

Analisis Komparatif Metode Black Scholes, Gram Charlier Expantions, *Variance-Gamma*, dan *Anthitetic Variate Simulations* dalam Estimasi Harga Opsi Call Tipe Eropa pada Top 9 Saham S&P 500

Annisa Sekartierra Mulyanto¹, Erlin Shofiana², Cintya Kusumawardhani³

¹²³ Program Studi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara No. 21, Bulaksumur, Yogyakarta, 55281, Indonesia

¹annisasekartieramulyanto@mail.ugm.ac.id

²erlinshofiana0804@mail.ugm.ac.id

³cintyakusumawardhani@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Penentuan harga opsi call sangat penting untuk memberikan fleksibilitas bagi investor dalam mengelola risiko dan memanfaatkan peluang di pasar keuangan. Berbagai metode estimasi harga opsi telah dikembangkan, termasuk Model *Black-Scholes*, *Gram-Charlier*, *Variance Gamma*, dan Simulasi *Antithetic Variate*. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis komparatif antara metode-metode tersebut dalam menghitung harga opsi call pada saham-saham di indeks S&P 500. Penelitian ini menggunakan data harga saham historis dari sembilan perusahaan (Top 9) di indeks S&P 500 selama periode 14 Oktober 2023 hingga 14 Oktober 2024. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa distribusi log return saham tidak mengikuti distribusi normal, yang mempengaruhi akurasi model Black-Scholes. Oleh karena itu, metode Gram-Charlier dan Variance Gamma yang memperhitungkan skewness dan kurtosis memberikan hasil yang lebih akurat, terutama pada saham dengan distribusi return yang tidak simetris. Metode Simulasi Antithetic Variate juga menunjukkan hasil yang sebanding dengan metode Variance Gamma. Namun, berdasarkan perhitungan MAPE, metode Variance Gamma secara umum memberikan estimasi harga opsi call yang lebih mendekati harga pasar dibandingkan model lainnya dengan MAPE sebesar 3,545%. Simulasi Variance Gamma terbukti lebih efektif dalam menangani distribusi return yang *heavy-tailed* dan asimetris sehingga lebih sesuai untuk pasar keuangan yang lebih kompleks. Penelitian ini menyimpulkan bahwa metode *Variance Gamma* merupakan pendekatan yang lebih tepat untuk menghitung harga opsi call di pasar nyata.

Keyword: Saham, Opsi, Opsi Call, *Black-Scholes*, *Gram-Charlier*, *Variance Gamma*, Simulasi *Antithetic Variate*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Opsi adalah hak (bukan kewajiban) untuk membeli atau menjual suatu aset keuangan atau komoditas pada harga yang telah disepakati dalam jangka waktu tertentu [1]. Dalam praktiknya, opsi memberikan fleksibilitas kepada investor untuk melakukan manajemen risiko atau mengambil peluang spekulatif dengan biaya yang relatif rendah dibandingkan membeli aset dasar secara langsung [2]

Salah satu model penentuan harga opsi yang banyak digunakan adalah Model Black-Scholes. Model ini berbasis persamaan diferensial parsial dan dirancang untuk menentukan harga opsi Eropa dengan asumsi log return harga saham berdistribusi normal [3]. Namun, asumsi ini sering

tidak sesuai dengan kondisi pasar nyata yang menunjukkan skewness dan kurtosis yang signifikan. Untuk mengatasinya, salah satu pendekatan yang sering digunakan adalah Gram-Charlier expansion, yang menambahkan koreksi skewness dan kurtosis pada model Black-Scholes untuk meningkatkan akurasi harga opsi [4].

Alternatif lainnya adalah model Variance Gamma, yang memperluas asumsi Gerakan Brown Geometris dengan memperhitungkan distribusi return harga saham yang *heavy-tailed* dan asimetris [5]. Selain itu, metode simulasi Monte Carlo dengan pengurangan variansi, seperti Antithetic Variate, sering digunakan untuk meningkatkan efisiensi dalam menghitung harga opsi berdasarkan model yang lebih kompleks ini.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja Model Black-Scholes, Gram-Charlier expansion, Variance Gamma, dan Antithetic Variate dalam menghitung harga opsi call, dengan harapan memperoleh metode yang lebih akurat untuk berbagai kondisi pasar.

1.2 Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan harga opsi call dengan membandingkan beberapa metode, yaitu Black-Scholes, Gram-Charlier expansion, Variance Gamma, dan pendekatan Antithetic Variate. Dengan menganalisis kinerja masing-masing metode, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan tentang akurasi dan efisiensi berbagai pendekatan dalam memperhitungkan karakteristik pasar, seperti skewness dan kurtosis dalam distribusi return saham. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi metode yang paling sesuai dengan kondisi pasar keuangan nyata.

2. METODOLOGI

2.1 Opsi dan Opsi Call

Opsi adalah kontrak finansial yang memberikan hak, tetapi bukan kewajiban, untuk membeli atau menjual sejumlah aset tertentu (underlying asset) pada tanggal dan harga yang telah ditentukan sebelumnya. Sebagai instrumen derivatif, opsi memungkinkan individu atau investor untuk berspekulasi terhadap pergerakan harga suatu aset dasar, baik naik maupun turun, tanpa harus memiliki aset tersebut secara langsung.

Berdasarkan fungsinya, terdapat dua jenis opsi, yaitu put dan call. Opsi put adalah hak untuk menjual sejumlah aset dasar (underlying asset) dengan harga kesepakatan (strike price) pada waktu jatuh tempo (maturity date). Sedangkan opsi call, adalah hak untuk membeli sejumlah aset dasar dengan harga kesepakatan, pada waktu jatuh tempo [6].

Jika S_t adalah harga saham di pasar pada waktu t dan K adalah *strike price*, maka keuntungan akibat menggunakan opsi beli adalah

$$C = \max(S_t - K, 0)$$

2.2 Black Scholes

Model Black-Scholes adalah salah satu model matematika yang paling terkenal dan banyak digunakan dalam dunia keuangan untuk menentukan harga opsi (option pricing). Model ini diperkenalkan oleh Fischer Black dan Myron Scholes pada tahun 1973. Harga opsi model Black-Scholes dipengaruhi oleh beberapa variabel yakni; harga saham pada waktu sekarang (S_0), harga kontrak atau *strike price* (K), waktu jatuh tempo (T), suku bunga bebas resiko atau *risk free rate* (r), dan volatilitas return (σ).

Formula harga opsi beli Black-Scholes dapat dituliskan sebagai

$$C_{BS} = S_0[N(d_1)] - Ke^{-rT}[N(d_2)]$$

dengan

$$d_1 = \frac{\ln \frac{S_0}{K} + (r + \frac{1}{2}\sigma^2)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

2.3 Gram Charlier

Gram-Charlier adalah metode yang digunakan untuk memperluas distribusi probabilitas, terutama distribusi normal, dengan mengenalkan nilai koreksi berdasarkan skewness (kemiringan) dan kurtosis (keruncingan) dari data. Metode Gram-Charlier ini menggunakan ekspansi matematis Gram-Charlier dimana distribusi probabilitas yang digunakan akan diuraikan menjadi distribusi normal standar dengan koreksinya. [6]

Penggunaan Gram-Charlier dalam penentuan harga opsi bukan merupakan tambahan atau perluasan dari model Black-Scholes, melainkan untuk memperbaiki asumsi distribusi return yang digunakan dalam Black-Scholes. Adapun perhitungan harga opsi beli tipe Eropa menurut ekspansi Gram-Charlier adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}
C_{GC} &= e^{-rT} E[\max(S_T - K, 0)] \\
&= C_{BS} + \frac{\mu_3}{3!} I_1 + \frac{\mu_4 - 3}{4!} I_2 \\
&= C_{BS} + \mu_3 Q_3 + (\mu_4 - 3) Q_4
\end{aligned}$$

dengan

$$\begin{aligned}
C_{BS} &= S_0 N(d_1) - K e^{-rT} N(d_1 - \sigma\sqrt{T}) \\
Q_3 &= \frac{1}{3!} S_0 \sigma\sqrt{T} ((n(d_1)(2\sigma\sqrt{T} - d_1) \\
&\quad + \sigma^2 T N(d_1)) \\
Q_4 &= \frac{1}{4!} S_0 \sigma\sqrt{T} \left(n(d_1)(d_1^2 - 3\sigma\sqrt{T}(d_1 - \sigma\sqrt{T}) \right. \\
&\quad \left. - 1) + (\sigma\sqrt{T})^3 N(d_1) \right) \\
d_1 &= \frac{\ln \frac{S_0}{K} + \left(r + \frac{\sigma^2}{2} \right) T}{\sigma\sqrt{T}}
\end{aligned}$$

2.4 Variance Gamma

Metode *variance gamma* adalah model stokastik yang dikembangkan untuk menangkap karakteristik dari distribusi return, seperti *skewness* (kemiringan) dan *kurtosis* (keruncingan) yang sering tidak dapat dijelaskan oleh model berbasis distribusi normal [5]. Dalam model ini, proses *variance gamma* didefinisikan sebagai kombinasi proses Brownian dengan drift $b(t; \theta, \sigma)$ serta proses gamma dengan unit mean rate $\gamma(t; 1, \nu)$, sebagaimana formula berikut.

$$X(t; \sigma, \nu, \theta) = b(\gamma(t; 1, \nu); \theta, \sigma)$$

Variabel random *variance gamma* yang berdistribusi normal $X(t)$ dapat dijabarkan sebagai

$$X_{VG}(t) = \theta g + \sigma\sqrt{g}Z$$

di mana Z adalah variabel random mengikuti distribusi normal standar dan g adalah variabel random yang mengikuti distribusi gamma dengan rata-rata t dan varians vt . Parameter utama dalam model ini meliputi σ untuk menggambarkan volatilitas, θ untuk menangkap asimetri (*skewness*), dan ν untuk merepresentasikan ketebalan ekor distribusi (*kurtosis*). Hal ini

membuat model *variance gamma* lebih fleksibel dibandingkan model klasik seperti *Black-Scholes*.

Menurut Paskalia *et al.* (2022), parameter-parameter tersebut bisa diestimasi dengan metode momen dan menghasilkan formula estimasi parameter berikut [5].

$$\begin{aligned}
\hat{\sigma} &= \sqrt{\text{Var}(X)} \\
\hat{\theta} &= \frac{\sigma \text{Skewness}(X)}{3\nu} \\
\hat{\nu} &= \frac{\text{Kurtosis}(X)}{3} - 1
\end{aligned}$$

Estimator parameter tersebut akan digunakan dalam model estimasi harga opsi jual yang didefinisikan sebagai:

$$S(t) = S(0) \exp[(r + \omega)t + X_{VG}(t)]$$

di mana

$$\omega = \frac{1}{\nu} \ln \left(1 - \theta\nu - \frac{1}{2}\sigma^2\nu \right)$$

dan

$$X_{VG}(t) = \theta g + \sigma\sqrt{g}Z.$$

2.5 Antithetic Variance Reduction Simulations

Antithetic Variance Reduction Simulation merupakan teknik simulasi yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi Monte Carlo dengan mengurangi variansi dari estimasi tanpa meningkatkan jumlah sampel. Metode ini memanfaatkan pasangan sampel yang saling berkaitan (antitetik) untuk menghasilkan hasil yang lebih stabil dan konvergen dengan lebih sedikit iterasi dibandingkan metode Monte Carlo biasa. Dengan menciptakan pasangan sampel yang memiliki hubungan terbalik, fluktuasi atau bias dari satu sampel dapat dikompensasi oleh pasangan sampelnya. Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan yaitu:

1) Membangkitkan bilangan acak

Pertama, bangkitkan bilangan acak Z yang berdistribusi normal standar $N(0,1)$ dan pasangan antitetiknya yaitu $-Z$.

2) Simulasi harga akhir saham

Menghitung harga saham akhir untuk Z dan $-Z$ dengan model harga saham Black-Scholes.

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

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

3) Menghitung harga opsi call (*pay off*) untuk pasangan antitetik

$$C^{(1)} = e^{-rT} \max(S_T^{(1)} - K, 0)$$

$$C^{(2)} = e^{-rT} \max(S_T^{(2)} - K, 0),$$

4) Estimasi harga opsi akhir

Harga opsi diestimasi dengan perhitungan rata-rata kedua nilai *pay off* sebagaimana berikut.

$$\hat{C} = \frac{1}{2} [C^{(1)} + C^{(2)}]$$

2.6 MAPE

MAPE atau Mean Absolute Percentage Error adalah salah satu metrik evaluasi yang sering digunakan untuk melihat akurasi hasil ramalan suatu model. Perhitungan dari MAPE dapat dilakukan menggunakan formula berikut.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{actual - predicted}{predicted} \right|$$

MAPE sering digunakan karena kemudahannya dalam diinterpretasikan. Nilai MAPE akan menunjukkan rerata perbedaan antara dua nilai, yaitu nilai hasil peramalan dengan nilai asli pada data. Untuk melakukan perbandingan model, MAPE dapat dijadikan pembanding dimana jika nilai MAPE semakin mendekati 0 artinya model semakin baik dalam melakukan peramalan atau prediksi. [7]

3. DESKRIPSI DATA

Analisis komparatif metode estimasi harga opsi *call* dilakukan dengan menggunakan data harga saham-saham terkemuka di indeks S&P 500. Data ini mencakup ata harga saham historis dari

tanggal 14 Oktober 2023 hingga 14 Oktober 2024. [8] Fokus analisis kami adalah pada sembilan saham utama di indeks S&P 500 yang memiliki kapitalisasi pasar terbesar dan pengaruh signifikan terhadap indeks secara keseluruhan, dengan total 251 titik data harga saham. Perhitungan VaR dalam makalah ini akan menggunakan tingkat kepercayaan 95%.

Dalam analisis ini, saham yang dipilih didasarkan pada indeks S&P 500. Pemilihan saham dilakukan berdasarkan 9 saham teratas dari S&P 500 yang memiliki kapitalisasi pasar besar, likuiditas tinggi, dan didukung oleh fundamental yang kuat. Saham-saham ini mencakup perusahaan-perusahaan teknologi dan finansial besar, yang mencerminkan dinamika pasar saham global yang lebih luas.

Tabel 1. Saham Sektor Perbankan

Kode Saham	Perusahaan
NVDA	NVIDIA Corporation
AAPL	Apple Inc.
MSFT	Microsoft Corporation
AMZN	Amazon.com, Inc.
GOOG	Alphabet Inc. (Class C)
GOOGL	Alphabet Inc. (Class A)
META	Meta Platforms, Inc.
TSLA	Tesla, Inc.
BRK.B	Berkshire Hathaway Inc. (Class B)

Dalam analisis ini, saham yang digunakan adalah NVDA, AAPL, MSFT, AMZN, GOOG, GOOGL, META, TSLA, dan BRK.B sebagaimana dijabarkan pada tabel 1. Kesembilan emiten ini adalah perusahaan teratas dari indeks S&P 500.

Selain harga penutup saham, diambil pula harga strike opsi *call* yang jatuh tempo di tanggal 14 November 2024 yang pada penelitian ini dilambangkan sebagai K .

4. PEMBAHASAN

Bagian makalah ini akan melakukan perhitungan estimasi harga opsi beli menggunakan

empat metode, yaitu metode Black Scholes, Gram Charlier, Variance Gamma, dan Antithetic Variate. Namun, sebelum memasuki perhitungan kedua metode tersebut, akan dilakukan perhitungan *log return* harga saham penutupan.

4.1 Log Return

Dilakukan perhitungan *log return* terhadap harga penutupan setiap saham dalam rentang periode dari 14 November 2023 14 November 2024. Formulasi *log return* dapat dilihat pada rumus berikut.

$$\text{Log Return} = \log \left(\frac{S_t}{S_{t-1}} \right)$$

dimana S_t adalah harga penutupan pada waktu ke- t dan S_{t-1} adalah harga penutupan pada waktu ke- $t-1$.

4.2 Uji Normalitas Data

Selanjutnya dilakukan pengecekan normalitas untuk data *log return* masing masing saham menggunakan uji kolmogoriv smirnov. Hasil uji normalitas untuk masing-masing saham diringkas pada tabel 2.

Tabel 2. Uji Kolmogorov Smirnov

Saham	p-value	Kesimpulan
NVDA	0,000000	Tidak Normal
AAPL	0,000000	Tidak Normal
MSFT	0,000000	Tidak Normal
AMZN	0,000000	Tidak Normal
GOOG	0,000000	Tidak Normal
GOOGL	0,000000	Tidak Normal
META	0,000000	Tidak Normal
TSLA	0,000000	Tidak Normal
BRK.B	0,000000	Tidak Normal

4.3 Metode Black Scholes

Metode Black-Scholes dilakukan dengan menghitung harga opsi berdasarkan sejumlah parameter kunci, termasuk harga saham saat ini, harga strike, waktu jatuh tempo, tingkat suku bunga bebas risiko, dan volatilitas. Volatilitas ini diestimasi dengan menghitung standar deviasi dari rata-rata *log return* harian untuk setiap sektor.

Nilai volatilitas ini sangat penting karena secara langsung memengaruhi penentuan harga opsi dalam model Black-Scholes.

Tabel 3. Perhitungan Metode Black Scholes

Saham	S0	K	BS
NVDA	146.76	55	91.83490
AAPL	228.22	100	128.3561
MSFT	426.89	310	117.3094
AMZN	211.48	130	81.65705
GOOG	177.35	205	0.002678
GOOGL	175.58	105	70.72300
META	577.16	435	142.7524
TSLA	311.18	95	216.3093
BRK.B	467.7	457.7	11.81005

4.4 Metode Gram Charlier

Metode Gram-Charlier dilakukan dengan memperbaiki asumsi distribusi normal pada model Black-Scholes melalui pendekatan ekspansi Gram-Charlier. Metode ini tidak hanya mempertimbangkan rata-rata *log return* harian dan volatilitas, tetapi juga mengintegrasikan skewness (kemiringan distribusi) dan kurtosis (keruncingan distribusi) dari data *return* harian untuk setiap sektor. Dengan memasukkan kedua faktor ini, metode Gram-Charlier dapat menangkap penyimpangan distribusi *return* yang lebih kompleks dibandingkan model standar.

Tabel 4. Perhitungan Metode Gram Charlier

Saham	S0	K	GC
NVDA	146.76	55	91.837661
AAPL	228.22	100	128.35723
MSFT	426.89	310	117.30940
AMZN	211.48	130	81.65636
GOOG	177.35	205	0.037493
GOOGL	175.58	105	70.72300
META	577.16	435	142.8027
TSLA	311.18	95	216.3568
BRK.B	467.7	457.7	11.67926

4.5 Metode Variance Gamma

Metode variance gamma dimulai dengan menentukan estimasi parameter variance gamma. Hasil estimasi parameter variance gamma dapat dilihat melalui tabel 5.

Tabel 5. Estimasi Parameter Variance Gamma

Saham	Sigma	Theta	Nu
NVDA	0.1814	0.0002	0.7913
AAPL	0.0789	0.0000	1.1702
MSFT	0.0694	-0.0001	0.8006
AMZN	0.0950	0.0000	1.5089
GOOG	0.0927	-0.0000	1.9592
GOOGL	0.0933	0.0000	2.0535
META	0.1244	0.0001	6.5756
TSLA	0.2112	0.0007	1.5042
BRK.B	0.0506	0.0000	1.4553

Selanjutnya dengan melakukan simulasi sebanyak $N = 100000$ kali

$$S(i) = S(0) \exp[(r + \omega)t + \theta g_i + \sigma \sqrt{g_i} Z_i]$$

Dan menghitung pay off setiap simulasi

$$f(i) = e^{-rT} [\max(S(i) - K), 0]$$

Diperoleh

$$\text{harga opsi call} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_i$$

Tabel 6. Harga Opsi Call Variance Gamma dengan Simulasi 100000 kali

Saham	S0	K	VG
NVDA	146.76	55	91.8272
AAPL	228.22	100	128.3657
MSFT	426.89	310	117.3054
AMZN	211.48	130	81.6528
GOOG	177.35	205	0.0215
GOOGL	175.58	105	70.7308
META	577.16	435	142.7900
TSLA	311.18	95	216.2585
BRK.B	467.7	457.7	10.7677

4.6 Metode Antithetic Variate Simulations

Metode *antithetic variate simulations* dimulai dengan membangkitkan bilangan random Z dan $-Z$ masing-masing sebanyak $n_{sim}=100000$. Kemudian, bilangan tersebut digunakan untuk menghitung harga saham akhir S^+ dan S^- dengan parameter yang didapatkan pada metode *variance gamma* sebelumnya. Harga saham tersebut digunakan untuk menghitung harga opsi untuk pasangan antitetik. Harga opsi akhir dihitung dari rata-rata harga opsi pasangan antitetik, sebagaimana dijabarkan pada tabel 7.

Tabel 7. Harga Opsi Call Anthitetic Variate Simulations dengan Simulasi 100000 Kali

Saham	S0	K	AVS
NVDA	146.76	55	91.8352
AAPL	228.22	100	128.3555
MSFT	426.89	310	117.3104
AMZN	211.48	130	81.6567
GOOG	177.35	205	0.0256
GOOGL	175.58	105	70.7230
META	577.16	435	142.7867
TSLA	311.18	95	216.3053
BRK.B	467.7	457.7	10.7590

4.7 MAPE

Metode evaluasi model dilakukan dengan menghitung Mean Absolute Percentage Error (MAPE), yang digunakan untuk mengukur akurasi prediksi harga opsi yang dihasilkan oleh model. MAPE mengukur seberapa besar rata-rata kesalahan prediksi dalam bentuk persentase dari nilai aktual, memberikan gambaran tentang seberapa dekat prediksi model dengan data pasar yang sebenarnya. Dalam konteks penelitian ini, MAPE dihitung untuk setiap sektor berdasarkan selisih antara harga opsi yang diprediksi oleh model dan harga opsi aktual di pasar. Hasil perhitungan MAPE untuk evaluasi akurasi model di setiap sektor dapat dilihat melalui Tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan MAPE

Saham	Last Price Ops	MAPE BS	MAPE GC	MAPE BS	MAPE AVS
NVDA	86.17	6.169%	6.17%	6,160%	6,574%
AAPL	126.98	1.072%	1.07%	1,079%	1,078%
MSFT	117.50	0.162%	0.16%	0,165%	0,161 %
AMZN	83.14	1.816%	1.81%	1,788%	1,784%
GOOG	0.02	646%	46.65%	7,500%	28%
GOOGL	72.72	2.82%	2.82%	2,735%	2,746 %
META	141.50	0.877%	0.91%	0,991%	0,909%
TSLA	218.6	1.05%	1.03%	1,071%	1,049%
BRK.B	12.02	1.77%	2.91%	10,424%	10,49%
Rata-rata		73.62%	7.063%	3,545%	5,835%

5. KESIMPULAN

Penelitian ini membandingkan empat metode penentuan harga opsi call, yaitu Black-Scholes, Gram-Charlier expansion, Variance Gamma, dan Antithetic Variate Simulations, dengan menggunakan data harga saham dari sembilan perusahaan terbesar di indeks S&P 500. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa masing-masing metode memiliki tingkat akurasi dan efisiensi yang berbeda, tergantung pada karakteristik distribusi log return saham. Metode Black-Scholes, meskipun sederhana dan efisien, cenderung kurang akurat untuk saham dengan distribusi return yang tidak normal, seperti yang ditunjukkan oleh hasil uji Kolmogorov-Smirnov. Gram-Charlier expansion dan Variance Gamma memberikan perbaikan dengan mempertimbangkan skewness dan kurtosis, tetapi metode Variance Gamma menunjukkan keunggulan dalam menangani distribusi return yang heavy-tailed.

Metode Antithetic Variate Simulations, meskipun secara teoretis mampu mengurangi variansi hasil simulasi, menunjukkan performa yang sebanding dengan Variance Gamma dalam hal akurasi. Namun, metode ini lebih memakan waktu karena membutuhkan simulasi berpasangan. Berdasarkan Mean Absolute

Percentage Error (MAPE), metode Gram-Charlier dan Variance Gamma secara umum menghasilkan harga opsi yang lebih mendekati harga pasar dibandingkan metode lainnya dengan MAPE sebesar 3,545%. Dengan demikian, penelitian ini menyimpulkan bahwa untuk kondisi pasar nyata yang kompleks, metode Variance Gamma adalah pilihan yang lebih tepat karena mampu menangkap distribusi return saham yang tidak simetris dan memiliki ekor berat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hull, J. C. (2009). *Options, Futures, and Other Derivatives*. Pearson.
- [2] Black, F., & Scholes, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, 81(3), 637–654.
- [3] Corrado, C. J., & Su, T. (1996). Skewness and kurtosis in S&P 500 index returns implied by option prices. *The Journal of Financial Research*, 19(2), 175–192.
- [4] Madan, D. B., & Seneta, E. (1990). The Variance Gamma (VG) model for share market returns. *Journal of Business*, 63(4), 511–524.
- [5] Paskalia, B. H., Nugraha, R. C., & Wirawan, D. B. (2022). Variance gamma model and its

development for stocks call option prices estimation. *International Journal of Financial and Investment Studies (IJFIS)*, 3(1), 43–51. <https://doi.org/10.9744/ijfis.3.1.43-51> [5] Paskalia, B.H.P., Nugraha.,

- [6] Agustina, D., & Zulfa, F. S. (2021). Estimasi Harga opsi beli Tipe Eropa Menggunakan Ekspansi Gram-Charlier Pada Saham luar negeri. *MAp (Mathematics and Applications) Journal*, 3(2), 134–141. <https://doi.org/10.15548/map.v3i2.3296>

- [7] Zach BobbittHey there. My name is Zach Bobbitt. I have a Masters of Science degree in Applied Statistics and I've worked on machine learning algorithms for professional businesses in both healthcare and retail. I'm passionate about statistics. (2021, May 10). *How to interpret MAPE values*. Statology. <https://www.statology.org/how-to-interpret-mape/>
- [8] Yahoo! (n.d.). *Yahoo Finance - Stock Market Live, quotes, Business & Finance News*. Yahoo! Finance. <https://finance.yahoo.com/>

