR = \alpha$$

$$P(R \leq VaR) = \alpha$$

Simulasi Monte Carlo digunakan untuk menghasilkan sejumlah besar skenario



siko. Hal ini melibatkan pembangkitan bilangan acak dan yang dipilih untuk menyimulasikan pergerakan faktor risiko di aset yang dihitung dari harga aset hasil simulasi diurutkan dari yang terbesar (Priyantono dkk., 2023). Kemudian VaR pada $n(1 - \alpha)$ pada periode t dihitung menggunakan

$$VaR_{1-\alpha}(t) = V_0 R^* \sqrt{t} \quad (23)$$

dengan $VaR_{1-\alpha}(t)$ yaitu VaR pada tingkat kepercayaan $(1 - \alpha) \in [0,1]$ dan periode t , V_0 merupakan nilai investasi awal, dan R^* adalah nilai kuantil ke- α dari urutan *return* atau risiko terburuk pada tingkat kepercayaan $(1 - \alpha)$ (Prihatiningsih dkk., 2020).

1.5.13 Conditional Value at Risk

Value at Risk (VaR) memiliki kelemahan, yaitu hanya mengukur persentil dari distribusi *return* hasil simulasi tanpa memperhatikan kerugian (*return* negatif) yang melebihi nilai VaR pada tingkat kepercayaan yang ditetapkan. Oleh karena itu, VaR memiliki keterbatasan dalam mengukur risiko portofolio secara menyeluruh. Sehingga untuk mengatasi kekurangan metode VaR, dibutuhkan metode *Conditional Value at Risk* (CVaR). CVaR merupakan nilai rata-rata kerugian yang melebihi nilai VaR pada tingkat kepercayaan tertentu sehingga CVaR memiliki nilai yang lebih besar dari pada VaR. CVaR memberikan gambaran tentang besarnya kerugian yang harus ditanggung apabila terjadi kerugian yang melampaui nilai VaR akibat kejadian ekstrem. CVaR dianggap lebih baik dibandingkan VaR karena memenuhi aksioma ukuran risiko koheren seperti *Translational Invariance*, *Subadditivity*, *Positive Homogeneity*, dan *Monotonicity* (Rahmawati, 2019). Adapun persamaan untuk menghitung CvaR adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} CVaR_{1-\alpha} &= \frac{1}{\alpha} \int_{-\infty}^{VaR} R f(R) dR \\ &= E[R | R \leq VaR_{1-\alpha}] \end{aligned} \quad (24)$$

dengan R adalah *return* dari suatu aset, $f(R)$ adalah taksiran fungsi kepadatan peluang dari distribusi *return*, dan VaR dihitung berdasarkan waktu yang sama dengan tingkat kepercayaan $(1 - \alpha) \in [0,1]$ (Prihatiningsih dkk., 2020).

1.5.14 Backtesting Estimasi Risiko

Backtesting adalah proses menguji kinerja model estimasi risiko menggunakan data historis. *Backtesting* VaR dilakukan dengan uji Kupiec (Bukit & Hendratno, 2021). Sementara itu, *backtesting* CvaR menggunakan uji Z (Najamuddin dkk., 2024).

Uji Kupiec adalah metode *backtesting* yang digunakan untuk mengevaluasi validitas model VaR dalam mengestimasi risiko keuangan. Uji Kupiec didasarkan pada uji *likelihood ratio* (LR) yang menguji apakah proporsi observasi yang melampaui batas VaR (pelanggaran) sesuai dengan tingkat kepercayaan yang

del VaR. Hipotesis *backtesting* VaR ditulis sebagai berikut:

αR valid

αR tidak valid

io dalam uji Kupiec diperoleh dengan persamaan berikut:

$$-2 \ln [(1 - p)^{N-F} p^F] + 2 \ln \left[\left(1 - \frac{F}{N} \right)^{N-F} \left(\frac{F}{N} \right)^F \right] \quad (25)$$



dengan N merupakan jumlah observasi, F merupakan jumlah pelanggaran, serta p merupakan probabilitas pelanggaran yang diharapkan (α). Dengan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05\%$) dan nilai *chi-square* $\chi^2_{(0,05;1)} = 3,8414$, kriteria keputusan yang ditetapkan sebagai berikut (Bukit & Hendratno, 2021):

1. Jika nilai statistik *likelihood ratio* tidak melebihi nilai *chi-square* untuk tingkat kepercayaan 95% ($LR < 3.8414$), maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.
2. Jika nilai statistik *likelihood ratio* melebihi nilai *chi-square* untuk tingkat kepercayaan 95% ($LR > 3.8414$), maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.

Metode yang dapat digunakan untuk mengevaluasi model CVaR adalah uji Z. Hipotesis *backtesting* CVaR ditulis sebagai berikut:

1. H_0 : Model CVaR valid
2. H_1 : Model CVaR tidak valid

Statistik uji Z untuk *backtesting* estimasi CvaR diperoleh dengan persamaan berikut (Costanzino & Curran, 2015):

$$Z_{CVaR}(\alpha) = \sqrt{3N} \left(\frac{2(VaR_\alpha - \alpha)}{\sqrt{\alpha(4 - 3\alpha)}} \right) \quad (26)$$

dengan N merupakan jumlah observasi, VaR_α merupakan nilai VaR 1 hari pada tingkat signifikansi α . Dengan tingkat kepercayaan 95% dan nilai *chi-square* $\chi^2_{(0,05;1)} = 3.8414$, kriteria keputusan yang ditetapkan sebagai berikut (Najamuddin dkk., 2024):

1. Jika nilai statistik uji Z tidak melebihi nilai *chi-square* untuk tingkat kepercayaan 95% ($Z_{stat} < 3.8414$), maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.
2. Jika nilai statistik uji Z melebihi nilai *chi-square* untuk tingkat kepercayaan 95% ($Z_{stat} > 3.8414$), maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.

1.5.15 Investasi

Investasi adalah upaya mengalokasikan sumber daya finansial maupun non-finansial (seperti waktu dan tenaga) untuk memperoleh aset di masa kini dengan harapan mendapatkan keuntungan di masa mendatang. Aset yang diinvestasikan dapat berupa aset finansial, seperti saham, deposito, obligasi, dan surat berharga lainnya di pasar uang, atau berupa aset riil, seperti bangunan, tanah, mesin, dan benda fisik lain yang memiliki nilai ekonomi. Tujuan investasi aset finansial secara spesifik adalah untuk meningkatkan tingkat pendapatan saat ini sehingga kehidupan di masa depan menjadi lebih baik serta menghindari risiko penurunan nilai kekayaan akibat inflasi. Dalam proses investasi, investor perlu memahami dasar-dasar pengambilan



jenis investasi yang akan dipilih dan waktu yang tepat untuk keputusan ini didasarkan pada tiga pertimbangan utama, yaitu r (*rate of return*), tingkat risiko (*rate of risk*), dan ketersediaan (Lubis, 2016).

Investasi pada aset finansial termasuk dalam kategori *speculative risk* karena melibatkan kemungkinan terjadinya keuntungan atau kerugian. Jika seseorang membeli saham, ia dapat memperoleh keuntungan jika harga saham tersebut naik, tetapi juga berisiko mengalami kerugian jika harga saham turun. Hal ini berbeda dengan *pure risk* yang hanya melibatkan dua kemungkinan, yaitu kerugian atau tidak ada kerugian sama sekali, tanpa adanya peluang untuk mendapatkan keuntungan. Contoh dari *pure risk* meliputi risiko kebakaran, kecelakaan, atau bencana alam (Redja dkk., 2022). Risiko dan *return* memiliki hubungan yang searah. Semakin tinggi risiko yang ditanggung oleh investor, maka semakin tinggi pula tingkat pengembalian yang diharapkan (*expected return*). Investor perlu mempertimbangkan tingkat risiko yang akan ditanggung, bukan hanya terfokus pada pencapaian *expected return* yang tinggi (Lubis, 2016).

Saham merupakan tanda penyertaan, andil atau pemilikan individu atau lembaga dalam suatu perusahaan. Bukti kepemilikan atas suatu perusahaan yang dimaksud dapat berbentuk warkat (dokumen) atau tanpa warkat (pencatatan secara elektronik). Saham diterbitkan oleh perusahaan dalam wujud selembarnya yang menyatakan bahwa individu yang namanya tercantum dalam surat tersebut merupakan pemilik perusahaan sesuai dengan porsi berapa persen atau berapa banyak penyertaan yang ditanamkan di perusahaan tersebut. Apabila perusahaan tersebut dalam kondisi finansial yang baik, maka nilai jual sahamnya akan tinggi karena perusahaan mampu menghasilkan laba yang signifikan (Nurmasari, 2020).

Saham sering dianggap sebagai jenis investasi yang agresif. Akan tetapi, tidak dapat dipungkiri bahwa saham adalah salah satu bentuk investasi yang dapat memberikan hasil yang paling besar. Pada pasar sekunder (bursa), harga saham mengalami fluktuasi baik berupa kenaikan maupun penurunan. Harga saham ditentukan oleh permintaan dan penawaran saham tersebut. Banyak faktor yang mempengaruhi permintaan dan penawaran saham, baik yang berkaitan dengan saham itu sendiri (kinerja perusahaan dan industri tempat perusahaan berada) maupun yang bersifat makro atau luar, seperti kondisi suku bunga, inflasi, nilai tukar mata uang, dan faktor-faktor non ekonomi seperti situasi sosial dan politik (Sincere, 2004).



BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder berupa data harga penutupan saham harian PT. Telkom Indonesia Tbk. (TLKM). Periode observasi mencakup rentang waktu dari 4 Januari 2021 hingga 29 November 2024. Data ini diambil dari situs <https://id.investing.com/equities/telkom-indones-historical-data>.

2.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini berfokus pada satu variabel, yaitu harga penutupan saham harian PT Telkom Indonesia Tbk (TLKM) dalam satuan Rupiah yang berjumlah 950 observasi. Harga penutupan dipilih karena sering digunakan sebagai acuan untuk harga pembukaan di periode perdagangan berikutnya. Selain itu, harga penutupan merefleksikan sentimen pasar secara keseluruhan pada hari itu dan digunakan sebagai dasar untuk menghitung *return* harian.

2.3 Metode Analisis

Analisis dalam penelitian ini dilakukan dengan bantuan *software* RStudio dan Minitab. Untuk mencapai tujuan penelitian, data akan dianalisis melalui tahapan-tahapan berikut.

1. Menentukan estimator parameter model Heston ($\mu, \kappa, \theta, \sigma, \rho$) dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation*.
 2. Membagi data harga penutupan saham harian PT. Telkom Indonesia Tbk. (TLKM) menjadi dua bagian, yaitu data *in-sample* dan *out-sample*. Data *in-sample* mencakup periode 4 Januari 2021 hingga 22 April 2024 dan digunakan untuk estimasi parameter model. Data *out-sample* mencakup periode 23 April hingga 29 November 2024 dan digunakan untuk mengevaluasi kinerja model dalam meramal harga dan volatilitas aset serta validitas estimasi risiko.
 3. Tahapan eksplorasi data *in-sample*:
 - a. Melakukan visualisasi data dengan *time series plot* untuk mengetahui pola harga TLKM *in-sample*.
 - b. Mendeskripsikan harga saham TLKM *in-sample* dengan menggunakan statistik deskriptif yang meliputi ukuran pemusatan dan penyebaran data.
 - c. Menghitung nilai return saham TLKM *in-sample* dengan Persamaan (1).
 - d. Menghitung nilai volatilitas saham TLKM *in-sample* dengan Persamaan (2).
- kan *return* TLKM *in-sample* dengan menggunakan statistik g meliputi ukuran pemusatan dan penyebaran data.
- sualisasi data dengan *time series plot*, *histogram*, serta *P-P plot* tahui pola *return* TLKM *in-sample*.
- i normalitas Kolmogorov-Smirnov pada *return* TLKM *in-sample*.
- si parameter model Heston berdasarkan data *in-sample*.



5. Tahapan peramalan harga dan volatilitas aset:
 - a. Melakukan simulasi harga dan volatilitas aset secara simultan dengan simulasi Monte Carlo dan skema diskritisasi Euler-Maruyama untuk menghasilkan lintasan yang merepresentasikan pergerakan aset berdasarkan parameter model Heston yang telah diestimasi.
 - b. Mengukur akurasi jalur simulasi harga dengan menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) berdasarkan Persamaan (22) dimana data *out-sample* sebagai data aktual.
 - c. Menghitung volatilitas saham TLKM *out-sample* menggunakan Persamaan (2) dan membandingkannya dengan hasil estimasi volatilitas model Heston.
6. Tahapan estimasi risiko investasi:
 - a. Menghitung VaR dari distribusi nilai simulasi harga aset.
 - b. Melakukan uji *backtesting* VaR dengan Persamaan (25).
 - c. Menghitung nominal kerugian maksimum berdasarkan VaR dengan Persamaan (23) untuk jangka investasi 1 hari, 10 hari, dan 30 hari.
 - d. Menghitung nilai rata-rata kerugian yang melebihi VaR sesuai Persamaan (24) untuk mendapatkan CVaR.
 - e. Melakukan uji *backtesting* CvaR dengan Persamaan (26).

