

Penentuan Harga Opsi *Call* Saham Menggunakan Monte Carlo Standar dan *Antithetic Variate* (Studi Kasus: Saham Alphabet Inc.)

Pelati Sari, Media Rosha

Departemen Matematika, Universitas Negeri Padang

Article Info

Article history:

Received July 31, 2025

Revised August 5, 2025

Accepted December 15, 2025

Keywords:

Stocks Options

Standard Monte Carlo

Antithetic Variate

Kata Kunci:

Opsi Saham

Monte Carlo Standar

Antithetic Variate

ABSTRACT

Stock price fluctuations cause risks in investment decision-making. To minimize risk, investors can trade one of the derivative products, namely, stock options. This study aims to determine the price of Alphabet Inc. stock call options using the Standard Monte Carlo and Monte Carlo Antithetic Variate. The data used is the daily closing price of Alphabet Inc. shares for the period May 7, 2024 to May 7, 2025. The steps taken are determining parameters, generating normally distributed random numbers, calculating the present value of the payoff, calculating the average option price, and then comparing the speed of convergence based on the relative error generated by each method. The results of the study obtained that the price of a stock call option using Standard Monte Carlo was \$28.27776 with a relative error of 2.72% in the 10000th simulation, while the Antithetic Variate obtained a call option price of \$28.17053 with a relative error of 2.33% in the 100th simulation. So, it can be concluded that the Antithetic Variate is more effective in determining the price of Alphabet Inc. stock options.

ABSTRAK

Fluktuasi harga saham menyebabkan risiko pada pengambilan keputusan dalam berinvestasi. Untuk meminimalkan risiko, investor dapat memperdagangkan salah satu produk derivatif, yaitu opsi saham. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh harga opsi *call* saham Alphabet Inc. dengan Monte Carlo Standar dan Monte Carlo *Antithetic Variate*. Data yang digunakan yaitu harga penutupan saham harian Alphabet Inc. periode 07 Mei 2024 sampai dengan 07 Mei 2025. Langkah-langkah yang dilakukan adalah menentukan parameter, membangkitkan bilangan acak berdistribusi normal standar, mengestimasi nilai *payoff*, selanjutnya menghitung rata-rata harga opsi. Terakhir, membandingkan kecepatan konvergensi berdasarkan galat relatif yang dihasilkan dari kedua metode yang digunakan. Hasil penelitian diperoleh bahwa harga opsi *call* saham menggunakan Monte Carlo Standar, yaitu \$28,27776 dengan galat relatif 2,72% pada simulasi ke-10000, sedangkan *Antithetic Variate* diperoleh harga opsi *call* sebesar \$28,17053 dengan galat relatif 2,33% pada simulasi ke-100. Jadi, dapat disimpulkan bahwa *Antithetic Variate* lebih efektif dalam penentuan harga opsi saham Alphabet Inc.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Penulis Korespondensi:

Pelati Sari

Departemen Matematika, Universitas Negeri Padang,
Email: pelatisari04@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Perkembangan digitalisasi yang semakin canggih dan maju memberikan kemudahan untuk banyak orang dalam meraih kebebasan keuangan. Kebebasan keuangan dapat dilakukan salah satunya dengan berinvestasi. Saham termasuk instrumen investasi yang populer di pasar modal, hal ini berdasarkan data pertumbuhan jumlah investor pada saham dan surat berharga lainnya semakin meningkat [1]. Penanaman modal pada bursa saham dapat memberikan risiko yang tinggi karena saham yang diperjualbelikan di pasar modal sangat berfluktuasi, sehingga investor sulit untuk menentukan keputusan terbaik untuk saham yang dimiliki. Oleh karena itu, investor harus memikirkan cara untuk meminimalisir risiko tersebut. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah memperdagangkan produk derivatif. Produk derivatif menjadi semakin penting di bidang keuangan dalam 30 tahun terakhir, dengan opsi merupakan salah satu produk yang diperdagangkan secara aktif di banyak bursa di seluruh dunia [2]. Opsi adalah produk derivatif keuangan yang memberikan hak, bukan kewajiban, kepada pemegangnya, untuk membeli atau menjual sejumlah saham yang telah ditentukan sebelumnya dari saham yang mendasarinya pada harga tetap, pada atau sebelum tanggal tertentu [3]. Opsi umumnya digunakan untuk melindungi risiko yang dapat terjadi dalam berinvestasi [3]. Keunggulan opsi terletak pada kemampuannya dalam menetapkan batas maksimal dan minimal atas harga aset, sehingga bermanfaat untuk mengatasi potensi kenaikan atau penurunan harga aset pada waktu yang ditentukan. Hal tersebut menjadikan opsi sebagai salah satu produk derivatif yang paling dikenal dan disukai, serta umum yang digunakan para investor ketika berinvestasi pada saham [4].

Harga opsi saham dapat ditentukan melalui pendekatan secara analitik maupun numerik. Metode analitik bertujuan memperoleh nilai eksak, sedangkan metode numerik menghasilkan nilai perkiraan (aproksimasi) yang mengandung galat [5]. Salah satu metode numerik yang umum digunakan adalah Monte Carlo, yaitu metode berbasis simulasi berulang untuk memperkirakan harga opsi. Monte Carlo mensimulasikan sampel dari distribusi harga aset, dan menggunakan rata-rata sampel dari hasil diskonto sebagai nilai estimasi dari harga opsi yang sebenarnya [6]. Monte Carlo memberikan perkiraan yang lebih baik, saat jumlah simulasi meningkat [7]. Kelemahan dari Monte Carlo yaitu membutuhkan banyak simulasi untuk mendapatkan akurasi yang memuaskan [8]. Untuk meningkatkan efisiensi, digunakan teknik reduksi varians, seperti *importance sampling*, *control variate*, *conditional monte carlo*, *antithetic variate* [7]. Pada penelitian ini, digunakan metode *Antithetic Variate* yang bertujuan meningkatkan efisiensi simulasi dengan menurunkan variansi estimasi. *Antithetic Variate* melibatkan penggunaan pasangan bilangan acak yang berkorelasi negatif [9]. Tujuan penelitian ini adalah mengestimasi harga opsi *call* tipe Eropa saham Alphabet Inc. menggunakan Monte Carlo Standar dan *Antithetic Variate*, kemudian membandingkan efektifitas kedua metode berdasarkan tingkat akurasi dan nilai galat relatif yang dihasilkan.

2. METODE

2.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini merupakan penelitian terapan. Penelitian terapan adalah penelitian yang diawali dengan analisis teori dan diikuti dengan pengambilan data serta penerapannya terhadap data.

2.2 Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan merupakan data sekunder berupa harga penutupan saham harian Alphabet Inc. selama satu tahun dimulai dari 07 Mei 2024 hingga 07 Mei 2025, yang dapat diakses melalui [website *http://www.finance.yahoo.com*](http://www.finance.yahoo.com).

2.3 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini variabel yang digunakan adalah harga saham penutupan Alphabet Inc., dan parameter yang digunakan di antaranya: harga saham awal, harga kesepakatan, tingkat suku bunga bebas risiko, volatilitas, waktu jatuh tempo, dan banyaknya simulasi.

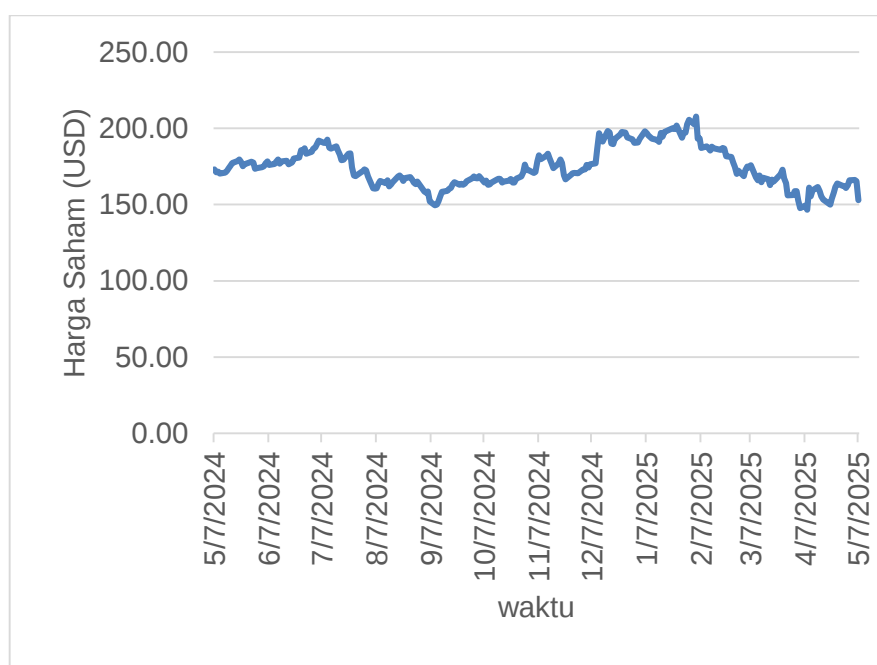
2.4 Teknik Analisis Data

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data, dilanjutkan dengan uji normalitas terhadap *return* saham, kemudian menentukan parameter-parameter yang diperlukan. Setelah itu, membangkitkan bilangan acak Z yang berdistribusi normal standar. Estimasi harga saham pada waktu t dilakukan dengan model Geomean Brownian Motion (GBM). Selanjutnya, hitung payoff opsi dan dikalikan dengan faktor diskonto. Lakukan sebanyak M simulasi yang diinginkan. Selanjutnya, hitung rata-rata harga opsi *call* saham. Langkah-langkah ini berlaku untuk kedua metode yang digunakan. Akan tetapi, untuk meneintuikan harga opsi dengan metode Anti-Thematic Variate menggunakan dua bilangan acak, yaitu Z dan $-Z$ [10]. Langkah terakhir, mengemukakan metode yang paling efektif dengan menghitung galat relatif dari harga opsi call yang dihasilkan oleh metode Monte Carlo standar dan anti-teoretic variasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Deskripsi Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data harga penutupan (*closing price*) saham harian pada saham Alphabet Inc. yang dimulai dari 07 Mei 2024 sampai dengan 07 Mei 2025. Data tersebut disajikan pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Harga Penutupan saham Alphabet Inc.

Berdasarkan data harga penutupan saham yang disajikan pada Gambar 1 akan diperoleh *return* saham. *Return* saham dapat dihitung dengan persamaan berikut:

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

Dimana:

R_t : *Return* saham

S_t : Harga Saham pada waktu t

Uji normalitas terhadap *return* saham menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov. Hipotesis yang digunakan adalah:

H_0 : data *return* saham berdistribusi normal.

H_1 : data *return* saham tidak berdistribusi normal.

Taraf signifikan yang digunakan adalah 0,05. Hasil uji yang diperoleh menunjukkan *p-value* sebesar $0,179 > 0,05$. Artinya, data *return* saham berdistribusi normal. Adapun parameter penelitian yang digunakan adalah $S_0 = \$152,80$, $K = \$125$, $r = 4,5\%$, $T = 0,0833$, dan $\sigma = 31\%$.

3.2. Hasil Analisis Data

3.2.1. Simulasi Numerik Harga Opsi Saham Menggunakan Monte Carlo Standar

Bilangan random Z (berdistribusi normal baku) untuk 20 simulasi disajikan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Bilangan Random Z

No	Bilangan Random ke-i	No	Bilangan Random ke-i
1	1,51030	11	-0,46245
2	0,55286	12	0,22166
3	0,24839	13	-1,22355
4	-0,33990	14	-0,73809
5	-0,56254	15	1,70850
6	-0,76611	16	1,11416
7	0,96460	17	-0,55653
8	-0,59417	18	-0,58968
9	-0,88857	19	0,83620
10	0,56803	20	0,72867

Dari bilangan random Z yang disajikan pada Tabel 1, dapat ditentukan harga saham pada waktu t menggunakan persamaan berikut:

$$S_T = S_0 \times \exp \left(\left(r - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) T + \sigma Z \sqrt{T} \right) \quad (2)$$

Sehingga, diperoleh harga saham pada waktu jatuh tempo untuk simulasi ke-1, sebagai berikut:

$$S_T = 152,80 \times \exp \left(\left(0,045 - \frac{1}{2} (0,31^2) \right) \times 0,0833 + 0,31 \times (1,51030) \times \sqrt{0,0833} \right)$$

$$S_T = 174,86327$$

Selanjutnya, menghitung nilai *payoff* opsi dengan mengalikan dengan faktor diskonto, menggunakan persamaan berikut:

$$C = e^{-rT} \max \{ S_T - K, 0 \} \quad (3)$$

Sehingga, diperoleh nilai *payoff* menggunakan persamaan (3) di atas, sebagai berikut:

$$C = \exp(-0,045 \times 0,0833) \times 49,86327 = 49,67671$$

Selanjutnya, hitung rata-rata harga opsi *call* saham menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{C} = \frac{e^{-rT}}{M} \sum_{i=1}^M \max \left\{ S_0 e^{\left(r - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) T + \sigma Z \sqrt{T}} - K, 0 \right\} \quad (4)$$

dimana:

- S_0 : harga saham awal ($t = 0$)
- r : suku bunga bebas risiko
- σ : volatilitas harga saham
- Z : bilangan acak berdistribusi normal
- T : waktu hingga jatuh tempo
- M : jumlah simulasi
- S_T : harga saham pada waktu t
- C : payoff opsi
- $\bar{C}$: rata-rata harga opsi

Selanjutnya diperoleh harga opsi *call* menggunakan persamaan (4) untuk simulasi ke-1, sebagai berikut:

$$\bar{C} = \frac{1}{1} \times 49,67671 = 49,67671$$

Berdasarkan perhitungan yang diperoleh dari persamaan (2), (3), dan (4), harga opsi *call* saham Alphabet Inc. menggunakan Monte Carlo Standar untuk 20 simulasi dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini:

Tabel 2. Harga Opsi *Call* Menggunakan Monte Carlo Standar

Simulasi	Harga Opsi <i>Call</i> (USD)	Simulasi	Harga Opsi <i>Call</i> (USD)
1	49,67671	11	28,29545
2	42,52574	12	28,49631
3	38,70961	13	27,21785
4	34,80690	14	26,55455
5	31,88291	15	28,30381
6	29,49825	16	29,26047
7	31,19497	17	28,73132
8	29,76785	18	28,23713
9	28,24103	19	28,82888
10	28,97612	20	29,28293

Pada Tabel 2 yang disajikan dapat dilihat bahwa harga opsi *call* menggunakan Monte Carlo standar pada simulasi ke-1 dan simulasi ke-20, yaitu \$49,67671 dan \$29,28293. Pada Tabel 2 diperoleh rata-rata harga opsi *call* untuk 20 simulasi, yaitu \$31,42444. Pada tabel yang disajikan dapat dilihat bahwa solusi numerik dari metode Monte Carlo Standar tidak konvergen terhadap nilai aktual. Adapun harga aktual yang digunakan adalah \$27,53.

3.2.2. Simulasi Numerik Harga Opsi Saham Menggunakan Monte Carlo *Antithetic Variate*

Bilangan random $-Z$ untuk 20 simulasi disajikan pada Tabel 3. Berdasarkan bilangan random Z yang disajikan pada Tabel 1 dan $-Z$ pada Tabel 3 dapat ditentukan harga saham pada waktu t menggunakan persamaan berikut:

$$S_T^+ = S_0 e^{\left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)T + \sigma Z \sqrt{T}} \quad \text{dan} \quad S_T^- = S_0 e^{\left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)T + \sigma(-Z) \sqrt{T}} \quad (5)$$

Sehingga, diperoleh harga saham pada waktu jatuh tempo untuk bilangan random Z dan $-Z$ untuk simulasi ke-1, sebagai berikut:

$$S_T^+ = 152,80 \times \exp\left(0,045 - \frac{1}{2}(0,31^2)\right) \times 0,0833 + 0,31 \times (1,51030) \times \sqrt{0,0833}$$

$$S_T^+ = 174,86327$$

$$S_T^- = 152,800 \times \exp\left(0,045 - \frac{1}{2}(0,31^2)\right) \times 0,0833 + 0,31 \times (-1,51030) \times \sqrt{0,0833}$$

$$S_T^- = 133,45272$$

Tabel 3. Bilangan Random -Z

No	Bilangan Random ke-i	No	Bilangan Random ke-i
1	-1,51030	11	0,46245
2	-0,55286	12	-0,22166
3	-0,24839	13	1,22355
4	0,33990	14	0,73809
5	0,56254	15	-1,70850
6	0,76611	16	-1,11416
7	-0,96460	17	0,55653
8	0,59417	18	0,58968
9	0,88857	19	-0,83620
10	-0,56803	20	-0,72867

Selanjutnya, hitung nilai *payoff* opsi yang dikalikan dengan faktor diskonto. Gunakan persamaan berikut:

$$C_i = \frac{C_i^+ + C_i^-}{2} \quad (6)$$

Dimana,

$$C_i^+ = e^{-rT} \max\{S_T^+ - K, 0\}, \quad C_i^- = e^{-rT} \max\{S_T^- - K, 0\}$$

Sehingga, diperoleh nilai *payoff* untuk simulasi ke-1 menggunakan persamaan (6), yaitu:

$$C_i = \frac{C_i^+ + C_i^-}{2} = \frac{49,67671 + 8,42110}{2} = 29,04890$$

Selanjutnya, hitung rata-rata harga opsi *call* saham menggunakan persamaan:

$$\bar{C} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M C_i \quad (7)$$

Dimana:

$\bar{C}$: rata-rata harga opsi *call*

C_i : *payoff* opsi *call*

M : banyak simulasi

Sehingga, diperoleh harga opsi *call* untuk simulasi ke-1 menggunakan persamaan (7), sebagai berikut:

$$\bar{C} = \frac{1}{1} \times 29,04890 = 29,04890$$

Berdasarkan perhitungan yang diperoleh dari persamaan (5), (6), dan (7), harga opsi *call* saham menggunakan *Antithetic Variate* untuk 20 simulasi disajikan pada Tabel 4. Pada Tabel 4 dapat dilihat harga opsi *call* menggunakan *Antithetic Variate* pada simulasi ke-1 dan simulasi ke-20, yaitu \$29,04890 dan \$28,09681. Pada Tabel 4 yang disajikan diperoleh rata-rata harga opsi *call* untuk 20 simulasi, yaitu \$28,13503. Pada tabel yang disajikan juga dapat dilihat bahwa solusi numerik dari metode *Antithetic Variate* dalam menentukan harga opsi *call* konvergen terhadap harga aktual.

Tabel 4. Harga Opsi *Call* Menggunakan *Antithetic Variate*

Simulasi	Harga Opsi <i>Call</i> (USD)	Simulasi	Harga Opsi <i>Call</i> (USD)
1	29,04890	11	28,00519
2	28,44622	12	27,97869
3	28,19578	13	28,02419
4	28,07876	14	28,02170
5	28,03303	15	28,11617
6	28,03002	16	28,13480
7	28,05780	17	28,11781
8	28,03463	18	28,10400
9	28,04617	19	28,10291
10	28,02694	20	28,09681

3.2.3. Perbandingan Hasil Estimasi Harga Opsi *Call* Saham Menggunakan Monte Carlo Standar dan *Antithetic Variate*

Berdasarkan nilai parameter yang digunakan, dilakukan beberapa simulasi dengan Monte Carlo Standar dan *Antithetic Variate* untuk mengestimasi harga opsi *call* saham Alphabet Inc. Selanjutnya, hitung galat relatif dari harga opsi *call* yang dihasilkan dari masing-masing metode dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\varepsilon_r = \frac{|p-p^*|}{|p|} \quad (8)$$

Dimana:

ε_r : galat relatif
 p : nilai aktual
 p^* : nilai prediksi

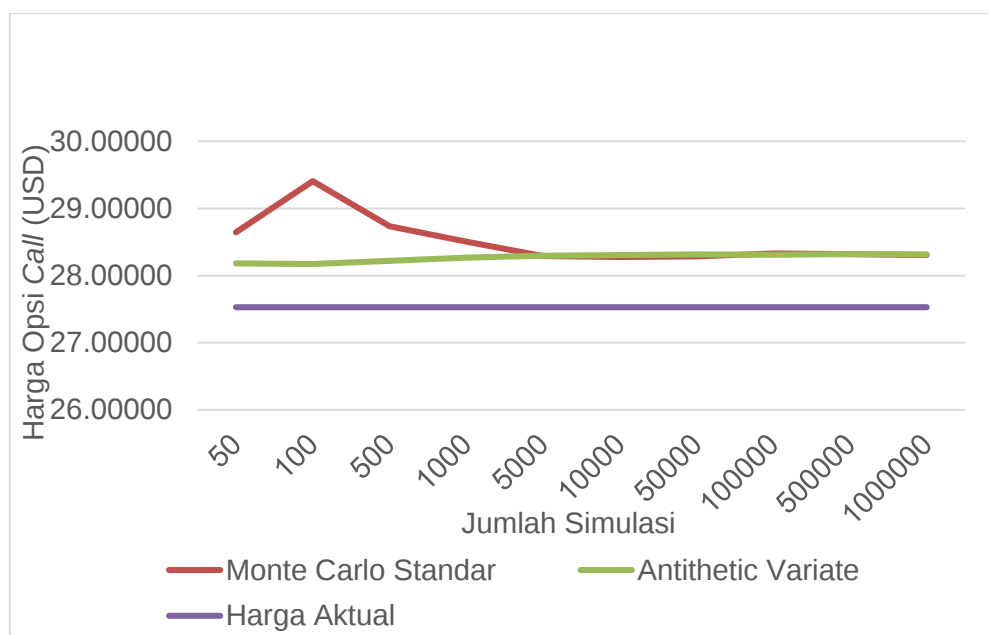
Hasil perhitungan harga opsi *call* dan galat relatif dengan Monte Carlo Standar dan *Antithetic Variate* dengan harga aktual yang digunakan yaitu \$27,53, dapat dilihat pada Tabel 5 yang disajikan sebagai berikut:

Tabel 5. Harga Opsi *Call* Menggunakan Monte Carlo Standar dan *Antithetic Variate*

Jumlah Simulasi	Monte Carlo Standar		<i>Antithetic Variate</i>	
	Harga Opsi	Galat Relatif	Harga Opsi	Galat Relatif
50	28,64292	0,04043	28,18292	0,02372
100	29,40902	0,06825	28,17053	0,02327
500	28,73303	0,04370	28,21962	0,02505
1000	28,50407	0,03538	28,26511	0,02670
5000	28,29237	0,02769	28,29444	0,02777
10000	28,27776	0,02716	28,30612	0,02819
50000	28,28725	0,02751	28,3174	0,02860
100000	28,32759	0,02897	28,31266	0,02843
500000	28,31752	0,02861	28,31796	0,02862
1000000	28,30763	0,02825	28,3166	0,02857

Berdasarkan Tabel 5, dapat dilihat perbandingan nilai galat relatif pada penentuan harga opsi *call* dari kedua metode tersebut. Dapat dilihat dari Tabel 5 galat relatif dari kedua metode yang digunakan semakin kecil dengan bertambahnya jumlah simulasi dan konvergen dengan nilai galat

sebesar 2% hingga 3%. Pada metode Monte Carlo Standar nilai galat relatif terkecil terjadi pada simulasi ke-10000 sebesar 0,02716 dan harga opsi *Call* sebesar \$28,27776. Sedangkan harga opsi menggunakan *Antithetic Variate* galat relatif terkecil terjadi pada simulasi ke-100 dengan nilai galat sebesar 0,02327 dan harga opsi *call* sebesar \$28,17053. Jadi, dapat disimpulkan bahwa penentuan harga opsi *call* saham Alphabet Inc. dengan *Antithetic Variate* lebih cepat menuju akurasi yang diinginkan daripada menggunakan Monte Carlo Standar. Untuk melihat konvergensi dari kedua metode yang digunakan terhadap harga aktual dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Harga Opsi *Call*

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penentuan harga opsi *call* saham Alphabet Inc. dapat dilakukan dengan metode simulasi Monte Carlo Standar maupun *Antithetic Variate*. Hal ini dibuktikan harga opsi *call* saham yang dihasilkan setiap simulasi dari masing-masing metode signifikan terhadap nilai aktual yang digunakan. Namun, penggunaan simulasi *Antithetic Variate* terbukti lebih efektif karena mampu menghasilkan galat relatif yang lebih kecil serta lebih cepat mencapai tingkat akurasi yang diinginkan dibandingkan Monte Carlo Standar. Dengan demikian, *Antithetic Variate* dapat direkomendasikan sebagai metode yang lebih efisien dalam menentukan harga opsi *call* Eropa saham Alphabet Inc.

REFERENSI

- [1] KSEI Indonesia Central Securities Depository, "Statistik Pasar Modal Indonesia," Publ. PT Kustodian Sent. Efek Indones., pp. 1–7, 2024, [Online]. Available: https://www.ksei.co.id/publications/demografi_investor
- [2] J. C. Hull, "Options, Futures, and Other Derivatives," Pearson, Donna Battista vol. 7, 8th ed, New York, 2016.
- [3] S. Wang, "Pricing European call options with interval-valued volatility and interest rate," *Appl. Math. Comput.*, vol. 474, no. December 2023, p. 128698, 2024, doi: 10.1016/j.amc.2024.128698.
- [4] D. C. Lesmana et al., "Perbandingan Harga Opsi Reset dengan Metode Monte Carlo Standar dan Control Variate," *Limits J. Math. Its Appl.*, vol. 20, no. 3, p. 327, 2023, doi: 10.12962/limits.v20i3.17053.
- [5] M. N. Mooy, A. Rusgiyono, and R. Rahmawati, "Penentuan Harga Opsi Put Dan Call Tipe Eropa Terhadap Saham Menggunakan Model Black-Scholes," *J. Gaussian*, vol. 6, no. 3, pp. 407–417, 2017, [Online]. Available: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/gaussian>
- [6] Y. Liang and C. Xu, "An efficient conditional Monte Carlo method for European option pricing with stochastic volatility and stochastic interest rate," *Int. J. Comput. Math.*, vol. 97, no. 3, pp. 638–655, 2020, doi: 10.1080/00207160.2019.1584671.
- [7] I. Noorani, F. Mehrdoust, and A. Nasroallah, "ScienceDirect A generalized antithetic variates Monte-Carlo simulation method for pricing of Asian option in a Markov regime-switching model," *Math. Comput. Simul.*, vol. 181, pp. 1–15, 2021, doi: 10.1016/j.matcom.2020.09.011.

- [8] E. G. Haug, "*Option Pricing Formulas*," McGraw-Hill, 2nd ed, New York, 2014.
- [9] J. M. Schumacher, "*Introduction To Financial Derivatives: Modeling, Pricing and Hedging*," Open Press TiU, Amsterdam, 2020.
- [10] D. C. Lesmana *et al.*, "Penentuan Harga Opsi Bermuda Menggunakan Simulasi Monte Carlo Reduksi Antithetic Variates," *Limits J. Math. Its Appl.*, vol. 20, no. 3, p. 341, 2023, doi: 10.12962/limits.v20i3.17054.