

Penentuan Harga Opsi Barrier dan Lookback Menggunakan Metode Interpolasi Lagrange

Windra Tasya Mahesa^{1, a)}, Wulan Nurul Kamilah^{2, b)}, Dadang Ruhiat^{3, c)}

¹²³ Program Studi Matematika FMIPA Universitas Bale Bandung

^{a)} windratasya21@gmail.com

^{b)} wulannurulkamilah@gmail.com

^{c)} dg.ruhiat@gmail.com

Abstrak. Artanadi, Dharmawan dan Jayanegara (2017) mendefinisikan bahwa opsi merupakan suatu kontrak antara *writer* dan *holder* yang dapat memberikan hak bukan kewajiban kepada *holder* untuk membeli atau menjual suatu aset pokok (*underlying asset*) pada atau sebelum masa jatuh tempo (*maturity time*) dengan harga pelaksanaan tertentu. Penentuan harga opsi yang tepat dan efisien sangat penting bagi para penerbit opsi. Penentuan harga opsi umumnya menggunakan model persamaan differensial parsial yang diselesaikan secara analitik. Namun, dalam sub selang yang cukup besar waktu komputasi akan membutuhkan waktu yang cukup lama. Pada penelitian ini, penentuan harga opsi, *Barrier* dan *Lookback* akan menggunakan metode interpolasi Lagrange. Metode tersebut akan meminimalkan waktu komputasi, sehingga penentuan harga opsi akan menjadi lebih efisien

PENDAHULUAN

Investasi adalah suatu tindakan atau kegiatan pengalokasian uang atau penanaman modal dalam jangka waktu tertentu yang dapat berupa dana, aset, atau instrument keuangan dengan tujuan untuk memperoleh keuntungan di masa depan. Untuk mengelola resiko dan memaksimalkan keuntungan biasanya investor menanamkan modal pada produk derivatif. Menurut Angelia (2016), salah satu produk derivatif yang banyak dipergunakan oleh investor adalah *option* (opsi). Menurut Angelia (2016), penentuan harga opsi yang tepat dan efisien sangat penting bagi para *writer*. Sejalan dengan pendapat Tampubolon (2009), ia mengatakan bahwa penentuan nilai opsi sangatlah penting untuk pemegang saham karena penentuan nilai opsi ini akan menentukan besarnya keuntungan atau kerugian.

Artanadi, Dharmawan dan Jayanegara (2017) mendefinisikan bahwa opsi adalah suatu kontrak antara *writer* dan *holder* yang dapat memberikan hak bukan kewajiban kepada *holder* untuk membeli atau menjual suatu aset pokok (*underlying asset*) pada atau sebelum masa jatuh tempo (*maturity time*) dengan harga pelaksanaan tertentu. Secara umum, opsi dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu opsi beli (*call option*) dan opsi jual (*put option*). Berdasarkan nilai *payoff* (keuntungan), opsi dibedakan menjadi 2 jenis yaitu opsi vanilla dan opsi eksotik. Opsi vanilla terdiri dari opsi Eropa dan opsi Amerika. Sedangkan jenis opsi eksotik (*path-dependent options*) yang sering banyak digunakan adalah opsi *lookback*, opsi *barrier*, dan opsi *reset*.

Dalam penelitian ini penulis akan mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Angelia (2016). Dalam penelitiannya, Angelia (2016) mengatakan bahwa untuk menentukan nilai opsi ini biasanya menggunakan model persamaan diferensial parsial yang diselesaikan secara analitik. Namun, untuk mencari solusi numeriknya dapat menggunakan model *lattice*. Untuk sub selang yang cukup besar, proses penentuan harga opsi akan membutuhkan waktu komputasi yang cukup lama sehingga perhitungannya tidak efektif. Maka dalam penelitiannya, Angelia (2016) menggunakan metode interpolasi untuk meminimalkan waktu komputasi. Dari hasil penelitiannya disimpulkan bahwa kekonvergenan dari metode interpolasi lebih baik dibandingkan dengan metode induksi mundur. Oleh karena itu, pada penelitian ini penulis akan menentukan harga opsi *Barrier* dan *Lookback* dengan menggunakan metode Interpolasi Lagrange untuk meminimalkan waktu komputasi.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang dipakai pada penelitian ini adalah penelitian terapan. Sumber penelitian diperoleh dari <https://finance.yahoo.com/quote/MSFT/history?p=MSFT>. Pada Perusahaan *Microsoft Corporation (MSFT)* yang terhitung selama periode Bulan Januari 2023 sampai Bulan Desember 2023. Dalam melakukan analisis penelitian ini, peneliti menggunakan metode Interpolasi Lagrange untuk meminimalkan waktu komputasi.

Adapun analisis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Mengambil data saham harian melalui <https://finance.yahoo.com/quote/MSFT/history?p=MSFT> pada Perusahaan *Microsoft Corporation (MSFT)*.
2. Menentukan model pergerakan harga saham.
3. Menentukan Harga Opsi *Barrier* dan *Lookback* dengan menggunakan metode Induksi Mundur.
4. Menentukan Harga Opsi *Barrier* dan *Lookback* dengan metode Interpolasi Lagrange untuk mengurangi waktu komputasi.
5. Melakukan komputasi pada semua Harga Opsi.
6. Membandingkan hasil komputasi antara Metode Induksi Mundur dan Metode Interpolasi Lagrange.
7. Menarik Kesimpulan.

MODEL PERGERAKAN HARGA SAHAM

Misal S_t adalah harga saham saat waktu t . Diperoleh definisi *return* pada suatu selang waktu $[t, \Delta t]$ tanpa dividen, yaitu :

$$\hat{R}_{t+\Delta t, t} = \frac{S_{t+\Delta t, t} - S_t}{S_t} \quad (1)$$

Misal, selang waktu $[0, T]$ dipartisi menjadi N subselang seragam, harga-harga saham dalam selang adalah $S_0, S_1, S_2, \dots, S_N$. Apabila definisi *return* saham dihipotesis oleh logaritma natural rasio harga saham definisi tersebut akan memenuhi sifat aditif. Sehingga, diperoleh model harga saham berdistribusi *log-normal*, yaitu :

$$S_t = S_0 e^{(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2)t + \sigma\sqrt{t}Z}, \text{ dengan } Z \sim N(0,1) \quad (2)$$

Dengan parameter drift dan parameter volatilitas dari harga saham sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{\Delta t}} \quad \& \quad \mu = \frac{1}{\Delta t} \left(\tilde{\mu} + \frac{1}{2} \tilde{\sigma}^2 \right) \quad (3)$$

OPSI LOOKBACK

Opsi *Lookback* merupakan jenis lain dari tipe eksotik, dimana nilai *payoff*-nya bergantung pada nilai minimum atau harga maksimum saham dari waktu awal sampai jatuh tempo (Sidarto, Syamsuddin, & Sumarti, 2019). Opsi *Lookback* dibagi menjadi dua jenis, yaitu *floating Lookback* dan *fixed Lookback*. Dalam penelitian ini jenis yang digunakan adalah *floating Lookback*.

Misalkan S_0 menyatakan harga saham saat ini, Δt menyatakan selang waktu dengan jumlah sub selang M , r menyatakan suku bunga, dan σ menyatakan standar deviasi saham. Maka, payoff yang diperoleh adalah

$$C_{floating}(S_T, T) = \begin{cases} S_T - \min_{0 \leq i \leq M} S_{t_i}, & \text{jika } S_T > \min_{0 \leq i \leq M} S_{t_i} \\ 0, & \text{jika lainnya} \end{cases} \quad (4)$$

$$P_{floating}(S_T, T) = \begin{cases} \max_{0 \leq i \leq M} S_{t_i} - S_T, & \text{jika } S_T < \max_{0 \leq i \leq M} S_{t_i} \\ 0, & \text{jika lainnya} \end{cases} \quad (5)$$

(Angelia, 2016).

OPSI BARRIER

Dalam buku yang ditulis oleh Sidarto, Syamsuddin, & Sumarti, opsi *Barrier* merupakan opsi yang memiliki nilai *payoff* yang bergantung pada lintasan harga saham sebelum jatuh tempo. Dalam opsi *barrier* terdapat suatu harga saham pembatas (*barrier*) B untuk menentukan aktif atau tidaknya opsi selama masa sebelum jatuh tempo. Opsi *barrier* dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu *barrier knock-out options* dan *barrier knock-in options*.

Opsi *barrier knock-out* akan hidup selama harga saham tidak menyentuh nilai pembatas. Sedangkan, opsi *barrier knock-in options* akan hidup hanya saat setelah harga saham menyentuh nilai pembatas. Misalkan K menyatakan *strike price* dan S menyatakan harga saham saat ini. Maka, *payoff*-nya adalah sebagai berikut :

- **Barrier knock-out options down-and-out jika $H < S$**

$$DO_{call}(S_T, T) = \begin{cases} S_T - K & \text{Jika } S_T > K \text{ dan } S_t > H \quad \forall t \in [0, T] \\ 0 & \text{Jika lainnya} \end{cases} \quad (6)$$

$$DO_{put}(S_T, T) = \begin{cases} K - S_T & \text{Jika } S_T < K \text{ dan } S_t > H \quad \forall t \in [0, T] \\ 0 & \text{Jika lainnya} \end{cases} \quad (7)$$

(Mentang, 2016).

- **Barrier knock-out options up-and-out jika $H > S$**

$$UO_{call}(S_T, T) = \begin{cases} S_T - K & \text{Jika } S_T > K \text{ dan } S_t < H \quad \forall t \in [0, T] \\ 0 & \text{Jika lainnya} \end{cases} \quad (8)$$

$$UO_{put}(S_T, T) = \begin{cases} K - S_T & \text{Jika } S_T < K \text{ dan } S_t < H \quad \forall t \in [0, T] \\ 0 & \text{Jika lainnya} \end{cases} \quad (9)$$

(Mentang, 2016).

- **Barrier knock-in options down-and-in jika $H < S$**

$$DI_{call}(S_T, T) = \begin{cases} S_T - K & \text{Jika } S_T > K \text{ dan } \exists t \in [0, T]: S_t \leq H \\ 0 & \text{Jika lainnya} \end{cases} \quad (10)$$

$$DI_{put}(S_T, T) = \begin{cases} K - S_T & \text{Jika } S_T < K \text{ dan } \exists t \in [0, T]: S_t \leq H \\ 0 & \text{Jika lainnya} \end{cases} \quad (11)$$

(Mentang, 2016).

- **Barrier knock-in options up-and-in jika $H > S$**

$$UI_{call}(S_T, T) = \begin{cases} S_T - K & \text{Jika } S_T > K \text{ dan } \exists t \in [0, T]: S_t \geq H \\ 0 & \text{Jika lainnya} \end{cases} \quad (12)$$

$$UI_{put}(S_T, T) = \begin{cases} K - S_T & \text{Jika } S_T < K \text{ dan } \exists t \in [0, T]: S_t \geq H \\ 0 & \text{Jika lainnya} \end{cases} \quad (13)$$

(Mentang, 2016).

INTERPOLASI LAGRANGE

Metode Interpolasi merupakan bentuk interpolasi yang sederhana untuk mendapatkan nilai diantara dua data dengan menghubungkan dua titik data dengan garis lurus. Interpolasi bertujuan untuk membangun sebuah kurva melalui titik-titik data yang dipergunakan. Fungsi interpolasi biasanya dipilih dari sekelompok fungsi tertentu, salah satu yang sering digunakan adalah fungsi polinomial. Interpolasi Lagrange diterapkan untuk mendapatkan

fungsi polinomial berderajat tertentu yang melewati sejumlah titik data. Berikut bentuk polinomial Lagrange derajat $\leq n$ adalah

$$P_n(x) = y_0 \left(\frac{(x-x_1)(x-x_2)\dots(x-x_n)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)\dots(x_0-x_n)} \right) + y_1 \left(\frac{(x-x_0)(x-x_2)\dots(x-x_n)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)\dots(x_1-x_n)} \right) + \dots + y_n \left(\frac{(x-x_0)(x-x_1)\dots(x-x_{n-1})}{(x_n-x_0)(x_n-x_1)\dots(x_n-x_{n-1})} \right) \quad (14)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Harga Opsi Lookback

Untuk menentukan harga opsi serta selang kepercayaannya digunakan program Matlab dengan menggunakan metode simulasi *Monte Carlo*. Program ini menggunakan data fiktif dengan $S_0 = 239,58$, $K = 245$, $r = 0,06$, $\sigma = 0,2441$ dan $T = 1$ tahun. Adapun r adalah suku bunga, σ adalah volatilitas, T adalah waktu satu tahun kerja, S_0 adalah harga saham awal, K adalah *strike price*. Diketahui titik-titik data yang dihitung dengan menggunakan metode simulasi *Monte Carlo* $(M; V_{0,0})$: (1000; 48.0528), (2000; 48.6195), (3000; 48.2811) untuk opsi *call* dan $(M; V_{0,0})$: (1000; 39.2397), (2000; 39.4997), (3000; 40.0412) untuk opsi *put*.

Tabel 1. Harga Opsi *Lookback* Microsoft Cooperation

Harga Opsi Lookback Microsoft Cooperation						
M	CALL	Selang Kepercayaan	Interpolasi Lagrange CALL	PUT	Selang Kepercayaan	Interpolasi Lagrange PUT
1000	48.0528	45.1489 - 50.9566	48.0528	39.2397	37.4764 - 41.0029	39.2397
2000	48.6195	46.7151 - 50.5239	48.6195	39.4997	38.2334 - 40.7660	39.4997
3000	48.2811	46.7002 - 49.8621	48.2811	40.0412	39.0233 - 41.0592	40.0412
4000	47.2573	45.9274 - 48.5871	47.0376	39.2486	38.3733 - 40.1240	40.8642
5000	48.1271	46.9050 - 49.3492	44.8890	39.3807	38.6070 - 40.1545	41.9687
6000	47.8997	46.8085 - 48.9910	41.8353	39.9968	39.2787 - 40.7149	43.3547
7000	47.1624	46.1594 - 48.1654	37.8765	39.8576	39.1908 - 40.5244	45.0222
8000	47.7310	46.7578 - 48.7042	33.0126	39.8571	39.2323 - 40.4819	46.9712
9000	47.2322	46.3305 - 48.1339	27.2436	39.4138	38.8283 - 39.9993	49.2017
10000	46.8978	46.0483 - 47.7474	20.5695	39.0525	38.5026 - 39.6024	51.7137

Tabel 2. Waktu Komputasi Harga Opsi *Lookback* Microsoft Cooperation

Waktu Komputasi Opsi Lookback Microsoft Cooperation				
M	CALL	PUT	Interpolasi Lagrange CALL	Interpolasi Lagrange PUT
1000	1.804960	2.693740	0.001796	0.001073
2000	2.178663	1.784065	0.001127	0.001029
3000	1.950529	1.761874	0.001173	0.001079
4000	3.280743	1.993423	0.001148	0.001063
5000	2.135778	2.167640	0.001037	0.001060
6000	2.874277	3.020022	0.001077	0.001050
7000	4.032047	4.007826	0.001142	0.001073

8000	5.501068	5.073736	0.001028	0.001125
9000	7.544111	6.888999	0.001136	0.001089
10000	8.835760	8.983882	0.001050	0.001070

Berdasarkan nilai opsi *call* dan *put* pada tabel 1 di atas, dapat dilihat bahwa pada selang M 1000-10000 dengan menggunakan metode simulasi *Monte Carlo* memiliki nilai setiap selangnya tidak jauh berbeda dan semakin banyak langkah M maka jarak selang kepercayaan 95% semakin kecil. Sedangkan dengan menggunakan metode interpolasi lagrange semakin banyak langkah M, nilai opsi *call* semakin kecil, sedangkan nilai opsi *put* semakin besar. Berdasarkan waktu komputasinya, dapat dilihat pada tabel 2 bahwa metode interpolasi lagrange memberikan waktu komputasi yang lebih cepat dibanding dengan metode simulasi *Monte Carlo*.

Penentuan Harga Opsi Barrier

Untuk menentukan harga opsi *Barrier* digunakan program Matlab dengan menggunakan metode Trinomial *Kamrad-Ritchken*. Berikut ini hasil penggunaan program pada data riil *Microsoft Cooperation* dengan parameter $S = 239,58$, $K = 245$, $r = 0,06$, $\sigma = 0,2441$, $B(down) = 225$, $B(up) = 265$ dan $T = 1$ tahun. Diketahui titik-titik data yang dihitung dengan menggunakan induksi mundur $(M; V_{0,0})$: (100; 27.5509), (200; 27.5325), (300; 27.5436) untuk opsi *call down*, $(M; V_{0,0})$: (100; 18.7057), (200; 18.6861), (300; 18.6969) untuk opsi *put down*, $(M; V_{0,0})$: (100; 27.5401), (200; 27.5360), (300; 27.5436) untuk opsi *call Up* dan $(M; V_{0,0})$: (100; 18.6956), (200; 18.6897), (300; 18.6970) untuk opsi *put Up*.

Tabel 3. Harga Opsi *Barrier Call* *Microsoft Cooperation*

Harga Opsi CALL Microsoft Cooperation						
M	Down and Out	Down and In	Interpolasi Lagrange Down	Up and Out	Up and In	Interpolasi Lagrange Up
100	18.7534	8.7975	27.5509	0.0893	27.4509	27.5401
200	18.4515	9.0809	27.5325	0.2112	27.3248	27.5360
300	17.7176	9.8261	27.5436	0.1689	27.3748	27.5436
400	17.2523	10.2873	27.5842	0.0957	27.4440	27.5629
500	17.2513	10.2873	27.6543	0.1532	27.3818	27.5939
600	15.2198	12.3177	27.7539	0.0962	27.4425	27.6366
700	15.2194	12.3176	27.8830	0.0962	27.4425	27.6910
800	15.2197	12.3196	28.0416	0.0966	27.4426	27.7571
900	15.2195	12.3195	28.2297	0.1403	27.3983	27.8349
1000	16.5224	11.0149	28.4473	0.1362	27.4008	27.9244

Tabel 4. Waktu Komputasi Opsi *Barrier Call* *Microsoft Cooperation*

Waktu Komputasi Opsi CALL Microsoft Cooperation						
M	Down and Out	Down and In	Interpolasi Lagrange Down	Up and Out	Up and In	Interpolasi Lagrange Up
100	0.009378	0.007088	0.001279	0.012562	0.007313	0.001129
200	0.019465	0.018891	0.001195	0.020905	0.014771	0.001130
300	0.042155	0.046489	0.001212	0.093607	0.040296	0.001120
400	0.116044	0.101930	0.001194	0.162757	0.112925	0.001179

500	0.214129	0.226472	0.001514	0.357578	0.194143	0.001410
600	0.401050	0.451745	0.001252	0.612636	0.333351	0.001390
700	0.532925	0.566343	0.001121	0.975293	0.519640	0.001159
800	0.940285	0.860032	0.001634	1.339450	0.774187	0.001126
900	1.382497	1.279329	0.001103	1.529883	1.162041	0.001184
1000	1.937059	1.705458	0.001158	2.073892	1.472779	0.001107

Tabel 5. Harga Opsi *Barrier Put* Microsoft Cooperation

Harga Opsi PUT Microsoft Cooperation						
M	<i>Down and Out</i>	<i>Down and In</i>	Interpolasi Lagrange Down	<i>Up and Out</i>	<i>Up and In</i>	Interpolasi Lagrange Up
100	0.2425	18.4633	18.7057	12.6456	6.0548	18.6956
200	0.1778	18.5084	18.6861	13.8701	4.8196	18.6897
300	0.1487	18.5482	18.6969	13.1979	5.4990	18.6970
400	0.1306	18.5621	18.7381	12.6385	6.0543	18.7175
500	0.1307	18.5608	18.8097	13.3403	5.3476	18.7512
600	0.0739	18.6164	18.9117	12.6379	6.0535	18.7981
700	0.0740	18.6158	19.0441	12.6377	6.0532	18.8582
800	0.0746	18.6175	19.2069	12.6380	6.0540	18.9315
900	0.0745	18.6172	19.4001	13.2956	5.3956	19.0180
1000	0.1072	18.5827	19.6237	13.2465	5.4431	19.1177

Tabel 6. Waktu Komputasi Opsi *Barrier Put* Microsoft Cooperation

Waktu Komputasi Opsi PUT Microsoft Cooperation						
M	<i>Down and Out</i>	<i>Down and In</i>	Interpolasi Lagrange Down	<i>Up and Out</i>	<i>Up and In</i>	Interpolasi Lagrange Up
100	0.010807	0.012277	0.001215	0.008567	0.010974	0.001107
200	0.027904	0.017122	0.001117	0.014705	0.016509	0.001298
300	0.048779	0.038276	0.001238	0.050028	0.035320	0.001150
400	0.151245	0.112085	0.001102	0.108281	0.092815	0.001114
500	0.228520	0.234773	0.001116	0.199818	0.188586	0.001322
600	0.520734	0.378667	0.001191	0.334230	0.334206	0.001151
700	0.692228	0.602350	0.001142	0.522977	0.502551	0.001606
800	0.917635	0.896756	0.001179	0.780857	0.783153	0.001188
900	1.411328	1.188479	0.001120	1.079477	1.085573	0.001108
1000	1.875856	1.869257	0.001170	1.501846	1.489160	0.001278

Berdasarkan nilai opsi *call* dan *put* pada tabel 3 dan tabel 5 di atas, dapat dilihat bahwa dengan menggunakan metode interpolasi lagrange dan trinomial *Kamrad Ritchken* hasil harga opsi mendekati nilai eksaknya serta memiliki kekonvergenan yang baik. Berdasarkan hasil komputasinya, dapat dilihat pada tabel 4 dan 6 bahwa

metode interpolasi lagrange memberikan waktu komputasi yang lebih cepat dibanding dengan metode *Kamrad Ritchken*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan diperoleh model pergerakan harga saham *Microsoft Cooperation* $S(t) = 239,58e^{(0,10587)t+0,2441\sqrt{248}Z}$ dengan $Z \sim N(0,1)$, $\mu = 0.2441$, $\sigma = 0.5253$ dan $r = 6\%$. Dengan selang $M = 1000$ diperoleh harga opsi *Lookback* dengan menggunakan metode simulasi *Monte Carlo* adalah untuk opsi *Call* 48.0528 dengan selang kepercayaan 45.1489 – 50.9566 dan waktu komputasi 1.804960 serta untuk opsi *Put* 39.2397 dengan selang kepercayaan 37.4764 – 41.0029 dan waktu komputasi 2.693740. Sedangkan dengan metode simulasi interpolasi Lagrange harga opsi *Lookback* adalah 48.0528 untuk opsi *Call* dengan waktu komputasi 0.001796 dan 39.2397 untuk opsi *Put* dengan waktu komputasi 0.001073. Harga Opsi *Barrier* dengan menggunakan metode Trinomial *Kamrad Ritchken* adalah 27.5373 untuk opsi *Call down* dengan waktu komputasi 1.937059, 27.5370 untuk opsi *Call up* dengan waktu komputasi 2.073892, 18.6899 untuk opsi *Put down* dengan waktu komputasi 1.875856 dan 18.6897 untuk opsi *Put up* dengan waktu komputasi 1.501846. Sedangkan dengan metode simulasi interpolasi Lagrange harga opsi *Barrier* adalah 28.4473 untuk opsi *call down* dengan waktu komputasi 0.001158, 27.9244 untuk opsi *Call up* dengan waktu komputasi 0.001107, 19.6237 untuk opsi *Put down* dengan waktu komputasi 0.001170, dan 19.1177 untuk opsi *Put up* dengan waktu komputasi 0.001278. Serta berdasarkan tabel hasil komputasi untuk setiap opsi, dapat disimpulkan bahwa metode interpolasi lagrange memiliki waktu komputasi yang lebih cepat dibandingkan dengan metode induksi mundur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan jurnal ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan dan Kerjasama dari berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada rekan-rekan yang telah membantu dalam penulisan jurnal ini. Penulis tidak lupa mengucapkan terimakasih kepada Pak Fadli Aziz, M.Mat selaku pengelola Jurnal Riset Matematika dan Sains Terapan (JRMST) yang telah memberikan kesempatan untuk bisa mempublikasikan artikel penelitian di JRMST ini.

REFERENSI

1. Angelia, I. (2016). Penentuan harga opsi path-dependent dengan metode interpolasi. *Skripsi*, Bandung : Institut Teknologi Bandung.
2. Artanadi, N. N. A., Dharmawan, K., & Jayanegara, K. (2017). Penentuan harga opsi beli tipe dengan metode monte carlo-control variate. *E-Jurnal Matematika*, 6(1), 29-36. <https://doi.org/10.24843/MTK.2017.v06.i01.p145>.
3. Cahyaningrum, R. N., Prabowo, A., & Sihwaningrum, I. (2022). Penentuan nilai opsi *barrier* dengan model binomial dan aplikasinya pada harga penutupan saham harian netflix, inc. *Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Terapannya (Senamantra)*, 3(2022), 221-136. <http://repository.unsoed.ac.id/id/eprint/19474>.
4. Hayes, A. (2023). Invesment basics explained with types to invest in. *Investopedia*. [Investment Basics Explained With Types to Invest in \(investopedia.com\)](https://www.investopedia.com/terms/i/investmentbasics/).
5. Mentang, C. (2016). Penentuan harga opsi *barrier* diskrit menggunakan model adaptive mesh. *Skripsi*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
6. Muis, M. (2017). Penentuan harga opsi saham tipe amerika menggunakan metode elemen hingga. *Skripsi*. Makasar : Universitas Islam Negeri Alauddin Makasar.
7. Pramuditya, S. A. (2017). Penentuan harga opsi Asia dengan metode Monte Carlo. *Jurnal Matematika "Mantik"*, 3(1), 44-48. <https://doi.org/10.15642/mantik.2017.3.1.46-50>.
8. Pratiwi, D. M. (2022). Penentuan Harga Opsi *Barrier* Dengan Metode Monte Carlo Probabilistik. *Skripsi*. Universitas Khatolik Parahyangan.
9. Sidarto, K. A., Syamsuddin, M., & Sumarti, N. (2019). *Matematika Keuangan*. Bandung : ITB PRESS.
10. Tampubolon, G. (2009). Penentuan Harga Opsi *Barrier* Dengan Model Trinomial *Ritchken*. *Skripsi*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.