

**PENERAPAN MODEL BINOMIAL TREE DAN SIMULASI MONTE
CARLO UNTUK MEMPREDIKSI PERGERAKAN HARGA SAHAM PT
BANK CENTRAL ASIA TBK (BBCA)**



KELOMPOK 1

Muhammad Ridwan	103102400012
Sarah Aulia Balqis	103102400051
Hasna Maritsa	103102400059
Aeesha Pink Al Islami Mahardika	103102400082

**PROGRAM STUDI SAINS DATA
DIREKTORAT KAMPUS SURABAYA
UNIVERSITAS TELKOM
TAHUN 2025**

KONTRIBUSI ANGGOTA

Nama	NIM	Kontribusi
Muhammad Ridwan	103102400012	25%
Hasna Maritsa	103102400059	25%
Sarah Aulia Balqis	103102400051	25%
Aeesha Pink Al Islami Mahardika	103102400082	25%

Tabel Kontribusi Anggota

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pasar modal memegang peranan vital dalam perekonomian modern sebagai sarana investasi dan pendanaan perusahaan. Namun, karakteristik utama dari pasar saham adalah volatilitas dan ketidakpastian (*uncertainty*). Pergerakan harga saham bersifat stokastik, di mana harga di masa depan tidak dapat dipastikan secara mutlak, melainkan hanya dapat diestimasi peluangnya. Bagi investor dan analis keuangan, kemampuan untuk memodelkan perilaku harga saham menjadi kunci dalam manajemen risiko dan pengambilan keputusan investasi yang strategis.

Salah satu emiten dengan kapitalisasi pasar terbesar dan fundamental terkuat di Indonesia adalah PT Bank Central Asia Tbk (BBCA) dari sektor keuangan. Meskipun tergolong saham *blue chip* yang stabil, harga saham BBCA tetap dipengaruhi oleh dinamika pasar, sentimen ekonomi makro, dan kinerja perusahaan, sehingga tetap memiliki risiko fluktuasi harga. Oleh karena itu, diperlukan suatu model matematis yang mampu merepresentasikan dinamika pergerakan harga tersebut secara logis dan terukur.

Pendekatan yang umum digunakan dalam pemodelan harga saham adalah Model Binomial (*Binomial Tree Model*). Model ini mendiskritisasi waktu dan mengasumsikan bahwa pada setiap langkah waktu, harga saham hanya memiliki dua kemungkinan pergerakan: naik dengan faktor (*up*) atau turun dengan faktor (*down*). Untuk meningkatkan akurasi prediksi dalam menghadapi ketidakpastian, model ini sering kali dipadukan dengan Simulasi Monte Carlo. Simulasi ini membangkitkan ribuan kemungkinan lintasan harga secara acak berdasarkan distribusi probabilitas tertentu, sehingga menghasilkan estimasi nilai rata-rata yang konvergen.

Dalam tugas besar ini, penulis memodelkan pergerakan harga saham BBCA menggunakan dua pendekatan estimasi parameter, yaitu Model Cox, Ross, & Rubinstein (CRR) yang berbasis pada volatilitas teoritis, dan Pendekatan Empiris yang berbasis pada data historis. Perbandingan kedua metode ini bertujuan untuk mengetahui pendekatan mana yang paling akurat dalam merepresentasikan perilaku harga saham BBCA yang sesungguhnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a) Bagaimana estimasi parameter pergerakan harga (u , d , dan P) saham BBCA menggunakan metode CRR dibandingkan dengan metode Empiris?
- b) Bagaimana hasil proyeksi harga saham BBCA selama 6 bulan ke depan menggunakan Simulasi Monte Carlo berbasis model Binomial?
- c) Metode manakah (CRR atau Empiris) yang memiliki tingkat akurasi lebih baik berdasarkan validasi data aktual?

1.3 Tujuan Penelitian

- a) Mengestimasi nilai parameter model Binomial (\mathcal{U} , d , dan \mathcal{P}) dari data historis *training*.
- b) Mensimulasikan ribuan lintasan harga saham BBCA untuk periode *testing* (6 bulan).
- c) Mengevaluasi kinerja model dengan menghitung error (MAPE & RMSE) terhadap harga aktual.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pasar Saham dan Volatilitas

Pasar saham merupakan salah satu instrumen investasi yang paling populer namun memiliki risiko yang melekat akibat fluktuasi harga. Dalam teori keuangan, pergerakan harga saham sering dimodelkan sebagai proses stokastik, di mana harga di masa depan tidak dapat dipastikan namun dapat diprediksi probabilitasnya. Salah satu komponen kunci dalam pemodelan harga saham adalah volatilitas (σ). Volatilitas mengukur seberapa besar variasi harga aset dari waktu ke waktu. Semakin tinggi volatilitas, semakin besar ketidakpastian dan risiko pergerakan harga saham tersebut. Dalam pemodelan kuantitatif, volatilitas historis sering diestimasi menggunakan standar deviasi dari *log-return* harga saham harian.

2.2 Model Binomial (*Binomial Lattice*)

Model Binomial, yang pertama kali diperkenalkan oleh Cox, Ross, dan Rubinstein pada tahun 1979, adalah metode numerik yang digunakan untuk memodelkan dinamika harga aset dari waktu ke waktu secara diskrit. Model ini mengasumsikan bahwa dalam setiap interval waktu kecil Δt , harga saham saat ini (S_0) hanya memiliki dua kemungkinan pergerakan: bergerak naik menjadi S_{up} dengan faktor u (*up*), atau bergerak turun menjadi S_{down} dengan faktor d (*down*).

Pohon Binomial dibangun berdasarkan asumsi proses Random Walk. Harga saham pada langkah waktu ke- n dapat dirumuskan sebagai:

$$S_n = S_0 \cdot u^k \cdot d^{n-k}$$

Dimana k adalah jumlah langkah naik yang terjadi selama periode tersebut. Model ini sangat berguna karena kesederhanaannya dalam merepresentasikan proses difusi harga saham yang kompleks menjadi langkah-langkah diskrit yang mudah dihitung.

2.3 Estimasi Parameter Model

Keakuratan model Binomial sangat bergantung pada kalibrasi parameter u, d , dan probabilitas transisi p . Dalam penelitian ini, digunakan dua pendekatan estimasi:

a) Metode Cox, Ross, & Rubinstein (CRR)

Metode ini merupakan pendekatan standar dalam literatur keuangan. CRR menurunkan parameter model dengan mencocokkan momen pertama (mean) dan momen kedua (varians) dari distribusi binomial diskrit dengan distribusi log-normal kontinu dari harga saham. Rumus parameter CRR adalah:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}, \quad d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}}, \quad p = \frac{e^{r\Delta t} - d}{u - d}$$

b) Pendekatan Empiris

Berbeda dengan CRR yang berbasis teori, pendekatan empiris mengestimasi parameter secara langsung dari data historis tanpa asumsi distribusi yang ketat. Nilai u dihitung sebagai rata-rata dari return positif historis, sedangkan d adalah rata-rata dari return negatif. Pendekatan ini bertujuan untuk menangkap karakteristik spesifik dari tren aset yang mungkin tidak terakomodasi oleh asumsi volatilitas konstan.

2.4 Simulasi Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo adalah teknik komputasi yang menggunakan pengambilan sampel acak berulang untuk mendapatkan hasil numerik dari suatu masalah deterministik atau stokastik. Dalam konteks harga saham, simulasi ini membangkitkan ribuan kemungkinan jalur harga (*sample paths*) berdasarkan parameter model yang telah ditentukan.

Hukum Bilangan Besar (*Law of Large Numbers*) menjamin bahwa seiring dengan bertambahnya jumlah simulasi, rata-rata dari sampel acak tersebut akan konvergen mendekati nilai harapan (*expected value*) yang sebenarnya. Simulasi Monte Carlo sangat efektif digunakan untuk memvalidasi model Binomial, memprediksi rentang kemungkinan harga di masa depan, dan menghitung interval kepercayaan (*Confidence Interval*) untuk manajemen risiko.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan menggunakan pendekatan kuantitatif melalui simulasi komputer untuk memodelkan pergerakan harga saham. Rangkaian kegiatan penelitian disusun secara sistematis dan terstruktur, yang diawali dengan tahap studi literatur untuk mendalami landasan teori mengenai Model Binomial, konsep *Random Walk*, serta prinsip kerja Simulasi Monte Carlo. Tahap selanjutnya adalah persiapan lingkungan komputasi dengan mengonfigurasi *notebook* Python dan memuat pustaka-pustaka analisis data yang diperlukan.

Setelah lingkungan siap, proses dilanjutkan dengan akuisisi data historis saham PT Bank Central Asia Tbk (BBCA.JK) melalui layanan Yahoo Finance. Data mentah yang diperoleh kemudian melalui tahap pra-pemrosesan (*pre-processing*) untuk membersihkan nilai yang hilang dan membagi data menjadi dua himpunan, yaitu data latih (*training*) dan data uji (*testing*). Berdasarkan data latih tersebut, dilakukan estimasi parameter model (μ , σ , ρ) menggunakan dua pendekatan komparatif, yakni metode Cox-Ross-Rubinstein (CRR) dan metode Empiris. Langkah inti dari penelitian ini adalah eksekusi algoritma Monte Carlo untuk memprediksi pergerakan harga saham pada periode pengujian. Akhirnya, penelitian ditutup dengan tahap analisis dan evaluasi, di mana hasil simulasi dibandingkan dengan data aktual untuk menghitung tingkat akurasi menggunakan berbagai metrik kesalahan (*error metrics*).

3.2 Alat dan Bahan

Penelitian ini didukung oleh perangkat keras komputer standar serta perangkat lunak berbasis awan (*cloud computing*). Lingkungan pengembangan utama yang digunakan adalah Google Colab (Jupyter Notebook) yang menjalankan bahasa pemrograman Python versi 3.x. Pemilihan Python didasarkan pada ketersediaan ekosistem pustaka (*library*) yang komprehensif untuk analisis keuangan dan sains data.

Pustaka-pustaka spesifik yang dimanfaatkan dalam kode program meliputi *yfinance* untuk mengunduh data pasar saham secara *real-time*, serta *numpy* untuk menangani operasi vektor, perhitungan fungsi matematika (logaritma, eksponensial, akar kuadrat), dan pembangkitan bilangan acak yang krusial bagi metode Monte Carlo. Manipulasi struktur data, penanganan runtun waktu (*Time Series*), dan perhitungan rata-rata bergerak dilakukan menggunakan pustaka *pandas*. Untuk keperluan analisis visual, pustaka *matplotlib* dan *seaborn* digunakan dalam menyajikan grafik pergerakan harga, histogram distribusi, serta *boxplot* kesalahan prediksi. Selain itu, pustaka *scipy.stats* turut digunakan untuk mendukung fungsi-fungsi statistik yang diperlukan.

3.3 Pengumpulan dan Pengolahan Data

Sumber data utama dalam penelitian ini adalah data sekunder berupa harga penutupan harian (*Daily Close Price*) saham PT Bank Central Asia Tbk dengan kode emiten BBCA.JK. Rentang waktu pengambilan data ditetapkan selama 18 bulan, mencakup periode dari Juni 2024 hingga Desember 2025.

Guna memastikan keberlanjutan proses simulasi dalam berbagai kondisi konektivitas, kode program dilengkapi dengan mekanisme penanganan kesalahan (*error handling*) dan *fallback*.

Skenario utama program adalah mengunduh data riil dari server Yahoo Finance. Namun, apabila terjadi kegagalan unduhan akibat gangguan koneksi atau *timeout*, sistem secara otomatis akan mengaktifkan skenario cadangan dengan membangkitkan data sintetis (*dummy data*). Data sintetis ini dikonstruksi menggunakan fungsi distribusi normal (`np.random.normal`) dengan parameter *mean return* 0,05% dan volatilitas 1,2% agar tetap merepresentasikan karakteristik statistik pergerakan harga saham yang wajar.

Data yang telah berhasil dihimpun kemudian departisi secara kronologis menjadi dua bagian. Bagian pertama adalah Data Training yang mencakup 12 bulan pertama. Data ini digunakan secara eksklusif untuk perhitungan statistik deskriptif (μ, σ) dan kalibrasi parameter model (u, d, p). Bagian kedua adalah Data Testing yang mencakup 6 bulan terakhir, yang disimpan terpisah sebagai data validasi untuk menguji akurasi hasil prediksi model terhadap kondisi pasar yang sebenarnya.

3.4 Estimasi Parameter Model

Estimasi parameter pergerakan harga (u, d, p) dilakukan melalui dua metode pendekatan untuk tujuan perbandingan. Pendekatan pertama adalah Metode Cox-Ross-Rubinstein (CRR), yang berbasis pada volatilitas historis. Langkah ini dimulai dengan menghitung *log-return* harian ($r_t = \ln(S_t/S_{t-1})$) dan volatilitas tahunan (σ) yang diperoleh dari perkalian standar deviasi *log-return* dengan $\sqrt{252}$. Dengan asumsi suku bunga bebas risiko (r) konstan sebesar 6%, parameter model dihitung menggunakan persamaan matematis: $u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}$, $d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}}$, dan $p = (e^{r\Delta t} - d)/(u - d)$.

Pendekatan kedua adalah Metode Empiris, yang tidak bergantung pada asumsi distribusi normal logaritmik. Dalam metode ini, *simple return* harian dihitung dan dipisahkan menjadi dua kelompok: kelompok *return* positif (*uptrend*) dan kelompok *return* negatif (*downtrend*). Nilai faktor kenaikan (u) diestimasi dari rata-rata *return* positif, sedangkan faktor penurunan (d) diestimasi dari rata-rata *return* negatif. Sementara itu, probabilitas kenaikan (p) dihitung berdasarkan frekuensi kemunculan hari dengan *return* positif dibagi dengan total jumlah hari observasi.

3.5 Algoritma Simulasi Monte Carlo

Simulasi prediksi harga dilakukan menggunakan fungsi khusus `run_monte_carlo`. Algoritma ini diawali dengan inisialisasi variabel, di mana harga awal (S_0) ditetapkan berdasarkan harga penutupan terakhir pada data *training*. Jumlah langkah waktu simulasi (N_{steps}) disesuaikan dengan durasi data *testing*, dan jumlah iterasi simulasi (M_{sims}) ditetapkan sebanyak 1.000 lintasan untuk memastikan konvergensi hasil.

Inti dari algoritma ini adalah pembangkitan lintasan stokastik. Untuk setiap iterasi, program membangkitkan N bilangan acak R yang berdistribusi uniform $[0,1]$. Berdasarkan bilangan acak tersebut, vektor guncangan (*shock vector*) binomial dibentuk, di mana nilai akan menjadi u jika $R < p$, dan menjadi d jika sebaliknya. Harga saham pada setiap langkah waktu kemudian dihitung secara kumulatif ($S_t = S_0 \times \prod_{k=1}^t \text{shock}$). Setelah seluruh lintasan terbentuk, dilakukan agregasi statistik untuk menghitung rata-rata lintasan (*Mean Path*) dan Selang Kepercayaan 95% (*Confidence Interval*) pada setiap titik waktu menggunakan rumus $\mu \pm 1.96 \cdot SE$ (Standard Error).

3.6 Evaluasi dan Validasi Model

Tahap akhir penelitian adalah validasi model dengan membandingkan rata-rata hasil simulasi ($S_{simulasi}$) terhadap data harga aktual (S_{aktual}) pada periode *testing*. Kinerja model diukur secara kuantitatif menggunakan tiga metrik evaluasi: *Mean Absolute Error* (MAE) untuk mengukur rata-rata selisih mutlak, *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) untuk mengukur persentase kesalahan relatif, dan *Root Mean Squared Error* (RMSE) untuk mengukur akar rata-rata kuadrat kesalahan yang lebih sensitif terhadap penyimpangan besar.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$
$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100\%$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Keterangan Simbol:

n : Jumlah data observasi (hari).

y_i : Harga saham aktual pada hari ke- i .

\hat{y}_i : Harga saham hasil prediksi/simulasi pada hari ke- i .

Selain evaluasi numerik, analisis visual juga dilakukan untuk memberikan gambaran kualitatif. Visualisasi yang digunakan meliputi *Spaghetti Plot* untuk melihat sebaran 50 lintasan acak pertama, *Comparison Plot* untuk membandingkan tren rata-rata simulasi dan harga aktual beserta area selang kepercayaannya, serta kombinasi *Boxplot* dan Histogram untuk menganalisis distribusi residu atau *error* dari hasil prediksi.

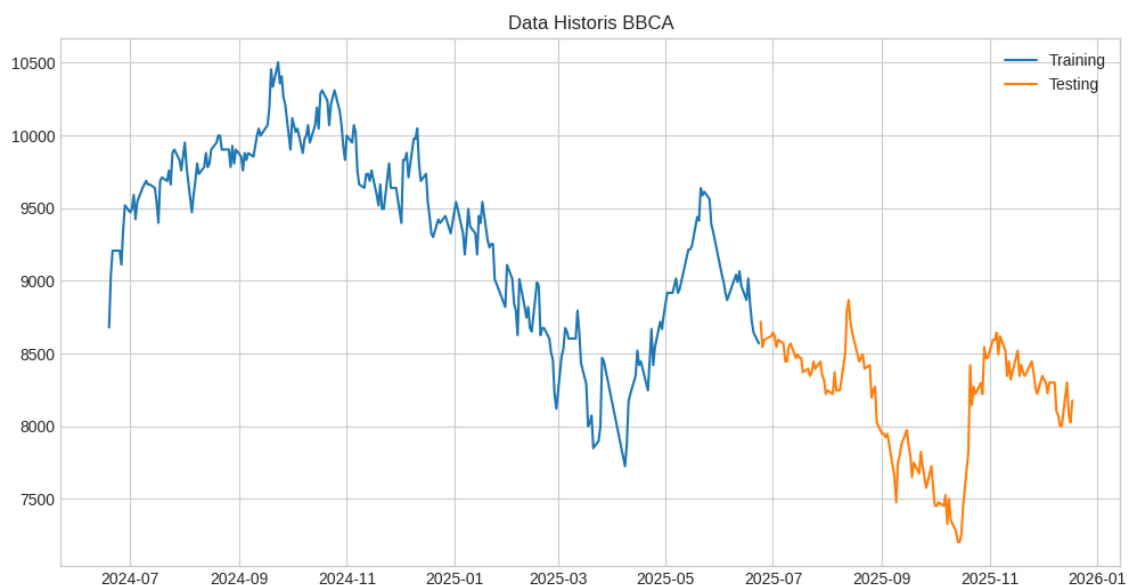
BAB IV

HASIL & PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Data Historis

Penelitian ini menggunakan data harga penutupan harian (*Closing Price*) saham PT Bank Central Asia Tbk (BBCA.JK) dengan periode pengamatan selama 18 bulan, terhitung mulai dari Juni 2024 hingga Desember 2025. Total data observasi dibagi menjadi dua bagian dengan proporsi 2:1, yaitu 12 bulan pertama sebagai data latih (*training data*) dan 6 bulan terakhir sebagai data uji (*testing data*).

Visualisasi pergerakan harga historis dapat dilihat pada Gambar 4.1. Garis biru merepresentasikan data *training* yang digunakan untuk membangun model dan mengestimasi parameter, sedangkan garis oranye merepresentasikan data *testing* yang digunakan sebagai acuan validasi.

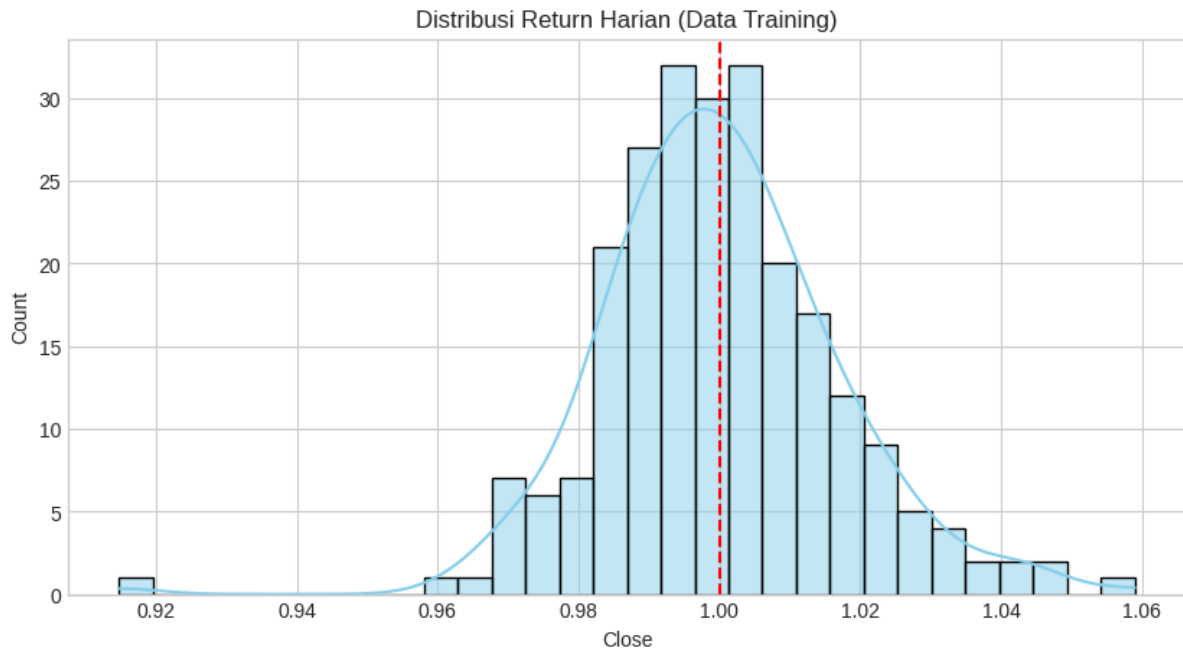


Gambar 4.1 Data Historis BBKA

Berdasarkan grafik di atas, terlihat tren pergerakan harga saham BBKA pada periode *training* cenderung turun, yang kemudian berlanjut pada periode *testing*. Pemisahan ini penting untuk memastikan bahwa evaluasi model dilakukan pada data yang belum pernah "dilihat" oleh model sebelumnya (*out-of-sample testing*).

4.2 Analisis Distribusi Return dan Estimasi Parameter

Sebelum melakukan simulasi, langkah krusial yang dilakukan adalah menganalisis karakteristik *return* harian dari data *training*. Gambar 4.2 memperlihatkan histogram distribusi *return* saham BBCA.



Gambar 4.2 Distribusi Return Harian

Dari histogram tersebut, terlihat bahwa distribusi *return* harian saham BBCA mendekati distribusi normal (*bell-shaped curve*) dengan rata-rata (*mean*) yang ditandai oleh garis merah putus-putus. Statistik ini menjadi dasar perhitungan parameter model.

Berdasarkan perhitungan komputasi, diperoleh estimasi parameter model Binomial sebagai berikut.

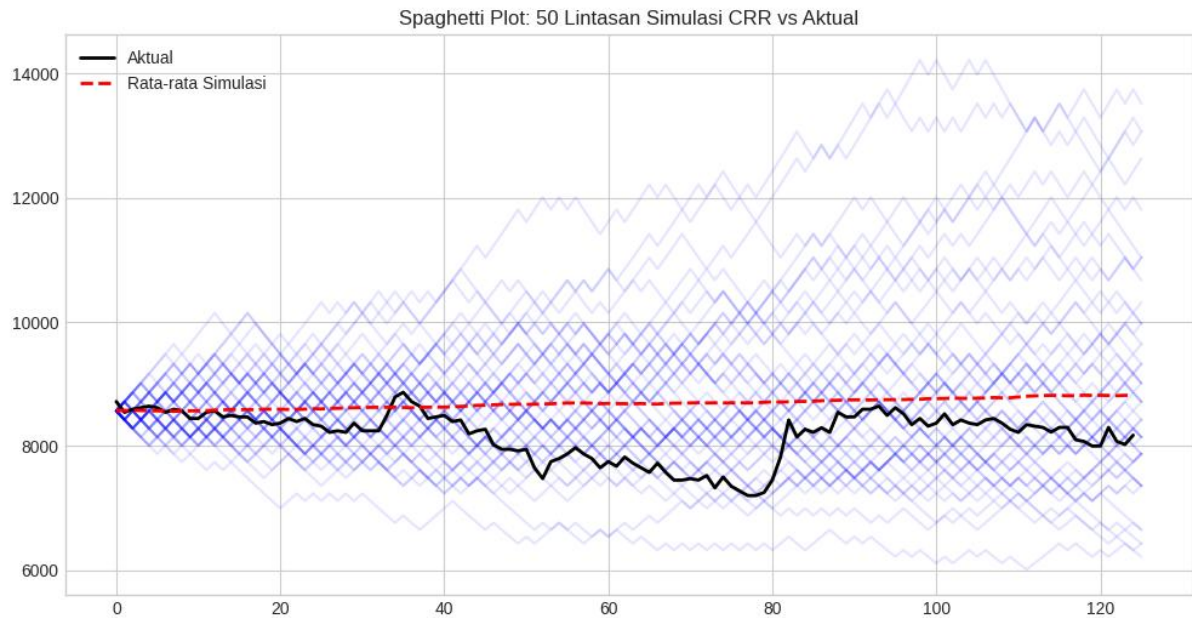
Parameter	Metode CRR (Teoritis)	Metode Empiris (Historis)
Faktor Kenaikan (u)	1.01703	1.01222
Faktor Penurunan (d)	0.98325	0.98701
Probabilitas Naik (p)	0.50283	0.51883
Volatilitas (σ)	0.26809	-

Tabel 4.1 Hasil Estimasi Parameter Model

Pada Metode CRR, nilai u dan d simetris (invers satu sama lain) karena diturunkan dari volatilitas. Sedangkan pada Metode Empiris, nilai u dan d mencerminkan rata-rata momentum kenaikan dan penurunan aktual yang terjadi di pasar.

4.3 Hasil Simulasi Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo dilakukan sebanyak 1.000 iterasi lintasan untuk memproyeksikan harga selama periode *testing*. Untuk memvisualisasikan ketidakpastian model, Gambar 4.3 menampilkan 50 lintasan acak pertama (*Spaghetti Plot*) dari hasil simulasi.

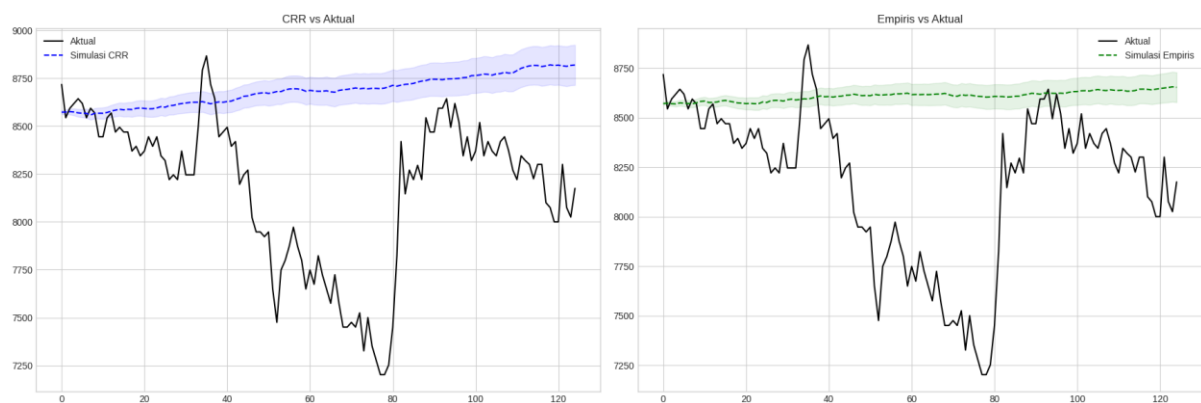


Gambar 4.3 Visualisasi 50 Lintasan Simulasi Monte Carlo (*Spaghetti Plot*)

Grafik di atas menunjukkan fenomena difusi harga, di mana pada awal periode simulasi, rentang harga masih sempit, namun semakin jauh ke masa depan, sebaran kemungkinan harga semakin melebar. Garis hitam tebal menunjukkan harga aktual, sedangkan garis merah putus-putus menunjukkan rata-rata dari seluruh simulasi. Hal ini mengonfirmasi sifat stokastik dari pergerakan harga saham, di mana ketidakpastian meningkat seiring bertambahnya waktu prediksi.

4.4 Validasi dan Evaluasi Model

Untuk mengukur akurasi model, dilakukan perbandingan langsung antara rata-rata hasil simulasi 1.000 lintasan terhadap harga aktual pada data *testing*.



Gambar 4.4. Grafik Perbandingan Rata-rata Simulasi vs Aktual (CRR dan Empiris)

Pada Gambar 4.4, area yang diarsir (*shaded area*) menunjukkan rentang persentil 2.5% hingga 97.5% dari 1.000 lintasan simulasi, yang merepresentasikan 95% selang kepercayaan berbasis simulasi Monte Carlo terhadap pergerakan harga pada setiap waktu pengamatan.

- a) **Model CRR:** Garis prediksi cenderung lebih halus (*smooth*) karena didasarkan pada asumsi pertumbuhan konstan (*risk-free rate*) dan volatilitas tetap.
- b) **Model Empiris:** Garis prediksi cenderung lebih responsif terhadap tren historis jangka pendek.

Secara visual, terlihat bahwa harga aktual (garis hitam) sebagian besar bergerak di luar rentang selang kepercayaan model CRR, yang mengindikasikan keterbatasan model tersebut dalam menangkap variabilitas pasar yang ekstrem.

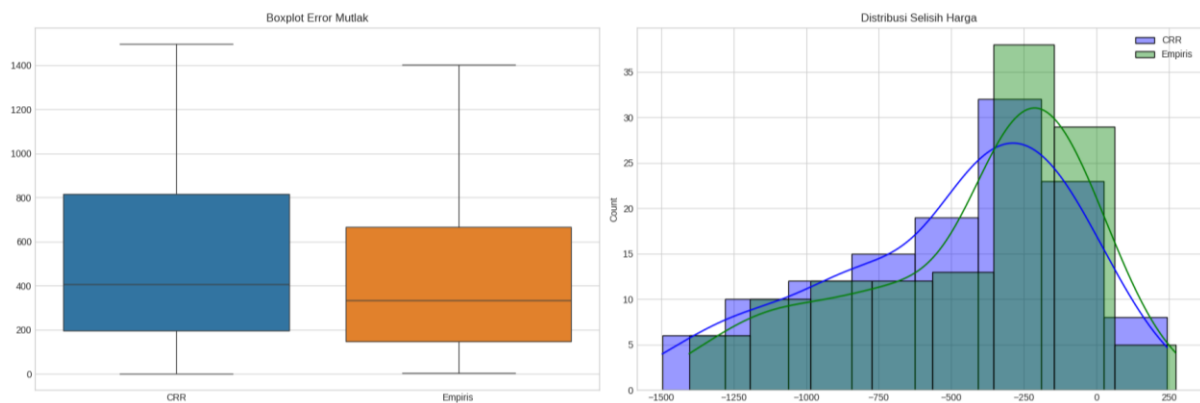
4.5 Analisis Error Kuantitatif

Evaluasi lebih mendalam dilakukan menggunakan metrik statistik *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dan *Root Mean Squared Error* (RMSE).

Metrik Evaluasi	Model CRR	Model Empiris
MAE (Rupiah)	522.27	448.18
MAPE (%)	6.64 %	5.73 %
RMSE	657.95	589.76

Tabel 4.2 Perbandingan Akurasi Model

Distribusi kesalahan (*error*) juga dianalisis menggunakan Boxplot dan Histogram.



Gambar 4.5 Boxplot dan Histogram Distribusi Error

Berdasarkan Tabel 4.2, Model Empiris memiliki nilai MAPE dan RMSE yang lebih kecil dibandingkan model pembandingnya. Hal ini didukung oleh Gambar 4.5, di mana:

- a) **Boxplot:** Sebaran *error* pada model tersebut memiliki rentang interkuartil yang lebih sempit dan median yang lebih mendekati nol.
- b) **Histogram:** Kurva distribusi *error* lebih runcing (*leptokurtic*) di sekitar titik nol, menunjukkan bahwa deviasi prediksi terhadap harga aktual relatif kecil.

Keunggulan Model Empiris dalam kasus saham BBKA ini disebabkan oleh kemampuannya menangkap tren momentum positif (*uptrend*) saham BBKA yang kuat secara historis. Sebaliknya, Model CRR cenderung memberikan estimasi yang lebih konservatif (lebih rendah) karena didasarkan pada asumsi suku bunga bebas risiko (*risk-free rate*) yang bersifat netral terhadap risiko pasar.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan, simulasi, dan analisis yang telah dilakukan terhadap pergerakan harga saham PT Bank Central Asia Tbk (BBKA) periode Juni 2024 hingga Desember 2025, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penerapan Model: Penelitian ini berhasil mengimplementasikan Model *Binomial Tree* yang dikombinasikan dengan Simulasi Monte Carlo sebanyak 1.000 iterasi. Model ini terbukti mampu memproyeksikan ribuan kemungkinan lintasan harga saham di masa depan serta membentuk area selang kepercayaan (*Confidence Interval*) yang berguna untuk memetakan risiko ketidakpastian pasar.
2. Perbandingan Akurasi: Berdasarkan validasi terhadap data aktual (*testing data*), metode estimasi parameter Empiris terbukti lebih akurat dibandingkan metode Cox-Ross-Rubinstein (CRR). Hal ini dibuktikan dengan nilai *error* yang lebih rendah pada seluruh metrik evaluasi:
 - i) Metode Empiris: Menghasilkan MAPE sebesar 5.73% dan RMSE sebesar 589.76.
 - ii) Metode CRR: Menghasilkan MAPE sebesar 6.64% dan RMSE sebesar 657.95.
3. Karakteristik Model: Keunggulan Metode Empiris dalam studi kasus ini disebabkan oleh kemampuannya menangkap momentum tren positif (*uptrend*) yang kuat pada data historis BBKA. Sebaliknya, Metode CRR cenderung memberikan estimasi yang terlalu konservatif (nilai prediksi lebih rendah dari aktual) karena hanya menyandarkan faktor kenaikan harga pada asumsi suku bunga bebas risiko (*risk-free rate*) sebesar 6% dan volatilitas konstan, yang ternyata lebih rendah daripada pertumbuhan aktual pasar saham pada periode tersebut.

5.2 Saran

Untuk meningkatkan kualitas penelitian dan akurasi prediksi di masa mendatang, penulis menyarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Pengembangan Model Volatilitas: Kelemahan utama model Binomial standar adalah asumsi volatilitas konstan (). Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan model volatilitas dinamis, seperti GARCH (*Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*), untuk mengakomodasi sifat volatilitas pasar saham yang berubah-ubah (*heteroscedasticity*).

2. Perluasan Rentang Data: Rentang data historis 18 bulan mungkin belum cukup menangkap siklus pasar jangka panjang (fase *bullish* dan *bearish* secara lengkap). Disarankan untuk menggunakan rentang data minimal 3–5 tahun agar model "belajar" dari berbagai kondisi ekonomi makro.
3. Variasi Objek Penelitian: Saham BBCA termasuk dalam kategori *blue chip* dengan pergerakan relatif stabil. Pengujian model pada saham dengan volatilitas tinggi (seperti sektor teknologi atau pertambangan) perlu dilakukan untuk menguji ketahanan (*robustness*) model Binomial CRR dalam kondisi pasar yang lebih fluktuatif.
4. Jumlah Iterasi Simulasi: Meskipun 1.000 iterasi sudah cukup untuk tugas akademis, penggunaan jumlah iterasi yang lebih besar (misalnya 10.000 atau 100.000) dapat meningkatkan konvergensi hasil rata-rata simulasi sesuai dengan Hukum Bilangan Besar (*Law of Large Numbers*).

DAFTAR PUSTAKA

- Bank Indonesia. (2025). *Data Suku Bunga Acuan (BI-Rate)*. Diakses pada 20 Desember 2025, dari <https://www.bi.go.id/id/statistik/indikator/bi-rate.aspx>
- Cox, J. C., Ross, S. A., & Rubinstein, M. (1979). Option pricing: A simplified approach. *Journal of Financial Economics*, 7(3), 229–263.
- Harris, C. R., et al. (2020). Array programming with NumPy. *Nature*, 585, 357–362.
- Hull, J. C. (2018). *Options, futures, and other derivatives* (10th ed.). Pearson Education.
- Luenberger, D. G. (2013). *Investment science* (2nd ed.). Oxford University Press.
- Ross, S. M. (2013). *Simulation* (5th ed.). Academic Press.
- Yahoo Finance. (2025). *Historical Data for PT Bank Central Asia Tbk (BBCA.JK)*. Diakses pada 20 Desember 2025, dari <https://finance.yahoo.com/quote/BBCA.JK/history>

LAMPIRAN

https://github.com/LhoWann/SimulasiMonteCarlo_Saham_BBCA.git