



Analisis Harga Opsi Beli Tipe Eropa dengan Metode *Antithetic Variate* dari *Monte Carlo*

Nadia Putri Kurniawati, Yundari*, Setyo Wira Rizki

Jurusan Statistik, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Tanjungpura Pontianak, Indonesia

*Correspondence: E-mail: yundari@math.untan.ac.id

ABSTRAK

Opsi saham merupakan produk derivatif dari saham sebagai salah satu alternatif investasi. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis harga opsi beli tipe Eropa menggunakan *antithetic variate* dari *Monte Carlo*. Data yang digunakan yaitu harga penutupan saham harian *Apple Inc* periode 01 Oktober 2020 sampai dengan 30 September 2021. Langkah-langkah yang dilakukan adalah menentukan parameter yang digunakan, menghitung nilai *return* saham, rata-rata, variansi dan volatilitas dari *return* saham, membangkitkan data yang berdistribusi normal. Kemudian mensimulasikan harga saham menggunakan data yang telah dibangkitkan, menghitung nilai *payoff*, harga opsi beli tipe Eropa dan nilai *standard error*. Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode *Monte Carlo*, diperoleh harga opsi beli sebesar \$17,523 pada simulasi ke-50.000, sedangkan metode *antithetic variate* dari *Monte Carlo* diperoleh harga opsi beli sebesar \$17,387 pada simulasi ke-100. Dengan kata lain, *standard error* metode *antithetic variate* dari *Monte Carlo* lebih kecil dibandingkan metode *Monte Carlo* dengan asumsi *standard error* minimumnya sebesar 0,050.

© 2022 Kantor Jurnal dan Publikasi UPI

ABSTRACT

Stock options is one of the derivative products of stocks. The purpose of this study is to analyze the price of European type call options using the antithetic variate method from Monte Carlo. The data used is the daily closing price of Apple Inc shares for the period October 1, 2020 to September 30, 2021. The steps taken are to determine the parameters used, calculate the stock return value, average, variance and volatility of stock returns, generally data that is normally distributed. Then simulate stock prices using the data that has been generated, calculates the payoff value, the price of the European type of call option and the standard error value. The result shows that for the Monte Carlo method, a call option price of \$17,523 in the 50.000th simulation, while the antithetic variate method of Monte Carlo obtained a call option price of \$17,387 in the 100th simulation. In other words, the standard error of the antithetic variate method from Monte Carlo is smaller than the Monte Carlo method with the assumption of a minimum standard error of 0,050.

© 2022 Kantor Jurnal dan Publikasi UPI

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima 4 Maret 2022

Direvisi 11 Maret 2022

Disetujui 4 April 2022

Tersedia Online 15 Mei 2022

Dipublikasikan 1 Juni 2022

Kata Kunci:

Opsi Saham,
Simulasi Monte Carlo,
Teknik Reduksi
Variansi.

Keywords:

Monte Carlo
Simulation,
Stock Option,
Variance Reduction
Technique.

1. PENDAHULUAN

Investasi adalah suatu kegiatan menanamkan modal untuk memperoleh keuntungan di masa mendatang. Investasi dapat dilakukan melalui pasar modal (Qur'ani et al., 2020; Pakpahan, 2003). Pasar modal adalah pasar yang menyediakan berbagai instrumen finansial yang dapat diperjualbelikan seperti obligasi, saham, reksadana dan instrumen lainnya (Zahroh, 2015). Salah satu produk investasi yang paling populer adalah saham. Saham merupakan bukti kepemilikan sebagian dari perusahaan yang diperjualbelikan di pasar modal (Yafiz, 2008). Tujuan investor melakukan jual beli saham adalah mendapatkan keuntungan. Selain keuntungan, investor juga harus meminimalkan risiko yang terjadi. Untuk meminimalkan risiko, investor dapat melakukan transaksi jual beli instrumen derivatif yaitu opsi saham (Irawan et al., 2019).

Berdasarkan hak yang diberikan, opsi dibedakan menjadi dua yaitu opsi beli dan opsi jual (Mooy et al., 2017). Opsi beli adalah opsi yang digunakan pemegang saham untuk membeli saham, sedangkan opsi jual digunakan pemegang saham untuk menjual saham pada jumlah, waktu dan harga yang telah disepakati (Dewi & Ramli, 2018; Utomo, 2000). Berdasarkan aturan pelaksanaannya (*expiration date*), opsi dibedakan menjadi dua yaitu opsi tipe Eropa dan opsi tipe Amerika. Opsi tipe Eropa adalah opsi yang dapat digunakan pada saat jatuh tempo, sedangkan opsi tipe Amerika adalah opsi yang dapat digunakan sebelum atau pada saat jatuh tempo (Han & Wu, 2003; Nadia et al., 2018).

Metode yang dapat digunakan untuk memperkirakan harga opsi saham tipe Eropa adalah metode *Monte Carlo*. Metode *Monte Carlo* merupakan simulasi yang menggunakan pembangkitan data yang berdistribusi normal untuk mensimulasikan harga saham dan mendapatkan harga opsi beli. Namun, untuk meningkatkan efisiensi dari metode *Monte Carlo* diperlukan teknik reduksi variansi yaitu *antithetic variate* (Qur'ani et al., 2020; Habaib et al., 2018). *Antithetic variate* merupakan suatu teknik pengurangan variansi dengan mengganti peubah acak dengan peubah acak lainnya yang bernilai negatif tanpa meningkatkan ukuran sampel dalam mensimulasikan harga opsinya (Fishman & Huang, 1983). Tujuan penelitian ini adalah menganalisis harga opsi beli tipe Eropa menggunakan *antithetic variate* dari *Monte Carlo*.

2. METODE

Metode *Monte Carlo* merupakan suatu metode yang melibatkan pembangkitan data yang berdistribusi normal untuk mensimulasikan harga saham guna mendapatkan harga opsi beli (Wati et al., 2018). Namun, untuk meningkatkan efisiensi dari metode *Monte Carlo* diperlukan teknik reduksi variansi yaitu *antithetic variate*. Metode *antithetic variate* dari *Monte Carlo* melibatkan dua rata-rata harga opsi yang dinotasikan dengan $\underline{Y}_i^{(1)}$ dan $\underline{Y}_i^{(2)}$. Nilai $\underline{Y}_i^{(1)}$ dapat dihitung menggunakan data pada simulasi ϵ_i , sedangkan $\underline{Y}_i^{(2)}$ dihitung menggunakan data yang berlawanan dengan ϵ_i yaitu $-\epsilon_i$ (Qur'ani et al., 2020). Hull (2010) dalam bukunya yang berjudul '*Options, Futures, and Other Derivatives*' mengungkapkan rumus simulasi harga saham tipe Eropa dengan metode *Monte Carlo* dan *antithetic variate* dari *Monte Carlo* berturut-turut dapat dilihat pada Persamaan (1) dan (2).

$$S_{T(i)}^{(1)} = S_0 \exp \exp \left(\left(r - \frac{\sigma^2}{2} \right) T + (\omega \times \epsilon_i \times \sqrt{T}) \right) \quad (1)$$

$$S_{T(i)}^{(2)} = S_0 \exp \exp \left(\left(r - \frac{\sigma^2}{2} \right) T + (\omega \times (-\epsilon_i) \times \sqrt{T}) \right) \quad (2)$$

Notasi $S_{T(i)}^{(1)}$ adalah simulasi harga saham dengan metode *Monte Carlo* pada waktu jatuh tempo untuk ϵ_i . Notasi S_0 adalah harga saham awal, r adalah tingkat suku bunga bebas risiko, σ^2 adalah variansi *return* saham, T adalah waktu jatuh tempo, ω adalah volatilitas *return* saham, dan ϵ_i adalah data simulasi ke- i . Sedangkan $S_{T(i)}^{(2)}$ adalah simulasi harga saham dengan metode *antithetic variate* dari *Monte Carlo* pada waktu jatuh tempo untuk $-\epsilon_i$, dan $-\epsilon_i$ merupakan negatif dari data simulasi ke- i .

Kemudian nilai *payoff* untuk metode *Monte Carlo* dan *antithetic variate* dari *Monte Carlo* berturut-turut dapat dihitung dengan Persamaan (3) dan (4).

$$C_i^{(1)} = \max \left\{ \left(S_{T(i)}^{(1)} - K, 0 \right) \right\} \quad (3)$$

$$C_i^{(2)} = \left\{ \left(S_{T(i)}^{(2)} - K, 0 \right) \right\} \quad (4)$$

dengan $C_i^{(1)}$ adalah nilai *payoff* untuk ϵ_i , dan $C_i^{(2)}$ merupakan nilai *payoff* untuk $-\epsilon_i$, K adalah harga kesepakatan.

Harga opsi beli untuk simulasi ke- i dihitung dengan Persamaan (5) dan (6) berikut:

$$Y_i^{(1)} = e^{-rT} \left\{ \left(S_{T(i)}^{(1)} - K, 0 \right) \right\} \quad (5)$$

$$Y_i^{(2)} = e^{-rT} \max \left\{ \left(S_{T(i)}^{(2)} - K, 0 \right) \right\} \quad (6)$$

dengan $Y_i^{(1)}$ adalah harga opsi beli untuk ϵ_i dan $Y_i^{(2)}$ adalah harga opsi beli untuk $-\epsilon_i$.

Perhitungan rata-rata harga opsi beli dari simulasi sebanyak M yang digunakan dapat dihitung dengan Persamaan (7) dan (8).

$$\underline{Y}_i^{(1)} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M Y_i^{(1)} \quad (7)$$

$$\underline{Y}_i^{(2)} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M Y_i^{(2)} \quad (8)$$

dengan M adalah banyak simulasi, $\underline{Y}_i^{(1)}$ adalah rata-rata harga opsi beli untuk ϵ_i , dan $\underline{Y}_i^{(2)}$ adalah rata-rata harga opsi beli untuk $-\epsilon_i$. Persamaan (7) merupakan harga opsi beli tipe Eropa dengan metode *Monte Carlo*.

Harga opsi tipe Eropa menggunakan *antithetic variate* dari *Monte Carlo* dapat dihitung dengan Persamaan (9) sebagai berikut:

$$C_{av} = \frac{Y_i^{(1)} - Y_i^{(2)}}{2} \quad (9)$$

Selanjutnya, variansi dari harga opsi beli dengan metode *Monte Carlo* dan *antithetic variate* dari *Monte Carlo* berturut-turut dapat dilihat pada Persamaan (10) dan (11).

$$\sigma_{mc}^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M \left(Y_i^{(1)} - \underline{Y}_i^{(1)} \right)^2 \quad (10)$$

$$\sigma_{av}^2 = \frac{1}{4} \left(\sigma_{\underline{Y}_i^{(1)}}^2 \right) + \frac{1}{4} \left(\sigma_{\underline{Y}_i^{(2)}}^2 \right) + \frac{1}{2} \left(cov \underline{Y}_i^{(1)}, \underline{Y}_i^{(2)} \right) \quad (11)$$

dengan $\sigma_{\underline{Y}_i^{(1)}}^2$ adalah variansi rata-rata harga opsi beli untuk ϵ_i , $\sigma_{\underline{Y}_i^{(2)}}^2$ adalah variansi rata-rata harga opsi beli untuk $-\epsilon_i$, $cov \underline{Y}_i^{(1)}, \underline{Y}_i^{(2)}$ adalah kovarians rata-rata harga opsi beli untuk ϵ_i dan $-\epsilon_i$.

Simulasi dari masing-masing metode akan berhenti pada nilai *standard error* tertentu. Nilai *standard error* dihitung dengan Persamaan (12) sebagai berikut:

$$SE = \frac{\sigma}{\sqrt{M}} \quad (12)$$

dengan *SE* menyatakan *standard error*, σ adalah standar deviasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan yaitu data harga penutupan saham harian *Apple Inc* yang diperoleh dari website *www.yahoo.finance.com* dari periode 01 Oktober 2020 sampai dengan 30 September 2021. Terdapat beberapa parameter yang ditentukan terlebih dahulu dalam menentukan harga opsi beli, antara lain harga saham awal (S_0) sebesar \$116,79 dan harga kesepakatan (K) sebesar \$100. Digunakan pula nilai tingkat suku bunga bebas risiko sebesar 0,25% dan waktu jatuh tempo adalah 20 Oktober 2021 sampai dengan 19 November 2021 (masa kontrak opsi saham 30 hari) yang dikonversi menjadi tahun, sehingga $T = \frac{30}{365} = 0,082192$.

Perhitungan *return* saham harian *Apple Inc* untuk periode ke-2 adalah sebagai berikut:

$$R_2 = \frac{S_2 - S_1}{S_1} = \frac{113,02 - 116,79}{116,79} = -0,032.$$

Untuk *return* saham harian lainnya terdapat pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa *return* saham periode ke-2 sebesar -0,032 hingga *return* saham periode ke-252 sebesar -0,009, sehingga banyaknya data *return* saham berjumlah 251.

Tabel 1. *Return* saham AAPL

t	Return Saham
2	-0,032
3	0,031
t	<i>Return Saham</i>
⋮	⋮
252	-0,009

Sebelum melakukan perhitungan harga opsi, dilakukan perhitungan volatilitas. Langkah-langkahnya adalah menghitung nilai *return* saham harian, kemudian mengestimasi rata-rata dan variansi dari *return* saham harian. Perhitungan tersebut menghasilkan:

$$\bar{R}_t = \frac{\sum_{t=2}^{252} R_t}{n} = \frac{0,2308}{251} = 0,00092.$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{t=2}^{252} (R_t - \bar{R}_t)^2}{n-1} = \frac{0,07782}{250} = 0,00031.$$

Kemudian dilakukan perhitungan volatilitas dengan Persamaan (5), diperoleh:

$$\omega = \sqrt{252 \times 0,00031} = 0,27950.$$

Berdasarkan data saham AAPL periode 01 Oktober 2020 sampai dengan 30 September 2021, diperoleh nilai volatilitas dari *return* saham yaitu sebesar 0,27950.

Berdasarkan Tabel 2, data bangkitan pada simulasi ke-1 sebesar -1,3575 hingga data pada simulasi ke-10 sebesar 2,2898.

Tabel 2. Data Untuk 10 Simulasi

No.	Data bangkitan ke- i (ϵ_i)	Data bangkitan ke- $(-1)i$ ($-\epsilon_i$)
1	-1,3575	1,3575
2	-0,7090	0,7090
⋮	⋮	⋮
10	2,2898	-2,2898

Hasil pembangkitan data pada Tabel 2 digunakan untuk menghitung $S_{T(1)}^{(1)}$ dan $S_{T(1)}^{(2)}$ dengan Persamaan (1) dan (2), sehingga diperoleh:

$$S_{T(1)}^{(1)} = 116,79 \times \exp \exp \left(\left(0,0025 - \frac{0,00031}{2} \right) 0,08219 + 0,27950 \times (-1,3575) \times \sqrt{0,08219} \right) = 105,014.$$

$$S_{T(1)}^{(2)} = 116,79 \times \exp \exp \left(\left(0,0025 - \frac{0,00031}{2} \right) 0,08219 + 0,27950 \times 1,3575 \times \sqrt{0,08219} \right) = 130,535.$$

Setelah diperoleh nilai $S_{T(1)}^{(1)}$ dan $S_{T(1)}^{(2)}$, nilai *payoff* dapat dihitung dengan Persamaan (3) dan Persamaan (4), sehingga diperoleh:

$$C_1^{(1)} = \{(105,014 - 100, 0)\} = 5,014.$$

$$C_1^{(2)} = \{(130,535 - 100, 0)\} = 30,535.$$

Harga opsi beli untuk ϵ_i dan $-\epsilon_i$ dapat dihitung dengan Persamaan (5) dan Persamaan (6), diperoleh:

$$Y_1^{(1)} = e^{(-0,0025)(0,08219)} \times 5,014 = 5,013.$$

$$Y_1^{(2)} = e^{(-0,0025)(0,08219)} \times 30,535 = 30,529.$$

Rata-rata harga opsi beli untuk ϵ_i dapat dihitung dengan Persamaan (7) dan rata-rata harga opsi beli untuk $-\epsilon_i$ dapat dihitung dengan Persamaan (8), sehingga diperoleh harga opsi saham tipe Eropa dengan metode *Monte Carlo*, $Y_{10}^{(1)} = C_{mc}$ sebagai berikut:

$$\underline{Y}_{10}^{(1)} = \frac{1}{10} \times 204,609 = 20,461.$$

$$\underline{Y}_{10}^{(2)} = \frac{1}{10} \times 149,685 = 14,969.$$

Selanjutnya harga opsi beli dengan *antithetic variate* dari *Monte Carlo* dapat ditentukan dengan membagi dua hasil penjumlahan rata-rata harga opsi beli untuk ϵ_i dan $-\epsilon_i$.

$$C_{av} = \frac{20,461+14,969}{2} = 17,715.$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dengan metode *antithetic variate* dari *Monte Carlo* untuk 10 simulasi diperoleh harga opsi beli sebesar \$17,715. Harga opsi beli dengan metode *Monte Carlo* dan *antithetic variate* dari *Monte Carlo* untuk simulasi lainnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Harga Opsi Beli dan *Standard Error Monte Carlo* dan *Antithetic Variate* dari *Monte Carlo*

Simulasi	<i>Monte Carlo</i>		<i>Antithetic Variate</i> dari <i>Monte Carlo</i>	
	Harga Opsi Beli	<i>Standard Error</i>	Harga Opsi Beli	<i>Standard Error</i>
10	\$20,461	3,681	\$17,715	0,297
30	\$16,528	1,928	\$17,579	0,126
50	\$17,003	1,425	\$17,590	0,109
70	\$16,851	1,253	\$17,648	0,106
100	\$17,438	0,822	\$17,387	0,049
1000	\$17,833	0,291	\$17,576	0,040
10.000	\$17,484	0,092	\$17,514	0,009
50.000	\$17,523	0,042	\$17,530	0,004

Berdasarkan Tabel 3, dapat dilihat bahwa dengan *standard error* kurang dari 0,050 diperoleh harga opsi beli tipe Eropa dengan metode *Monte Carlo* sebesar \$17,523 pada simulasi ke-50.000 dan metode *antithetic variate* dari *Monte Carlo* sebesar \$17,387 pada simulasi ke-100.

4. KESIMPULAN

Metode *antithetic variate* dari *Monte Carlo* menghasilkan harga opsi beli tipe Eropa lebih kecil dan jumlah simulasi lebih sedikit dibandingkan dengan metode *Monte Carlo*. Untuk jumlah simulasi yang sama, *standard error* metode *antithetic variate* dari *Monte Carlo* lebih kecil dibandingkan metode *Monte Carlo*. Oleh karena itu, semakin banyak simulasi yang digunakan maka nilai *standard error* yang diperoleh semakin kecil. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Qur'ani et al. (2020).

5. DAFTAR PUSTAKA

Dewi, S., & Ramli, I. (2018). Opsi saham pada pasar modal di Indonesia (Studi pasar opsi saat pasar opsi masih berlangsung di bursa efek Indonesia). *Jurnal Muara Ilmu Ekonomi dan Bisnis*, 2(2), 300-312.

Fishman, G. S., & Huang, B. D. (1983). Antithetic variates revisited. *Communications of the ACM*, 26(11), 964-971.

Habaib, T. N., Mariani, S., & Arifudin, R. (2018). Penentuan harga opsi Asia menggunakan metode simulasi Monte Carlo dengan teknik reduksi variansi. *Unnes Journal of Mathematics*, 7(1), 28-37.

Han, H., & Wu, X. (2003). A fast numerical method for the Black-Scholes equation of American options. *SIAM Journal on Numerical Analysis*, 41(6), 2081-2095.

Irawan, W. O., Rosha, M., dan Permana, D. (2019). Penentuan harga opsi dengan model Black-Scholes menggunakan metode beda hingga Center Time Center Space (CTCS). *Journal of Mathematics UNP*. 4(1), 72-77.

Mooy, M. N., Rusgiyono, A., & Rahmawati, R. (2017). Penentuan harga opsi put dan call tipe Eropa terhadap saham menggunakan model black-scholes. *Jurnal Gaussian*, 6(3), 407-417.

Nadia, S., Sulistianingsih, E., & Imro'ah, N. (2018). Penentuan harga opsi tipe Eropa dengan metode binomial. *Bimaster: Buletin Ilmiah Matematika, Statistika dan Terapannya*, 7(2), 127-124.

Pakpahan, K. (2003). Strategi investasi di pasar modal. *The Winners*, 4(2), 138-147.

Qur'ani, A. M., Kasse, I., dan Syata, I. (2020). Harga opsi call tipe Eropa menggunakan simulasi Monte Carlo dan antithetic variate. *Jurnal Matematika dan Statistika serta Aplikasinya*, 8(2), 7-14.

Utomo, L. L. (2000). Instrumen derivatif: Pengenalan dalam strategi manajemen risiko perusahaan. *Jurnal Akuntansi dan Keuangan*, 2(1), 53-68.

Wati, N. L. P. K., Dharmawan, K., & Sari, K. (2018). Perbandingan kekonvergenan metode Conditional Monte Carlo dan antithetic variate dalam menentukan harga opsi call tipe Barrier. *E-Jurnal Matematika*, 7(3), 271-277.

Yafiz, M. (2008). Saham dan pasar modal syariah: konsep, sejarah dan perkembangannya. *Jurnal Miqot*, 32(2), 232-246.

Zahroh, A. (2015). Instrumen pasar modal. *Iqtishoduna: Jurnal Ekonomi Islam*, 4(1), 51-65.