

**PERHITUNGAN HARGA OPSI *BARRIER* MENGGUNAKAN  
METODE *QUASI MONTE CARLO HALTON* DAN *SOBOL***

**SKRIPSI**

**OLEH  
CAHYO TEGUH DWI PRASETYO  
NIM. 210601110100**



**PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
2025**

**PERHITUNGAN HARGA OPSI *BARRIER* MENGGUNAKAN  
METODE *QUASI MONTE CARLO HALTON* DAN *SOBOL***

**SKRIPSI**

**Diajukan Kepada  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)**

**Oleh  
Cahyo Teguh Dwi Prasetyo  
NIM. 210601110100**

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
2025**

**PERHITUNGAN HARGA OPSI *BARRIER* MENGGUNAKAN  
METODE *QUASI MONTE CARLO HALTON* DAN *SOBOL***

**SKRIPSI**

Oleh  
**Cahyo Teguh Dwi Prasetyo**  
**NIM. 210601110100**

Telah Disetujui Untuk Diuji

Malang, 15 April 2025

Dosen Pembimbing I

  
Abdul Aziz, M.Si  
NIP. 19760318 200604 1 002

Dosen Pembimbing II

  
Erna Herawati, M.Pd  
NIPPPK. 19760723 202321 2 006

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Matematika  
  
Dr. Ely Susanti, M.Sc  
NIP. 19741129 200012 2 005

**PERHITUNGAN HARGA OPSI *BARRIER* MENGGUNAKAN  
METODE *QUASI MONTE CARLO HALTON* DAN *SOBOL***

**SKRIPSI**

Oleh  
**Cahyo Teguh Dwi Prasetyo**  
**NIM. 210601110100**

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi  
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)

Tanggal 4 Juni 2025

Ketua Penguji : Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si



Anggota Penguji 1 : Ria Dhea Layla Nur Karisma, M.Si

Anggota Penguji 2 : Abdul Aziz, M.Si



Anggota Penguji 3 : Erna Herawati, M.Pd

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Matematika  
  
Dr. Elly Susanti, M.Sc  
NIP. 19741129 200012 2 005  


## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Cahyo Teguh Dwi Prasetyo  
NIM : 210601110100  
Program Studi : Matematika  
Fakultas : Sains dan Teknologi  
Judul Skripsi : Perhitungan Harga Opsi *Barrier* Menggunakan Metode  
*Quasi Monte Carlo Halton dan Sobol*

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri, bukan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan dan pemikiran saya, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 4 Juni 2025

Yang membuat pernyataan,



Cahyo Teguh Dwi Prasetyo

NIM.210601110100

## **HALAMAN MOTO**

*"Yang kuat bukan mereka yang tidak pernah jatuh, tapi mereka yang selalu*

*bangkit ketika jatuh"*

*(Honda Tadakatsu)*

*"Hidup ini memang tak adil, jadi biasakanlah dirimu"*

*(Patrick Star)*

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Skripsi ini penulis persembahkan kepada Ibuk dan Bapak tercinta yang senantiasa memberikan doa, semangat, dukungan, dan motivasi yang tak pernah putus dalam setiap langkah penulis, kepada keluarga yang selalu menjadi sumber kekuatan dan tempat berpulang di saat lelah, serta kepada diri sendiri yang telah berjuang, bertahan, dan tidak menyerah hingga akhirnya mampu menyelesaikan skripsi ini.

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Perhitungan Harga Opsi *Barrier* Menggunakan Metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Matematika di Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Tak lupa, shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat, dan para pengikutnya hingga akhir zaman.

Skripsi ini dapat terselesaikan berkat dukungan, bimbingan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat dan terima kasih, penulis menyampaikan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A., selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si, selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dan selaku penguji utama.
3. Dr. Elly Susanti, S.Pd., M.Sc, selaku ketua Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Abdul Aziz M.Si, selaku dosen pembimbing I yang dengan sabar memberikan arahan, motivasi, serta ilmu yang sangat berharga dalam penyusunan skripsi ini.
5. Erna Herawati M.Pd, selaku dosen pembimbing II yang dengan penuh kesabaran dan ketelitian memberikan masukan demi kesempurnaan, terutama dalam integrasi islam pada penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh dosen Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Orang tua, yang selalu mendoakan, mendukung, serta memberikan kasih sayang yang tiada henti dalam setiap langkah kehidupan penulis.
8. Keluarga dan sahabat-sahabat, yang selalu memberikan semangat, motivasi, dan kebersamaan dalam proses penyelesaian skripsi ini.



9. Seluruh mahasiswa Program Studi Matematika angkatan 2021, yang selalu memberi dukungan antar mahasiswa.
10. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah membantu dalam berbagai bentuk hingga skripsi ini dapat diselesaikan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca serta menjadi sumbangsih dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Malang, 4 Juni 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                                  |              |
|------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>                                       | <b>i</b>     |
| <b>HALAMAN PENGAJUAN .....</b>                                   | <b>ii</b>    |
| <b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>                                 | <b>iii</b>   |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>                                  | <b>iv</b>    |
| <b>PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN .....</b>                         | <b>v</b>     |
| <b>HALAMAN MOTO .....</b>                                        | <b>vi</b>    |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>                                 | <b>vii</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR .....</b>                                      | <b>viii</b>  |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                                          | <b>x</b>     |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                        | <b>xii</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                                       | <b>xiii</b>  |
| <b>DAFTAR SIMBOL .....</b>                                       | <b>xiv</b>   |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>                                     | <b>xvi</b>   |
| <b>ABSTRAK .....</b>                                             | <b>xvii</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                            | <b>xviii</b> |
| <b>مستخلص البحث .....</b>                                        | <b>xix</b>   |
| <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>                                   | <b>1</b>     |
| 1.1 Latar Belakang .....                                         | 1            |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                        | 6            |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                                      | 7            |
| 1.4 Manfaat Penelitian .....                                     | 7            |
| 1.5 Batasan Masalah .....                                        | 8            |
| 1.6 Definisi Istilah .....                                       | 9            |
| <b>BAB II KAJIAN TEORI .....</b>                                 | <b>11</b>    |
| 2.1 Teori Pendukung .....                                        | 11           |
| 2.1.1 Saham .....                                                | 11           |
| 2.1.1.1 Pengertian Saham .....                                   | 11           |
| 2.1.1.2 <i>Return</i> Saham .....                                | 11           |
| 2.1.1.3 Volatilitas Saham .....                                  | 12           |
| 2.1.2 Opsi .....                                                 | 13           |
| 2.1.3 Opsi <i>Barrier</i> .....                                  | 15           |
| 2.1.4 Distribusi Normal .....                                    | 18           |
| 2.1.5 Proses Stokastik .....                                     | 18           |
| 2.1.6 Metode Simulasi <i>Monte Carlo</i> .....                   | 23           |
| 2.1.7 <i>Quasi Monte Carlo</i> .....                             | 24           |
| 2.1.8 Metode <i>Black-Scholes</i> pada Opsi <i>Barrier</i> ..... | 26           |
| 2.1.9 Galat .....                                                | 29           |
| 2.2 Kajian Integrasi Topik dengan Al-Quran/Hadits .....          | 30           |
| 2.2.1 Anjuran Berinvestasi dengan Cara yang Halal dan Baik ...   | 31           |
| 2.2.2 Pentingnya Kejujuran dalam Bertransaksi .....              | 33           |
| 2.2.3 Larangan Riba .....                                        | 34           |
| 2.3 Kajian Topik dengan Teori Pendukung .....                    | 35           |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>                           | <b>37</b>    |
| 3.1 Jenis Penelitian .....                                       | 37           |
| 3.2 Data dan Sumber Data .....                                   | 37           |
| 3.3 Prosedur Penelitian .....                                    | 37           |

|                                                               |            |
|---------------------------------------------------------------|------------|
| 3.4 <i>Flowchart</i> .....                                    | 38         |
| <b>BAB IV PEMBAHASAN</b> .....                                | <b>40</b>  |
| 4.1 Deskriptif Data .....                                     | 40         |
| 4.1.1 Menvisualisasikan Data .....                            | 40         |
| 4.1.2 Menentukan Parameter yang Diperlukan .....              | 41         |
| 4.1.3 Menghitung Volatilitas Saham .....                      | 42         |
| 4.2 Implementasi <i>Quasi Monte Carlo</i> .....               | 44         |
| 4.2.1 Membangkitkan Barisan <i>Quasi Monte Carlo</i> .....    | 45         |
| 4.2.2 Mensimulasi Pergerakan Harga Saham .....                | 47         |
| 4.2.3 Menghitung Nilai <i>Payoff</i> .....                    | 50         |
| 4.2.4 Menghitung Harga Opsi.....                              | 51         |
| 4.3 Perbandingan Harga Opsi.....                              | 52         |
| 4.3.1 Menghitung Harga Opsi Metode <i>Black-Scholes</i> ..... | 53         |
| 4.3.2 Perbandingan Harga Opsi dan Perhitungan Galat .....     | 53         |
| 4.3.3 Perbandingan Hasil Harga Opsi Melalui Galat.....        | 54         |
| 4.4 Kajian Penelitian dalam Prespektif Islam .....            | 57         |
| <b>BAB V PENUTUP</b> .....                                    | <b>61</b>  |
| 5.1 Kesimpulan.....                                           | 61         |
| 5.2 Saran untuk Penelitian Lanjutan .....                     | 62         |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....                                   | <b>63</b>  |
| <b>LAMPIRAN</b> .....                                         | <b>67</b>  |
| <b>RIWAYAT HIDUP</b> .....                                    | <b>103</b> |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabel 4.1</b> Parameter Perhitungan Harga Opsi .....                                 | 44 |
| <b>Tabel 4.2</b> Urutan Bilangan <i>Quasi Monte Carlo Halton</i> dan <i>Sobol</i> ..... | 45 |
| <b>Tabel 4.3</b> Urutan Bilangan Acak Z Pada Simulasi Pertama .....                     | 46 |
| <b>Tabel 4.4</b> Harga Opsi Metode <i>Black-Scholes</i> .....                           | 53 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 2.1</b> Posisi Opsi <i>Barrier Knock-Out</i> dan <i>Knock-In</i> .....     | 17 |
| <b>Gambar 3.2</b> <i>Flowchart</i> .....                                             | 39 |
| <b>Gambar 4.1</b> Plot Pergerakan Harga Saham MSFT .....                             | 40 |
| <b>Gambar 4.2</b> Pergerakan Harga Saham <i>Monte Carlo</i> Standar .....            | 48 |
| <b>Gambar 4.3</b> Pergerakan Harga Saham <i>Quasi Monte Carlo Halton</i> .....       | 48 |
| <b>Gambar 4.4</b> Pergerakan Harga Saham <i>Quasi Monte Carlo Sobol</i> .....        | 49 |
| <b>Gambar 4.5</b> Perbandingan Pergerakan Harga Saham .....                          | 50 |
| <b>Gambar 4.6</b> Konvergensi Harga Opsi Tipe <i>Up and Out</i> .....                | 55 |
| <b>Gambar 4.7</b> Konvergensi Harga Opsi Tipe <i>Down and Out</i> .....              | 55 |
| <b>Gambar 4.8</b> Plot Galat/ <i>Error</i> Harga Opsi Tipe <i>Up and Out</i> .....   | 56 |
| <b>Gambar 4.9</b> Plot Galat/ <i>Error</i> Harga Opsi Tipe <i>Down and Out</i> ..... | 57 |

## DAFTAR SIMBOL

|             |                                                                 |
|-------------|-----------------------------------------------------------------|
| $i$         | : Indeks periode waktu, dengan $i = 1, 2, \dots, n$             |
| $S_i$       | : Harga saham di waktu ke $i$                                   |
| $S_{i-1}$   | : Harga saham di waktu $i-1$                                    |
| $\sigma$    | : Volatilitas                                                   |
| $n$         | : Banyaknya data yang diteliti                                  |
| $sd$        | : Standar deviasi                                               |
| $\tau$      | : Panjang Jangka Interval Waktu                                 |
| $R_i$       | : <i>Return</i> harga saham ke $i$                              |
| $\bar{R}_i$ | : Rata-rata dari <i>return</i> ( <i>expected return</i> )       |
| $K$         | : <i>Strike price</i> (harga kesepakatan)                       |
| $B$         | : <i>Barrier</i>                                                |
| $V_C$       | : <i>Payoff call option</i>                                     |
| $V_P$       | : <i>Payoff put option</i>                                      |
| $V_{Cdi}$   | : <i>Payoff opsi down and in call</i>                           |
| $V_{Pdi}$   | : <i>Payoff opsi down and in put</i>                            |
| $V_{Cdo}$   | : <i>Payoff opsi down and out call</i>                          |
| $V_{Pdo}$   | : <i>Payoff opsi down and out put</i>                           |
| $V_{Cui}$   | : <i>Payoff opsi up and in call</i>                             |
| $V_{Pui}$   | : <i>Payoff opsi up and in put</i>                              |
| $V_{Cuo}$   | : <i>Payoff opsi up and out call</i>                            |
| $V_{Puo}$   | : <i>Payoff opsi up and out put</i>                             |
| $S_T$       | : Harga saham pada waktu jatuh tempo                            |
| $S_0$       | : Harga saham awal                                              |
| $S_{0+1}$   | : Harga saham pada waktu berikutnya                             |
| $\Delta t$  | : Interval waktu                                                |
| $\mu / r$   | : <i>Drift</i>                                                  |
| $S$         | : Nilai saham                                                   |
| $dt$        | : Periode waktu                                                 |
| $dz$        | : Variabel acak stokastik                                       |
| $Z$         | : Bilangan acak berdistribusi normal                            |
| $T$         | : Waktu jatuh tempo                                             |
| $F_C$       | : Harga opsi <i>call</i>                                        |
| $F_P$       | : Harga opsi <i>put</i>                                         |
| $M$         | : Banyaknya jumlah simulasi <i>Monte Carlo</i>                  |
| $e^{-rT}$   | : Faktor diskon                                                 |
| $Z_{qmch}$  | : Urutan barisan <i>Halton</i>                                  |
| $b$         | : Basis ( 2 untuk urutan Halton di basis 2)                     |
| $d_k$       | : Digit $k$ dari representasi $n$                               |
| $Z_{qmcs}$  | : Urutan barisan <i>Sobol</i>                                   |
| $V$         | : Vektor                                                        |
| $f_n$       | : Fungsi yang menghasilkan angka dalam basis biner untuk indeks |
| $q$         | : Nilai dividen                                                 |
| $N(d_1)$    | : Fungsi distribusi normal baku kumulatif $d_1$                 |
| $N(d_2)$    | : Fungsi distribusi normal baku kumulatif $d_2$                 |

|                     |                                                                                 |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| $\varepsilon$       | : Nilai galat                                                                   |
| $\varepsilon_R$     | : Nilai galat relatif                                                           |
| $\varepsilon_{R\%}$ | : Nilai persentase galat relatif                                                |
| $F_M$               | : Harga opsi hasil simulasi ( <i>Monte Carlo</i> dan <i>Quasi Monte Carlo</i> ) |
| $F_{BS}$            | : Harga opsi analitik dari model <i>Black-Scholes</i>                           |

## DAFTAR LAMPIRAN

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Lampiran 1.</b> Data Harga Saham Penutupan MSFT .....                                  | 69 |
| <b>Lampiran 2.</b> Data <i>Return</i> Harga Saham Penutupan MSFT .....                    | 74 |
| <b>Lampiran 3.</b> Perbandingan Pergerakan Harga Saham .....                              | 78 |
| <b>Lampiran 4.</b> <i>Error</i> Perbandingan Pergerakan Harga Saham .....                 | 80 |
| <b>Lampiran 3.</b> Harga Opsi Tipe <i>Barrier Up and Out</i> .....                        | 82 |
| <b>Lampiran 4.</b> Harga Opsi Tipe <i>Barrier Down and Out</i> .....                      | 84 |
| <b>Lampiran 5.</b> Galat/ <i>Error</i> Harga Opsi Tipe <i>Barrier Up and Out</i> .....    | 86 |
| <b>Lampiran 6.</b> Galat/ <i>Error</i> Harga Opsi Tipe <i>Barrier Down and Out</i> .....  | 88 |
| <b>Lampiran 7.</b> Script Perhitungan <i>Quasi Monte Carlo Halton</i> dan <i>Sobol</i> .. | 90 |



## ABSTRAK

Prasetyo, Cahyo Teguh Dwi. 2025. **Perhitungan Harga Opsi *Barrier* Menggunakan Metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol***. Skripsi. Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Abdul Aziz, M.Si. (II) Erna Herawati, M.Pd.

**Kata Kunci:** Opsi *Barrier*, *Quasi Monte Carlo*, Harga Opsi, *Black-Scholes*.

Penelitian ini membahas tentang perhitungan harga opsi *barrier* menggunakan metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol*. Dalam dunia investasi, investor sering mencari instrumen yang dapat membantu memperkirakan potensi keuntungan atau risiko dalam berinvestasi pada suatu perusahaan. Salah satu instrumen tersebut adalah opsi *barrier*, yaitu opsi yang memiliki batasan tertentu dalam eksekusinya. Untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi perhitungan harga opsi, metode *Quasi Monte Carlo* digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung harga opsi *barrier* menggunakan metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol* serta menganalisis keakuratannya dibandingkan dengan metode *Monte Carlo* standar dan model *Black-Scholes*. Pendekatan yang digunakan adalah kuantitatif dan studi literatur, dengan data berupa harga saham penutupan Microsoft Corporation (MSFT) dari 1 November 2022 hingga 31 Oktober 2024. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol* menghasilkan harga opsi yang lebih stabil seiring bertambahnya jumlah simulasi. Perhitungan galat menunjukkan bahwa pada opsi *put tipe up and out*, metode *Quasi Monte Carlo Halton* memberikan hasil terbaik dengan nilai galat sebesar 0,01391, sedangkan pada opsi *put tipe down and out*, metode *Quasi Monte Carlo Sobol* menghasilkan akurasi terbaik dengan nilai galat sebesar 0,00205.

## ABSTRACT

Prasetyo, Cahyo Teguh Dwi. 2025. **Barrier Option Price Calculation Using Quasi Monte Carlo Halton and Sobol Method**. Thesis. Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisors: (I) Abdul Aziz, M.Si. (II) Erna Herawati, M.Pd.

**Keywords:** Barrier Options, Quasi Monte Carlo, Option Pricing, Black-Scholes.

This study discusses the calculation of barrier option prices using the Quasi Monte Carlo Halton and Sobol methods. In the investment world, investors often look for instruments that can help estimate the potential profit or risk in investing in a company. One such instrument is a barrier option, which is an option that has certain limitations in its execution. To improve the efficiency and accuracy of option price calculations, the Quasi Monte Carlo method is used. This study aims to calculate the price of a barrier option using the Quasi Monte Carlo Halton and Sobol methods and analyze its accuracy compared to the standard Monte Carlo method and the Black-Scholes model. The approach used is quantitative and literature study, with data in the form of the closing stock price of Microsoft Corporation (MSFT) from November 1, 2022 to October 31, 2024. The results of the study show that the Quasi Monte Carlo Halton and Sobol methods produce more stable option prices as the number of simulations increases. Error calculations show that in the up and out type put option, the Quasi Monte Carlo Halton method gives the best results with a rror value of 0,01391, while in the down and out type put option, the Quasi Monte Carlo Sobol method produces the best accuracy with a error value of 0,00205.

## مستخلص البحث

براسيتيو، جهيو تيغوه دوي. ٢٠٢٥. حساب سعر خيار الحاجز باستخدام طريقة هالتون وسوبول كوازي  
مونت كارلو. البحث العلمي. قسم الرياضيات، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا  
مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (١) عبد العزيز، الماجستير في العلوم.  
(٢) إيرنا هيراواتي ، الماجستير في التربية

**الكلمات الأساسية:** خيار الحاجز، شبه مونت كارلو، سعر الخيار، بلاك-سكولز.

ناقس هذا البحث حساب أسعار الخيارات الحاجزة باستخدام طريقتي شبه مونت كارلو هالتون وسوبول. في  
عالم الاستثمار، غالبًا ما يبحث المستثمرون في عالم الاستثمار عن الأدوات التي يمكن أن تساعد في تقدير  
الربح أو المخاطرة المحتملة في الاستثمار في الشركة. من إحدى الأدوات هي خيار الحاجز، وخيار قيود معينة  
على التنفيذ. ولتحسين كفاءة ودقة حساب سعر الخيار، تم استخدام طريقة شبه مونت كارلو. هدفنا هذه  
الدراسة إلى حساب سعر خيار الحاجز باستخدام طريقة هالتون وسوبول شبه مونت كارلو وتحليل دقتها  
مقارنةً بطريقة مونت كارلو القياسية ونموذج بلاك-شولز. المنهج المستخدم في هذا البحث هو كمية وأدبية، مع  
استخدام البيانات في شكل أسعار إغلاق أسهم الشركة مايكروسوفت (*MSFT*) في الفترة من ١ نوفمبر  
٢٠٢٢ إلى أكتوبر ٢٠٢٤. أظهرت النتائج أن طريقتي شبه مونت كارلو هالتون وسوبول تنتج أسعار  
خيارات أكثر استقرارًا مع زيادة عدد عمليات المحاكاة. ظهرت حسابات الخطأ أنه في خيار البيع من النوع  
الصاعد والخارج، توفر طريقة شبه مونت كارلو هالتون أفضل النتائج بقيمة خطأ تبلغ ٠,٠١٣٩١، بينما في  
خيار البيع من النوع الهابط والخارج، تنتج طريقة شبه مونت كارلو سوبول أفضل دقة بقيمة خطأ تبلغ  
٠,٠٠٢٠٥.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Investasi sudah menjadi salah satu strategi keuangan individu dan institusi untuk mencapai tujuan finansial jangka panjang. Pasar investasi global telah mengalami pertumbuhan yang signifikan dalam dekade terakhir, dengan total aset yang dikelola mencapai lebih dari \$100 triliun (The World Bank, 2022). Namun, investasi juga membawa risiko yang perlu dikelola dengan bijak. Pentingnya penyebaran investasi bertujuan untuk mengurangi risiko yang berasal dari pasar (Bodie, 2018). Beberapa faktor seperti besar perusahaan, nilai saham terhadap nilai pasar, dan profitabilitas memiliki pengaruh signifikan terhadap *return* investasi (Fama & French, 2015). Di era digital ini, teknologi telah merevolusi cara orang berinvestasi, dengan munculnya platform perdagangan *online* yang mempermudah akses ke pasar modal. Meskipun perkembangan teknologi telah mempermudah akses ke pasar investasi, volatilitas tetap menjadi tantangan utama bagi investor di pasar saham.

Harga saham dapat berubah naik atau turun dalam hitungan waktu singkat (Linanda, 2018). Pengaruh naik turunnya harga saham dapat terlihat dari kemampuan suatu perusahaan dalam mempengaruhi harga saham di suatu pasar modal. Pada dasarnya semakin bagus kemampuan sebuah perusahaan, permintaan terhadap saham perusahaan itu akan menjadi tinggi, kemudian meningkatnya harga saham (Efendi & Ngatno, 2018). Dalam al-qur'an terdapat prinsip-prinsip yang mendorong kejujuran, transparansi, dan keadilan dalam aspek kehidupan, salah

satunya dalam investasi dan bisnis sebagaimana yang tertulis di dalam QS. Al-Baqarah ayat 282,

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا إِذَا تَدَايَيْتُمْ بِدَيْنٍ إِلَى أَجَلٍ مُّسَمًّى فَاكْتُبُوهُ الْآيَةُ ... (٢٨٢)

(“ Hai orang-orang yang beriman, apabila kamu bermuamalah tidak secara tunai untuk waktu yang ditentukan, hendaklah kamu menuliskannya ...” (Kementrian Agama, 2017)

Potongan ayat diatas ditekankan pentingnya dalam pencatatan yang baik dan transparansi di transaksi keuangan, yang sangat relevan dengan perdagangan saham di pasar modal. Dengan mencatat dan melaporkan kinerja perusahaan secara jujur dan transparan, investor bisa membuat suatu keputusan yang lebih adil dan lebih baik. Kondisi ini membuat investor semakin mencari alat dan strategi yang efektif untuk mengelola risiko, salah satunya melalui penggunaan derivatif seperti opsi yang dapat memberikan fleksibilitas tambahan dalam strategi investasi (Sayyid, 2015).

Opsi adalah sebuah keputusan yang bisa diperjual belikan dan nilai bergantung oleh sebuah nilai dari aset utama atau aset pokok (Lessy, 2013). Sedangkan itu menurut peneliti lain, Opsi adalah kontrak yang memberikan sebuah hak atau keputusan untuk menjual atau membeli suatu aset pada *strike price* (Hull, 2009). Opsi berdasarkan hak dari pemegangnya dibedakan menjadi dua, yaitu *call option* dan *put option* (Dewi & Ramli, 2018). *Call Option* merupakan opsi pemberi hak (tanpa kewajiban) terhadap pemegangnya untuk melakukan pembelian sejumlah aset tertentu sesuai dari harga kesepakatan dalam kontrak, pada kurun waktu dan harga yang telah ditentukan (Irawan dkk, 2019). Sementara itu, *Put Option* merupakan opsi pemberi hak (tanpa kewajiban) terhadap pemegangnya untuk melakukan penjualan sejumlah aset tertentu sesuai dari harga kesepakatan dalam kontrak, pada kurun waktu dan harga yang telah ditentukan (Dewi & Ramli,

2018). Dalam opsi, terdapat dua jenis utama, yaitu *vanilla option* (opsi standar) dan *exotic option* (Zubedi dkk, 2022). *Vanilla option* adalah opsi Eropa atau Amerika yang berkaitan dengan satu aset dasar (*underlying aset*) (Kamila dkk, 2017). Di sisi lain, *exotic option* meliputi opsi Asia, opsi *barrier*, dan opsi *Lookback*. (Higham, 2004). Salah satu jenis opsi eksotik yang dapat menawarkan harga opsi dengan berbagai tipe adalah opsi *barrier* (Kamila dkk, 2017).

Opsi *barrier* merupakan salah satu dari *exotic option* yang memiliki *payoff* bergantung pada apakah harga aset menembus batas tertentu (*barrier*) selama periode berlaku opsi tersebut. (Rahmawati, 2010). Sedangkan pendapat lain, Opsi *barrier* adalah opsi di mana pergerakan harga aset dasar dibatasi oleh suatu harga yang telah ditentukan sebelumnya (Haruman & Hendrawan, 2009). Opsi *barrier* terdiri dari 8 tipe, yaitu: *up and in call*, *up and in put*, *down and in call*, *down and in put*, *up and out call*, *up and out put*, *down and out call*, serta *down and out put* (Atmadjaja, 2000). Fungsi opsi *barrier* terhadap jual atau beli yang dilakukan oleh investor adalah sebagai alat pengatur keuntungan atau kerugian dari kedua pihak yang terlibat dalam transaksi opsi (Kamila dkk, 2017). Jadi, diperlukan penentuan metode yang baik dan tepat untuk proses perhitungan harga opsi *barrier*, metode yang dapat menghasilkan banyak simulasi untuk membantu investor dalam membeli atau menjual opsi adalah metode simulasi *monte carlo*.

Metode simulasi *Monte Carlo* adalah teknik yang melibatkan bilangan acak sebagai salah satu inputnya untuk digunakannya model deterministik (Russell & Taylor, 2011). Metode ini sering diterapkan dalam pemodelan yang menggunakan lebih dari satu pasangan parameter yang tidak pasti, nonlinier, dan kompleks (Walid, 2019). Model pergerakan harga saham untuk simulasi *Monte Carlo*

ditentukan berdasarkan harga saham sebelumnya yang dikalikan dengan nilai eksponensial dari dua komponen gerak *brown geometri* yaitu nilai *drift*, yang didapatkan melalui rata-rata dari *return* saham dan nilai variansinya, dan komponen yang kedua yaitu nilai standar deviasi yang dibangkitkan dengan nilai volatilitas harga saham tersebut (Anastasia, 2022). Metode simulasi *Monte Carlo* memiliki beberapa metode pengembangannya, salah satunya adalah *Quasi Monte Carlo*.

*Quasi Monte Carlo* adalah pengembangan dari metode *Monte Carlo* standar yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam simulasi. Perbedaan yang paling mencolok antara *Monte Carlo* standar dan *Quasi Monte Carlo* terdapat pada penggunaan bilangan acak yang diterapkan (Susanto & Kartowagiran, 2021). Sementara metode *Monte Carlo* menggunakan bilangan acak murni, *Quasi Monte Carlo* memanfaatkan deret bilangan yang hampir acak atau deret dengan selisih yang rendah. Hal ini menghasilkan konvergensi yang lebih cepat dan estimasi yang lebih akurat. Dalam konteks keuangan, metode *Quasi Monte Carlo* telah diterapkan untuk menghitung harga opsi Asia, membuktikan bahwa metode ini dapat menghasilkan estimasi harga opsi yang lebih presisi dengan jumlah simulasi yang lebih sedikit dibandingkan *Monte Carlo* standar (Widyastuti, dkk., 2019). Lebih lanjut, *Quasi Monte Carlo* dengan barisan *Sobol* telah digunakan dalam estimasi nilai *Value at Risk* (VaR) investasi saham, membuktikan bahwa metode ini mampu memberikan hasil yang lebih stabil dan konsisten dalam berbagai kondisi pasar (Fitriyani & Rasam, 2022). Penggunaan *Quasi Monte Carlo* dalam analisis keuangan di Indonesia semakin meningkat, terutama dalam manajemen risiko investasi.

Pada metode *Quasi Monte Carlo*, beberapa peneliti telah melakukan kajian penting. Lessy (2013) menunjukkan bahwa perhitungan menggunakan *Monte Carlo* standart pada harga opsi *barrier*, akan semakin mendekati nilai yang akurat seiring dengan meningkatnya jumlah simulasi ( $M$ ), sehingga lebar selang hasilnya akan semakin kecil. Putri (2018) menganalisis efektivitas metode *Monte Carlo* standart dalam penentuan harga kontrak opsi yang memiliki tipe Amerika. Sumampouw dkk (2020) memanfaatkan deret bilangan acak *Halton* untuk meningkatkan akurasi penentuan harga kontak opsi yang memiliki tipe *binary* pada harga saham PT. Gudang Garam, Tbk. Tessy (2018) menunjukkan bahwa barisan *Halton* memberikan distribusi bilangan acak yang lebih seragam dalam simulasi *Quasi Monte Carlo*. Putri dkk (2022) menemukan bahwa metode ini dapat meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam penentuan harga opsi yang memiliki tipe Eropa pada harga saham PT Telekomunikasi Indonesia. Laamena (2021) simulasi yang dilakukan dengan menggunakan opsi *barrier* menunjukkan bahwa harga opsi *call* tipe Eropa yang diperoleh melalui metode *Black-Scholes* lebih tinggi daripada harga opsi *call* tipe Eropa yang diperoleh melalui metode *Monte Carlo* Standart, sebaliknya, harga opsi *put* tipe Eropa yang diperoleh melalui metode *Black-Scholes* lebih rendah daripada harga opsi *put* tipe Eropa yang diperoleh melalui metode *Monte Carlo* standart. Penelitian-penelitian diatas menggarisbawahi keunggulan metode *Quasi Monte Carlo* dalam meningkatkan akurasi dan efisiensi penentuan harga opsi dan memberikan dasar yang kuat untuk penelitian selanjutnya.

Berdasarkan hasil penelitian-penelitian di atas penulis ingin meneliti tentang perhitungan harga opsi *barrier* menggunakan metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol*. Menurut Lessy (2013) Opsi *barrier* memiliki pembatas tertentu di harga



asetnya daripada opsi *vanilla*. Peneliti tertarik menggunakan opsi *barrier* karena *payoff*-nya bergantung pada apakah harga aset melewati *barrier* atau tidak, selama masa hidup opsi. Menurut Menurut Putri (2018) metode *Quasi Monte Carlo*, khususnya *Halton* dan *Sobol* menggunakan urutan angka yang lebih teratur dibandingkan metode *Monte Carlo* standart. Peneliti tertarik menggunakan metode *Quasi Monte Carlo* karena dapat meningkatkan efisiensi dan keakuratan perhitungan. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk mengaplikasikan metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol* dalam perhitungan harga opsi *barrier* menggunakan data saham Microsoft Corporation (MSFT). Peneliti menggunakan data pada perusahaan tersebut karena menyediakan opsi saham yang banyak diminati para investor. Selain itu, Microsoft merupakan salah satu perusahaan teknologi terbesar di dunia yang bergerak di bidang penyediaan perangkat lunak komputer, elektronik konsumen, PC, dan layanan terkait. Selanjutnya, hasil perhitungan metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol* dalam data tersebut akan dibandingkan dengan metode *Monte Carlo* standar dan *Black-Scholes*, dilakukan untuk mengevaluasi tingkat keakuratan harga opsi *barrier* yang ditentukan oleh metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hasil perhitungan harga opsi *barrier* menggunakan metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol*?

2. Bagaimana perbandingan hasil perhitungan harga opsi *barrier* menggunakan metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol* terhadap metode *Monte Carlo* standar dan *Black-Scholes*?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan hasil perhitungan harga opsi *barrier* menggunakan metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol*.
2. Menganalisis keakuratan harga opsi *barrier* menggunakan metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol* terhadap metode *Monte Carlo* standar dan *Black-Scholes*.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Bagi Penulis

Sebagai tambahan pengalaman dan pengembang keterampilan dalam menyusun karya tulis ilmiah yang baik dan benar.

2. Bagi Mahasiswa

Sebagai wawasan informasi dan tambahan literasi ilmiah untuk mengembangkan hasil penelitian dalam menyusun karya tulis ilmiah selanjutnya.

3. Program Studi

Sebagai referensi pengembangan pembelajaran mahasiswa Matematika dalam matakuliah Matematika Keuangan.

#### 4. Bagi Pelaku Pasar Saham

- a. Sebagai pemahaman dalam mengaplikasikan perhitungan opsi *barrier* dengan metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol* yang akan digunakan dalam pasar modal.
- b. Sebagai pertimbangan pengambilan kebijakan dalam perhitungan harga opsi saham.

### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah:

1. Tipe opsi *barrier* yang digunakan di dalam penelitian ini adalah opsi *barrier call* dan *put* jenis *down and out* dan *up and out* atau disebut juga tipe *knock-out*.
2. *Risk-free rate* diperoleh dari nilai rata-rata *return* saham.
3. Volatilitas harga saham diperoleh berdasarkan data historis.
4. Tidak menggunakan pembayaran dividen.
5. Banyak simulasi yang digunakan adalah 5000, dengan perhitungan harga opsi di setiap kelipatan 100.
6. Menggunakan *software* Matlab.
7. Batas konvergensi diambil 5 angka dibelakang koma.
8. Nilai *strike price* ditentukan lebih dari nilai awal harga saham.
9. Nilai *barrier* lebih dari nilai *strike price* pada tipe *up and out*, sedangkan nilai *barrier* kurang dari nilai *strike price* pada tipe *down and out*.

## 1.6 Definisi Istilah

1. Opsi : Kontrak yang memberikan sebuah hak atau keputusan untuk menjual atau membeli suatu aset.
2. Opsi *Barrier* : Jenis opsi yang memiliki level harga tertentu sebagai batas atas atau batas bawah, yang jika tercapai akan mengubah karakteristik opsi tersebut.
3. Opsi *call* : Hak untuk membeli aset pada harga dan waktu tertentu.
4. Opsi *put* : Hak untuk menjual aset pada harga dan waktu tertentu.
5. *Holder* : Pihak pemegang atau pembeli opsi.
6. *Writer* : Pihak yang menerbitkan opsi.
7. Harga saham awal : Harga saham awal yang nantinya akan menjadi nilai awal perhitungan harga saham.
8. Harga kesepakatan : Harga saham yang telah disepakati dalam kontrak.
9. *Payoff* : Keuntungan dari suatu transaksi keuangan, seperti opsi.
10. Volatilitas : Ukuran fluktuasi harga saham dalam jangka waktu tertentu.
11. *Risk-free rate* : Tingkat pengembalian yang dianggap bebas risiko.

12. *Quasi Monte Carlo* : Pengembangan dari metode *Monte Carlo* standar yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam simulasi menggunakan barisan acak yang lebih teratur.
13. Dividen : Bagian dari keuntungan yang didapatkan dari kinerja perusahaan.

## **BAB II**

### **KAJIAN TEORI**

#### **2.1 Teori Pendukung**

##### **2.1.1 Saham**

###### **2.1.1.1 Pengertian Saham**

Saham adalah bukti atas kepemilikan dari suatu perusahaan (Desiyanti, 2017). Pendapat lainnya, saham adalah bentuk investasi yang menunjukkan kepemilikan modal dalam sebuah perusahaan atau perseroan terbatas (BEI, 2023). Saham juga diartikan sebagai satuan nilai berbagai instrumen keuangan yang mengacu pada kepemilikan suatu perusahaan. Karena suatu perusahaan dikatakan mempunyai persentase kepemilikan, maka saham juga dapat diartikan sebagai simbol investasi modal dalam sebuah perusahaan, baik yang dilakukan oleh individu maupun oleh entitas hukum atau badan usaha. (Suratna, dkk., 2020). Dapat disimpulkan bahwa saham merupakan bukti penyertaan modal baik perseorangan maupun bukan perseorangan dalam kepemilikan suatu perusahaan.

###### **2.1.1.2 Return Saham**

*Return* saham menjadi faktor yang membuat investor untuk melakukan investasi, karena sebagai imbalan dari risiko yang diambil oleh investor dalam melakukan investasi (Halimatussadiah & Putra, 2021). Dividen dan *capital gain/lost* merupakan dua faktor utama yang berkontribusi terhadap *return* saham. Selisih atau perbedaan antara harga saham pada awal periode dan harga saham di akhir periode disebut sebagai *capital gain/lost*, dan merupakan

komponen pertama *return* saham. Di sisi lain, dividen merupakan keuntungan yang diberikan perusahaan kepada pemegang saham dalam jangka waktu tertentu (Setiawan & Triaryati, 2016). Rumus untuk menghitung *return* saham (Hull, 2012),

$$R_i = \ln \frac{S_i}{S_{i-1}} \quad (2.1)$$

di mana:

$i$  : Indeks periode waktu, dengan  $i=1,2,\dots,n$ ,

$R_i$  : *Return* saham ke  $i$ ,

$S_i$  : Harga saham di waktu ke  $i$ ,

$S_{i-1}$  : Harga saham di waktu  $i-1$ .

### 2.1.1.3 Volatilitas Saham

Volatilitas adalah fluktuasi harga yang terjadi akibat penyesuaian nilai aset yang diperdagangkan ketika informasi baru memasuki pasar (Anton, 2006). Volatilitas ini diukur dengan menggunakan standar deviasi, yang berfungsi untuk menentukan rentang harga harian dari perdagangan saham (Kariyam, 2017). Standar deviasi harga saham dihitung (Hull, 2012),

$$sd = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R}_i)^2} \quad (2.2)$$

dengan,

$$\bar{R}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (2.3)$$

diansumsikan bahwa 252 hari perdagangan dalam setahun dan di peroleh nilai  $\tau = \frac{1}{252}$ , sehingga rumus menghitung volatilitas harga saham adalah,

$$\sigma = \frac{sd}{\sqrt{\tau}} \quad (2.4)$$

di mana :

$\sigma$  : Volatilitas,

$sd$  : Standar deviasi,

$\tau$  : Panjang jangka interval waktu,

$n$  : Banyaknya data yang diteliti,

$\bar{R}_i$  : Rata-rata dari *return (expected return)*

### 2.1.2 Opsi

Opsi merupakan keputusan atau hak (bukan kewajiban) untuk menjual atau membeli suatu aset dengan periode waktu dan harga yang sudah ditentukan (Seydel, 2004). Terdapat dua kategori dasar derivatif keuangan yang dikenal sebagai opsi, yaitu *call option* dan *put option* (Lessy, 2013). *Call option* merupakan pemberi hak (tanpa kewajiban) untuk melakukan pembelian sejumlah aset acuan tertentu pada waktu dan harga yang sudah ditetapkan. Sebaliknya, *put option* merupakan pemberi hak (tanpa kewajiban) untuk melakukan penjualan sejumlah aset acuan tertentu pada waktu dan harga yang sudah ditetapkan (Seydel, 2004).

Keputusan mengenai tanggungan kontrak dari hak opsi diperlukan oleh pemegang opsi. Penentuan keputusan tergantung pada kondisi pasar dan jenis opsi tertentu yang dipertimbangkan. Dalam kasus opsi Eropa, pemegang opsi memiliki



opsi untuk mengabaikan opsi jika pada saat jatuh tempo harga saham dibawahnya harga kesepakatan opsi, maka tidak akan ada keuntungan yang diperoleh. Dalam situasi ini, akan lebih menguntungkan bagi pemegang opsi untuk melakukan pembelian saham yang sama dengan harga yang lebih rendah di pasar, daripada membelinya dari penulis opsi dengan harga kesepakatan yang lebih tinggi. Sebaliknya, dalam kondisi seperti itu, pemegang pasti akan menggunakan opsi *put*. Dengan membeli saham dari pasar dan kemudian menjualnya kepada penulis opsi dengan memberikan harga kesepakatan yang lebih tinggi dari pasar, pemegang opsi dapat memperoleh keuntungan (Seydel, 2004). Jika  $S_T$  merupakan harga saham di waktu  $T$  dan  $K$  merupakan *strike price*, diperoleh nilai *payoff* atau nilai keuntungan dari *call option* dan *put option* (Seydel, 2004):

untuk *call option*,

$$C(S_T, T) = \begin{cases} S_T - K, & S_T > K \\ 0, & S_T \leq K \end{cases} \quad (2.5)$$

untuk *put option*:

$$P(S_T, T) = \begin{cases} K - S_T, & S_T < K \\ 0, & S_T \geq K \end{cases} \quad (2.6)$$

sehingga, nilai *payoff* pada *call option* adalah,

$$V_c(S_T, T) = \max(S_T - K, 0) \quad (2.7)$$

sedangkan nilai *payoff* pada *put option* adalah,

$$V_p(S_T, T) = \max(K - S_T, 0) \quad (2.8)$$

di mana:

$V_C$  : *Payoff call option*,

$V_P$  : *Payoff put option*,

$S_T$  : Harga saham pada waktu jatuh tempo,

$T$  : Waktu jatuh tempo,

$K$  : *Strike price*/Harga kesepakatan.

### 2.1.3 Opsi *Barrier*

Opsi *barrier* adalah opsi yang pembayarannya bergantung pada apakah harga aset mencapai level tertentu selama periode tertentu (Hull, 2003). Opsi *barrier* adalah opsi yang pendapatannya bergantung pada ketercapaian harga aset ketika harga aset itu menyentuh atau tidak menyentuh. Opsi *barrier* dapat digunakan dengan tipe masing masingnya, tergantung pada apakah level harga tersebut harus tercapai terlebih dahulu sebelum opsi dapat diaktifkan atau dinonaktifkan. Jenis-jenis opsi *barrier* yaitu (Higham, 2004):

#### 1. *Down and in*

Opsi ini akan aktif jika harga saham turun dan menyentuh atau melewati *barrier*. Jika harga tidak menyentuh *barrier*, opsi ini tidak berlaku. Sehingga rumus *payoff*:

##### a. Untuk opsi *call*

$$V_{cdi}(S_T, T) = \begin{cases} (S_T - K, 0), & S_T \leq B \\ 0, & S_T > B \end{cases} \quad (2.9)$$

##### b. Untuk opsi *put*

$$V_{pdi}(S_T, T) = \begin{cases} (K - S_T, 0), & S_T \leq B \\ 0, & S_T > B \end{cases} \quad (2.10)$$

-

## 2. *Down and out*

Opsi ini tidak akan aktif jika harga saham turun dan menyentuh atau melewati *barrier*. Jika harga tidak menyentuh *barrier*, opsi ini berlaku.

Sehingga rumus *payoff*:

a. Untuk opsi *call*

$$V_{Cdo}(S_T, T) = \begin{cases} (S_T - K, 0), & S_T > B \\ 0, & S_T \leq B \end{cases} \quad (2.11)$$

b. Untuk opsi *put*

$$V_{Pdo}(S_T, T) = \begin{cases} (K - S_T, 0), & S_T > B \\ 0, & S_T \leq B \end{cases} \quad (2.12)$$

## 3. *Up and in*

Opsi ini akan aktif jika harga saham naik dan menyentuh atau melewati *barrier*. Jika harga menyentuh *barrier*, opsi ini berlaku. Sehingga rumus *payoff*:

a. Untuk opsi *call*

$$V_{Cui}(S_T, T) = \begin{cases} (S_T - K, 0), & S_T \geq B \\ 0, & S_T < B \end{cases} \quad (2.13)$$

b. Untuk opsi *put*

$$V_{Pui}(S_T, T) = \begin{cases} (K - S_T, 0), & S_T \geq B \\ 0, & S_T < B \end{cases} \quad (2.14)$$

## 4. *Up and out*

Opsi ini tidak akan aktif jika harga saham naik dan menyentuh atau melewati *barrier*. Jika harga tidak menyentuh *barrier*, opsi ini berlaku. Sehingga rumus *payoff*:

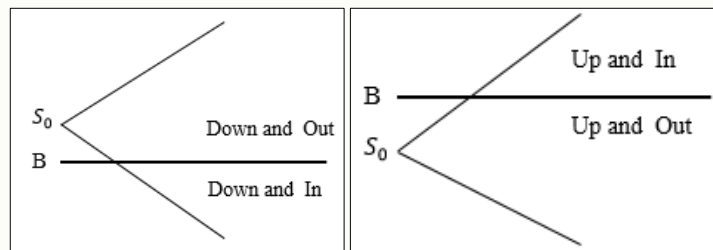
a. Untuk opsi *call*

$$V_{Cuo}(S_T, T) = \begin{cases} (S_T - K, 0), & S_T < B \\ 0, & S_T \geq B \end{cases} \quad (2.15)$$

b. Untuk opsi *put*

$$V_{Puo}(S_T, T) = \begin{cases} (K - S_T, 0), & S_T < B \\ 0, & S_T \geq B \end{cases} \quad (2.16)$$

Untuk mempermudah bagaimana kondisi dan posisi *barrier* nya, dan kapan harus menggunakan *barrier*. Berikut penjelasanya dalam bentuk gambar dibawah ini,



**Gambar 2.1** Posisi Opsi *Barrier Knock-Out* dan *Knock-In*

di mana:

$V_{Cdi}$  : *Payoff* opsi *down and in call*,

$V_{Pdi}$  : *Payoff* opsi *down and in put*,

$V_{Cdo}$  : *Payoff* opsi *down and out call*,

$V_{Pdo}$  : *Payoff* opsi *down and out put*,

$V_{Cui}$  : *Payoff* opsi *up and in call*,

$V_{Pui}$  : *Payoff* opsi *up and in put*,

$V_{Cuo}$  : *Payoff* opsi *up and out call*,

$V_{Puo}$  : *Payoff* opsi *up and out put*,

$B$  : *Barrier*.

### 2.1.4 Distribusi Normal

Salah satu jenis peubah acak yang paling penting adalah peubah acak kontinu dengan fungsi kepadatan tertentu. Jika  $X$  memiliki fungsi kepadatan (Higham, 2004),

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (2.17)$$

maka  $X$  mengikuti distribusi normal standar dan dinyatakan sebagai  $X \sim N(0,1)$ , di mana  $N$  adalah normal, 0 adalah nilai rata-rata, dan 1 adalah variansi. Jadi,  $X$  memiliki nilai harapan ( $E(X) = 0$ ) dan variansi ( $Var(X) = 1$ ). Secara lebih luas, jika peubah acak mengikuti distribusi  $N(\mu, \sigma^2)$ , maka mempunyai fungsi kepadatan,

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.18)$$

di mana:

$\mu$  : Rata-rata

$\sigma^2$  : Variansi

### 2.1.5 Proses Stokastik

Proses stokastik mencerminkan perubahan variabel yang terjadi secara acak dan berlangsung sepanjang waktu. Terdapat dua jenis proses stokastik, yaitu yang berhubungan dengan waktu diskrit dan yang berkaitan dengan waktu kontinu. Dalam proses stokastik waktu diskrit, nilai variabel hanya berubah pada waktu-waktu tertentu yang telah ditentukan. Di sisi lain, dalam proses stokastik

waktu kontinu, perubahan dapat berlangsung kapan saja tanpa terikat pada waktu-waktu tertentu.

Hull (2012) menyatakan bahwa proses *Markov* adalah sejenis proses stokastik di mana prediksi masa depan hanya didasarkan pada nilai variabel saat ini. Proses *Markov* selalu dianggap mengatur harga saham. Memprediksi masa depan hanya menggunakan nilai sekarang, bukan nilai historis, adalah mungkin jika harga saham tunduk pada proses *Markov*. Nilai setiap variabel yang berfluktuasi secara tidak terduga dari waktu ke waktu disebut proses stokastik.

Hanya nilai variabel saat ini yang penting untuk meramalkan keadaan di masa mendatang, menurut proses *Markov*, sejenis proses stokastik. Sering diasumsikan bahwa harga saham dalam situasi ini mengikuti proses *Markov*. Untuk melakukan prediksi mengenai harga di masa depan, informasi tentang harga di masa lalu tidak diperlukan, prediksi tersebut hanya bergantung pada nilai saat ini. Secara umum, proses stokastik menggambarkan dinamika perubahan nilai variabel seiring waktu dengan ketidakpastian yang melekat.

Jenis lain dari proses stokastik adalah proses *Wiener*. Prosedur ini dilakukan oleh variabel yang dipertimbangkan, yang memiliki variasi 1 dan rata-rata 0. Disebut *Wiener* apabila,

1. Perubahan  $\Delta z$  pada interval waktu pendek  $\Delta t$  adalah,

$$\Delta z = Z\sqrt{\Delta t} \quad (2.19)$$

dengan  $Z$  berdistribusi normal  $N(0,1)$

2. Nilai  $\Delta z$  pada 2 interval waktu pendek berbeda,  $\Delta t$  adalah saling bebas.

Perubahan rata-rata per unit waktu untuk suatu proses stokastik dikenal sebagai tingkat *drift*, dan variansi per unit waktu dikenal sebagai tingkat variansi. Proses *Wiener* dasar yang telah dikembangkan memiliki laju *drift* sebesar nol dan laju variansi sebesar 1,0. Laju *drift* nol berarti bahwa nilai yang diharapkan dari  $z$  pada waktu mendatang sama dengan nilai saat ini. Laju variansi 1,0 berarti bahwa variansi perubahan pada  $z$  dalam interval waktu sepanjang  $T$  adalah  $T$ . Proses *Wiener* yang digeneralisasi untuk suatu variabel  $x$  dapat didefinisikan dalam istilah  $dz$  (Hull, 2012),

$$dx = adt + bdZ \quad (2.20)$$

Dengan  $a$  dan  $b$  adalah konstanta.

Proses *Wiener* memiliki tingkat variansi per unit waktu sebesar 1.0. Maka,  $b$  kali proses *Wiener* memiliki tingkat variansi per unit waktu sebesar  $b^2$ . Dalam interval waktu kecil  $\Delta t$ , perubahan  $\Delta x$  pada nilai  $x$  diberikan oleh persamaan (2.19) dan (2.20),

$$\Delta x = a\Delta t + b\sqrt{\Delta t}Z \quad (2.21)$$

dengan  $Z$  berdistribusi normal.

Tipe proses stokastik lainnya, yang dikenal sebagai proses Itô, dapat didefinisikan. Ini adalah proses *Wiener* yang digeneralisasi di mana parameter  $a$  dan  $b$  merupakan fungsi dari nilai variabel yang mendasarinya,  $x$  dan waktu  $t$  (Hull, 2012),

$$dx = a(x,t)dt + b(x,t)dZ \quad (2.22)$$

*expected drift rate* maupun *variance rate* dari suatu proses Itô dapat berubah seiring waktu. Dalam interval waktu kecil antara  $t$  dan  $t + \Delta t$ , variabel berubah dari  $x$  menjadi  $x + \Delta x$ ,

$$\Delta x = a(x, t)\Delta t + b(x, t)\sqrt{\Delta t}Z \quad (2.23)$$

Harga sebuah opsi saham adalah fungsi dari harga saham yang mendasarinya dan waktu. Secara lebih umum, kita dapat mengatakan bahwa harga dari setiap derivatif adalah fungsi dari variabel stokastik yang mendasari derivatif tersebut dan waktu. Berdasarkan persamaan (2.22), dengan  $dz$  adalah proses *Wiener* dan  $a$  serta  $b$  adalah fungsi dari  $x$  dan  $t$ . Variabel  $x$  memiliki tingkat *drift*  $a$  dan tingkat variansi  $b^2$  (Hull, 2012). Lemma Itô menunjukkan bahwa fungsi  $G$  dari  $x$  dan  $t$  mengikuti proses (Hull, 2012),

$$dG = \left( \frac{\partial G}{\partial x} a + \frac{\partial G}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} b^2 \right) dt + \frac{\partial G}{\partial x} b dZ \quad (2.24)$$

dengan  $dz$  adalah proses *Wiener* yang sama seperti dalam persamaan (2.22).

Dengan demikian,  $G$  juga mengikuti proses Itô, dengan tingkat *drift*,

$$\frac{\partial G}{\partial x} a + \frac{\partial G}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} b^2 \quad (2.25)$$

dan tingkat variansi,

$$\left( \frac{\partial G}{\partial x} \right)^2 b^2 \quad (2.26)$$

sebelum diansumsikan,

$$dS = \mu S dt + \sigma S dZ \quad (2.27)$$

dengan  $\sigma$  dan  $\mu$  adalah konstanta, merupakan model yang wajar untuk pergerakan harga saham (Hull, 2012). Berdasarkan lemma Itô, dapat disimpulkan bahwa proses yang diikuti oleh fungsi  $G$  dari  $S$  dan  $t$  adalah,

$$dG = \left( \frac{\partial G}{\partial x} \mu S + \frac{\partial G}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} \sigma^2 S^2 \right) dt + \frac{\partial G}{\partial x} \sigma S dZ \quad (2.28)$$



Perhatikan bahwa baik  $S$  (harga saham) maupun  $G$  (fungsi yang bergantung pada harga saham dan waktu) dipengaruhi oleh sumber ketidakpastian yang sama, yaitu  $dz$  (Hull, 2012).

Kemudian menggunakan lemma Ito<sup>^</sup> untuk menurunkan proses yang diikuti oleh  $\ln S$  ketika  $S$  mengikuti proses dalam persamaan (2.27). didefinisikan,

$$G = \ln S \quad (2.29)$$

dengan:

$$\frac{\partial G}{\partial S} = \frac{1}{S} \quad (2.30)$$

$$\frac{\partial^2 G}{\partial S^2} = -\frac{1}{S^2} \quad (2.31)$$

$$\frac{\partial G}{\partial t} = 0 \quad (2.32)$$

dengan mengikuti persamaan (2.28) proses yang mengikuti  $G$  adalah (Hull, 2012),

$$dG = \left( \mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) dt + \sigma dZ \quad (2.33)$$

di mana:

$S_0$  : Harga saham awal,

$\mu$  : *Drift*,

$S$  : Nilai saham,

$dt$  : Periode waktu,

$dz$  : Variabel acak stokastik.

### 2.1.6 Metode Simulasi *Monte Carlo*

Metode Simulasi *Monte Carlo* merupakan teknik numerik yang digunakan dalam menghitung hasil dari suatu permasalahan yang melibatkan ketidakpastian dengan melakukan simulasi menggunakan bilangan acak (Hull, 2003). Proses bilangan acak ini berkaitan dengan distribusi probabilitas variabel data yang diperoleh dari data historis. Metode Simulasi *Monte Carlo* memiliki kemampuan untuk membangun logika yang mirip dengan operasi matematika dalam model, yang dapat dikembangkan dan diimplementasikan di komputer sesuai dengan model yang digunakan. Oleh karena itu, simulasi *Monte Carlo* merupakan bagian dari algoritma komputer yang melakukan simulasi menggunakan sampel acak untuk mencapai hasil yang diinginkan. Dalam konteks opsi, simulasi *Monte Carlo* digunakan dalam menghitung harga opsi dengan mensimulasikan pergerakan harga aset dasar berdasarkan model stokastik. Asumsikan  $\mu = r$ , umumnya simulasi *Monte Carlo* menggunakan model proses geometrik *Brownian motion* (GBM) untuk mendeskripsikan pergerakan harga saham (Higham, 2004),

$$S_{0+1} = S_0 e^{[(r - \frac{\sigma^2}{2})\Delta t + \sigma\sqrt{\Delta t}Z]} \quad (2.34)$$

di mana:

$S_{0+1}$  : Harga saham pada waktu berikutnya,

$\Delta t$  : Interval Waktu

$r$  : *Risk-free rate*,

$Z$  : Bilangan acak berdistribusi normal,

Setelah semua jalur harga saham telah disimulasikan, kita menghitung *payoff* (pada opsi *barrier*, *payoff* hanya dihitung jika kondisi *barrier* terpenuhi) (Higham, 2004), sehingga harga opsi *call*,

$$F_C = e^{-rT} \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \max(S_T - K, 0) \quad (2.35)$$

rumus untuk harga opsi *put*,

$$F_P = e^{-rT} \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \max(K - S_T, 0) \quad (2.36)$$

di mana:

$F_C$  : Harga opsi *call*,

$F_P$  : Harga opsi *put*,

$M$  : Banyaknya jumlah simulasi *Monte Carlo*,

$e^{-rT}$  : Faktor diskon.

### 2.1.7 *Quasi Monte Carlo*

*Quasi Monte Carlo* adalah pengembangan dari *Monte Carlo* standart yang menggantikan bilangan acak dengan bilangan deterministik yang dikenal sebagai *low-discrepancy sequences* atau urutan yang memiliki "*discrepancy*" rendah (Glasserman, 2004). Bilangan-bilangan ini dibuat agar lebih terdistribusi secara merata dibandingkan dengan bilangan acak yang digunakan dalam *Monte Carlo* standar, sehingga memungkinkan estimasi yang lebih baik dan lebih cepat konvergensinya. Urutan angka acak yang dihasilkan oleh *Monte Carlo* standart akan memberikan nilai data yang berbeda setiap kali dilakukan iterasi berulang. Ini merupakan perbedaan antara simulasi *Monte Carlo* standart dan *Quasi Monte*

*Carlo*. Sementara itu, karena polanya yang berbeda, urutan yang dihasilkan dalam *Quasi Monte Carlo* bersifat identik. *Quasi Monte Carlo* menggunakan deret angka *quasi*-acak. Sampel representasi dari distribusi probabilitas yang disimulasikan dalam masalah dihasilkan menggunakan urutan *quasi*-acak ini. Simulasi *Monte Carlo* biasanya berkerja lebih baik dan menghasilkan hasil yang lebih akurat saat urutan *quasi*-acak ini digunakan. Terdapat beberapa urutan *low-discrepancy* seperti, *Halton* dan *Sobol*.

1. Urutan *Halton* didasarkan pada bilangan prima dan menghasilkan titik-titik deterministik yang menutupi ruang sampel secara lebih merata. Proses pembangkitan urutan *Halton* mengikuti konsep sistem bilangan berbasis prima (Halton, 1960). Misalkan bilangan prima  $b$ , untuk setiap dimensi  $i$ , urutan *Halton* ( $H$ ) didefinisikan sebagai ekspansi dalam basis prima  $b$ . Rumus *Halton* adalah (Halton, 1960),

$$Z_{qmch} = \sum_{k=0}^m \frac{d_k}{b^{k+1}} \quad (2.37)$$

di mana:

$Z_{qmch}$  : Urutan barisan *Halton*,

$b$  : Basis ( 2 untuk urutan *Halton* di basis 2) ,

$d_k$  : Digit  $k$  dari representasi  $m$ .

2. Urutan *Sobol* merupakan metode dalam *Quasi Monte Carlo* yang berfungsi untuk menghasilkan titik-titik yang terdistribusi dengan baik dalam ruang multidimensi. Metode ini menggunakan basis biner dan teknik matriks untuk menghasilkan angka yang memiliki sifat distribusi yang lebih baik

dibandingkan dengan angka acak biasa. Untuk menghasilkan urutan *Sobol* diperlukan vektor yang digunakan untuk menghasilkan angka *Sobol* (Press, 2007). Rumus *Sobol* adalah (Press, 2007),

$$Z_{qmcs} = V \oplus f_n \quad (2.38)$$

di mana:

$Z_{qmcs}$  : Urutan barisan *Sobol*,

$V$  : Vektor,

$f_n$  : Fungsi yang menghasilkan angka dalam basis biner untuk indeks.

### 2.1.8 Metode *Black-Scholes* pada Opsi *Barrier*

Pada awal tahun 1970-an, Fisher Black dan Myron Scholes mengembangkan formula penting untuk menghitung harga opsi, yang menjadi suatu terobosan signifikan dalam bidang keuangan dan investasi. Dalam penelitian mereka pada tahun 1973, Black dan Scholes adalah orang yang pertama kali memperkenalkan formula yang tepat untuk menghitung harga opsi Eropa (Laamena, 2021). Rumus menghitung nilai *call option* dan *put option* adalah (Hull, 2003):

$$C = S_0 e^{-qT} N(d_1) - K e^{-rT} N(d_2) \quad (2.39)$$

$$P = K e^{-rT} N(-d_2) - S_0 e^{-qT} N(-d_1) \quad (2.40)$$

dengan:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left(r - q + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (2.41)$$

$$d_2 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left(r - q - \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (2.42)$$

di mana:

$q$  : Nilai dividen,

$N(d_1)$  : Fungsi distribusi normal baku kumulatif  $d_1$ ,

$N(d_2)$  : Fungsi distribusi normal baku kumulatif  $d_2$ ,

Adapun metode *Black-Scholes* dalam penentuan harga opsi *barrier* adalah sebagai berikut (Hull, 2003).

1. *Down and in*

a. Untuk opsi *down and in call*,

$$C_{di} = \begin{cases} C - C_{do}, & B \geq K \\ AN(y) - B_1N(E), & B < K \end{cases} \quad (2.43)$$

b. Untuk *down and in put*,

$$P_{di} = \begin{cases} P, & B \geq K \\ -C_1N(-x_1) + DN(-G) + A[N(y) - N(y_1)] - B_1[N(E) - N(F)], & B < K \end{cases} \quad (2.44)$$

2. *Down and out*

a. Untuk opsi *down and out call*,

$$C_{do} = \begin{cases} C_1N(x_1) - DN(G) - AN(y_1) + B_1N(F), & B \geq K \\ C - C_{di}, & B < K \end{cases} \quad (2.45)$$

b. Untuk opsi *down and out put*,

$$P_{do} = \begin{cases} 0, & B \geq K \\ P - P_{di}, & B < K \end{cases} \quad (2.46)$$

3. *Up and in*

a. Untuk opsi *up and in call*,

$$C_{ui} = \begin{cases} C, & B \leq K \\ C_1 N(x_1) - DN(G) - A[N(-y) - N(-y_1)] + B_1[N(-E) - N(-F)], & B > K \end{cases} \quad (2.47)$$

b. Untuk opsi *up and in put*,

$$P_{ui} = \begin{cases} P - P_{uo}, & B \leq K \\ -AN(-y) + B_1 N(-E), & B > K \end{cases} \quad (2.48)$$

#### 4. *Up and out*

a. Untuk opsi *up and out call*,

$$C_{uo} = \begin{cases} 0, & B \leq K \\ C - C_{ui}, & B > K \end{cases} \quad (2.49)$$

b. Untuk opsi *up and out put*,

$$P_{uo} = \begin{cases} -C_1 N(-x_1) + DN(-G) + AN(-y_1) - B_1 N(-F), & B \leq K \\ P - P_{ui}, & B > K \end{cases} \quad (2.50)$$

dengan:

$$\lambda = \frac{r - q + \frac{\sigma^2}{2}}{\sigma^2} \quad (2.51)$$

$$y = \frac{\ln \left[ \frac{B^2}{(S_0 K)} \right]}{\sigma \sqrt{T}} + \lambda \sigma \sqrt{T} \quad (2.52)$$

$$x_1 = \frac{\ln \left( \frac{S_0}{B} \right)}{\sigma \sqrt{T}} + \lambda \sigma \sqrt{T} \quad (2.53)$$

$$y_1 = \frac{\ln \left( \frac{B}{S_0} \right)}{\sigma \sqrt{T}} + \lambda \sigma \sqrt{T} \quad (2.54)$$

$$A = S_0 e^{-qT} \left( \frac{B}{S_0} \right)^{2\lambda} \quad (2.55)$$

$$B_1 = Ke^{-rT} \left( \frac{B}{S_0} \right)^{2\lambda-2} \quad (2.56)$$

$$C_1 = S_0 e^{-qT} \quad (2.57)$$

$$D = Ke^{-rT} \quad (2.58)$$

$$E = y - \sigma\sqrt{T} \quad (2.59)$$

$$F = y_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (2.60)$$

$$G = x_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (2.61)$$

### 2.1.9 Galat

Penelitian yang melibatkan simulasi numerik, seperti metode *Monte Carlo* dan *Quasi Monte Carlo*, pengujian keakuratan model merupakan langkah yang penting untuk memastikan hasil perhitungan mendekati nilai analitik. Salah satu cara untuk mengukur keakuratan model adalah dengan menghitung galat. Galat dalam konteks simulasi adalah selisih antara nilai yang dihitung menggunakan metode numerik (*Monte Carlo* atau *Quasi Monte Carlo*) dengan nilai analitik (*Black-Scholes*). Galat dapat diukur untuk mengevaluasi seberapa baik metode simulasi mendekati hasil analitik. Pengujian keakuratan bertujuan untuk menilai sejauh mana model yang digunakan dapat merepresentasikan kondisi sebenarnya. Terdapat 2 jenis galat yang digunakan, yaitu galat absolut dan galat relatif. Galat absolut mengukur perbedaan absolut antara nilai hasil simulasi dengan nilai analitik (Maharani & Suprpto, 2018),

$$\varepsilon = |F_M - F_{BS}| \quad (2.62)$$



sedangkan galat relatif menghitung tingkat kesalahan dengan mempertimbangkan proporsi atau skala data (maharani & Suprpto, 2018),

$$\varepsilon_R = \frac{|F_M - F_{BS}|}{|F_{BS}|} \quad (2.63)$$

di mana:

$\varepsilon$  : Nilai galat,

$\varepsilon_R$  : Nilai galat relatif,

$F_M$  : Harga opsi hasil simulasi (*Monte Carlo* dan *Quasi Monte Carlo*),

$F_{BS}$  : Harga opsi analitik dari model *Black-Schole*.

## 2.2 Kajian Integrasi Topik dengan Al-Quran/Hadits

Prinsip-prinsip ekonomi dan transaksi keuangan diatur dengan ketat berdasarkan ajaran Al-Quran dan Hadits. Ajaran ini mencakup etika dalam berdagang, kejujuran dalam bertransaksi, keadilan dalam pengambilan keputusan, serta larangan tegas terhadap praktik-praktik yang merugikan seperti riba. Prinsip-prinsip tersebut tidak hanya ditujukan untuk menjaga kestabilan dan keadilan dalam kegiatan ekonomi, tetapi juga untuk memastikan bahwa setiap aktivitas perdagangan dilakukan dengan niat yang baik dan sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan oleh Allah SWT. Dalam konteks penelitian ini, yang membahas tentang penggunaan metode perhitungan opsi *barrier* dalam investasi, nilai-nilai Islam ini menjadi sangat relevan karena mereka memberikan panduan yang jelas tentang bagaimana seorang Muslim seharusnya menjalankan kegiatan investasi dan perdagangan. Melalui kajian ini, diharapkan dapat terbangun pemahaman yang

lebih mendalam mengenai integrasi prinsip-prinsip Islam dengan konsep investasi yang dianalisis dalam penelitian ini.

### 2.2.1 Anjuran Berinvestasi dengan Cara yang Halal dan Baik

Setiap aktivitas ekonomi, termasuk investasi dan perdagangan, diatur dengan prinsip-prinsip yang menekankan pentingnya melakukan transaksi secara halal dan baik. Transaksi seperti saham diperbolehkan, pendapat Dr. Wahbah al-Zuhaili dalam Al-Fiqh Al-Islami wa Adillatuhu juz 3/1841:

التَّعَامُلُ بِالْأَسْهُمِ جَائِزٌ شَرْعًا لِأَنَّ أَصْحَابَ الْأَسْهُمِ شُرَكَاءُ فِي الشَّرَكَةِ بِنِسْبَةِ مَا يَمْلِكُونَ مِنْ أَسْهُمِ

*“Bermuamalah dengan (melakukan kegiatan transaksi atas) saham hukumnya boleh, karena pemilik saham adalah mitra dalam perseroan sesuai dengan saham yang dimilikinya” (DSN, 2008).*

berinvestasi dengan cara yang halal tidak hanya berarti menghindari praktik-praktik yang diharamkan seperti riba dan penipuan, tetapi juga memastikan bahwa sumber dan penggunaan dana serta tujuan dari investasi tersebut tidak bertentangan dengan nilai-nilai ajaran Islam. Allah SWT berfirman dalam QS. An-Nisa’ ayat 29.

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا لَا تَأْكُلُوا أَمْوَالَكُمْ بَيْنَكُمْ بِالْبُطْلِ إِلَّا أَنْ تَكُونَ تِجَارَةً عَنْ تَرَاضٍ مِّنْكُمْ ۖ وَلَا تَقْتُلُوا أَنْفُسَكُمْ ۚ إِنَّ اللَّهَ كَانَ بِكُمْ رَحِيمًا (٢٩)

*“Wahai orang-orang yang beriman, janganlah kamu saling memakan harta sesamamu dengan jalan yang batil, kecuali dengan jalan perniagaan yang berlaku dengan suka sama suka di antara kamu” (Kementrian Agama, 2017).*

Ayat di atas menunjukkan pentingnya kegiatan perdagangan dan investasi dilakukan dengan cara yang halal dan tidak boleh merugikan pihak lain. Penelitian ini memanfaatkan metode simulasi *Monte Carlo*, *Quasi Monte Carlo*, dan *Black-Scholes* untuk mengidentifikasi opsi investasi yang lebih aman dan adil. Dengan menggunakan metode ini, diharapkan para investor dapat melakukan perdagangan

yang berdasarkan prinsip suka sama suka, tanpa adanya unsur penipuan atau ketidakadilan.

Investasi yang halal dan baik adalah investasi yang diperbolehkan dalam islam, terutama dalam investasi jenis saham. Syaikh Dr. ‘Umar bin ‘Abdul ‘Aziz al-Matruk (Al-Matruk, al-Riba wa al-Mu’amalat al-Mashrafiyyah, [Riyadh: Dar al-‘Ashimah, 1417 H], h. 369-375) menyatakan:

(الثاني) أَسْهُمٌ فِي مُؤَسَّسَاتٍ مُبَاخَةٍ كَالشَّرَكَاتِ التِّجَارِيَّةِ الْمُبَاخَةِ أَوْ الْمُؤَسَّسَاتِ الصَّنَاعِيَّةِ الْمُبَاخَةِ فَهَذِهِ الْمُسَاهِمَةُ فِيهَا وَالْمُشَارَكَةُ فِيهَا وَبَيْعُ أَسْهُمِهَا، إِذَا كَانَتِ الشَّرَكَةُ مَعْرُوفَةً أَوْ مَشْهُورَةً وَلَيْسَ فِيهَا غَرَرٌ وَلَا جَهَالَةٌ فَاحِشَةٌ جَائِزَةٌ، لِأَنَّ السَّهْمَ جُزْءٌ مِنْ رَأْسِ الْمَالِ يَعُودُ عَلَى صَاحِبِهِ بِرِبْحٍ نَاشِئٍ مِنْ كَسْبِ التَّجَارَةِ وَالصَّنَاعَةِ، وَهَذِهِ حَالٌ بِلَا شَكٍّ.

*“(Jenis kedua), adalah saham-saham yang terdapat dalam perseroan yang dibolehkan, seperti perusahaan dagang atau perusahaan manufaktur yang dibolehkan. Bermusahamah (saling bersaham) dan ber-syarikah (berkongsi) dalam perusahaan tersebut serta menjualbelikan sahamnya, jika perusahaan itu dikenal serta tidak mengandung ketidakpastian dan ketidak-jelasan yang signifikan, hukumnya boleh. Hal itu karena saham adalah bagian dari modal yang dapat memberikan keuntungan kepada pemiliknya sebagai hasil dari usaha perniagaan dan manufaktur. Hal itu hukumnya halal, tanpa diragukan” (DSN, 2008).*

pernyataan tersebut menjelaskan tentang diperbolehkannya investasi, terutama di saham. Perlu diperhatikan juga aturan dalam menjual atau menjaminkan sebuah saham. Seperti pada keputusan Mukhtamar ke-7 Majma’ Fiqh Islami tahun 1992 di Jeddah:

يَجُوزُ بَيْعُ السَّهْمِ ، أَوْ رَهْنُهُ مَعَ مُرَاعَاةِ مَا يَفْتَضِي بِهِ نِظَامُ الشَّرَكَةِ

*“Boleh menjual atau menjaminkan saham dengan memperhatikan peraturan yang berlaku pada perseroan” (DSN, 2008)*

Dalam penelitian ini digunakan data harga saham Microsoft Corporation (MSFT) yang sesuai dengan prinsip syariah dalam transaksi saham. Berdasarkan fatwa Dewan Syariah Nasional (DSN, 2008), kepemilikan saham diperbolehkan karena pemilik saham adalah mitra dalam perseroan. Ini sejalan dengan Q.S. An-

Nisa: 29 (Kementerian Agama, 2017) yang membolehkan perniagaan berdasarkan kerelaan kedua belah pihak. Microsoft bergerak di bidang teknologi dan perangkat lunak, seperti Windows, Microsoft Office, Microsoft Azure, OneDrive, serta perangkat keras seperti Surface dan Xbox. Karena kegiatan usahanya tidak berkaitan dengan barang haram seperti alkohol, perjudian, atau riba, saham MSFT termasuk dalam kategori yang halal. Sesuai dengan ketentuan (DSN, 2008), saham perusahaan yang jelas bidang usahanya dan tidak mengandung ketidakpastian signifikan diperbolehkan untuk dimiliki dan diperjualbelikan. Oleh karena itu, investasi dalam saham MSFT dapat dinilai sesuai prinsip syariah selama memenuhi proses penyaringan syariah.

### **2.2.2 Pentingnya Kejujuran dalam Bertransaksi**

Kejujuran merupakan salah satu nilai fundamental yang harus dijunjung tinggi dalam setiap transaksi bisnis dan perdagangan dalam Islam. Islam menempatkan kejujuran sebagai pilar utama dalam menjalankan aktivitas ekonomi, karena transaksi yang jujur akan menciptakan kepercayaan antara penjual dan pembeli, serta memastikan terjadinya transaksi yang adil dan transparan. Ketika prinsip kejujuran ditegakkan dalam setiap langkah perdagangan, maka keuntungan yang diperoleh tidak hanya bersifat materi, tetapi juga mendapat berkah dari Allah SWT. Dalam Al-Quran dan Hadits, terdapat banyak ajaran yang menegaskan pentingnya sikap jujur dalam bertransaksi sebagai bentuk tanggung jawab moral dan etika dalam berbisnis. Allah SWT berfirman dalam QS. Al-Isra' ayat 35.

وَأَوْفُوا الْكَيْلَ إِذَا كِلْتُمْ وَزِنُوا بِالْقِسْطَاسِ الْمُسْتَقِيمِ ۚ ذَٰلِكَ خَيْرٌ وَأَحْسَنُ تَأْوِيلًا (٣٥)

*"Dan sempurnakanlah takaran apabila kamu menakar, dan timbanglah dengan timbangan yang benar. Itulah yang lebih utama (bagimu) dan lebih baik akibatnya"* (Kementriam Agama, 2017).

Ayat di atas menegaskan keadilan dan kejujuran di setiap transaksi sangat penting. Dalam penelitian ini, metode simulasi *Monte Carlo*, *Quasi Monte Carlo*, dan *Black-Scholes* diterapkan untuk menghitung harga opsi dengan pendekatan yang transparan dan akurat. Hal ini sesuai dengan prinsip kejujuran dalam transaksi, di mana perhitungan yang adil dan akurat sangat penting untuk memastikan keputusan investasi yang lebih baik dan tidak merugikan pihak manapun.

### 2.2.3 Larangan Riba

Riba adalah jenis transaksi yang sangat dilarang dalam ajaran Islam. Larangan terhadap riba ditegaskan secara eksplisit dalam Al-Quran dan Hadits, karena dianggap sebagai praktik yang merugikan salah satu pihak dan ketidakadilan dalam transaksi. Riba secara umum dipahami sebagai keuntungan berlebih dari transaksi pinjam-meminjam atau bunga atas utang, dapat menyebabkan ketidakadilan ekonomi dan menghalangi terciptanya sistem keuangan yang sehat. Beberapa ayat dan Hadits menjelaskan tentang larangan riba. Allah SWT berfirman dalam QS. Ali 'Imran ayat 130

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ ءَامَنُوا لَا تَأْكُلُوا الرِّبَا أَضْعَافًا مُّضَاعَفَةً ۖ وَاتَّقُوا اللَّهَ لَعَلَّكُمْ تُفْلِحُونَ (١٣٠)

*"Hai orang-orang yang beriman, janganlah kamu memakan riba dengan berlipat ganda dan bertakwalah kamu kepada Allah supaya kamu mendapat keberuntungan"* (Kementrian Agama, 2017) dan hadits.

عَنْ أَبِي هُرَيْرَةَ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ قَالَ: قَالَ رَسُولُ اللَّهِ ﷺ: "الرِّبَا ثَلَاثَةٌ وَسَبْعُونَ بَابًا، أَيْسَرُهَا مِثْلُ أَنْ يَنْكَحَ الرَّجُلُ أُمَّهُ (رَوَاهُ ابْنُ مَاجَه)

*Dari Abu Hurairah radhiyallahu 'anhu, ia berkata: Rasulullah shallallahu 'alaihi wa sallam bersabda: "Riba memiliki tujuh puluh tiga pintu,*

*yang paling ringan dosanya seperti seorang lelaki yang menikahi ibunya"* (HR. Ibnu Majah).

Ayat dan Hadits diatas menekankan larangan terhadap riba. Dalam penelitian ini, penerapan metode simulasi *Monte Carlo standart*, *Quasi Monte Carlo*, dan *Black-Scholes* bertujuan untuk menghitung nilai opsi dengan akurat tanpa melibatkan unsur riba. Ini sejalan dengan prinsip Islam dalam transaksi yang adil dan menghindari praktik-praktik yang merugikan. Dengan menggunakan metode ini, diharapkan investor dapat membuat keputusan yang lebih bijak dalam investasi, sesuai dengan ajaran Islam yang menghindari ketidakpastian dan praktik yang tidak adil.

### 2.3 Kajian Topik dengan Teori Pendukung

Lessy (2013) memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pengembangan metode simulasi *Monte Carlo* standar dalam perhitungan harga opsi *barrier*. Dalam penelitiannya, Lessy menerapkan simulasi *Monte Carlo* standart untuk menghitung opsi *barrier*, terutama dalam memperkirakan harga opsi dengan skenario *barrier* yang lebih rumit dibandingkan opsi standar. Penelitian ini menyediakan dasar teoretis dan teknis untuk penggunaan simulasi *Monte Carlo* standart dalam perhitungan harga opsi *barrier*, yang sangat relevan dengan penelitian saya.

Putri (2018) memberikan pemahaman tentang penerapan metode *Quasi Monte Carlo* pada perhitungan harga opsi tipe Amerika. Dalam penelitiannya, putri menggunakan urutan *Quasi Monte Carlo* untuk mengoptimalkan simulasi, dengan menerapkan barisan *Sobol* dan *Halton*, yang terbukti memiliki kecepatan konvergensi yang lebih baik, dengan nilai barisan *Sobol* sebesar \$3,463678 dan

barisan *halton* sebesar \$3.496807. Sumampouw dkk (2020) menerapkan metode *Quasi Monte Carlo* dengan menggunakan deret *Halton* untuk menghitung nilai opsi tipe *binary*. Penelitian ini berfokus pada perbandingan kinerja metode *Quasi Monte Carlo* yang menggunakan deret bilangan acak *Halton*, yang diperoleh semakin banyak simulasi yang dilakukan maka nilai estimasi rata-rata yang diperoleh semakin konvergen. Tessy (2018) mengkaji penerapan metode *Quasi Monte Carlo* menggunakan deret *Halton* dalam simulasi perhitungan harga opsi. Penelitian ini menunjukkan bahwa barisan *Halton* memberikan distribusi bilangan acak yang lebih seragam dalam simulasi *Quasi Monte Carlo*. Putri dkk (2022) mengeksplorasi penerapan metode *Quasi Monte Carlo* menggunakan deret bilangan acak *Halton* untuk perhitungan harga opsi tipe Eropa. Penelitian ini berfokus pada efisiensi dalam perhitungan harga opsi dengan menggunakan metode *Quasi Monte Carlo*, yang menunjukkan keunggulan dalam hal akurasi dan kecepatan konvergensi jika dibandingkan dengan metode simulasi *Monte Carlo* standar.

Laamena, (2021) menerapkan dua metode yang populer, yaitu *Black-Scholes* dan simulasi *Monte Carlo* standart, untuk menghitung harga opsi Eropa serta opsi *barrier*. Penelitian ini memberikan gambaran menyeluruh tentang penerapan kedua metode tersebut pada opsi dengan karakteristik yang berbeda. Penelitian ini relevan dengan penelitian saya, yang juga memanfaatkan metode simulasi *Monte Carlo* standart dan *Quasi Monte Carlo* dalam menghitung harga opsi *barrier*. Selain itu, metode *Black-Scholes* yang digunakan dalam penelitian laamena menjadi dasar penting untuk perbandingan hasil perhitungan opsi *barrier* yang saya lakukan, sehingga hasil dari penelitian ini dapat menjadi acuan utama dalam menguji akurasi dan efisiensi metode yang saya terapkan.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Jenis Penelitian**

Penelitian ini menerapkan jenis penelitian dengan pendekatan kuantitatif dan studi literatur. Menggunakan pendekatan kuantitatif dikarenakan penyelesaian suatu permasalahannya diselesaikan dengan menggunakan pendekatan numerik dan membandingkan beberapa hasil perhitungannya. Serta menggunakan studi literatur dikarenakan pada penelitian ini dilakukan dengan merujuk pada buku-buku dan referensi yang relevan.

#### **3.2 Data dan Sumber Data**

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder, yang merupakan data harga saham Microsoft Corporation (MSFT) pada tanggal 1 November 2022 sampai 31 Oktober 2024. Sumber data harga saham didapatkan melalui laman [investing.com](https://investing.com). Data selengkapnya terdapat pada lampiran 1.

#### **3.3 Prosedur Penelitian**

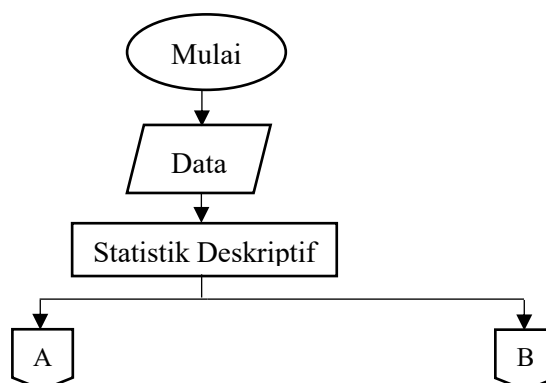
Prosedur penelitian ini adalah:

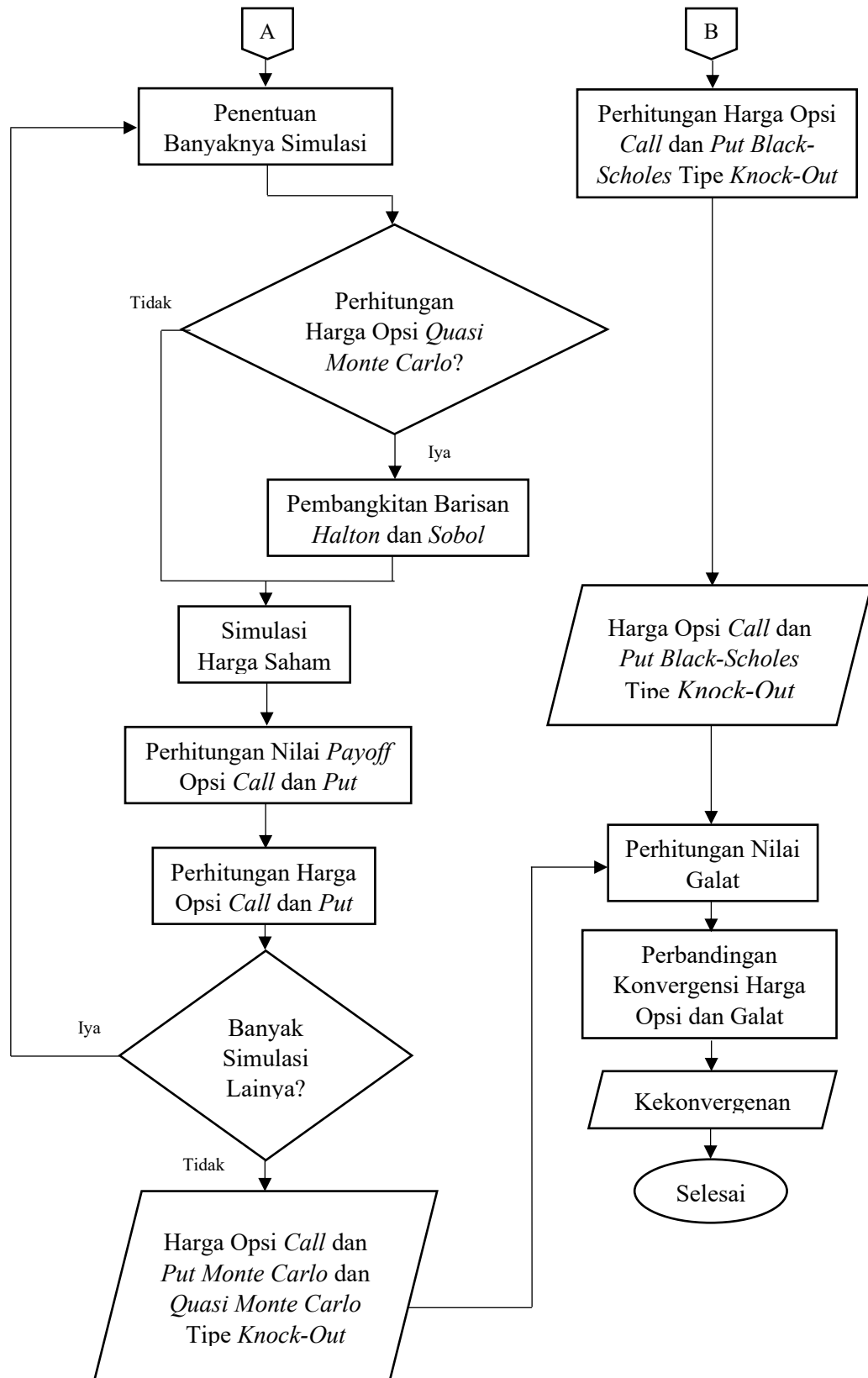
1. Deskriptif data.
  - a. Menvisualisasikan data.
  - b. Menentukan parameter yang diperlukan, seperti harga awal saham, harga kesepakatan, waktu jatuh tempo, jumlah partisi, *risk-free rate*, dan nilai *barrier*.



- c. Menghitung volatilitas harga saham.
2. Implementasi *Quasi Monte Carlo* pada perhitungan harga opsi *barrier*.
  - a. Membangkitkan barisan *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol*.
  - b. Mensimulasi harga saham menggunakan opsi *barrier* tipe *knock-out* menggunakan persamaan (2.34).
  - c. Menghitung nilai *payoff* di waktu jatuh tempo pada opsi *call* dan *put*.
  - d. Menghitung harga opsi *call* menggunakan persamaan (2.35) dan *put* menggunakan persamaan (2.36).
3. Perbandingan harga opsi *barrier* menggunakan metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol* terhadap metode *Monte Carlo* standar dan *Black-Scholes*.
  - a. Menghitung harga opsi melalui metode *Black-Scholes* tipe *barrier*.
  - b. Menghitung galat (*error*) menggunakan persamaan (2.63) dan (2.65) pada nilai opsi *barrier* metode *Quasi Monte Carlo* dengan nilai opsi pada metode *Monte Carlo* standar dan *Black-Scholes*.
  - c. Menganalisis perbandingan hasil perhitungan harga opsi melalui kekonvergenan galat *error*.

### 3.4 Flowchart





**Gambar 3.1** Flowchart

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Deskriptif Data

Pada awal penelitian ini, dilakukan analisis deskriptif terhadap data historis harga saham untuk mendapatkan pemahaman awal mengenai pola pergerakan harga saham. Analisis ini mencakup visualisasi data, penentuan parameter yang diperlukan, dan perhitungan volatilitas saham. Data yang diolah mencakup harga saham penutupan *Microsoft Corporation* (MSFT) dalam 2 tahun terakhir, yang digunakan sebagai dasar dalam simulasi opsi *barrier* dengan metode *Quasi Monte Carlo*.

##### 4.1.1 Menvisualisasikan Data

Visualisasi data dilakukan untuk mengetahui pergerakan harga saham dan fluktuasinya. Informasi mengenai data pergerakan harga saham ditampilkan pada gambar 4.1 di bawah ini dan data selengkapnya terdapat pada lampiran 1.



**Gambar 4.1** Plot Pergerakan Harga Saham Penutupan MSFT

Plot pergerakan harga saham di atas memiliki pola yang cenderung menaik dan fluktuasi datanya relatif stabil. Plot tersebut memiliki total data sebanyak 503. Harga saham mencapai nilai minimum sebesar \$214,25 pada tanggal 3 November 2022, yang terjadi karena dampak lanjutan dari pandemi covid-19. Sedangkan harga saham mencapai nilai maksimum sebesar \$467,56 pada tanggal 5 Juli 2024, yang terjadi karena pesatnya perkembangan AI, di mana MSFT berinvestasi besar dalam teknologi ini dan bekerja sama dengan OpenAI. Plot pergerakan harga saham menjadi dasar dalam penentuan dan perhitungan parameter penting dalam penelitian ini, seperti nilai *barrier* dan volatilitas saham.

#### 4.1.2 Menentukan Parameter yang Diperlukan

Berikutnya menentukan nilai-nilai parameter utama yang digunakan dalam perhitungan harga opsi *barrier*. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Harga Awal Saham ( $S_0$ )

Harga saham pada awal periode diperoleh dari data historis harga saham Microsoft Corporation (MSFT). Nilai ini mencerminkan harga terakhir saham pada tanggal 31 Oktober 2024 dengan nilai \$406,35.

2. Harga Kesepakatan ( $K$ )

Harga kesepakatan (*strike price*) diperoleh dari referensi yang tersedia di situs investing.com, di mana nilai ini telah ditentukan sesuai praktik pasar dengan nilai \$430,00.

3. Waktu Jatuh Tempo ( $T$ )

Waktu jatuh tempo (*time to maturity*) ditetapkan selama 1 tahun (365 hari atau 252 hari perdagangan). Pemilihan 1 tahun mencerminkan waktu

standar dalam opsi finansial, yang sering digunakan untuk mengevaluasi kinerja saham dalam periode tahunan.

#### 4. Jumlah Partisi ( $N$ )

Jumlah partisi ditetapkan sebanyak 252, sesuai dengan jumlah hari perdagangan dalam 1 tahun.

#### 5. *Risk-Free Rate* ( $r$ )

Tingkat bunga bebas risiko (*risk-free rate*) ditentukan berdasarkan nilai *expected return* yang didapatkan melalui analisis data historis saham.

#### 6. *Barrier* ( $B$ )

Penelitian ini menggunakan 2 tipe barrier yaitu *up and out* & *down and out*, sehingga nilai *barrier* terdapat 2. Tipe *up and out* menggunakan nilai *barrier* sebesar \$467,56, sedangkan tipe *down and out* menggunakan nilai *barrier* sebesar \$214,25. Nilai-nilai tersebut didapatkan dari nilai maksimum dan minimum data harga saham Microsoft Corporation (MSFT). Nilai-nilai tersebut dipilih untuk mengoptimalkan nilai payoff sesuai tipe *barrier*. Jika proses simulasi harga saham melewati nilai tipe-tipe *barrier* tersebut, maka akan membuat *payoff* bernilai 0.

### 4.1.3 Menghitung Volatilitas Saham

Perhitungan volatilitas saham melalui *return* saham. Volatilitas dan *Return* saham digunakan untuk menggambarkan risiko dan potensi keuntungan dari suatu aset dalam periode tertentu. Volatilitas saham digunakan untuk mengukur tingkat fluktuasi harga saham, sedangkan *Return* saham mencerminkan perubahan nilai

saham dari waktu ke waktu. *Return* saham dihitung menggunakan persamaan (2.1). Contoh perhitungan awal *return* saham adalah,

$$R_1 = \ln \frac{S_1}{S_{1-1}} = \ln \frac{S_1}{S_0} = \ln \frac{220,1}{228,17} \approx -0,03601 \quad (4.1)$$

Perhitungan di atas diulangi sebanyak jumlah datanya yang terdapat pada lampiran 2. Berdasarkan nilai *return* saham yang telah diperoleh, kemudian dapat dihitung nilai *expected return* atau yang menjadi nilai dari *risk-free rate*. Nilai ini didapatkan dari rata-rata nilai *return*. *Expected return* saham dihitung menggunakan persamaan (2.3),

$$\begin{aligned} \bar{R}_t &= \frac{1}{502} (-0,03601 + (-0,02694) + \dots + 0,00134 + (-0,06244)) \\ &= \frac{0,57712}{502} \\ &= 0,00115 \end{aligned} \quad (4.2)$$

Kemudian setelah diketahui nilai *expected return* dapat dihitung nilai dari standar deviasi menggunakan persamaan (2.2),

$$\begin{aligned} sd &= \sqrt{\frac{1}{502-1} ((-0,03601 - 0,00115)^2 + \dots + (-0,06244 - 0,00115)^2)} \\ &= \sqrt{\frac{1}{501} (0,00138 + \dots + 0,00079)} \\ &= \sqrt{\frac{1}{501} 0,11727} \\ &= 0,01528 \end{aligned} \quad (4.3)$$

Berdasarkan nilai standar deviasi, dapat dihitung nilai volatilitas saham. Untuk menghitung nilai volatilitas saham diansumsikan banyak hari kerja perdagangan dalam setahun adalah 252 hari, sehingga nilai  $\tau = 1/252$ . Kemudian nilai volatilitas dihitung menggunakan persamaan (2.4),

$$\sigma = \frac{0,01528}{\sqrt{\frac{1}{252}}} = \frac{0,01528}{0,06299} = 0,24263 \quad (4.4)$$

Sehingga nilai dari perhitungan volatilitas pada data saham sebesar 0,24263.

Dengan demikian parameter-parameter yang diperlukan dalam penelitian ini adalah:

**Tabel 4.1** Parameter Perhitungan Harga Opsi

| Paremeter                     | Nilai                                                                            |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Harga Awal Saham ( $S_0$ )    | \$406,35                                                                         |
| Harga Kesepakatan ( $K$ )     | \$430                                                                            |
| Waktu Jatuh Tempo ( $T$ )     | 1 Tahun                                                                          |
| Jumlah Partisi ( $N$ )        | 252 Hari                                                                         |
| <i>Risk-Free Rate</i> ( $r$ ) | 0,00115                                                                          |
| Volatilitas ( $\sigma$ )      | 0,24263                                                                          |
| <i>Barrier</i> ( $B$ )        | \$467,56 untuk tipe <i>up and out</i><br>\$214,25 untuk tipe <i>down and out</i> |
| Simulasi ( $M$ )              | 100, 200, $\dots$ , 5000                                                         |

#### 4.2 Implementasi *Quasi Monte Carlo* pada Perhitungan Harga Opsi *Barrier*

Pada penelitian ini, metode *Quasi Monte Carlo* digunakan untuk menghitung harga opsi *barrier* dengan menggunakan urutan bilangan hampir acak dari barisan *Halton* dan *Sobol*. Implementasi metode ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi dalam estimasi harga opsi dibandingkan dengan metode *Monte Carlo* standar, yang bergantung pada bilangan acak murni. Pada proses perhitungan harga opsi *barrier*, metode *Quasi Monte Carlo* diterapkan dengan beberapa tahapan utama. Tahapan pertama adalah membangkitkan urutan bilangan hampir acak menggunakan barisan *Halton* dan *Sobol*. Selanjutnya, bilangan-bilangan tersebut akan digunakan dalam simulasi pergerakan harga saham berdasarkan model *Geometric Brownian Motion*

(GBM). Setelah harga-harga saham tersimulasi, berikutnya adalah menghitung nilai *payoff* dan harga opsi saham.

#### 4.2.1 Membangkitkan Barisan *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol*

*Quasi Monte Carlo* dengan *Monte Carlo* standar memiliki sedikit perbedaan, perbedaan hanya di dalam pembuatan urutan bilangan acaknya. Jika pada *Monte Carlo* memiliki urutan bilangan yang acak, maka di *Quasi Monte Carlo* memiliki urutan bilangan yang hampir acak. Pada penelitian ini perhitungan *Quasi Monte Carlo* tidak hanya menggunakan parameter-parameter sebelumnya, tetapi juga menggunakan urutan bilangan hampir acak. Pembentukan urutan bilangan hampir acak pada *Quasi Monte Carlo Halton* menggunakan persamaan (2.37) dan *Sobol* menggunakan persamaan (2.38) yang kemudian dibuat dengan bantuan *software* Matlab. Berikut 10 urutan bilangan hampir acak pertama *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol*,

**Tabel 4.2** Urutan Bilangan *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol*

| No | Bilangan Halton | Bilangan Sobol |
|----|-----------------|----------------|
| 1  | 0,5             | 0,4016         |
| 2  | 0,25            | 0,9157         |
| 3  | 0,75            | 0,2020         |
| 4  | 0,125           | 0,5562         |
| 5  | 0,625           | 0,3428         |
| 6  | 0,375           | 0,8558         |
| 7  | 0,875           | 0,0108         |
| 8  | 0,0625          | 0,6829         |
| 9  | 0,5626          | 0,465          |
| 10 | 0,3125          | 0,9831         |



Tabel 4.2 adalah 10 bilangan hampir acak pertama *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol*, kemudian urutan tersebut akan dibuat sebanyak 5000 simulasi. Kemudian dari urutan bilangan hampir acak di atas akan ditransformasikan ke bilangan acak yang sudah berdistribusi normal, jika *Monte Carlo* standar bisa dapat di buat langsung bilangan acaknya, maka pada *Quasi Monte Carlo* harus di distribusikan normal dulu karena bilangan acak *Halton* dan *Sobol* umumnya berdistribusi seragam. Misalkan dari banyak 5000 simulasi, ambil 1 simulasi dengan 10 partisi untuk menjadi contoh perhitungan penelitian ini. Berikut 10 urutan bilangan acak pada simulasi pertama,

**Tabel 4.3** Urutan Bilangan Acak Z Pada Simulasi Pertama

| Partisi | Zmc     | Zqmch  | Zqmcs   |
|---------|---------|--------|---------|
| 1       | -0,3037 | 2,5066 | -0,2492 |
| 2       | -1,8639 | 0,4307 | -0,7386 |
| 3       | 0,8625  | 0,8416 | -0,8782 |
| 4       | 0,3454  | 0,1801 | 0,3881  |
| 5       | 1,7364  | 0,6046 | 0,9195  |
| 6       | 0,0279  | 0,2934 | -1,3109 |
| 7       | 0,4497  | 1,5647 | -0,0559 |
| 8       | 0,8022  | 1,0031 | -0,6251 |
| 9       | -0,8291 | 0,5119 | 0,5984  |
| 10      | -1,0138 | 0,1302 | -1,0577 |

Tabel 4.3 adalah 10 urutan bilangan acak Z pada simulasi pertama untuk *Monte Carlo* standar (Zmc), *Quasi Monte Carlo Halton* (Zqmch), dan *Quasi Monte Carlo Sobol* ( Zqmcs). Urutan bilangan acak Z yang diambil akan dibuat sebanyak 5000 simulasi  $\times$  252 partisi. Kemudian urutan bilangan acak Z digunakan dalam perhitungan pergerakan harga saham menggunakan *geometrik Brownian motion* (GBM).

#### 4.2.2 Mensimulasi Pergerakan Harga Saham

Proses simulasi harga saham menggunakan *geometrik Brownian motion* (GBM) yang terdapat pada persamaan (2.34). Perhitungan dilakukan sebanyak metode yang digunakan dengan masing masing urutan bilangan acak Z, seperti *Monte Carlo* standart (Zmc), *Quasi Monte Carlo Halton* (Zqmch), dan *Sobol* (Zqmcs), hasil perhitungan pada simulasi pertama sebagai berikut:

##### 1. Monte Carlo Standart

$$\begin{aligned} S_{0+1} &= 406,35 \times e^{[(0,00115 - \frac{0,24263^2}{2}) \times \frac{1}{252} + 0,24263 \times \sqrt{\frac{1}{252}} \times -0,3037]} \\ &= 406,35 \times 0,99525 \\ &= 404,41984 \end{aligned} \quad (4.5)$$

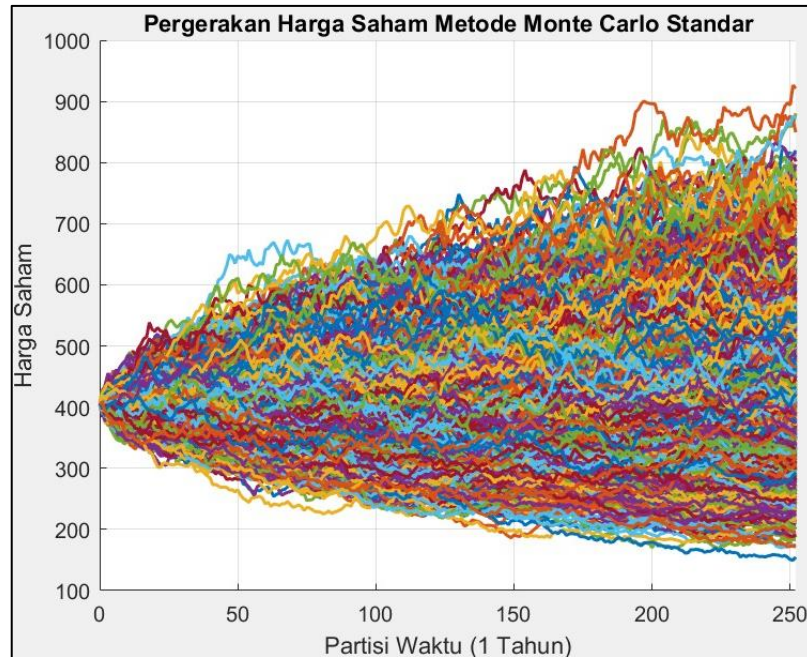
##### 2. Quasi Monte Carlo Halton

$$\begin{aligned} S_{0+1} &= 406,35 \times e^{[(0,00115 - \frac{0,24263^2}{2}) \times \frac{1}{252} + 0,24263 \times \sqrt{\frac{1}{252}} \times 2,5066]} \\ &= 406,35 \times 1,03893 \\ &= 422,16921 \end{aligned} \quad (4.6)$$

##### 3. Quasi Monte Carlo Sobol

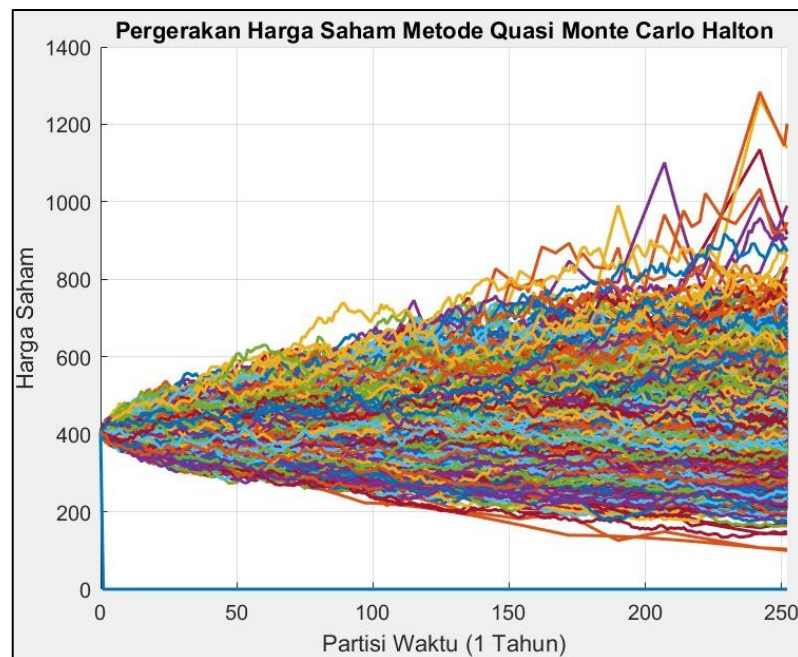
$$\begin{aligned} S_{0+1} &= 406,35 \times e^{[(0,00115 - \frac{0,24263^2}{2}) \times \frac{1}{252} + 0,24263 \times \sqrt{\frac{1}{252}} \times -0,2492]} \\ &= 406,35 \times 0,99608 \\ &= 404,75711 \end{aligned} \quad (4.7)$$

Perhitungan pergerakan harga saham di atas dilakukan sebanyak M kali simulasi dengan partisi sebanyak 252 di setiap simulasinya. Untuk mempermudah mendapatkan hasil dari perhitungan sebanyak 5000 simulasi  $\times$  252 partisi, digunakanlah *software* Matlab, hasil perhitungan didapatkan sebagai berikut,



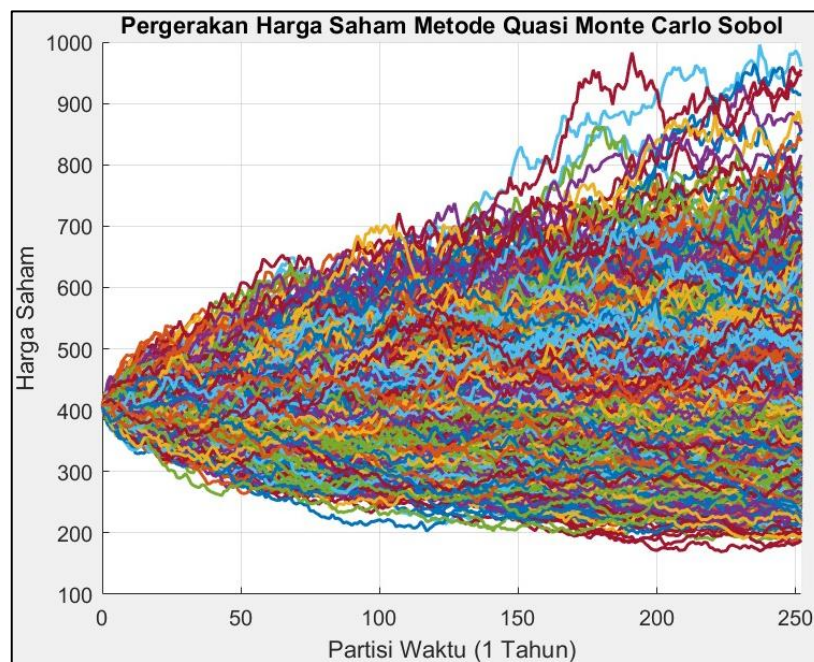
**Gambar 4.2** Pergerakan Harga Saham *Monte Carlo* Standar

Gambar 4.2 merupakan hasil pergerakan harga saham pada metode *Monte Carlo* standar. Pergerakan harga saham ini dilakukan sebanyak 5000 simulasi, dengan partisi waktu 252 hari atau 1 tahun. Terlihat kalau semakin bertambahnya partisi, semakin menyebar pergerakan harga sahamnya.



**Gambar 4.3** Pergerakan Harga Saham *Quasi Monte Carlo Halton*

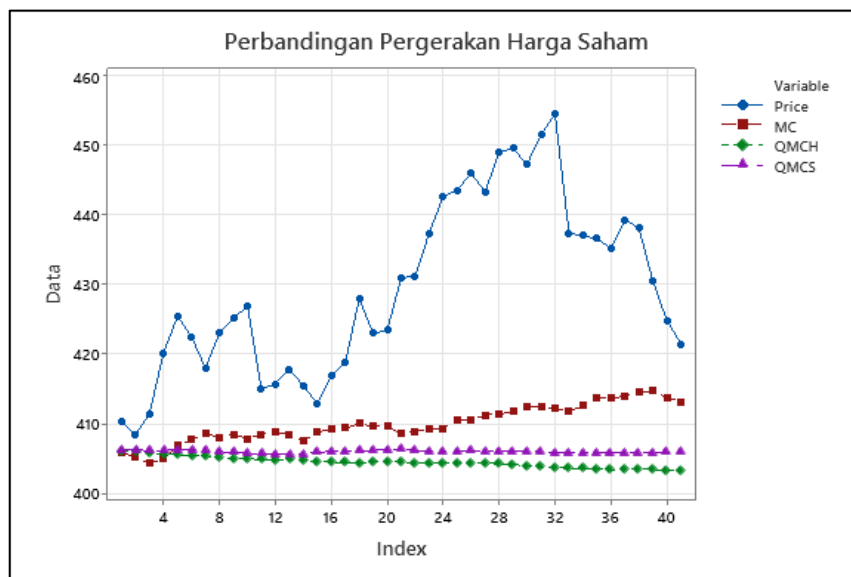
Gambar 4.3 merupakan hasil pergerakan harga saham pada metode *Quasi Monte Carlo Halton*. Pergerakan harga saham ini dilakukan sebanyak 5000 simulasi, dengan partisi waktu 252 hari atau 1 tahun. Terlihat kalau semakin bertambahnya partisi, semakin menyebar pergerakan harga sahamnya.



**Gambar 4.4** Pergerakan Harga Saham *Quasi Monte Carlo Sobol*

Gambar 4.4 merupakan hasil pergerakan harga saham pada metode *Quasi Monte Carlo Sobol*. Pergerakan harga saham ini dilakukan sebanyak 5000 simulasi, dengan partisi waktu 252 hari atau 1 tahun. Terlihat kalau semakin bertambahnya partisi, semakin menyebar pergerakan harga sahamnya. Meskipun pada ke tiga metode pergerakan harga sahamnya sama-sama menyebar, tetapi penyebarannya berbeda-beda. Hal ini terjadi karena perbedaan urutan bilangan acak  $Z$  pada setiap metode, yang pada Simulasi *Monte Carlo* menggunakan urutan bilangan acak, sedangkan pada simulasi *Quasi Monte Carlo* menggunakan urutan bilangan hampir acak.

Kemudian dari hasil pergerakan harga saham menggunakan metode *Monte Carlo* Standar dan *Quasi Monte Carlo* akan dibandingkan dengan data Microsoft Corporation. Data tersebut mulai tanggal 1 November 2024 sampai 31 Desember 2024 sebanyak 41 partisi yang didapat dari banyak hari kerja perdagangan pada periode tersebut. Hasil perbandingan tersebut terdapat pada lampiran 3 dan gambar berikut,



**Gambar 4.5** Perbandingan Pergerakan Harga Saham

Gambar di atas terlihat kalau data actual terjadi fluktuasi sedangkan metode-metode yang digunakan cenderung stabil. Meskipun demikian, nilai *error* nya baik. Walaupun beberapa nilai *error* berada diatas 0,1, tetapi rata-rata keseluruhan nilai *error* nya berada di 0,05.

#### 4.2.3 Menghitung Nilai *Payoff*

Proses perhitungan nilai *payoff* dilakukan pada saat waktu jatuh tempo atau pada saat partisi ke 252 dan dilakukan sebanyak 5000 kali, sesuai dengan banyak simulasi yang dilakukan. Pada perhitungan nilai *payoff* harus memenuhi

tipe *barrier* yang digunakan. Pada persamaan (2.15) dan (2.16) perhitungan nilai *payoff* akan ada nilainya jika selama pergerakan harga saham awal hingga waktu jatuh tempo tidak ada nilai yang lebih dari nilai barrier tipe *up and out* sebesar \$467,56. Jika terdapat nilai yang lebih dari nilai barrier tipe *up and out*, maka nilai *payoff* menjadi 0. Tapi jika tidak nilai yang lebih dari nilai barrier tipe *up and out*, maka nilai *payoff* dihitung sesuai opsinya. Sedangkan pada persamaan (2.11) dan (2.12) perhitungan nilai *payoff* akan ada nilainya jika selama pergerakan harga saham awal hingga waktu jatuh tempo tidak ada nilai yang kurang dari nilai barrier tipe *down and out* sebesar \$214,25. Jika terdapat nilai yang kurang dari nilai barrier tipe *down and out*, maka nilai *payoff* menjadi 0. Tapi jika tidak nilai yang kurang dari nilai barrier tipe *down and out*, maka nilai *payoff* dihitung sesuai opsinya.

#### 4.2.4 Menghitung Harga Opsi

Perhitungan harga opsi dilakukan menggunakan persamaan (2.35) untuk opsi *call* dan persamaan (2.36) untuk opsi *put*. Perhitungan harga opsi dilakukan setiap kelipatan 100 dari banyak 5000 simulasi, sesuai dengan batasan penelitian ini. Sehingga pada metode *Monte Carlo* standar, *Quasi Monte Carlo Halton*, dan *Quasi Monte Carlo Sobol* dihitung harga opsinya di setiap kelipatan 100. Berikut contoh perhitungan harga opsi *call* dan *put Monte Carlo* standar menggunakan tipe *barrier up and out* pada simulasi ke 100. Perhitungan untuk opsi *call*,

$$\begin{aligned}
 F_C &= e^{-0.00115 \times 1} \times \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{100} \max(S_T - K, 0) \\
 &= 0,99885 \times 0,67101 \\
 &= 0,67023
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

Sedangkan untuk opsi *put*,

$$\begin{aligned}
 F_C &= e^{-0.00115 \times 1} \times \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{100} \max(K - S_T, 0) \\
 &= 0,99885 \times 37,45971 \\
 &= 37,41663
 \end{aligned} \tag{4.9}$$

Kemudian proses perhitungan harga opsi *barrier tipe up and out* tersebut dilanjutkan dengan menggunakan metode dan tipe lainnya. Hasil perhitungan tersebut dengan bantuan *software* Matlab terdapat pada lampiran 5 untuk harga opsi tipe *up and out* dan lampiran 6 untuk harga opsi tipe *down and out*,

Pada lampiran 5 dan 6 metode *Monte Carlo* standar harga opsi *call* dan *put* memiliki harga opsi yang fluktuatif pada awal simulasi dan semakin stabil di akhir simulasi. Sedangkan pada metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol* harga opsi *call* dan *put* memiliki harga opsi yang stabil dari awal hingga akhir simulasi, meskipun pada awal simulasi memiliki nilai yang besar tapi seiring dengan bertambahnya banyak simulasi menghasilkan harga opsi yang stabil.

#### 4.3 Perbandingan harga opsi *barrier* menggunakan *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol* terhadap metode *Monte Carlo* standart dan *Black-Scholes*

Setelah melakukan perhitungan harga opsi *barrier* menggunakan metode *Monte Carlo* standar serta metode *Quasi Monte Carlo* dengan barisan *Halton* dan *Sobol*, langkah selanjutnya adalah membandingkan hasil yang diperoleh dengan solusi analitik yang diberikan oleh model *Black-Scholes*. Model *Black-Scholes* digunakan sebagai acuan karena memberikan solusi tertutup (*closed-form solution*) dalam menghitung harga opsi, termasuk opsi *barrier* dengan tipe *up and out* dan *down and out*. Perbandingan ini bertujuan untuk menganalisis seberapa akurat

metode-metode tersebut dalam menghitung harga opsi *barrier*. Dengan melakukan perbandingan terhadap model *Black-Scholes*, dapat diketahui sejauh mana metode berbasis simulasi ini mendekati nilai teoritis yang seharusnya.

#### 4.3.1 Menghitung Harga Opsi Metode *Black-Scholes*

Metode *Black-Scholes* pada tipe *barrier* memiliki rumus masing-masing pada setiap tipe *barrier*. Pada penelitian ini tipe *barrier* yang digunakan adalah *up and out* dan *down and out*, sehingga metode *Black-Scholes* yang digunakan untuk perhitungan harga opsi adalah tipe *barrier up and out* dan *down and out*. Pada persamaan (2.49) dan (2.50) adalah rumus untuk perhitungan harga opsi menggunakan *black-scholes tipe barrier up and out call* dan *put*. Sedangkan pada persamaan (2.45) dan (2.46) adalah rumus untuk perhitungan harga opsi menggunakan *Black-Scholes tipe barrier down and out call* dan *put*. Perhitungan harga opsi tipe *barrier* menggunakan metode *Black-Scholes* didapatkan sebagai berikut,

**Tabel 4.4** Harga Opsi Metode *Black-Scholes*

| <i>Up and Out</i> |            | <i>Down and Out</i> |            |
|-------------------|------------|---------------------|------------|
| <i>Call</i>       | <i>Put</i> | <i>Call</i>         | <i>Put</i> |
| \$0,26547         | \$43,30133 | \$29,81928          | \$50,54521 |

#### 4.3.2 Perbandingan Harga Opsi dan Perhitungan Galat/*Error*

Proses perhitungan galat dilakukan untuk mengetahui tingkat keakuratan harga opsi *barrier* yang diperoleh dari metode *Monte Carlo* standar, *Quasi Monte Carlo Halton*, dan *Sobol* terhadap harga teoritis berdasarkan model *Black-Scholes*. Pengukuran galat sangat penting untuk mengevaluasi sejauh mana hasil simulasi



mendekati nilai teoritis. Hasil dari perhitungan harga opsi di setiap metode menggunakan persamaan (2.63). Berikut contoh perhitungan galat relatif untuk harga opsi *call* dan *put Monte Carlo* standar menggunakan tipe *barrier up and out* pada simulasi ke 100. Perhitungan untuk opsi *call*,

$$\begin{aligned}\varepsilon_R &= \frac{|0,67023 - 0,26547|}{|0,26547|} \\ &= 1,52469\end{aligned}\quad (4.10)$$

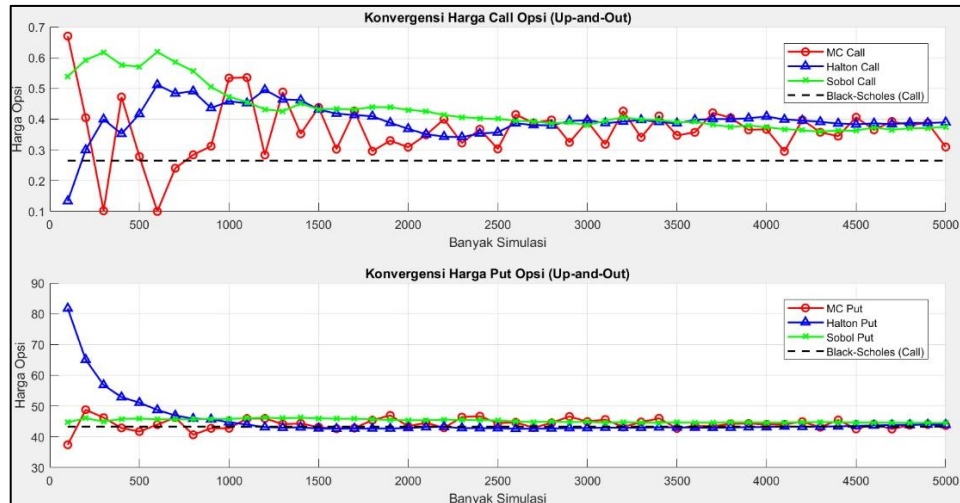
Sedangkan untuk opsi *put*,

$$\begin{aligned}\varepsilon_R &= \frac{|37,41663 - 43,30133|}{|43,30133|} \\ &= 0,13590\end{aligned}\quad (4.11)$$

Kemudian proses perhitungan galat relatif harga opsi *barrier tipe up and out* tersebut dilanjutkan dengan menggunakan metode dan tipe lainnya. Hasil perhitungan tersebut dengan bantuan *software* Matlab terdapat pada lampiran 7 untuk galat harga opsi tipe *up and out* dan lampiran 8 untuk galat harga opsi tipe *down and out*,

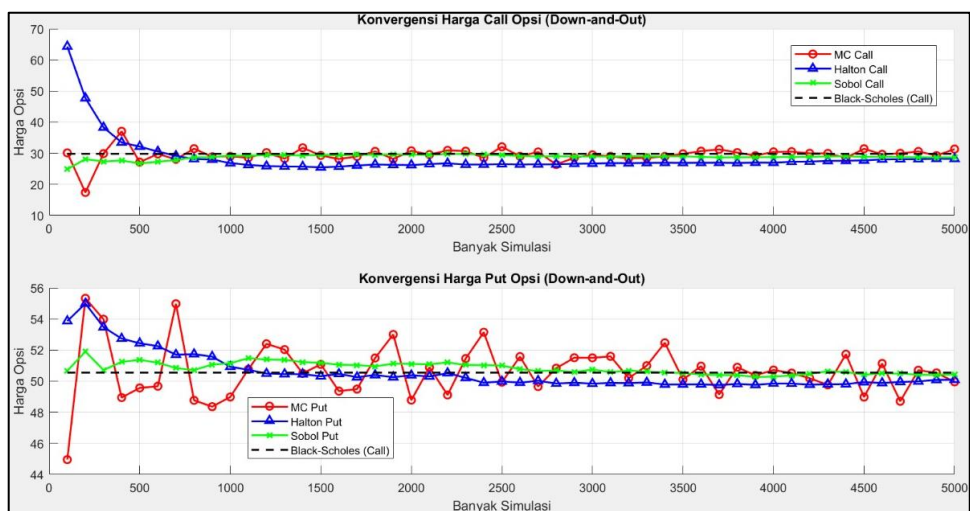
#### 4.3.3 Perbandingan Hasil Harga Opsi Melalui Kekonvergenan Galat/Error

Harga opsi menggunakan metode *Monte Carlo* standart, *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol* pada lampiran 3 dan 4 akan dibandingkan dengan harga opsi menggunakan metode *Black-Scholes* pada tabel 4.4. Perbandingan ini dilakukan untuk mengetahui metode mana yang mendekati nilai *Black-Scholes* seiring dengan berjalanya banyak simulasi. Hasil perbandingan tersebut berupa plot yang diolah pada *software* Matlab, hasil plot tersebut sebagai berikut,



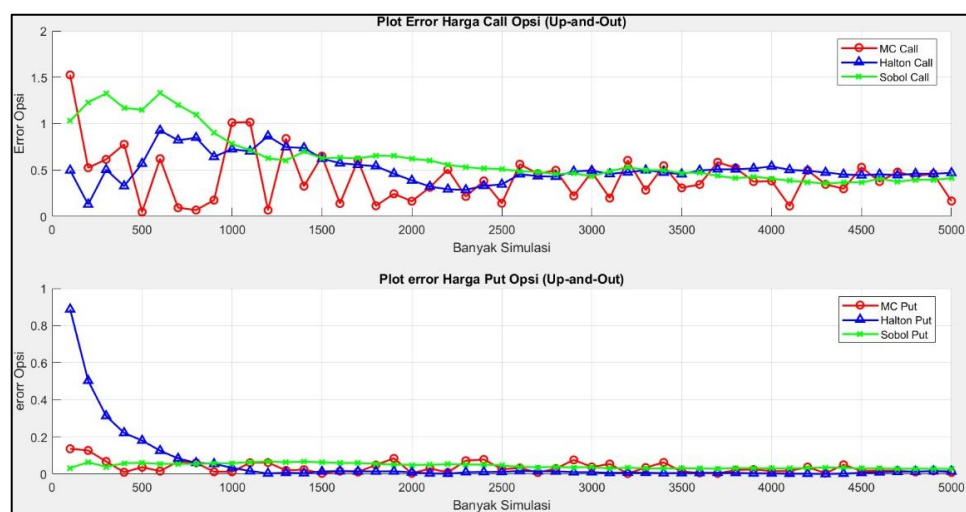
**Gambar 4.6** Konvergensi Harga Opsi Tipe *Up and Out*

Pada gambar 4.6 harga opsi Tipe *up and Out* beberapa metode memiliki konvergensi yang baik, meskipun di awal simulasi memiliki fluktuasi yang cukup tinggi. Harga opsi Tipe *up and Out*, baik opsi *call* maupun opsi *put* dapat dikatakan semakin banyak simulasinya harga opsi akan semakin mendekati nilai *Black-Scholes*. Tetapi jika dibandingkan konvergensi harga opsi *call* dan *put*, pada tipe *barrier up and out* opsi *put* memiliki konvergensi lebih baik daripada opsi *call* karena nilai opsi *put* lebih konvergen terhadap *Black-Scholes*.



**Gambar 4.7** Konvergensi Harga Opsi Tipe *Down and Out*

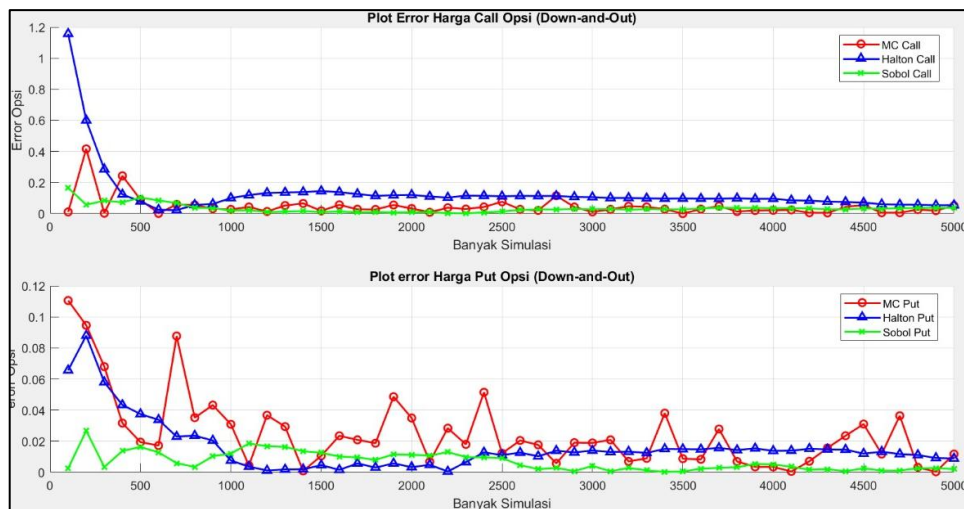
Pada gambar 4.7 harga opsi Tipe *down and Out* beberapa metode memiliki konvergensi yang baik, meskipun di awal simulasi memiliki fluktuasi yang cukup tinggi. Harga opsi Tipe *down and Out*, baik opsi *call* maupun opsi *put* dapat dikatakan semakin banyak simulasinya harga opsi akan semakin mendekati nilai *Black-Scholes*. Tetapi jika dibandingkan konvergensi harga opsi *call* dan *put*, pada tipe *barrier down and out* opsi *call* memiliki konvergensi lebih baik daripada opsi *put* karena nilai opsi *put* lebih konvergen terhadap *Black-Scholes*. Setelah perbandingan harga opsi dilakukan, berikutnya adalah menguji keakuratan harga opsi itu dengan konvergensi galat/error berdasarkan pada lampiran 7 dan 8. Hasil konvergensi berupa plot yang diolah pada software Matlab, hasil plot tersebut sebagai berikut,



**Gambar 4.8** Plot Galat/Error Harga Opsi Tipe *Up and Out*

Pada gambar 4.8 diketahui bahwa tipe *barrier up and out* menggunakan metode *Quasi Monte Carlo Halton* opsi *put* memiliki *error* paling kecil. Terlihat pada gambar, meskipun di awal simulasi memiliki *error* yang tinggi, tetapi semakin banyak jumlah simulasi *error* nya semakin kecil dan konvergen.

Bahkan nilai *error* nya lebih kecil daripada metode *Monte Carlo* Standar dan *Quasi Monte Carlo Sobol*.



**Gambar 4.9** Plot Galat/Error Harga Opsi Tipe *Down and Out*

Pada gambar 4.9 diketahui bahwa tipe *barrier down and out* menggunakan metode *Quasi Monte Carlo Sobol* opsi *put* memiliki *error* paling kecil. Terlihat pada gambar kalau semakin banyak jumlah simulasi *error* nya stabil dan cenderung lebih rendah dari *Monte Carlo* standar dan *Quasi Monte Carlo Halton*. *Error* metode ini lah yang menjadikan metode ini paling bagus dari metode lainnya.

#### 4.4 Kajian Penelitian dalam Prespektif Islam

Ilmu dan teknologi dalam Islam dikembangkan untuk memberikan manfaat bagi umat manusia, termasuk dalam aspek ekonomi dan keuangan. Pada penelitian ini, perhitungan harga opsi *barrier* menggunakan metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol* dapat dikaitkan dengan prinsip-prinsip Islam dalam keadilan, kepastian, dan transparansi dalam muamalah. Dalam dunia investasi dan perdagangan, Islam menekankan pentingnya ketelitian dan kejujuran dalam setiap

transaksi agar terhindar dari ketidakpastian yang merugikan salah satu pihak. Oleh karena itu, metode yang akurat dan stabil dalam menentukan harga opsi menjadi penting agar transaksi keuangan lebih adil dan sesuai dengan prinsip-prinsip Islam.

Pada Dunia keuangan dan investasi, ketelitian serta profesionalisme dalam analisis data sangat penting untuk menghasilkan keputusan yang optimal. Prinsip ini sejalan dengan ajaran Islam yang menekankan pentingnya bekerja dengan penuh dedikasi dan keakuratan. Dalam sebuah hadis yang diriwayatkan oleh Thabrani dan Baihaqi,

عَنْ عَائِشَةَ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهَا قَالَتْ: قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ: إِنَّ اللَّهَ تَعَالَى يُحِبُّ إِذَا عَمِلَ أَحَدُكُمْ عَمَلًا أَنْ يُتَقَنَّهُ (رواه الطبري والبيهقي)

*Dari Aisyah radhiyallahu 'anha, ia berkata: Rasulullah shallallahu 'alaihi wa sallam bersabda: "Sesungguhnya Allah Ta'ala mencintai seseorang yang ketika bekerja, ia bekerja dengan itqan (profesional dan teliti)" (HR. Thabrani dan Baihaqi).*

Hadis ini menekankan bahwa dalam setiap pekerjaan, termasuk dalam analisis dan perhitungan keuangan, seorang Muslim harus berusaha mencapai tingkat ketelitian dan profesionalisme yang tinggi. Hasil penelitian ini menggunakan metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol* memberikan pendekatan yang akurat, sehingga dapat membantu dalam menghasilkan keputusan investasi yang lebih tepat. Penggunaan metode yang baik mencerminkan upaya untuk bekerja secara itqan, sebagaimana yang dianjurkan dalam Islam.

Selain itu, kejelasan dan transparansi dalam transaksi keuangan di Islam sangat ditekankan untuk menghindari ketidakpastian yang dapat merugikan salah satu pihak. Prinsip ini menjadi landasan dalam berbagai aspek ekonomi Islam, termasuk dalam metode perhitungan keuangan yang digunakan. Dalam sebuah hadis yang diriwayatkan oleh Muslim,

عَنْ أَبِي هُرَيْرَةَ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ، قَالَ: هَيَّ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ عَنْ بَيْعِ الْخِصَاةِ، وَعَنْ بَيْعِ الْغَرَرِ.  
(رواه مسلم)

“Dari Abu Hurairah radhiyallahu ‘anhu, ia berkata: Rasulullah shallallahu ‘alaihi wa sallam melarang jual beli dengan cara lempar batu dan jual beli yang mengandung unsur gharar (ketidakjelasan)” (HR. Muslim).

Dalam penelitian ini, metode *Monte Carlo* standar sering kali menghasilkan nilai yang lebih fluktuatif, sehingga dapat menciptakan ketidakpastian yang lebih tinggi dalam penentuan harga opsi. Sementara itu, metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol* cenderung lebih stabil dan dapat mengurangi unsur *gharar* dalam transaksi opsi. Dengan demikian, penggunaan metode yang akurat dalam perhitungan harga opsi dapat membantu menciptakan sistem keuangan yang lebih transparan dan sesuai dengan prinsip-prinsip Islam.

Seiring dengan upaya untuk menciptakan sistem keuangan yang lebih transparan dan adil, prinsip keseimbangan dalam ekonomi Islam menjadi sangat penting. Al-Qur’an menegaskan pentingnya keseimbangan dan keadilan dalam segala aspek kehidupan, termasuk dalam ekonomi. Allah SWT berfirman dalam QS. Ar-Rahman ayat 7-9,

وَالسَّمَاءَ رَفَعَهَا وَوَضَعَ الْمِيزَانَ (٧) أَلَّا تَطْغَوْا فِي الْمِيزَانِ (٨) وَأَقِيمُوا الْوَزْنَ بِالْقِسْطِ وَلَا تُخْسِرُوا الْمِيزَانَ  
(٩)

“Dan Dia meninggikan langit dan meletakkan neraca (keadilan), supaya kamu jangan melampaui batas dalam neraca itu. Dan tegakkanlah timbangan itu dengan adil dan janganlah kamu mengurangi neraca itu” (Kementrian Agama, 2017).

Ayat di atas mengajarkan bahwa dalam setiap transaksi, harus ada keseimbangan dan keadilan agar tidak ada pihak yang dirugikan. Dalam penelitian ini, metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol* digunakan untuk meningkatkan keakuratan dalam perhitungan harga opsi, sehingga lebih mencerminkan prinsip keseimbangan

dan keadilan dalam ekonomi Islam. Dengan metode yang lebih akurat, diharapkan keputusan investasi menjadi lebih rasional dan tidak hanya berdasarkan spekulasi semata.

Metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol* dapat dianalogikan sebagai seseorang yang ingin melakukan perjalanan ke suatu tempat dengan menggunakan peta yang lebih akurat dan terperinci. Metode *Monte Carlo* standar ibarat seseorang yang memilih rute perjalanan secara acak, yang bisa saja membuatnya tersesat atau menempuh perjalanan yang lebih panjang. Sementara itu, metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol* ibarat seseorang yang menggunakan GPS dengan jalur yang lebih optimal, sehingga lebih cepat dan efisien sampai ke tujuan. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan metode yang lebih sistematis dalam perhitungan keuangan dapat mengurangi ketidakpastian dan meningkatkan keakuratan dalam pengambilan keputusan investasi. Dengan demikian, prinsip Islam tentang keadilan, kepastian, dan transparansi dalam muamalah dapat tercermin dalam penerapan metode ini, sehingga memberikan manfaat yang lebih besar bagi pelaku pasar dan sistem ekonomi secara keseluruhan.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini yaitu:

1. Hasil perhitungan harga opsi menggunakan metode *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol* pada *barrier* tipe *up and out* dan *down and out* pada opsi *call* maupun *put* memiliki harga opsi yang stabil pada akhir simulasi, meskipun pada awal simulasi memiliki nilai yang besar tapi seiring dengan bertambahnya banyak simulasi menghasilkan harga opsi yang stabil. Hal ini membuktikan bahwa perhitungan *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol* memiliki hasil harga opsi yang lebih baik dari *Monte Carlo* Standar yang memiliki harga opsi fluktuatif.
2. Keakuratan metode *Quasi Monte Carlo Halton*, *Sobol* dan *Monte Carlo* standar untuk menghitung harga opsi *barrier* cenderung meningkat seiring bertambahnya jumlah partisi. Metode *Quasi Monte Carlo Halton* pada opsi *put* tipe *up and out* memberikan hasil harga opsi yang sangat akurat dengan nilai *error* sebesar 0,01391. Sedangkan metode *Quasi Monte Carlo Sobol* pada opsi *put* tipe *down and out* memberikan hasil harga opsi yang sangat akurat dengan nilai *error* sebesar 0,00205. Hal ini menunjukkan bahwa metode *Quasi Monte Carlo* mampu memberikan keakuratan dan konvergensi yang baik, sehingga layak diterapkan dalam perhitungan harga opsi *barrier*.



## 5.2 Saran untuk Penelitian Lanjutan

Disarankan penelitian lanjutannya untuk menggunakan opsi *Amerika* atau opsi *Asia* karena untuk mengetahui apakah *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol* ini mampu memberikan hasil harga opsi yang baik atau tidak.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abu al-Husein, *Shahih Muslim*, Kairo: Dar al-kutub, 1918.
- Al-Baihaqi, Ahmad ibn al-Husain. *Sunan al-Kubra*. Dar al-Kutub al-Ilmiyyah, 2003.
- Al-Thabrani, Sulaiman ibn Ahmad. *Al-Mujam al-Kabir*. Mu'assasah a;-Risalah, 1983.
- Anastasia, V. (2022). *Simulasi Monte Carlo Dan Penerapannya Dalam Menentukan Probabilitas Pergerakan Saham Indeks Lq-45* [Skripsi, Universitas Negeri Padang]. <http://repository.unp.ac.id/45342/>
- Anton, A. (2006). *Analisis Model Volatiltas Return Saham (Studi Kasus pada Saham LQ 45 di Bursa Efek Jakarta)*.
- Atmadjaja, Y. (2000). *Derivatif keuangan: Teori dan penerapannya*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Bodie, Z., Kane, A., & Marcus, A. J. (2018). *Investments*. McGraw-Hill Education.
- Bursa Efek Indonesia (BEI). (2023). *Saham*. suit-baze. Diambil 1 Juni 2024, dari <https://idx.co.id/>
- Desiyanti, R. (2017). *Analisis Kinerja Reksadana Saham Di Indonesia*. *UNES Journal Of Social and Economics Research*, 2(2), Article 2.
- Dewi, S., & Ramli, I. (2018). Opsi Saham Pada Pasar Modal Di Indonesia (Studi Pasar Opsi Bursa Efek Indonesia). *Jurnal Muara Ilmu Ekonomi Dan Bisnis*, 2(2), Article 2. <https://doi.org/10.24912/jmieb.v2i2.1001>
- Efendi, F. M., & Ngatno, N. (2018). Pengaruh Return On Assets (ROA Terhadap Harga Saham dengan Earning PerShare (EPS) sebagai Intervening (Studi Kasus pada Perusahaan Sub SektorTekstil dan Garmen yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia Periode 2013-2016). *Jurnal Administrasi Bisnis*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.14710/jab.v7i1.22568>
- Fama, E. F., & French, K. R. (2015). A five-factor asset pricing model. *Journal of Financial Economics*, 116(1), 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2014.10.010>
- Dewan Syariah Nasional. (2008). *Fatwa No. 66/DSN-MUI/III/2008 tentang waran syariah*. Jakarta: Dewan Syariah Nasional-Majelis Ulama Indonesia (DSN-MUI).
- Fitriyani, N., & Rasam, A. (2022). Penggunaan Quasi Monte Carlo dengan barisan Sobol dalam estimasi value at risk (VaR) untuk investasi saham. *Jurnal Manajemen Keuangan*, 15(3), 89-102.

- Glasserman, P. (2004). *Monte Carlo methods in financial engineering*. Springer.
- The World Bank. (2022). Fertility rate, total (births per woman). Diakses pada 14 November 2022 dari <https://data.worldbank.org/>
- Halimatussadiyah, H., & Putra, R. A. K. (2021). Faktor yang mempengaruhi return saham pada sub sektor perdagangan besar dan investasi. *JURNAL MANAJEMEN*, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.30872/jmmn.v13i1.8549>
- Halton, J. H. (1960). On the efficiency of certain quasi-random sequences of points in evaluating multi-dimensional integrals. *Numerische Mathematik*, 2(1), 84–90. <https://doi.org/10.1007/BF01386213>
- Haruman, T., & Hendrawan, R. (2009). Pengujian Garch Option Model Untuk Brrier Option Di Bursa Efek Indonesia. *Jurnal Keuangan Dan Perbankan*, 13(2), Article 2. <https://doi.org/10.26905/jkdp.v13i2.931>
- Higham, D. J. (2004). *An Introduction to Financial Option Valuation: Mathematics, Stochastics and Computation*. Cambridge University Press.
- Hull, J. (2003). *Options, Futures and Other Derivatives*. Pearson/Prentice Hall.
- Hull, J. (2012). *Options, Futures, and Other Derivatives*. Prentice Hall.
- Ibnu Majah, A. A. (1311 H). *Sunan Ibn Majah* (Juz 2). Dar al-Ihya' al-Arabiyyah.
- Irawan, W. O., Rosha, M., & 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), Article 1. <https://doi.org/10.24036/unpjomath.v4i1.6284>
- Kamila, I., Nugrahani, E. H., & Lesmana, D. C. (2017). Metode Monte Carlo Untuk Menentukan Harga Opsi Barrier Dengan Suku Bunga Takkonstan. *MILANG Journal of Mathematics and Its Applications*, 16(1), Article 1. <https://doi.org/10.29244/jmap.16.1.55-68>
- Kariyam, S. S. (2017). *Analisis Harga Saham dengan Metode Multidimensional Scaling (Studi Kasus: Harga Saham pada 13 Perusahaan Besar di Indonesia dari 2008 sampai 2016)*. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/31494>
- Kementerian Agama, R. (2017). *Al-Qur'an dan terjemah dilengkapi panduan waqaf & ibtida'*. PT. Suara Agung.
- Khoiri, H. A. (2023). *Analisis deret waktu* (C. P. Hendrastati, Ed.; 1st ed.). UNIPMA Press.
- Laamena, N. S. (2021). Penentuan harga saham (opsi Eropa dan opsi barrier) dengan metode Black-Scholes dan metode Monte Carlo. *Jurnal Styta Informatika*, 6(2), 31–39.

- Lessy, D. (2013). Simulasi Monte Carlo Dalam Penentuan Harga Opsi Barrier. *Matematika dan Pembelajaran*, 1(2), 110–118. <https://doi.org/10.33477/mp.v1i2.292>
- Linanda, R. (2018). *Pengaruh Struktur modal Dan Profitabilitas Terhadap Harga Saham*. <https://core.ac.uk/reader/229196990>
- Maharani, S., & Suprpto, E. (2018). *Analisis numerik* (ed. 1). CV Media Grafika.
- Nadya Rahmawati, A. (2010). *Implementasi metode quasi-monte carlo dengan barisan van der corput dalam mengaproksimasi premi opsi call eropa*. Universitas Indonesia Library; Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. <https://lib.ui.ac.id>
- Press, W. H. (Ed.). (2007). *Numerical recipes: The art of scientific computing* (3rd ed). Cambridge University Press.
- Putri, D. P. I. (2018). *Penentuan Harga Kontrak Opsi Tipe Amerika menggunakan Quasi Monte Carlo* [Diploma, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar]. <http://repositori.uin-alauddin.ac.id/14117/>
- Putri, S. A., Subartini, B., & Sukono, S. (2022). The Use of Quasi Monte Carlo Method with Halton Random Number Sequence in Determining the Price of European Type Options: In PT Telekomunikasi Indonesia Stockâ€™s. *International Journal of Global Operations Research*, 3(4), Article 4. <https://doi.org/10.47194/ijgor.v3i4.191>
- Russell, R. S., & Taylor, B. W. (2011). *Operations Management*. Wiley.
- Sayyid, A. (2015). Investasi Sekuritas Derifativ Di Pasar Modal Indonesia.. *At-Taradhi*, 5(2). <https://doi.org/10.18592/taradhi.v5i2.224>
- Setiawan, P. B. R., & Triaryati, N. (2016). Peran Profitabilitas Dalam Memediasi Pengaruh Leverage Terhadap Return Saham Pada Perusahaan Food And Beverages. *E-Jurnal Manajemen*, 5(5). <https://ojs.unud.ac.id/index.php/manajemen/article/view/18055>
- Seydel, R. (2004). *Tools for Computational Finance*. Springer Science & Business Media.
- Sumampouw, J. A. P., Montolalu, C. E. J. C., & Manurung, T. (2020). Metode Quasi Monte Carlo Dengan Barisan Bilangan Acak Halton Dalam Menentukan Nilai Kontrak Opsi Tipe Binary Pada Saham PT. Gudang Garam, Tbk. *D'Cartesian*, 140–144. <https://doi.org/10.35799/dc.9.2.2020.29147>
- Suratna, S., Widjanarko, H., & Wibawa, T. (with Utomo, H. S.). (2020). *Investasi Saham: Vol. (Nomor)*. UPN "Veteran" Yogyakarta. <http://eprints.upnyk.ac.id/27577/>

- Susanto, H., & Kartowagiran, B. (2021). Perbandingan metode Monte Carlo standar dan Quasi Monte Carlo dalam simulasi keuangan. *Jurnal Matematika dan Aplikasinya*, 10(2), 123–135.
- Sutarno, H., Rachmatin, D., & Junaeti, E. (2022). *Metode numerik dengan pendekatan algoritmik*. Indonesia Emas Group.
- Tessy, O. M. (2018). *Penggunaan Metode Simulasi Quasi Monte Carlo Dengan Barisan Quasi Acak Halton Dalam Menentukan Harga Opsi Eropa*. [Diploma, Universitas Andalas]. <http://scholar.unand.ac.id/33096/>
- Walid, F. H. (2019). *Simulasi Monte Carlo Dalam Memperkirakan Persediaan Air Bersih* [Skripsi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara]. <http://repository.uinsu.ac.id/10702/>
- Widyastuti, A., Supriatna, A. K., & Hidayat, W. (2019). Penerapan metode Quasi Monte Carlo dalam penghitungan harga opsi Asia. *Jurnal Keuangan dan Derivatif*, 7(1), 45–58.
- Zubedi, F., Achmad, N., Mahmud, S. L., & Mowuu, R. (2022). Penentuan Harga Beli Opsi Asia Menggunakan Monte Carlo-Antithetic Variate dan Monte Carlo-Control. *Euler : Jurnal Ilmiah Matematika, Sains dan Teknologi*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.37905/euler.v10i1.12055>

## LAMPIRAN

**Lampiran 1.** Data Harga Saham Penutupan MSFT

| No | Tanggal    | Price (\$) | No | Tanggal    | Price (\$) |
|----|------------|------------|----|------------|------------|
| 1  | 11/01/2022 | 228,17     | 37 | 12/22/2022 | 238,19     |
| 2  | 11/02/2022 | 220,1      | 38 | 12/23/2022 | 238,73     |
| 3  | 11/03/2022 | 214,25     | 39 | 12/27/2022 | 236,96     |
| 4  | 11/04/2022 | 221,39     | 40 | 12/28/2022 | 234,53     |
| 5  | 11/07/2022 | 227,87     | 41 | 12/29/2022 | 241,01     |
| 6  | 11/08/2022 | 228,87     | 42 | 12/30/2022 | 239,82     |
| 7  | 11/09/2022 | 224,51     | 43 | 01/03/2023 | 239,58     |
| 8  | 11/10/2022 | 242,98     | 44 | 01/04/2023 | 229,1      |
| 9  | 11/11/2022 | 247,11     | 45 | 01/05/2023 | 222,31     |
| 10 | 11/14/2022 | 241,55     | 46 | 01/06/2023 | 224,93     |
| 11 | 11/15/2022 | 241,97     | 47 | 01/09/2023 | 227,12     |
| 12 | 11/16/2022 | 241,73     | 48 | 01/10/2023 | 228,85     |
| 13 | 11/17/2022 | 241,68     | 49 | 01/11/2023 | 235,77     |
| 14 | 11/18/2022 | 241,22     | 50 | 01/12/2023 | 238,51     |
| 15 | 11/21/2022 | 242,05     | 51 | 01/13/2023 | 239,23     |
| 16 | 11/22/2022 | 245,03     | 52 | 01/17/2023 | 240,35     |
| 17 | 11/23/2022 | 247,58     | 53 | 01/18/2023 | 235,81     |
| 18 | 11/25/2022 | 247,49     | 54 | 01/19/2023 | 231,93     |
| 19 | 11/28/2022 | 241,76     | 55 | 01/20/2023 | 240,22     |
| 20 | 11/29/2022 | 240,33     | 56 | 01/23/2023 | 242,58     |
| 21 | 11/30/2022 | 255,14     | 57 | 01/24/2023 | 242,04     |
| 22 | 12/01/2022 | 254,69     | 58 | 01/25/2023 | 240,61     |
| 23 | 12/02/2022 | 255,02     | 59 | 01/26/2023 | 248        |
| 24 | 12/05/2022 | 250,2      | 60 | 01/27/2023 | 248,16     |
| 25 | 12/06/2022 | 245,12     | 61 | 01/30/2023 | 242,71     |
| 26 | 12/07/2022 | 244,37     | 62 | 01/31/2023 | 247,81     |
| 27 | 12/08/2022 | 247,4      | 63 | 02/01/2023 | 252,75     |
| 28 | 12/09/2022 | 245,42     | 64 | 02/02/2023 | 264,6      |
| 29 | 12/12/2022 | 252,51     | 65 | 02/03/2023 | 258,35     |
| 30 | 12/13/2022 | 256,92     | 66 | 02/06/2023 | 256,77     |
| 31 | 12/14/2022 | 257,22     | 67 | 02/07/2023 | 267,56     |
| 32 | 12/15/2022 | 249,01     | 68 | 02/08/2023 | 266,73     |
| 33 | 12/16/2022 | 244,69     | 69 | 02/09/2023 | 263,62     |
| 34 | 12/19/2022 | 240,45     | 70 | 02/10/2023 | 263,1      |
| 35 | 12/20/2022 | 241,8      | 71 | 02/13/2023 | 271,32     |
| 36 | 12/21/2022 | 244,43     | 72 | 02/14/2023 | 272,17     |

| <b>No</b> | <b>Tanggal</b> | <b>Price (\$)</b> | <b>No</b> | <b>Tanggal</b> | <b>Price (\$)</b> |
|-----------|----------------|-------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 73        | 02/15/2023     | 269,32            | 113       | 04/14/2023     | 286,14            |
| 74        | 02/16/2023     | 262,15            | 114       | 04/17/2023     | 288,8             |
| 75        | 02/17/2023     | 258,06            | 115       | 04/18/2023     | 288,37            |
| 76        | 02/21/2023     | 252,67            | 116       | 04/19/2023     | 288,45            |
| 77        | 02/22/2023     | 251,51            | 117       | 04/20/2023     | 286,11            |
| 78        | 02/23/2023     | 254,77            | 118       | 04/21/2023     | 285,76            |
| 79        | 02/24/2023     | 249,22            | 119       | 04/24/2023     | 281,77            |
| 80        | 02/27/2023     | 250,16            | 120       | 04/25/2023     | 275,42            |
| 81        | 02/28/2023     | 249,42            | 121       | 04/26/2023     | 295,37            |
| 82        | 03/01/2023     | 246,27            | 122       | 04/27/2023     | 304,83            |
| 83        | 03/02/2023     | 251,11            | 123       | 04/28/2023     | 307,26            |
| 84        | 03/03/2023     | 255,29            | 124       | 05/01/2023     | 305,56            |
| 85        | 03/06/2023     | 256,87            | 125       | 05/02/2023     | 305,41            |
| 86        | 03/07/2023     | 254,15            | 126       | 05/03/2023     | 304,4             |
| 87        | 03/08/2023     | 253,7             | 127       | 05/04/2023     | 305,41            |
| 88        | 03/09/2023     | 252,32            | 128       | 05/05/2023     | 310,65            |
| 89        | 03/10/2023     | 248,59            | 129       | 05/08/2023     | 308,65            |
| 90        | 03/13/2023     | 253,92            | 130       | 05/09/2023     | 307               |
| 91        | 03/14/2023     | 260,79            | 131       | 05/10/2023     | 312,31            |
| 92        | 03/15/2023     | 265,44            | 132       | 05/11/2023     | 310,11            |
| 93        | 03/16/2023     | 276,2             | 133       | 05/12/2023     | 308,97            |
| 94        | 03/17/2023     | 279,43            | 134       | 05/15/2023     | 309,46            |
| 95        | 03/20/2023     | 272,23            | 135       | 05/16/2023     | 311,74            |
| 96        | 03/21/2023     | 273,78            | 136       | 05/17/2023     | 314               |
| 97        | 03/22/2023     | 272,29            | 137       | 05/18/2023     | 318,52            |
| 98        | 03/23/2023     | 277,66            | 138       | 05/19/2023     | 318,34            |
| 99        | 03/24/2023     | 280,57            | 139       | 05/22/2023     | 321,18            |
| 100       | 03/27/2023     | 276,38            | 140       | 05/23/2023     | 315,26            |
| 101       | 03/28/2023     | 275,23            | 141       | 05/24/2023     | 313,85            |
| 102       | 03/29/2023     | 280,51            | 142       | 05/25/2023     | 325,92            |
| 103       | 03/30/2023     | 284,05            | 143       | 05/26/2023     | 332,89            |
| 104       | 03/31/2023     | 288,3             | 144       | 05/30/2023     | 331,21            |
| 105       | 04/03/2023     | 287,23            | 145       | 05/31/2023     | 328,39            |
| 106       | 04/04/2023     | 287,18            | 146       | 06/01/2023     | 332,58            |
| 107       | 04/05/2023     | 284,34            | 147       | 06/02/2023     | 335,4             |
| 108       | 04/06/2023     | 291,6             | 148       | 06/05/2023     | 335,94            |
| 109       | 04/10/2023     | 289,39            | 149       | 06/06/2023     | 333,68            |
| 110       | 04/11/2023     | 282,83            | 150       | 06/07/2023     | 323,38            |
| 111       | 04/12/2023     | 283,49            | 151       | 06/08/2023     | 325,26            |
| 112       | 04/13/2023     | 289,84            | 152       | 06/09/2023     | 326,79            |

| <b>No</b> | <b>Tanggal</b> | <b>Price (\$)</b> | <b>No</b> | <b>Tanggal</b> | <b>Price (\$)</b> |
|-----------|----------------|-------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 153       | 06/12/2023     | 331,85            | 193       | 08/09/2023     | 322,23            |
| 154       | 06/13/2023     | 334,29            | 194       | 08/10/2023     | 322,93            |
| 155       | 06/14/2023     | 337,34            | 195       | 08/11/2023     | 321,01            |
| 156       | 06/15/2023     | 348,1             | 196       | 08/14/2023     | 324,04            |
| 157       | 06/16/2023     | 342,33            | 197       | 08/15/2023     | 321,86            |
| 158       | 06/20/2023     | 338,05            | 198       | 08/16/2023     | 320,4             |
| 159       | 06/21/2023     | 333,56            | 199       | 08/17/2023     | 316,88            |
| 160       | 06/22/2023     | 339,71            | 200       | 08/18/2023     | 316,48            |
| 161       | 06/23/2023     | 335,02            | 201       | 08/21/2023     | 321,88            |
| 162       | 06/26/2023     | 328,6             | 202       | 08/22/2023     | 322,46            |
| 163       | 06/27/2023     | 334,57            | 203       | 08/23/2023     | 327               |
| 164       | 06/28/2023     | 335,85            | 204       | 08/24/2023     | 319,97            |
| 165       | 06/29/2023     | 335,05            | 205       | 08/25/2023     | 322,98            |
| 166       | 06/30/2023     | 340,54            | 206       | 08/28/2023     | 323,7             |
| 167       | 07/03/2023     | 337,99            | 207       | 08/29/2023     | 328,41            |
| 168       | 07/05/2023     | 338,15            | 208       | 08/30/2023     | 328,79            |
| 169       | 07/06/2023     | 341,27            | 209       | 08/31/2023     | 327,76            |
| 170       | 07/07/2023     | 337,22            | 210       | 09/01/2023     | 328,66            |
| 171       | 07/10/2023     | 331,83            | 211       | 09/05/2023     | 333,55            |
| 172       | 07/11/2023     | 332,47            | 212       | 09/06/2023     | 332,88            |
| 173       | 07/12/2023     | 337,2             | 213       | 09/07/2023     | 329,91            |
| 174       | 07/13/2023     | 342,66            | 214       | 09/08/2023     | 334,27            |
| 175       | 07/14/2023     | 345,24            | 215       | 09/11/2023     | 337,94            |
| 176       | 07/17/2023     | 345,73            | 216       | 09/12/2023     | 331,77            |
| 177       | 07/18/2023     | 359,49            | 217       | 09/13/2023     | 336,06            |
| 178       | 07/19/2023     | 355,08            | 218       | 09/14/2023     | 338,7             |
| 179       | 07/20/2023     | 346,87            | 219       | 09/15/2023     | 330,22            |
| 180       | 07/21/2023     | 343,77            | 220       | 09/18/2023     | 329,06            |
| 181       | 07/24/2023     | 345,11            | 221       | 09/19/2023     | 328,65            |
| 182       | 07/25/2023     | 350,98            | 222       | 09/20/2023     | 320,77            |
| 183       | 07/26/2023     | 337,77            | 223       | 09/21/2023     | 319,53            |
| 184       | 07/27/2023     | 330,72            | 224       | 09/22/2023     | 317,01            |
| 185       | 07/28/2023     | 338,37            | 225       | 09/25/2023     | 317,54            |
| 186       | 07/31/2023     | 335,92            | 226       | 09/26/2023     | 312,14            |
| 187       | 08/01/2023     | 336,34            | 227       | 09/27/2023     | 312,79            |
| 188       | 08/02/2023     | 327,5             | 228       | 09/28/2023     | 313,64            |
| 189       | 08/03/2023     | 326,66            | 229       | 09/29/2023     | 315,75            |
| 190       | 08/04/2023     | 327,78            | 230       | 10/02/2023     | 321,8             |
| 191       | 08/07/2023     | 330,11            | 231       | 10/03/2023     | 313,39            |
| 192       | 08/08/2023     | 326,05            | 232       | 10/04/2023     | 318,95            |



| <b>No</b> | <b>Tanggal</b> | <b>Price (\$)</b> | <b>No</b> | <b>Tanggal</b> | <b>Price (\$)</b> |
|-----------|----------------|-------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 233       | 10/05/2023     | 319,36            | 273       | 12/01/2023     | 374,51            |
| 234       | 10/06/2023     | 327,26            | 274       | 12/04/2023     | 369,14            |
| 235       | 10/09/2023     | 329,82            | 275       | 12/05/2023     | 372,52            |
| 236       | 10/10/2023     | 328,39            | 276       | 12/06/2023     | 368,8             |
| 237       | 10/11/2023     | 332,42            | 277       | 12/07/2023     | 370,95            |
| 238       | 10/12/2023     | 331,16            | 278       | 12/08/2023     | 374,23            |
| 239       | 10/13/2023     | 327,73            | 279       | 12/11/2023     | 371,3             |
| 240       | 10/16/2023     | 332,64            | 280       | 12/12/2023     | 374,38            |
| 241       | 10/17/2023     | 332,06            | 281       | 12/13/2023     | 374,37            |
| 242       | 10/18/2023     | 330,11            | 282       | 12/14/2023     | 365,93            |
| 243       | 10/19/2023     | 331,32            | 283       | 12/15/2023     | 370,73            |
| 244       | 10/20/2023     | 326,67            | 284       | 12/18/2023     | 372,65            |
| 245       | 10/23/2023     | 329,32            | 285       | 12/19/2023     | 373,26            |
| 246       | 10/24/2023     | 330,53            | 286       | 12/20/2023     | 370,62            |
| 247       | 10/25/2023     | 340,67            | 287       | 12/21/2023     | 373,54            |
| 248       | 10/26/2023     | 327,89            | 288       | 12/22/2023     | 374,58            |
| 249       | 10/27/2023     | 329,81            | 289       | 12/26/2023     | 374,66            |
| 250       | 10/30/2023     | 337,31            | 290       | 12/27/2023     | 374,07            |
| 251       | 10/31/2023     | 338,11            | 291       | 12/28/2023     | 375,28            |
| 252       | 11/01/2023     | 346,07            | 292       | 12/29/2023     | 376,04            |
| 253       | 11/02/2023     | 348,32            | 293       | 01/02/2024     | 370,87            |
| 254       | 11/03/2023     | 352,8             | 294       | 01/03/2024     | 370,6             |
| 255       | 11/06/2023     | 356,53            | 295       | 01/04/2024     | 367,94            |
| 256       | 11/07/2023     | 360,53            | 296       | 01/05/2024     | 367,75            |
| 257       | 11/08/2023     | 363,2             | 297       | 01/08/2024     | 374,69            |
| 258       | 11/09/2023     | 360,69            | 298       | 01/09/2024     | 375,79            |
| 259       | 11/10/2023     | 369,67            | 299       | 01/10/2024     | 382,77            |
| 260       | 11/13/2023     | 366,68            | 300       | 01/11/2024     | 384,63            |
| 261       | 11/14/2023     | 370,27            | 301       | 01/12/2024     | 388,47            |
| 262       | 11/15/2023     | 369,67            | 302       | 01/16/2024     | 390,27            |
| 263       | 11/16/2023     | 376,17            | 303       | 01/17/2024     | 389,47            |
| 264       | 11/17/2023     | 369,85            | 304       | 01/18/2024     | 393,87            |
| 265       | 11/20/2023     | 377,44            | 305       | 01/19/2024     | 398,67            |
| 266       | 11/21/2023     | 373,07            | 306       | 01/22/2024     | 396,51            |
| 267       | 11/22/2023     | 377,85            | 307       | 01/23/2024     | 398,9             |
| 268       | 11/24/2023     | 377,43            | 308       | 01/24/2024     | 402,56            |
| 269       | 11/27/2023     | 378,61            | 309       | 01/25/2024     | 404,87            |
| 270       | 11/28/2023     | 382,7             | 310       | 01/26/2024     | 403,93            |
| 271       | 11/29/2023     | 378,85            | 311       | 01/29/2024     | 409,72            |
| 272       | 11/30/2023     | 378,91            | 312       | 01/30/2024     | 408,59            |

| <b>No</b> | <b>Tanggal</b> | <b>Price (\$)</b> | <b>No</b> | <b>Tanggal</b> | <b>Price (\$)</b> |
|-----------|----------------|-------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 313       | 01/31/2024     | 397,58            | 353       | 03/28/2024     | 420,72            |
| 314       | 02/01/2024     | 403,78            | 354       | 04/01/2024     | 424,57            |
| 315       | 02/02/2024     | 411,22            | 355       | 04/02/2024     | 421,44            |
| 316       | 02/05/2024     | 405,65            | 356       | 04/03/2024     | 420,45            |
| 317       | 02/06/2024     | 405,49            | 357       | 04/04/2024     | 417,88            |
| 318       | 02/07/2024     | 414,05            | 358       | 04/05/2024     | 425,52            |
| 319       | 02/08/2024     | 414,11            | 359       | 04/08/2024     | 424,59            |
| 320       | 02/09/2024     | 420,55            | 360       | 04/09/2024     | 426,28            |
| 321       | 02/12/2024     | 415,26            | 361       | 04/10/2024     | 423,26            |
| 322       | 02/13/2024     | 406,32            | 362       | 04/11/2024     | 427,93            |
| 323       | 02/14/2024     | 409,49            | 363       | 04/12/2024     | 421,9             |
| 324       | 02/15/2024     | 406,56            | 364       | 04/15/2024     | 413,64            |
| 325       | 02/16/2024     | 404,06            | 365       | 04/16/2024     | 414,58            |
| 326       | 02/20/2024     | 402,79            | 366       | 04/17/2024     | 411,84            |
| 327       | 02/21/2024     | 402,18            | 367       | 04/18/2024     | 404,27            |
| 328       | 02/22/2024     | 411,65            | 368       | 04/19/2024     | 399,12            |
| 329       | 02/23/2024     | 410,34            | 369       | 04/22/2024     | 400,96            |
| 330       | 02/26/2024     | 407,54            | 370       | 04/23/2024     | 407,57            |
| 331       | 02/27/2024     | 407,48            | 371       | 04/24/2024     | 409,06            |
| 332       | 02/28/2024     | 407,72            | 372       | 04/25/2024     | 399,04            |
| 333       | 02/29/2024     | 413,64            | 373       | 04/26/2024     | 406,32            |
| 334       | 03/01/2024     | 415,5             | 374       | 04/29/2024     | 402,25            |
| 335       | 03/04/2024     | 414,92            | 375       | 04/30/2024     | 389,33            |
| 336       | 03/05/2024     | 402,65            | 376       | 05/01/2024     | 394,94            |
| 337       | 03/06/2024     | 402,09            | 377       | 05/02/2024     | 397,84            |
| 338       | 03/07/2024     | 409,14            | 378       | 05/03/2024     | 406,66            |
| 339       | 03/08/2024     | 406,22            | 379       | 05/06/2024     | 413,54            |
| 340       | 03/11/2024     | 404,52            | 380       | 05/07/2024     | 409,34            |
| 341       | 03/12/2024     | 415,28            | 381       | 05/08/2024     | 410,54            |
| 342       | 03/13/2024     | 415,1             | 382       | 05/09/2024     | 412,32            |
| 343       | 03/14/2024     | 425,22            | 383       | 05/10/2024     | 414,74            |
| 344       | 03/15/2024     | 416,42            | 384       | 05/13/2024     | 413,72            |
| 345       | 03/18/2024     | 417,32            | 385       | 05/14/2024     | 416,56            |
| 346       | 03/19/2024     | 421,41            | 386       | 05/15/2024     | 423,08            |
| 347       | 03/20/2024     | 425,23            | 387       | 05/16/2024     | 420,99            |
| 348       | 03/21/2024     | 429,37            | 388       | 05/17/2024     | 420,21            |
| 349       | 03/22/2024     | 428,74            | 389       | 05/20/2024     | 425,34            |
| 350       | 03/25/2024     | 422,86            | 390       | 05/21/2024     | 429,04            |
| 351       | 03/26/2024     | 421,65            | 391       | 05/22/2024     | 430,52            |
| 352       | 03/27/2024     | 421,43            | 392       | 05/23/2024     | 427               |

| <b>No</b> | <b>Tanggal</b> | <b>Price (\$)</b> | <b>No</b> | <b>Tanggal</b> | <b>Price (\$)</b> |
|-----------|----------------|-------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 393       | 05/24/2024     | 430,16            | 433       | 07/24/2024     | 428,9             |
| 394       | 05/28/2024     | 430,32            | 434       | 07/25/2024     | 418,4             |
| 395       | 05/29/2024     | 429,17            | 435       | 07/26/2024     | 425,27            |
| 396       | 05/30/2024     | 414,67            | 436       | 07/29/2024     | 426,73            |
| 397       | 05/31/2024     | 415,13            | 437       | 07/30/2024     | 422,92            |
| 398       | 06/03/2024     | 413,52            | 438       | 07/31/2024     | 418,35            |
| 399       | 06/04/2024     | 416,07            | 439       | 08/01/2024     | 417,11            |
| 400       | 06/05/2024     | 424,01            | 440       | 08/02/2024     | 408,49            |
| 401       | 06/06/2024     | 424,52            | 441       | 08/05/2024     | 395,15            |
| 402       | 06/07/2024     | 423,85            | 442       | 08/06/2024     | 399,61            |
| 403       | 06/10/2024     | 427,87            | 443       | 08/07/2024     | 398,43            |
| 404       | 06/11/2024     | 432,68            | 444       | 08/08/2024     | 402,69            |
| 405       | 06/12/2024     | 441,06            | 445       | 08/09/2024     | 406,02            |
| 406       | 06/13/2024     | 441,58            | 446       | 08/12/2024     | 406,81            |
| 407       | 06/14/2024     | 442,57            | 447       | 08/13/2024     | 414,01            |
| 408       | 06/17/2024     | 448,37            | 448       | 08/14/2024     | 416,86            |
| 409       | 06/18/2024     | 446,34            | 449       | 08/15/2024     | 421,03            |
| 410       | 06/20/2024     | 445,7             | 450       | 08/16/2024     | 418,47            |
| 411       | 06/21/2024     | 449,78            | 451       | 08/19/2024     | 421,53            |
| 412       | 06/24/2024     | 447,67            | 452       | 08/20/2024     | 424,8             |
| 413       | 06/25/2024     | 450,95            | 453       | 08/21/2024     | 424,14            |
| 414       | 06/26/2024     | 452,16            | 454       | 08/22/2024     | 415,55            |
| 415       | 06/27/2024     | 452,85            | 455       | 08/23/2024     | 416,79            |
| 416       | 06/28/2024     | 446,95            | 456       | 08/26/2024     | 413,49            |
| 417       | 07/01/2024     | 456,73            | 457       | 08/27/2024     | 413,84            |
| 418       | 07/02/2024     | 459,28            | 458       | 08/28/2024     | 410,6             |
| 419       | 07/03/2024     | 460,77            | 459       | 08/29/2024     | 413,12            |
| 420       | 07/05/2024     | 467,56            | 460       | 08/30/2024     | 417,14            |
| 421       | 07/08/2024     | 466,24            | 461       | 09/03/2024     | 409,44            |
| 422       | 07/09/2024     | 459,54            | 462       | 09/04/2024     | 408,9             |
| 423       | 07/10/2024     | 466,25            | 463       | 09/05/2024     | 408,39            |
| 424       | 07/11/2024     | 454,7             | 464       | 09/06/2024     | 401,7             |
| 425       | 07/12/2024     | 453,55            | 465       | 09/09/2024     | 405,72            |
| 426       | 07/15/2024     | 453,96            | 466       | 09/10/2024     | 414,2             |
| 427       | 07/16/2024     | 449,52            | 467       | 09/11/2024     | 423,04            |
| 428       | 07/17/2024     | 443,52            | 468       | 09/12/2024     | 427               |
| 429       | 07/18/2024     | 440,37            | 469       | 09/13/2024     | 430,59            |
| 430       | 07/19/2024     | 437,11            | 470       | 09/16/2024     | 431,34            |
| 431       | 07/22/2024     | 442,94            | 471       | 09/17/2024     | 435,15            |
| 432       | 07/23/2024     | 444,85            | 472       | 09/18/2024     | 430,81            |

| <b>No</b> | <b>Tanggal</b> | <b>Price (\$)</b> | <b>No</b> | <b>Tanggal</b> | <b>Price (\$)</b> |
|-----------|----------------|-------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 473       | 09/19/2024     | 438,69            | 489       | 10/11/2024     | 416,32            |
| 474       | 09/20/2024     | 435,27            | 490       | 10/14/2024     | 419,14            |
| 475       | 09/23/2024     | 433,51            | 491       | 10/15/2024     | 418,74            |
| 476       | 09/24/2024     | 429,17            | 492       | 10/16/2024     | 416,12            |
| 477       | 09/25/2024     | 432,11            | 493       | 10/17/2024     | 416,72            |
| 478       | 09/26/2024     | 431,31            | 494       | 10/18/2024     | 418,16            |
| 479       | 09/27/2024     | 428,02            | 495       | 10/21/2024     | 418,78            |
| 480       | 09/30/2024     | 430,3             | 496       | 10/22/2024     | 427,51            |
| 481       | 10/01/2024     | 420,69            | 497       | 10/23/2024     | 424,6             |
| 482       | 10/02/2024     | 417,13            | 498       | 10/24/2024     | 424,73            |
| 483       | 10/03/2024     | 416,54            | 499       | 10/25/2024     | 428,15            |
| 484       | 10/04/2024     | 416,06            | 500       | 10/28/2024     | 426,59            |
| 485       | 10/07/2024     | 409,54            | 501       | 10/29/2024     | 431,95            |
| 486       | 10/08/2024     | 414,71            | 502       | 10/30/2024     | 432,53            |
| 487       | 10/09/2024     | 417,46            | 503       | 10/31/2024     | 406,35            |
| 488       | 10/10/2024     | 415,84            |           |                |                   |

**Lampiran 2.** Data *Return* Harga Saham Penutupan MSFT

| $z$ | $R_z$     | $z$ | $R_z$     | $z$ | $R_z$     | $z$ | $R_z$     |
|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|
| 1   | -0,036009 | 40  | 0,027255  | 79  | 0,003765  | 118 | -0,014061 |
| 2   | -0,026938 | 41  | -0,004950 | 80  | -0,002962 | 119 | -0,022794 |
| 3   | 0,032782  | 42  | -0,001001 | 81  | -0,012710 | 120 | 0,069932  |
| 4   | 0,028849  | 43  | -0,044729 | 82  | 0,019463  | 121 | 0,031525  |
| 5   | 0,004379  | 44  | -0,030086 | 83  | 0,016509  | 122 | 0,007940  |
| 6   | -0,019234 | 45  | 0,011716  | 84  | 0,006170  | 123 | -0,005548 |
| 7   | 0,079059  | 46  | 0,009689  | 85  | -0,010645 | 124 | -0,000491 |
| 8   | 0,016854  | 47  | 0,007588  | 86  | -0,001772 | 125 | -0,003313 |
| 9   | -0,022757 | 48  | 0,029790  | 87  | -0,005454 | 126 | 0,003313  |
| 10  | 0,001737  | 49  | 0,011554  | 88  | -0,014893 | 127 | 0,017012  |
| 11  | -0,000992 | 50  | 0,003014  | 89  | 0,021214  | 128 | -0,006459 |
| 12  | -0,000207 | 51  | 0,004671  | 90  | 0,026696  | 129 | -0,005360 |
| 13  | -0,001905 | 52  | -0,019070 | 91  | 0,017673  | 130 | 0,017149  |
| 14  | 0,003435  | 53  | -0,016591 | 92  | 0,039736  | 131 | -0,007069 |
| 15  | 0,012236  | 54  | 0,035120  | 93  | 0,011627  | 132 | -0,003683 |
| 16  | 0,010353  | 55  | 0,009776  | 94  | -0,026105 | 133 | 0,001585  |
| 17  | -0,000364 | 56  | -0,002229 | 95  | 0,005678  | 134 | 0,007341  |
| 18  | -0,023425 | 57  | -0,005926 | 96  | -0,005457 | 135 | 0,007223  |
| 19  | -0,005933 | 58  | 0,030251  | 97  | 0,019530  | 136 | 0,014292  |
| 20  | 0,059799  | 59  | 0,000645  | 98  | 0,010426  | 137 | -0,000565 |
| 21  | -0,001765 | 60  | -0,022206 | 99  | -0,015047 | 138 | 0,008882  |
| 22  | 0,001295  | 61  | 0,020795  | 100 | -0,004170 | 139 | -0,018604 |
| 23  | -0,019081 | 62  | 0,019739  | 101 | 0,019002  | 140 | -0,004483 |
| 24  | -0,020513 | 63  | 0,045818  | 102 | 0,012541  | 141 | 0,037737  |
| 25  | -0,003064 | 64  | -0,023904 | 103 | 0,014851  | 142 | 0,021160  |
| 26  | 0,012323  | 65  | -0,006135 | 104 | -0,003718 | 143 | -0,005059 |
| 27  | -0,008035 | 66  | 0,041163  | 105 | -0,000174 | 144 | -0,008551 |
| 28  | 0,028480  | 67  | -0,003107 | 106 | -0,009938 | 145 | 0,012679  |
| 29  | 0,017314  | 68  | -0,011728 | 107 | 0,025212  | 146 | 0,008443  |
| 30  | 0,001167  | 69  | -0,001974 | 108 | -0,007608 | 147 | 0,001609  |
| 31  | -0,032439 | 70  | 0,030765  | 109 | -0,022929 | 148 | -0,006750 |
| 32  | -0,017501 | 71  | 0,003128  | 110 | 0,002331  | 149 | -0,031354 |
| 33  | -0,017480 | 72  | -0,010527 | 111 | 0,022152  | 150 | 0,005797  |
| 34  | 0,005599  | 73  | -0,026983 | 112 | -0,012848 | 151 | 0,004693  |
| 35  | 0,010818  | 74  | -0,015725 | 113 | 0,009253  | 152 | 0,015365  |
| 36  | -0,025860 | 75  | -0,021108 | 114 | -0,001490 | 153 | 0,007326  |
| 37  | 0,002265  | 76  | -0,004602 | 115 | 0,000277  | 154 | 0,009082  |
| 38  | -0,007442 | 77  | 0,012878  | 116 | -0,008145 | 155 | 0,031398  |
| 39  | -0,010308 | 78  | -0,022025 | 117 | -0,001224 | 156 | -0,016715 |

| $z$ | $R_z$     | $z$ | $R_z$     | $z$ | $R_z$     | $z$ | $R_z$     |
|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|
| 157 | -0,012581 | 197 | -0,004546 | 237 | -0,003798 | 277 | 0,008803  |
| 158 | -0,013371 | 198 | -0,011047 | 238 | -0,010412 | 278 | -0,007860 |
| 159 | 0,018270  | 199 | -0,001263 | 239 | 0,014871  | 279 | 0,008261  |
| 160 | -0,013902 | 200 | 0,016919  | 240 | -0,001745 | 280 | -0,000027 |
| 161 | -0,019349 | 201 | 0,001800  | 241 | -0,005890 | 281 | -0,022803 |
| 162 | 0,018005  | 202 | 0,013981  | 242 | 0,003659  | 282 | 0,013032  |
| 163 | 0,003819  | 203 | -0,021733 | 243 | -0,014134 | 283 | 0,005166  |
| 164 | -0,002385 | 204 | 0,009363  | 244 | 0,008079  | 284 | 0,001636  |
| 165 | 0,016253  | 205 | 0,002227  | 245 | 0,003668  | 285 | -0,007098 |
| 166 | -0,007516 | 206 | 0,014446  | 246 | 0,030217  | 286 | 0,007848  |
| 167 | 0,000473  | 207 | 0,001156  | 247 | -0,038236 | 287 | 0,002780  |
| 168 | 0,009184  | 208 | -0,003138 | 248 | 0,005839  | 288 | 0,000214  |
| 169 | -0,011938 | 209 | 0,002742  | 249 | 0,022486  | 289 | -0,001576 |
| 170 | -0,016113 | 210 | 0,014769  | 250 | 0,002369  | 290 | 0,003229  |
| 171 | 0,001927  | 211 | -0,002011 | 251 | 0,023270  | 291 | 0,002023  |
| 172 | 0,014127  | 212 | -0,008962 | 252 | 0,006481  | 292 | -0,013844 |
| 173 | 0,016062  | 213 | 0,013129  | 253 | 0,012780  | 293 | -0,000728 |
| 174 | 0,007501  | 214 | 0,010919  | 254 | 0,010517  | 294 | -0,007203 |
| 175 | 0,001418  | 215 | -0,018426 | 255 | 0,011157  | 295 | -0,000517 |
| 176 | 0,039028  | 216 | 0,012848  | 256 | 0,007378  | 296 | 0,018696  |
| 177 | -0,012343 | 217 | 0,007825  | 257 | -0,006935 | 297 | 0,002931  |
| 178 | -0,023393 | 218 | -0,025356 | 258 | 0,024592  | 298 | 0,018404  |
| 179 | -0,008977 | 219 | -0,003519 | 259 | -0,008121 | 299 | 0,004848  |
| 180 | 0,003890  | 220 | -0,001247 | 260 | 0,009743  | 300 | 0,009934  |
| 181 | 0,016866  | 221 | -0,024269 | 261 | -0,001622 | 301 | 0,004623  |
| 182 | -0,038364 | 222 | -0,003873 | 262 | 0,017430  | 302 | -0,002052 |
| 183 | -0,021093 | 223 | -0,007918 | 263 | -0,016944 | 303 | 0,011234  |
| 184 | 0,022868  | 224 | 0,001670  | 264 | 0,020314  | 304 | 0,012113  |
| 185 | -0,007267 | 225 | -0,017152 | 265 | -0,011646 | 305 | -0,005433 |
| 186 | 0,001250  | 226 | 0,002080  | 266 | 0,012731  | 306 | 0,006009  |
| 187 | -0,026634 | 227 | 0,002714  | 267 | -0,001112 | 307 | 0,009133  |
| 188 | -0,002568 | 228 | 0,006705  | 268 | 0,003122  | 308 | 0,005722  |
| 189 | 0,003423  | 229 | 0,018979  | 269 | 0,010745  | 309 | -0,002324 |
| 190 | 0,007083  | 230 | -0,026482 | 270 | -0,010111 | 310 | 0,014232  |
| 191 | -0,012375 | 231 | 0,017586  | 271 | 0,000158  | 311 | -0,002762 |
| 192 | -0,011785 | 232 | 0,001285  | 272 | -0,011680 | 312 | -0,027316 |
| 193 | 0,002170  | 233 | 0,024436  | 273 | -0,014443 | 313 | 0,015474  |
| 194 | -0,005963 | 234 | 0,007792  | 274 | 0,009115  | 314 | 0,018258  |
| 195 | 0,009395  | 235 | -0,004345 | 275 | -0,010036 | 315 | -0,013638 |
| 196 | -0,006750 | 236 | 0,012197  | 276 | 0,005813  | 316 | -0,000395 |

| $z$ | $R_z$     | $z$ | $R_z$     | $z$ | $R_z$     | $z$ | $R_z$     |
|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|
| 317 | 0,020891  | 357 | 0,018118  | 397 | -0,003886 | 437 | -0,010865 |
| 318 | 0,000145  | 358 | -0,002188 | 398 | 0,006148  | 438 | -0,002968 |
| 319 | 0,015432  | 359 | 0,003972  | 399 | 0,018904  | 439 | -0,020883 |
| 320 | -0,012659 | 360 | -0,007110 | 400 | 0,001202  | 440 | -0,033202 |
| 321 | -0,021764 | 361 | 0,010973  | 401 | -0,001579 | 441 | 0,011224  |
| 322 | 0,007771  | 362 | -0,014191 | 402 | 0,009440  | 442 | -0,002957 |
| 323 | -0,007181 | 363 | -0,019772 | 403 | 0,011179  | 443 | 0,010635  |
| 324 | -0,006168 | 364 | 0,002270  | 404 | 0,019182  | 444 | 0,008235  |
| 325 | -0,003148 | 365 | -0,006631 | 405 | 0,001178  | 445 | 0,001944  |
| 326 | -0,001516 | 366 | -0,018552 | 406 | 0,002239  | 446 | 0,017544  |
| 327 | 0,023274  | 367 | -0,012821 | 407 | 0,013020  | 447 | 0,006860  |
| 328 | -0,003187 | 368 | 0,004600  | 408 | -0,004538 | 448 | 0,009954  |
| 329 | -0,006847 | 369 | 0,016351  | 409 | -0,001435 | 449 | -0,006099 |
| 330 | -0,000147 | 370 | 0,003649  | 410 | 0,009112  | 450 | 0,007286  |
| 331 | 0,000589  | 371 | -0,024800 | 411 | -0,004702 | 451 | 0,007728  |
| 332 | 0,014415  | 372 | 0,018079  | 412 | 0,007300  | 452 | -0,001555 |
| 333 | 0,004487  | 373 | -0,010067 | 413 | 0,002680  | 453 | -0,020461 |
| 334 | -0,001397 | 374 | -0,032646 | 414 | 0,001525  | 454 | 0,002980  |
| 335 | -0,030018 | 375 | 0,014307  | 415 | -0,013114 | 455 | -0,007949 |
| 336 | -0,001392 | 376 | 0,007316  | 416 | 0,021646  | 456 | 0,000846  |
| 337 | 0,017381  | 377 | 0,021928  | 417 | 0,005568  | 457 | -0,007860 |
| 338 | -0,007163 | 378 | 0,016777  | 418 | 0,003239  | 458 | 0,006119  |
| 339 | -0,004194 | 379 | -0,010208 | 419 | 0,014629  | 459 | 0,009684  |
| 340 | 0,026252  | 380 | 0,002927  | 420 | -0,002827 | 460 | -0,018632 |
| 341 | -0,000434 | 381 | 0,004326  | 421 | -0,014475 | 461 | -0,001320 |
| 342 | 0,024087  | 382 | 0,005852  | 422 | 0,014496  | 462 | -0,001248 |
| 343 | -0,020912 | 383 | -0,002462 | 423 | -0,025084 | 463 | -0,016517 |
| 344 | 0,002159  | 384 | 0,006841  | 424 | -0,002532 | 464 | 0,009958  |
| 345 | 0,009753  | 385 | 0,015531  | 425 | 0,000904  | 465 | 0,020686  |
| 346 | 0,009024  | 386 | -0,004952 | 426 | -0,009829 | 466 | 0,021118  |
| 347 | 0,009689  | 387 | -0,001854 | 427 | -0,013437 | 467 | 0,009317  |
| 348 | -0,001468 | 388 | 0,012134  | 428 | -0,007128 | 468 | 0,008372  |
| 349 | -0,013810 | 389 | 0,008661  | 429 | -0,007430 | 469 | 0,001740  |
| 350 | -0,002866 | 390 | 0,003444  | 430 | 0,013249  | 470 | 0,008794  |
| 351 | -0,000522 | 391 | -0,008210 | 431 | 0,004303  | 471 | -0,010024 |
| 352 | -0,001686 | 392 | 0,007373  | 432 | -0,036513 | 472 | 0,018126  |
| 353 | 0,009109  | 393 | 0,000372  | 433 | -0,024786 | 473 | -0,007826 |
| 354 | -0,007399 | 394 | -0,002676 | 434 | 0,016286  | 474 | -0,004052 |
| 355 | -0,002352 | 395 | -0,034370 | 435 | 0,003427  | 475 | -0,010062 |
| 356 | -0,006131 | 396 | 0,001109  | 436 | -0,008968 | 476 | 0,006827  |

| $z$ | $R_z$     | $z$ | $R_z$     | $z$ | $R_z$     | $z$ | $R_z$     |
|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|
| 477 | -0,001853 | 484 | -0,015795 | 491 | -0,006277 | 498 | 0,008020  |
| 478 | -0,007657 | 485 | 0,012545  | 492 | 0,001441  | 499 | -0,003650 |
| 479 | 0,005313  | 486 | 0,006609  | 493 | 0,003450  | 500 | 0,012486  |
| 480 | -0,022586 | 487 | -0,003888 | 494 | 0,001482  | 501 | 0,001342  |
| 481 | -0,008498 | 488 | 0,001154  | 495 | 0,020632  | 502 | -0,062437 |
| 482 | -0,001415 | 489 | 0,006751  | 496 | -0,006830 |     |           |
| 483 | -0,001153 | 490 | -0,000955 | 497 | 0,000306  |     |           |



**Lampiran 3. Perbandingan Pergerakan Harga Saham**

| <b>Partisi</b> | <b>Tanggal</b> | <b>Price</b> | <b>MC</b> | <b>QMCH</b> | <b>QMCS</b> |
|----------------|----------------|--------------|-----------|-------------|-------------|
| 1              | 11/1/2024      | 410.37       | 405.91819 | 406.08909   | 406.27474   |
| 2              | 11/4/2024      | 408.46       | 405.1779  | 405.94817   | 406.25509   |
| 3              | 11/5/2024      | 411.46       | 404.31468 | 405.78702   | 406.14515   |
| 4              | 11/6/2024      | 420.18       | 404.95951 | 405.62527   | 406.19831   |
| 5              | 11/7/2024      | 425.43       | 406.87225 | 405.56243   | 406.27686   |
| 6              | 11/8/2024      | 422.54       | 407.74483 | 405.47158   | 406.32549   |
| 7              | 11/11/2024     | 418.01       | 408.58009 | 405.38562   | 406.13139   |
| 8              | 11/12/2024     | 423.03       | 408.09807 | 405.17063   | 405.994     |
| 9              | 11/13/2024     | 425.2        | 408.45599 | 404.9958    | 405.97271   |
| 10             | 11/14/2024     | 426.89       | 407.88836 | 404.99359   | 405.73297   |
| 11             | 11/15/2024     | 415          | 408.5349  | 404.84221   | 405.71666   |
| 12             | 11/18/2024     | 415.76       | 408.90199 | 404.8208    | 405.63176   |
| 13             | 11/19/2024     | 417.79       | 408.41615 | 404.90913   | 405.68716   |
| 14             | 11/20/2024     | 415.49       | 407.57236 | 404.76681   | 405.65106   |
| 15             | 11/21/2024     | 412.87       | 408.79493 | 404.5766    | 405.93156   |
| 16             | 11/22/2024     | 417          | 409.23436 | 404.49838   | 406.03431   |
| 17             | 11/25/2024     | 418.79       | 409.40256 | 404.49382   | 406.11435   |
| 18             | 11/26/2024     | 427.99       | 410.0471  | 404.335     | 406.13267   |
| 19             | 11/27/2024     | 422.99       | 409.63445 | 404.50956   | 406.18266   |
| 20             | 11/29/2024     | 423.46       | 409.63846 | 404.5363    | 406.31233   |
| 21             | 12/2/2024      | 430.98       | 408.59731 | 404.50856   | 406.34264   |
| 22             | 12/3/2024      | 431.2        | 408.89015 | 404.38328   | 406.15364   |
| 23             | 12/4/2024      | 437.42       | 409.29285 | 404.26532   | 405.99277   |
| 24             | 12/5/2024      | 442.62       | 409.3579  | 404.35769   | 406.10207   |
| 25             | 12/6/2024      | 443.57       | 410.56919 | 404.28869   | 406.00629   |
| 26             | 12/9/2024      | 446.02       | 410.51926 | 404.37262   | 406.1511    |
| 27             | 12/10/2024     | 443.33       | 411.26651 | 404.33292   | 406.07274   |
| 28             | 12/11/2024     | 448.99       | 411.37591 | 404.25677   | 406.04855   |
| 29             | 12/12/2024     | 449.56       | 411.76526 | 404.16138   | 406.02821   |
| 30             | 12/13/2024     | 447.27       | 412.41969 | 403.95243   | 406.05745   |
| 31             | 12/16/2024     | 451.59       | 412.38622 | 403.86293   | 406.00387   |
| 32             | 12/17/2024     | 454.46       | 412.1943  | 403.68698   | 405.8151    |
| 33             | 12/18/2024     | 437.39       | 411.7733  | 403.62326   | 405.90571   |
| 34             | 12/19/2024     | 437.03       | 412.59898 | 403.61728   | 405.84852   |
| 35             | 12/20/2024     | 436.6        | 413.67148 | 403.48748   | 405.85506   |
| 36             | 12/23/2024     | 435.25       | 413.8363  | 403.41606   | 405.81151   |
| 37             | 12/24/2024     | 439.33       | 413.86143 | 403.45809   | 405.76005   |
| 38             | 12/26/2024     | 438.11       | 414.57793 | 403.53892   | 405.90096   |

|    |            |        |           |           |           |
|----|------------|--------|-----------|-----------|-----------|
| 39 | 12/27/2024 | 430.53 | 414.75261 | 403.39611 | 405.75757 |
| 40 | 12/30/2024 | 424.83 | 413.76354 | 403.30299 | 405.90869 |
| 41 | 12/31/2024 | 421.5  | 413.19267 | 403.33128 | 405.96548 |

**Lampiran 4. Error Perbandingan Pergerakan Harga Saham**

| <b>Partisi</b> | <b>Tanggal</b> | <b>Error MC</b> | <b>Error QMCH</b> | <b>Error QMCS</b> |
|----------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 1              | 11/1/2024      | 0.01085         | 0.01043           | 0.00998           |
| 2              | 11/4/2024      | 0.00804         | 0.00615           | 0.0054            |
| 3              | 11/5/2024      | 0.01737         | 0.01379           | 0.01292           |
| 4              | 11/6/2024      | 0.03622         | 0.03464           | 0.03328           |
| 5              | 11/7/2024      | 0.04362         | 0.0467            | 0.04502           |
| 6              | 11/8/2024      | 0.03501         | 0.04039           | 0.03837           |
| 7              | 11/11/2024     | 0.02256         | 0.0302            | 0.02842           |
| 8              | 11/12/2024     | 0.0353          | 0.04222           | 0.04027           |
| 9              | 11/13/2024     | 0.03938         | 0.04752           | 0.04522           |
| 10             | 11/14/2024     | 0.04451         | 0.05129           | 0.04956           |
| 11             | 11/15/2024     | 0.01558         | 0.02448           | 0.02237           |
| 12             | 11/18/2024     | 0.0165          | 0.02631           | 0.02436           |
| 13             | 11/19/2024     | 0.02244         | 0.03083           | 0.02897           |
| 14             | 11/20/2024     | 0.01906         | 0.02581           | 0.02368           |
| 15             | 11/21/2024     | 0.00987         | 0.02009           | 0.01681           |
| 16             | 11/22/2024     | 0.01862         | 0.02998           | 0.0263            |
| 17             | 11/25/2024     | 0.02242         | 0.03414           | 0.03027           |
| 18             | 11/26/2024     | 0.04192         | 0.05527           | 0.05107           |
| 19             | 11/27/2024     | 0.03157         | 0.04369           | 0.03973           |
| 20             | 11/29/2024     | 0.03264         | 0.04469           | 0.04049           |
| 21             | 12/2/2024      | 0.05193         | 0.06142           | 0.05717           |
| 22             | 12/3/2024      | 0.05174         | 0.06219           | 0.05809           |
| 23             | 12/4/2024      | 0.0643          | 0.0758            | 0.07185           |
| 24             | 12/5/2024      | 0.07515         | 0.08645           | 0.0825            |
| 25             | 12/6/2024      | 0.0744          | 0.08856           | 0.08468           |
| 26             | 12/9/2024      | 0.07959         | 0.09338           | 0.08939           |
| 27             | 12/10/2024     | 0.07232         | 0.08796           | 0.08404           |
| 28             | 12/11/2024     | 0.08377         | 0.09963           | 0.09564           |
| 29             | 12/12/2024     | 0.08407         | 0.10098           | 0.09683           |
| 30             | 12/13/2024     | 0.07792         | 0.09685           | 0.09214           |
| 31             | 12/16/2024     | 0.08681         | 0.10569           | 0.10095           |
| 32             | 12/17/2024     | 0.093           | 0.11172           | 0.10704           |
| 33             | 12/18/2024     | 0.05857         | 0.0772            | 0.07198           |
| 34             | 12/19/2024     | 0.0559          | 0.07645           | 0.07135           |
| 35             | 12/20/2024     | 0.05252         | 0.07584           | 0.07042           |
| 36             | 12/23/2024     | 0.0492          | 0.07314           | 0.06764           |
| 37             | 12/24/2024     | 0.05797         | 0.08165           | 0.07641           |
| 38             | 12/26/2024     | 0.05371         | 0.07891           | 0.07352           |

|    |            |         |         |         |
|----|------------|---------|---------|---------|
| 39 | 12/27/2024 | 0.03665 | 0.06302 | 0.05754 |
| 40 | 12/30/2024 | 0.02605 | 0.05067 | 0.04454 |
| 41 | 12/31/2024 | 0.01971 | 0.0431  | 0.03686 |

**Lampiran 5.** Harga Opsi Tipe *Barrier Up and Out*

| M    | <i>Up and Out</i> |                 |                  |                 |                  |                 |
|------|-------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
|      | MC Standar        |                 | QMC Halton       |                 | QMC Sobol        |                 |
|      | <i>Call</i> (\$)  | <i>Put</i> (\$) | <i>Call</i> (\$) | <i>Put</i> (\$) | <i>Call</i> (\$) | <i>Put</i> (\$) |
| 100  | 0,67023           | 37,41663        | 0,13351          | 81,73746        | 0,53897          | 44,70750        |
| 200  | 0,40480           | 48,79861        | 0,29983          | 65,07514        | 0,59227          | 46,05511        |
| 300  | 0,10214           | 46,22592        | 0,39953          | 56,84809        | 0,61720          | 44,97144        |
| 400  | 0,47201           | 42,88528        | 0,35247          | 52,89418        | 0,57593          | 45,82908        |
| 500  | 0,27839           | 41,71038        | 0,41679          | 51,10579        | 0,57050          | 45,89174        |
| 600  | 0,10021           | 43,97625        | 0,51163          | 48,74789        | 0,61856          | 45,66897        |
| 700  | 0,24050           | 46,24816        | 0,48351          | 46,93010        | 0,58531          | 45,69518        |
| 800  | 0,28394           | 40,67121        | 0,49087          | 45,90120        | 0,55618          | 45,66211        |
| 900  | 0,31227           | 42,77663        | 0,43633          | 45,68563        | 0,50479          | 45,80756        |
| 1000 | 0,53385           | 42,78348        | 0,45794          | 44,74879        | 0,47305          | 45,78116        |
| 1100 | 0,53521           | 45,93950        | 0,45192          | 43,99493        | 0,45536          | 46,07396        |
| 1200 | 0,28369           | 45,98976        | 0,49532          | 43,15214        | 0,43187          | 46,26287        |
| 1300 | 0,48831           | 44,12960        | 0,46388          | 42,99901        | 0,42595          | 46,03625        |
| 1400 | 0,35228           | 44,32837        | 0,46175          | 43,08607        | 0,45077          | 46,22613        |
| 1500 | 0,43804           | 43,15109        | 0,43097          | 42,72397        | 0,43209          | 46,02311        |
| 1600 | 0,30258           | 42,63918        | 0,41805          | 42,60959        | 0,43334          | 45,85634        |
| 1700 | 0,42626           | 42,83744        | 0,41337          | 42,69043        | 0,43153          | 45,84918        |
| 1800 | 0,29598           | 45,42438        | 0,40945          | 42,70459        | 0,43931          | 45,69504        |
| 1900 | 0,33020           | 46,95494        | 0,38799          | 42,68684        | 0,43867          | 45,51919        |
| 2000 | 0,30912           | 43,46022        | 0,36859          | 42,91950        | 0,43024          | 45,41601        |
| 2100 | 0,34894           | 44,57786        | 0,35104          | 42,14075        | 0,42564          | 45,41882        |
| 2200 | 0,39984           | 42,91752        | 0,34325          | 43,23171        | 0,41321          | 45,60389        |
| 2300 | 0,32263           | 46,40811        | 0,34167          | 42,86912        | 0,40646          | 45,52554        |
| 2400 | 0,36704           | 46,69023        | 0,35328          | 42,83553        | 0,40275          | 45,48106        |
| 2500 | 0,30321           | 44,43433        | 0,35712          | 42,83253        | 0,40103          | 45,30965        |
| 2600 | 0,41501           | 44,71738        | 0,38642          | 42,58684        | 0,39484          | 44,37122        |
| 2700 | 0,38765           | 42,94937        | 0,38082          | 42,67510        | 0,39277          | 44,85269        |
| 2800 | 0,39748           | 44,55836        | 0,37957          | 42,69665        | 0,38663          | 44,94328        |
| 2900 | 0,32455           | 46,58557        | 0,39446          | 42,87203        | 0,38937          | 44,84713        |
| 3000 | 0,39269           | 44,95674        | 0,39665          | 42,87546        | 0,38028          | 44,90801        |
| 3100 | 0,31816           | 45,63129        | 0,38717          | 43,01395        | 0,39485          | 44,59156        |
| 3200 | 0,42600           | 43,19854        | 0,39187          | 42,96928        | 0,40618          | 44,74143        |
| 3300 | 0,34097           | 44,79760        | 0,39767          | 42,98858        | 0,39845          | 44,63908        |
| 3400 | 0,41046           | 46,00752        | 0,39116          | 43,09133        | 0,39722          | 44,61107        |
| 3500 | 0,34738           | 42,73058        | 0,38646          | 43,06969        | 0,38973          | 44,65908        |

|      |         |          |         |          |         |          |
|------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| 3600 | 0,35708 | 43,57145 | 0,39727 | 43,01543 | 0,39146 | 44,61631 |
| 3700 | 0,42059 | 43,43839 | 0,40048 | 42,98619 | 0,38167 | 44,54782 |
| 3800 | 0,40447 | 44,20869 | 0,40041 | 43,02365 | 0,37480 | 44,68121 |
| 3900 | 0,36531 | 44,36672 | 0,40289 | 43,14637 | 0,37945 | 44,68601 |
| 4000 | 0,36686 | 43,99654 | 0,40880 | 43,14468 | 0,37363 | 44,61214 |
| 4100 | 0,29540 | 43,99907 | 0,39882 | 43,37086 | 0,36764 | 44,60663 |
| 4200 | 0,39748 | 44,92917 | 0,39594 | 43,23525 | 0,36391 | 44,73154 |
| 4300 | 0,35750 | 43,11696 | 0,39129 | 43,29978 | 0,37945 | 44,79533 |
| 4400 | 0,34465 | 45,45918 | 0,38589 | 43,39586 | 0,36322 | 44,75787 |
| 4500 | 0,40603 | 42,56861 | 0,38312 | 43,58717 | 0,36280 | 44,59569 |
| 4600 | 0,36532 | 44,09135 | 0,38622 | 43,70298 | 0,37330 | 44,60143 |
| 4700 | 0,39243 | 42,52912 | 0,38377 | 43,80306 | 0,36536 | 44,53864 |
| 4800 | 0,38106 | 43,78439 | 0,38807 | 43,85455 | 0,37062 | 44,53410 |
| 4900 | 0,38733 | 44,01130 | 0,38759 | 43,96206 | 0,37055 | 44,52161 |
| 5000 | 0,30960 | 44,66644 | 0,38991 | 43,90364 | 0,37522 | 44,50875 |

**Lampiran 6.** Harga Opsi Tipe *Barrier Down and Out*

| M    | <i>Down and Out</i> |                 |                  |                 |                  |                 |
|------|---------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
|      | MC Standar          |                 | QMC Halton       |                 | QMC Sobol        |                 |
|      | <i>Call</i> (\$)    | <i>Put</i> (\$) | <i>Call</i> (\$) | <i>Put</i> (\$) | <i>Call</i> (\$) | <i>Put</i> (\$) |
| 100  | 30,12853            | 44,95746        | 64,34023         | 53,86284        | 24,87590         | 50,66851        |
| 200  | 17,40391            | 55,32611        | 47,72726         | 54,99056        | 28,13047         | 51,89789        |
| 300  | 29,89116            | 53,98103        | 38,32226         | 53,47401        | 27,34269         | 50,71350        |
| 400  | 37,06446            | 48,94483        | 33,49330         | 52,73477        | 27,66941         | 51,23911        |
| 500  | 27,14811            | 49,56635        | 32,14379         | 52,43822        | 26,75829         | 51,36680        |
| 600  | 29,78551            | 49,67535        | 30,55801         | 52,25099        | 27,28838         | 51,19274        |
| 700  | 28,07322            | 54,97690        | 29,16408         | 51,70434        | 27,81062         | 50,84128        |
| 800  | 31,47715            | 48,76957        | 28,14919         | 51,73694        | 28,68492         | 50,71560        |
| 900  | 28,87557            | 48,36127        | 27,98486         | 51,57664        | 28,78584         | 51,06826        |
| 1000 | 29,02919            | 48,98498        | 26,83723         | 50,92600        | 29,23680         | 51,15210        |
| 1100 | 28,55879            | 50,76462        | 26,28256         | 50,72948        | 29,18742         | 51,48112        |
| 1200 | 30,21771            | 52,40122        | 25,86289         | 50,48813        | 29,51978         | 51,39348        |
| 1300 | 28,27582            | 52,02956        | 25,76637         | 50,45559        | 29,44440         | 51,36986        |
| 1400 | 31,77077            | 50,50196        | 25,70077         | 50,45003        | 29,34078         | 51,22788        |
| 1500 | 29,30757            | 51,07996        | 25,49903         | 50,31432        | 29,51055         | 51,17940        |
| 1600 | 28,14814            | 49,35965        | 25,70467         | 50,46703        | 29,41401         | 51,05741        |
| 1700 | 28,99250            | 49,49106        | 26,07378         | 50,25983        | 29,57869         | 51,03023        |
| 1800 | 30,60514            | 51,49071        | 26,41464         | 50,39165        | 29,52013         | 50,94797        |
| 1900 | 28,17724            | 53,00290        | 26,29364         | 50,25870        | 29,61977         | 51,12719        |
| 2000 | 30,79305            | 48,78014        | 26,23478         | 50,37895        | 29,57762         | 51,11363        |
| 2100 | 29,57206            | 50,88896        | 26,53975         | 50,30299        | 29,53507         | 51,08499        |
| 2200 | 30,94369            | 49,11151        | 26,75144         | 50,52090        | 29,75902         | 51,20148        |
| 2300 | 30,68111            | 51,45158        | 26,37939         | 50,21341        | 29,77873         | 51,03840        |
| 2400 | 28,54778            | 53,14662        | 26,39394         | 49,89974        | 29,60238         | 51,02812        |
| 2500 | 32,08589            | 49,92994        | 26,50469         | 49,98728        | 29,42590         | 51,00328        |
| 2600 | 29,01383            | 51,57865        | 26,41903         | 49,90588        | 29,11817         | 50,77813        |
| 2700 | 30,42694            | 49,65447        | 26,44507         | 50,02606        | 28,99695         | 50,64617        |
| 2800 | 26,39643            | 50,83292        | 26,43514         | 49,84617        | 29,03081         | 50,68815        |
| 2900 | 28,56375            | 51,50777        | 26,63481         | 49,89742        | 28,92689         | 50,58192        |
| 3000 | 29,50211            | 51,49994        | 26,66753         | 49,84091        | 28,97866         | 50,74974        |
| 3100 | 29,02045            | 51,59783        | 26,82777         | 49,88427        | 28,93255         | 50,57860        |
| 3200 | 28,40578            | 50,19330        | 26,81541         | 49,87501        | 29,06566         | 50,68358        |
| 3300 | 28,54093            | 50,99743        | 26,89583         | 49,91500        | 28,96245         | 50,60652        |
| 3400 | 28,97448            | 52,46789        | 26,95251         | 49,78778        | 28,99645         | 50,55905        |
| 3500 | 29,81972            | 50,10353        | 26,92836         | 49,79340        | 29,00768         | 50,52118        |

|      |          |          |          |          |          |          |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 3600 | 30,68010 | 50,96491 | 26,95376 | 49,79899 | 28,86003 | 50,42869 |
| 3700 | 31,25632 | 49,13886 | 26,97322 | 49,75439 | 28,68610 | 50,40087 |
| 3800 | 30,21614 | 50,89528 | 26,88827 | 49,82380 | 28,74929 | 50,38277 |
| 3900 | 29,23808 | 50,37060 | 27,00448 | 49,76777 | 28,74283 | 50,27486 |
| 4000 | 30,44303 | 50,71679 | 26,98245 | 49,85100 | 28,79670 | 50,29289 |
| 4100 | 30,52006 | 50,51940 | 27,27287 | 49,84468 | 28,80257 | 50,36526 |
| 4200 | 29,98054 | 50,18853 | 27,32997 | 49,78047 | 28,85371 | 50,46286 |
| 4300 | 29,95442 | 49,75573 | 27,53830 | 49,80232 | 28,98458 | 50,64274 |
| 4400 | 28,53516 | 51,73222 | 27,59248 | 49,80977 | 28,00531 | 50,58133 |
| 4500 | 31,44228 | 48,97788 | 27,71771 | 49,93934 | 28,85897 | 50,42056 |
| 4600 | 29,65648 | 51,13775 | 28,04048 | 49,87816 | 28,90507 | 50,49154 |
| 4700 | 29,98407 | 48,70722 | 28,09160 | 49,95407 | 28,80444 | 50,49053 |
| 4800 | 30,58573 | 50,70392 | 28,11518 | 49,98440 | 28,74628 | 50,41519 |
| 4900 | 29,26032 | 50,52981 | 28,22132 | 50,08245 | 28,70133 | 50,40790 |
| 5000 | 31,34153 | 49,95606 | 28,19861 | 50,09784 | 28,72194 | 50,44176 |



**Lampiran 7.** Galat/Error Harga Opsi Tipe *Barrier Up and Out*

| M    | <i>Up and Out</i> |            |             |            |             |            |
|------|-------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
|      | MC Standar        |            | QMC Halton  |            | QMC Sobol   |            |
|      | <i>Call</i>       | <i>Put</i> | <i>Call</i> | <i>Put</i> | <i>Call</i> | <i>Put</i> |
| 100  | 1,52469           | 0,13590    | 0,49708     | 0,88764    | 1,03025     | 0,03247    |
| 200  | 0,52484           | 0,12695    | 0,12943     | 0,50284    | 1,23102     | 0,06360    |
| 300  | 0,61525           | 0,06754    | 0,50499     | 0,31285    | 1,32493     | 0,03857    |
| 400  | 0,77802           | 0,00961    | 0,32772     | 0,22154    | 1,16947     | 0,05838    |
| 500  | 0,04867           | 0,03674    | 0,57001     | 0,18024    | 1,14902     | 0,05982    |
| 600  | 0,62252           | 0,01559    | 0,92726     | 0,12578    | 1,33006     | 0,05468    |
| 700  | 0,09406           | 0,06805    | 0,82134     | 0,08380    | 1,20481     | 0,05528    |
| 800  | 0,06957           | 0,06074    | 0,84906     | 0,06004    | 1,09508     | 0,05452    |
| 900  | 0,17629           | 0,01212    | 0,64361     | 0,05506    | 0,90150     | 0,05788    |
| 1000 | 1,01096           | 0,01196    | 0,72502     | 0,03343    | 0,78193     | 0,05727    |
| 1100 | 1,01608           | 0,06093    | 0,70234     | 0,01602    | 0,71530     | 0,06403    |
| 1200 | 0,06863           | 0,06209    | 0,86582     | 0,00345    | 0,62681     | 0,06839    |
| 1300 | 0,83942           | 0,01913    | 0,74739     | 0,00698    | 0,60451     | 0,06316    |
| 1400 | 0,32700           | 0,02372    | 0,73937     | 0,00497    | 0,69801     | 0,06755    |
| 1500 | 0,65005           | 0,00347    | 0,62342     | 0,01333    | 0,62764     | 0,06286    |
| 1600 | 0,13979           | 0,01529    | 0,57475     | 0,01598    | 0,63235     | 0,05901    |
| 1700 | 0,60568           | 0,01071    | 0,55713     | 0,01411    | 0,62553     | 0,05884    |
| 1800 | 0,11493           | 0,04903    | 0,54236     | 0,01378    | 0,65484     | 0,05528    |
| 1900 | 0,24383           | 0,08438    | 0,46152     | 0,01419    | 0,65243     | 0,05122    |
| 2000 | 0,16443           | 0,00367    | 0,38844     | 0,00882    | 0,62067     | 0,04884    |
| 2100 | 0,31442           | 0,02948    | 0,32233     | 0,02680    | 0,60335     | 0,04890    |
| 2200 | 0,50616           | 0,00886    | 0,29299     | 0,00161    | 0,55652     | 0,05318    |
| 2300 | 0,21532           | 0,07175    | 0,28704     | 0,00998    | 0,53110     | 0,05137    |
| 2400 | 0,38260           | 0,07826    | 0,33077     | 0,01076    | 0,51712     | 0,05034    |
| 2500 | 0,14216           | 0,02617    | 0,34524     | 0,01083    | 0,51064     | 0,04638    |
| 2600 | 0,56330           | 0,03270    | 0,45561     | 0,01650    | 0,48732     | 0,02471    |
| 2700 | 0,46024           | 0,00813    | 0,43451     | 0,01446    | 0,47953     | 0,03583    |
| 2800 | 0,49727           | 0,02903    | 0,42980     | 0,01396    | 0,45640     | 0,03792    |
| 2900 | 0,22255           | 0,07585    | 0,48589     | 0,00991    | 0,46672     | 0,03570    |
| 3000 | 0,47923           | 0,03823    | 0,49414     | 0,00984    | 0,43248     | 0,03710    |
| 3100 | 0,19848           | 0,05381    | 0,45843     | 0,00664    | 0,48736     | 0,02980    |
| 3200 | 0,60470           | 0,00237    | 0,47614     | 0,00767    | 0,53004     | 0,03326    |
| 3300 | 0,28440           | 0,03455    | 0,49798     | 0,00722    | 0,50092     | 0,03089    |
| 3400 | 0,54616           | 0,06250    | 0,47346     | 0,00485    | 0,49629     | 0,03025    |
| 3500 | 0,30855           | 0,01318    | 0,45576     | 0,00535    | 0,46808     | 0,03136    |
| 3600 | 0,34509           | 0,00624    | 0,49648     | 0,00660    | 0,47459     | 0,03037    |

|      |         |         |         |         |         |         |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 3700 | 0,58432 | 0,00317 | 0,50857 | 0,00728 | 0,43771 | 0,02879 |
| 3800 | 0,52360 | 0,02095 | 0,50831 | 0,00641 | 0,41184 | 0,03187 |
| 3900 | 0,37609 | 0,02460 | 0,51765 | 0,00358 | 0,42935 | 0,03198 |
| 4000 | 0,38193 | 0,01606 | 0,53991 | 0,00362 | 0,40743 | 0,03027 |
| 4100 | 0,11274 | 0,01611 | 0,50232 | 0,00161 | 0,38486 | 0,03014 |
| 4200 | 0,49727 | 0,03759 | 0,49147 | 0,00153 | 0,37081 | 0,03303 |
| 4300 | 0,34667 | 0,00426 | 0,47395 | 0,00004 | 0,42935 | 0,03450 |
| 4400 | 0,29826 | 0,04983 | 0,45361 | 0,00218 | 0,36821 | 0,03364 |
| 4500 | 0,52948 | 0,01692 | 0,44318 | 0,00660 | 0,36663 | 0,02989 |
| 4600 | 0,37613 | 0,01824 | 0,45485 | 0,00928 | 0,40619 | 0,03002 |
| 4700 | 0,47825 | 0,01783 | 0,44562 | 0,01159 | 0,37628 | 0,02857 |
| 4800 | 0,43542 | 0,01116 | 0,46182 | 0,01278 | 0,39609 | 0,02847 |
| 4900 | 0,45903 | 0,01640 | 0,46001 | 0,01526 | 0,39583 | 0,02818 |
| 5000 | 0,16623 | 0,03153 | 0,46875 | 0,01391 | 0,41342 | 0,02788 |

**Lampiran 8.** Galat/Error Harga Opsi Tipe *Barrier Down and Out*

| M    | <i>Down and Out</i> |            |             |            |             |            |
|------|---------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
|      | MC Standar          |            | QMC Halton  |            | QMC Sobol   |            |
|      | <i>Call</i>         | <i>Put</i> | <i>Call</i> | <i>Put</i> | <i>Call</i> | <i>Put</i> |
| 100  | 0.01037             | 0.11055    | 1.15767     | 0.06564    | 0.16578     | 0.00244    |
| 200  | 0.41635             | 0.09459    | 0.60055     | 0.08795    | 0.05663     | 0.02676    |
| 300  | 0.00241             | 0.06798    | 0.28515     | 0.05794    | 0.08305     | 0.00333    |
| 400  | 0.24297             | 0.03166    | 0.12321     | 0.04332    | 0.07210     | 0.01373    |
| 500  | 0.08958             | 0.01937    | 0.07795     | 0.03745    | 0.10265     | 0.01625    |
| 600  | 0.00113             | 0.01721    | 0.02477     | 0.03375    | 0.08487     | 0.01281    |
| 700  | 0.05855             | 0.08768    | 0.02197     | 0.02293    | 0.06736     | 0.00586    |
| 800  | 0.05560             | 0.03513    | 0.05601     | 0.02358    | 0.03804     | 0.00337    |
| 900  | 0.03165             | 0.04321    | 0.06152     | 0.02041    | 0.03466     | 0.01035    |
| 1000 | 0.02650             | 0.03087    | 0.10000     | 0.00753    | 0.01953     | 0.01201    |
| 1100 | 0.04227             | 0.00434    | 0.11861     | 0.00365    | 0.02119     | 0.01852    |
| 1200 | 0.01336             | 0.03672    | 0.13268     | 0.00113    | 0.01004     | 0.01678    |
| 1300 | 0.05176             | 0.02937    | 0.13592     | 0.00177    | 0.01257     | 0.01632    |
| 1400 | 0.06544             | 0.00086    | 0.13812     | 0.00188    | 0.01605     | 0.01351    |
| 1500 | 0.01716             | 0.01058    | 0.14488     | 0.00457    | 0.01035     | 0.01255    |
| 1600 | 0.05604             | 0.02346    | 0.13798     | 0.00155    | 0.01359     | 0.01013    |
| 1700 | 0.02773             | 0.02086    | 0.12561     | 0.00565    | 0.00807     | 0.00960    |
| 1800 | 0.02635             | 0.01871    | 0.11418     | 0.00304    | 0.01003     | 0.00797    |
| 1900 | 0.05507             | 0.04862    | 0.11823     | 0.00567    | 0.00669     | 0.01151    |
| 2000 | 0.03266             | 0.03492    | 0.12021     | 0.00329    | 0.00810     | 0.01125    |
| 2100 | 0.00829             | 0.00680    | 0.10998     | 0.00479    | 0.00953     | 0.01068    |
| 2200 | 0.03771             | 0.02836    | 0.10288     | 0.00048    | 0.00202     | 0.01298    |
| 2300 | 0.02890             | 0.01793    | 0.11536     | 0.00656    | 0.00136     | 0.00976    |
| 2400 | 0.04264             | 0.05147    | 0.11487     | 0.01277    | 0.00727     | 0.00955    |
| 2500 | 0.07601             | 0.01217    | 0.11116     | 0.01104    | 0.01319     | 0.00906    |
| 2600 | 0.02701             | 0.02045    | 0.11403     | 0.01265    | 0.02351     | 0.00461    |
| 2700 | 0.02038             | 0.01762    | 0.11316     | 0.01027    | 0.02758     | 0.00200    |
| 2800 | 0.11479             | 0.00569    | 0.11349     | 0.01383    | 0.02644     | 0.00283    |
| 2900 | 0.04210             | 0.01904    | 0.10679     | 0.01282    | 0.02993     | 0.00073    |
| 3000 | 0.01064             | 0.01889    | 0.10570     | 0.01393    | 0.02819     | 0.00405    |
| 3100 | 0.02679             | 0.02083    | 0.10032     | 0.01308    | 0.02974     | 0.00066    |
| 3200 | 0.04740             | 0.00696    | 0.10074     | 0.01326    | 0.02527     | 0.00274    |
| 3300 | 0.04287             | 0.00895    | 0.09804     | 0.01247    | 0.02873     | 0.00121    |
| 3400 | 0.02833             | 0.03804    | 0.09614     | 0.01499    | 0.02759     | 0.00027    |
| 3500 | 0.00001             | 0.00874    | 0.09695     | 0.01487    | 0.02722     | 0.00048    |
| 3600 | 0.02887             | 0.00830    | 0.09610     | 0.01476    | 0.03217     | 0.00231    |

|      |         |         |         |         |         |         |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 3700 | 0.04819 | 0.02782 | 0.09544 | 0.01565 | 0.03800 | 0.00286 |
| 3800 | 0.01331 | 0.00693 | 0.09829 | 0.01427 | 0.03588 | 0.00321 |
| 3900 | 0.01949 | 0.00345 | 0.09440 | 0.01538 | 0.03610 | 0.00535 |
| 4000 | 0.02092 | 0.00339 | 0.09513 | 0.01373 | 0.03429 | 0.00499 |
| 4100 | 0.02350 | 0.00051 | 0.08539 | 0.01386 | 0.03410 | 0.00356 |
| 4200 | 0.00541 | 0.00706 | 0.08348 | 0.01513 | 0.03238 | 0.00163 |
| 4300 | 0.00453 | 0.01562 | 0.07649 | 0.01470 | 0.02799 | 0.00193 |
| 4400 | 0.04306 | 0.02348 | 0.07468 | 0.01455 | 0.06083 | 0.00071 |
| 4500 | 0.05443 | 0.03101 | 0.07048 | 0.01199 | 0.03220 | 0.00247 |
| 4600 | 0.00546 | 0.01172 | 0.05965 | 0.01320 | 0.03066 | 0.00106 |
| 4700 | 0.00553 | 0.03636 | 0.05794 | 0.01170 | 0.03403 | 0.00108 |
| 4800 | 0.02570 | 0.00314 | 0.05715 | 0.01110 | 0.03598 | 0.00257 |
| 4900 | 0.01874 | 0.00030 | 0.05359 | 0.00916 | 0.03749 | 0.00272 |
| 5000 | 0.05105 | 0.01166 | 0.05435 | 0.00885 | 0.03680 | 0.00205 |

### Lampiran 9. Script Perhitungan *Quasi Monte Carlo Halton* dan *Sobol*

```
% Clear Workspace and Command Window
clear; clc;

% Input Parameter
disp('Masukkan parameter yang dibutuhkan:');
S0 = input('Harga saham awal (S0): '); %
Nilai harga saham awal (406.35)
K = input('Harga kesepakatan (K): '); %
Nilai strike price/harga kesepakatan (430.00)
T = input('Waktu jatuh tempo (T dalam tahun): '); %
Waktu time to maturity/jatuh tempo (1)
r = input('Tingkat risk-free rate (r): '); %
Tingkat bebas risiko yang diambil dari expected return (0.00115)
sigma = input('Volatilitas saham (sigma): '); %
Volatilitas saham (0.24263)
B = input('Level barrier (B): '); %
Level barrier tipe up and out (467.56)/ down and out (214.25)
N = input('Jumlah partisi dalam 1 tahun (N): '); %
Jumlah partisi tetap/jumlah hari kerja perdagangan dalam setahun
(252)
M_values = 100:100:5000; %
Array nilai M dalam kelipatan 100 (100,200,...,5000)

% Pilih Tipe Barrier
barrier_type = menu('Pilih Tipe Barrier:', 'Up-and-Out', 'Down-
and-Out');

% Dimensi Untuk Halton dan Sobol
dim = N;

% Urutan Barisan Halton
haltonSeq = haltonset(dim); % Membuat barisan
halton dengan dimensi yang diberikan
haltonSeq = scramble(haltonSeq, 'RR2'); % Mengacak urutan
dengan metode Reverse Radix-2 scrambling

% Urutan Sobol
rng(0);
sobolSeq = sobolset(dim); % Membuat
barisan sobol dengan dimensi yang diberikan
sobolSeq = scramble(sobolSeq, 'MatousekAffineOwen'); % Mengacak
urutan dengan metode MatousekAffineOwen

% Simulasi untuk setiap nilai M
for idx = 1:length(M_values)
    M = M_values(idx); % Mengambil nilai M saat ini

    % Inisialisasi array harga saham untuk setiap metode
    stockPricesMC{idx} = zeros(N+1, M);
    stockPricesHalton{idx} = zeros(N+1, M);
    stockPricesSobol{idx} = zeros(N+1, M);

    % Set harga awal saham
    stockPricesMC{idx}(1, :) = S0;
    stockPricesHalton{idx}(1, :) = S0;
```

```

stockPricesSobol{idx}(1, :) = S0;

% Generate bilangan acak Halton dan Sobol
haltonNumbers = net(haltonSeq, M * N + 1);
sobolNumbers = net(sobolSeq, M * N + 1);

% Menambahkan offset untuk menghindari angka nol
haltonNumbers = haltonNumbers + 1e-10; % Menghindari angka nol
sobolNumbers = sobolNumbers + 1e-10; % Menghindari angka nol

% Hilangkan angka pertama jika diperlukan
haltonNumbers = haltonNumbers(2:end, :);
sobolNumbers = sobolNumbers(2:end, :);

% Menampilkan Urutan Halton dan Sobol
disp('Urutan Halton:');
disp(haltonNumbers(1:M));
%disp('-----');
disp('Urutan Sobol:');
%disp(sobolNumbers(1:M));
disp('-----');

% Simulasi Monte Carlo Standar
for m = 1:M
    for i = 1:N
        Zmc = randn;
        %disp(['Iterasi m=', num2str(m), ', i=', num2str(i),
        ', Z=', num2str(Zmc)]);
        stockPricesMC{idx}(i+1, m) = stockPricesMC{idx}(i,
m) * exp((r - (sigma^2)/2) * dt + sigma * sqrt(dt) * Zmc);
    end
end

% Simulasi Quasi Monte Carlo Halton
for m = 1:M
    for i = 1:N
        Zqmch = norminv(haltonNumbers(m, i), 0, 1);
        %disp(['Iterasi m=', num2str(m), ', i=', num2str(i),
        ', Z=', num2str(Zqmch)]);
        stockPricesHalton{idx}(i+1, m) =
stockPricesHalton{idx}(i, m) * exp((r - (sigma^2)/2) * dt +
sigma * sqrt(dt) * Zqmch);
    end
end

% Simulasi Quasi Monte Carlo Sobol
for m = 1:M
    for i = 1:N
        Zqmcs = norminv(sobolNumbers(m, i), 0, 1);
        %disp(['Iterasi m=', num2str(m), ', i=', num2str(i),
        ', Z=', num2str(Zqmcs)]);
        stockPricesSobol{idx}(i+1, m) =
stockPricesSobol{idx}(i, m) * exp((r - (sigma^2)/2) * dt + sigma
* sqrt(dt) * Zqmcs);
    end
end

```

```

    % Menampilkan Hasil Simulasi dalam Bentuk Output Tabel
    rowsToShow = 1:N;          % Menampilkan baris
    colsToShow = 1:M;          % Menampilkan kolom
    %disp('Hasil Simulasi Harga Saham Menggunakan Metode Monte
    Carlo Standar:');
    %disp(array2table(stockPricesMC{idx}(rowsToShow,
    colsToShow), 'VariableNames', cellstr(strcat('Sim_',
    string(colsToShow))));
    %disp('-----');
    %disp('Hasil Simulasi Harga Saham Menggunakan Metode Quasi
    Monte Carlo Halton:');
    %disp(array2table(stockPricesHalton{idx}(rowsToShow,
    colsToShow), 'VariableNames', cellstr(strcat('Sim_',
    string(colsToShow))));
    %disp('-----');
    %disp('Hasil Simulasi Harga Saham Menggunakan Metode Quasi
    Monte Carlo Sobol:');
    %disp(array2table(stockPricesSobol{idx}(rowsToShow,
    colsToShow), 'VariableNames', cellstr(strcat('Sim_',
    string(colsToShow))));
    %disp('-----');
end

% Metode Black-Scholes
% Parameter Metode Black-Scholes
q = 0; %
Nilai dividen (diasumsikan 0)
d1 = (log(S0/K) + (r + (sigma^2)/2)*T) / (sigma*sqrt(T)); %
Fungsi distribusi normal baku kumulatif d1
d2 = d1 - sigma*sqrt(T); %
Fungsi distribusi normal baku kumulatif d2

% Perangkuman Rumus
lambda = (r - q + ((sigma^2)/2))/(sigma^2);
y = log(B^2/(S0*K))/(sigma*sqrt(T)) + lambda*sigma*sqrt(T);
x1 = log(S0/B)/(sigma*sqrt(T)) + lambda*sigma*sqrt(T);
y1 = log(B/S0)/(sigma*sqrt(T)) + lambda*sigma*sqrt(T);
A = S0*exp(-q*T)*(B/S0)^(2*lambda);
B1 = K*exp(-r*T)*(B/S0)^(2*lambda-2);
C1 = S0*exp(-q*T);
D = K*exp(-r*T);
E = y - sigma*sqrt(T);
F = y1 - sigma*sqrt(T);
G = x1 - sigma*sqrt(T);

% Nilai Opsi Call dan Put Metode Black-Scholes Tipe Eropa
CE = S0*exp(-q*T)*normcdf(d1) - K*exp(-r*T)*normcdf(d2); %
Perhitungan nilai opsi call metode black-scholes tipe eropa
PE = K*exp(-r*T)*normcdf(-d2) - S0*exp(-q*T)*normcdf(-d1); %
Perhitungan nilai opsi put metode black-scholes tipe eropa

% Nilai Opsi Call dan Put Metode Black-Scholes Tipe Barrier
if barrier_type == 1 % Up-and-Out
    % Harga opsi call
    if B <= K
        BS_price_call = 0;
    else

```

```

        BS_price_call = CE - (C1*normcdf(x1) - D*normcdf(G) -
A*(normcdf(-y) - normcdf(-y1)) + B1*(normcdf(-E) - normcdf(-
F)));
    end
    % Harga opsi put
    if B <= K
        BS_price_put = -C1*normcdf(-x1) + D*normcdf(-G) +
A*normcdf(-y1) - B1*normcdf(-F);
    else
        BS_price_put = PE - (-A*normcdf(-y) + B1*normcdf(-E));
    end
elseif barrier_type == 2 % Down-and-Out
    % Harga opsi call
    if B >= K
        BS_price_call = C1*normcdf(x1) - D*normcdf(G) -
A*normcdf(y1) + B1*normcdf(F);
    else
        BS_price_call = CE - (A*normcdf(y) - B1*normcdf(E));
    end
    % Harga opsi put
    if B >= K
        BS_price_put = 0;
    else
        BS_price_put = PE - (-C1*normcdf(-x1) + D*normcdf(-G) +
A*(normcdf(y) - normcdf(y1)) - B1*(normcdf(E) - normcdf(F)));
    end
end

% Visualisasi grafik dengan subplot
figure;

% Subplot 1: Grafik Untuk Semua Pergerakan Harga Saham
Menggunakan Metode MC Standar, QMC Halton, dan QMC Sobol
subplot(2, 2, 1);
% Baris 2, Kolom 2, Subplot 1
hold on;
h1 = plot(0:N, stockPricesMC{idx}, 'LineWidth', 1.5, 'Color',
'r'); % Plot MC Standar
h2 = plot(0:N, stockPricesHalton{idx}, 'LineWidth', 1.5,
'Color', 'b'); % Plot QMC Halton
h3 = plot(0:N, stockPricesSobol{idx}, 'LineWidth', 1.5, 'Color',
'g'); % Plot QMC Sobol
h4 = plot(0:N, repmat(B, 1, N+1), 'LineWidth', 1.5, 'Color',
'k'); % Garis Barrier
hold off;
xlim([0, N]);
% Batas sumbu-x dari 0 hingga N atau 252
xlabel('Partisi Waktu (1 Tahun)');
ylabel('Harga Saham');
title('Pergerakan Harga Saham (Semua Metode)');
legend([h1(1), h2(1), h3(1)], {'MC Standar', 'QMC Halton', 'QMC
Sobol'}, 'Location', 'best');
grid on;

% Subplot 2: Grafik Pergerakan Harga Saham Menggunakan Metode
Monte Carlo Standar
subplot(2, 2, 2);
% Baris 2, Kolom 2, Subplot 2

```



```

hold on;
plot(0:N, stockPricesMC{idx}, 'LineWidth', 1.5);
% Plot MC Standar
%h1 = plot(0:N, repmat(B, 1, N+1), 'LineWidth', 1.5, 'Color',
'k'); % Garis Barrier
hold off;
xlim([0, N]);
% Batas sumbu-x dari 0 hingga N atau 252
xlabel('Partisi Waktu (1 Tahun)');
ylabel('Harga Saham');
title('Pergerakan Harga Saham Metode Monte Carlo Standar');
%legend(h1, 'Barrier', 'Location', 'best');
grid on;

% Subplot 3: Grafik Pergerakan Harga Saham Menggunakan Metode
Quasi Monte Carlo Halton
subplot(2, 2, 3);
% Baris 2, Kolom 2, Subplot 3
hold on;
plot(0:N, stockPricesHalton{idx}, 'LineWidth', 1.5);
% Plot QMC Halton
%h1 = plot(0:N, repmat(B, 1, N+1), 'LineWidth', 1.5, 'Color',
'k'); % Garis Barrier
hold off;
xlim([0, N]);
% Batas sumbu-x dari 0 hingga N atau 252
xlabel('Partisi Waktu (1 Tahun)');
ylabel('Harga Saham');
title('Pergerakan Harga Saham Metode Quasi Monte Carlo Halton');
%legend(h1, 'Barrier', 'Location', 'best');
grid on;

% Subplot 4: Grafik Pergerakan Harga Saham Menggunakan Metode
Quasi Monte Carlo Sobol
subplot(2, 2, 4);
% Baris 2, Kolom 2, Subplot 4
hold on;
plot(0:N, stockPricesSobol{idx}, 'LineWidth', 1.5);
% Plot QMC Sobol
%h1 = plot(0:N, repmat(B, 1, N+1), 'LineWidth', 1.5, 'Color',
'k'); % Garis Barrier
hold off;
xlim([0, N]);
% Batas sumbu-x dari 0 hingga N atau 252
xlabel('Partisi Waktu (1 Tahun)');
ylabel('Harga Saham');
title('Pergerakan Harga Saham Metode Quasi Monte Carlo Sobol');
%legend(h1, 'Barrier', 'Location', 'best');
grid on;

% Inisialisasi payoff untuk semua metode dan semua nilai M
% Up and Out
payoffCall_UO_MC = cell(length(M_values), 1);
payoffPut_UO_MC = cell(length(M_values), 1);
payoffCall_UO_Halton = cell(length(M_values), 1);
payoffPut_UO_Halton = cell(length(M_values), 1);
payoffCall_UO_Sobol = cell(length(M_values), 1);
payoffPut_UO_Sobol = cell(length(M_values), 1);

```

```

% Down and Out
payoffCall_DO_MC = cell(length(M_values), 1);
payoffPut_DO_MC = cell(length(M_values), 1);
payoffCall_DO_Halton = cell(length(M_values), 1);
payoffPut_DO_Halton = cell(length(M_values), 1);
payoffCall_DO_Sobol = cell(length(M_values), 1);
payoffPut_DO_Sobol = cell(length(M_values), 1);

% Iterasi untuk setiap nilai M
for idx = 1:length(M_values)
    M = M_values(idx); % Mengambil nilai M saat ini

    % Inisialisasi payoff untuk nilai M tertentu
    % Up and Out
    payoffCall_UO_MC{idx} = zeros(M, 1);
    payoffPut_UO_MC{idx} = zeros(M, 1);
    payoffCall_UO_Halton{idx} = zeros(M, 1);
    payoffPut_UO_Halton{idx} = zeros(M, 1);
    payoffCall_UO_Sobol{idx} = zeros(M, 1);
    payoffPut_UO_Sobol{idx} = zeros(M, 1);
    % Down and Out
    payoffCall_DO_MC{idx} = zeros(M, 1);
    payoffPut_DO_MC{idx} = zeros(M, 1);
    payoffCall_DO_Halton{idx} = zeros(M, 1);
    payoffPut_DO_Halton{idx} = zeros(M, 1);
    payoffCall_DO_Sobol{idx} = zeros(M, 1);
    payoffPut_DO_Sobol{idx} = zeros(M, 1);

    % Iterasi untuk setiap simulasi dalam M
    for i = 1:M
        % Harga saham pada saat jatuh tempo (N = 252)
        ST_MC = stockPricesMC{idx}(end, i);
        ST_Halton = stockPricesHalton{idx}(end, i);
        ST_Sobol = stockPricesSobol{idx}(end, i);

        % Monte Carlo Standar
        % Up and Out
        if any(stockPricesMC{idx}(:, i) >= B)
            payoffCall_UO_MC{idx}(i) = 0;
            payoffPut_UO_MC{idx}(i) = 0;
        else
            payoffCall_UO_MC{idx}(i) = max(ST_MC - K, 0);
            payoffPut_UO_MC{idx}(i) = max(K - ST_MC, 0);
        end
        % Down and Out
        if any(stockPricesMC{idx}(:, i) <= B)
            payoffCall_DO_MC{idx}(i) = 0;
            payoffPut_DO_MC{idx}(i) = 0;
        else
            payoffCall_DO_MC{idx}(i) = max(ST_MC - K, 0);
            payoffPut_DO_MC{idx}(i) = max(K - ST_MC, 0);
        end

        % Quasi Monte Carlo Halton
        % Up and Out
        if any(stockPricesHalton{idx}(:, i) >= B)
            payoffCall_UO_Halton{idx}(i) = 0;
            payoffPut_UO_Halton{idx}(i) = 0;
        end
    end
end

```

```

        else
            payoffCall_UO_Halton{idx}(i) = max(ST_Halton - K,
0);
            payoffPut_UO_Halton{idx}(i) = max(K - ST_Halton, 0);
        end
        % Down and Out
        if any(stockPricesHalton{idx}(:, i) <= B)
            payoffCall_DO_Halton{idx}(i) = 0;
            payoffPut_DO_Halton{idx}(i) = 0;
        else
            payoffCall_DO_Halton{idx}(i) = max(ST_Halton - K,
0);
            payoffPut_DO_Halton{idx}(i) = max(K - ST_Halton, 0);
        end

        % Quasi Monte Carlo Sobol
        % Up and Out
        if any(stockPricesSobol{idx}(:, i) >= B)
            payoffCall_UO_Sobol{idx}(i) = 0;
            payoffPut_UO_Sobol{idx}(i) = 0;
        else
            payoffCall_UO_Sobol{idx}(i) = max(ST_Sobol - K, 0);
            payoffPut_UO_Sobol{idx}(i) = max(K - ST_Sobol, 0);
        end
        % Down and Out
        if any(stockPricesSobol{idx}(:, i) <= B)
            payoffCall_DO_Sobol{idx}(i) = 0;
            payoffPut_DO_Sobol{idx}(i) = 0;
        else
            payoffCall_DO_Sobol{idx}(i) = max(ST_Sobol - K, 0);
            payoffPut_DO_Sobol{idx}(i) = max(K - ST_Sobol, 0);
        end

        %disp(['Simulasi ', num2str(i), ': max harga saham = ',
num2str(max(stockPricesMC{idx}(:, i))), ', B = ', num2str(B)]);
        %disp(['Simulasi ', num2str(i), ': max harga saham = ',
num2str(max(stockPricesHalton{idx}(:, i))), ', B = ',
num2str(B)]);
        %disp(['Simulasi ', num2str(i), ': max harga saham = ',
num2str(max(stockPricesSobol{idx}(:, i))), ', B = ',
num2str(B)]);
    end
end

% Tampilan nilai payoff di Setiap Metode
disp('=== Payoff dengan Metode Monte Carlo Standar ===');
payoffMCMatrix = [(1:M)', payoffCall_UO_MC{idx},
payoffCall_DO_MC{idx}, payoffPut_UO_MC{idx},
payoffPut_DO_MC{idx}];
colNamesMC = {'Simulasi', 'UO_Call', 'DO_Call', 'UO_Put',
'DO_Put'};
%disp(array2table(payoffMCMatrix, 'VariableNames', colNamesMC));
disp('-----');
disp('=== Payoff dengan Metode Quasi Monte Carlo Halton ===');
payoffHaltonMatrix = [(1:M)', payoffCall_UO_Halton{idx},
payoffCall_DO_Halton{idx}, payoffPut_UO_Halton{idx},
payoffPut_DO_Halton{idx}];

```

```

colNamesHalton = {'Simulasi', 'UO_Call', 'DO_Call', 'UO_Put',
'DO_Put'};
%disp(array2table(payloadHaltonMatrix, 'VariableNames',
colNamesHalton));
disp('-----');
disp('=== Payoff dengan Metode Quasi Monte Carlo Sobol ===');
payoffSobolMatrix = [(1:M)', payoffCall_UO_Sobol{idx},
payoffCall_DO_Sobol{idx}, payoffPut_UO_Sobol{idx},
payoffPut_DO_Sobol{idx}];
colNamesSobol = {'Simulasi', 'UO_Call', 'DO_Call', 'UO_Put',
'DO_Put'};
%disp(array2table(payloadSobolMatrix, 'VariableNames',
colNamesSobol));
disp('-----');

% Inisialisasi cell array untuk menyimpan harga opsi
% Up and Out
priceCall_UO_MC = zeros(length(M_values), 1);
pricePut_UO_MC = zeros(length(M_values), 1);
priceCall_UO_Halton = zeros(length(M_values), 1);
pricePut_UO_Halton = zeros(length(M_values), 1);
priceCall_UO_Sobol = zeros(length(M_values), 1);
pricePut_UO_Sobol = zeros(length(M_values), 1);
% Down and Out
priceCall_DO_MC = zeros(length(M_values), 1);
pricePut_DO_MC = zeros(length(M_values), 1);
priceCall_DO_Halton = zeros(length(M_values), 1);
pricePut_DO_Halton = zeros(length(M_values), 1);
priceCall_DO_Sobol = zeros(length(M_values), 1);
pricePut_DO_Sobol = zeros(length(M_values), 1);

% Inisialisasi cell array untuk menyimpan galat relatif
% Up and Out
relErrorCall_UO_MC = zeros(length(M_values), 1);
relErrorPut_UO_MC = zeros(length(M_values), 1);
relErrorCall_UO_Halton = zeros(length(M_values), 1);
relErrorPut_UO_Halton = zeros(length(M_values), 1);
relErrorCall_UO_Sobol = zeros(length(M_values), 1);
relErrorPut_UO_Sobol = zeros(length(M_values), 1);
% Down and Out
relErrorCall_DO_MC = zeros(length(M_values), 1);
relErrorPut_DO_MC = zeros(length(M_values), 1);
relErrorCall_DO_Halton = zeros(length(M_values), 1);
relErrorPut_DO_Halton = zeros(length(M_values), 1);
relErrorCall_DO_Sobol = zeros(length(M_values), 1);
relErrorPut_DO_Sobol = zeros(length(M_values), 1);

% Iterasi untuk setiap nilai M
for idx = 1:length(M_values)
    M = M_values(idx); % Mengambil nilai M saat ini

    % Perhitungan rata-rata payoff
    % Up and Out
    avgPayoffCall_UO_MC = mean(payloadCall_UO_MC{idx});
    avgPayoffPut_UO_MC = mean(payloadPut_UO_MC{idx});
    avgPayoffCall_UO_Halton = mean(payloadCall_UO_Halton{idx});
    avgPayoffPut_UO_Halton = mean(payloadPut_UO_Halton{idx});
    avgPayoffCall_UO_Sobol = mean(payloadCall_UO_Sobol{idx});

```

```

avgPayoffPut_UO_Sobol = mean(payoffPut_UO_Sobol{idx});
% Donw and Out
avgPayoffCall_DO_MC = mean(payoffCall_DO_MC{idx});
avgPayoffPut_DO_MC = mean(payoffPut_DO_MC{idx});
avgPayoffCall_DO_Halton = mean(payoffCall_DO_Halton{idx});
avgPayoffPut_DO_Halton = mean(payoffPut_DO_Halton{idx});
avgPayoffCall_DO_Sobol = mean(payoffCall_DO_Sobol{idx});
avgPayoffPut_DO_Sobol = mean(payoffPut_DO_Sobol{idx});

% Perhitungan Harga Opsi (diskonto dengan faktor e^(-rT))
% Up and Out
priceCall_UO_MC(idx) = exp(-r * T) * avgPayoffCall_UO_MC;
pricePut_UO_MC(idx) = exp(-r * T) * avgPayoffPut_UO_MC;
priceCall_UO_Halton(idx) = exp(-r * T) *
avgPayoffCall_UO_Halton;
pricePut_UO_Halton(idx) = exp(-r * T) *
avgPayoffPut_UO_Halton;
priceCall_UO_Sobol(idx) = exp(-r * T) *
avgPayoffCall_UO_Sobol;
pricePut_UO_Sobol(idx) = exp(-r * T) *
avgPayoffPut_UO_Sobol;
% Down and Out
priceCall_DO_MC(idx) = exp(-r * T) * avgPayoffCall_DO_MC;
pricePut_DO_MC(idx) = exp(-r * T) * avgPayoffPut_DO_MC;
priceCall_DO_Halton(idx) = exp(-r * T) *
avgPayoffCall_DO_Halton;
pricePut_DO_Halton(idx) = exp(-r * T) *
avgPayoffPut_DO_Halton;
priceCall_DO_Sobol(idx) = exp(-r * T) *
avgPayoffCall_DO_Sobol;
pricePut_DO_Sobol(idx) = exp(-r * T) *
avgPayoffPut_DO_Sobol;

% Menghitung galat relatif
% Up and Out
relErrorCall_UO_MC(idx) = abs(priceCall_UO_MC(idx) -
BS_price_call) / BS_price_call;
relErrorPut_UO_MC(idx) = abs(pricePut_UO_MC(idx) -
BS_price_put) / BS_price_put;
relErrorCall_UO_Halton(idx) = abs(priceCall_UO_Halton(idx) -
BS_price_call) / BS_price_call;
relErrorPut_UO_Halton(idx) = abs(pricePut_UO_Halton(idx) -
BS_price_put) / BS_price_put;
relErrorCall_UO_Sobol(idx) = abs(priceCall_UO_Sobol(idx) -
BS_price_call) / BS_price_call;
relErrorPut_UO_Sobol(idx) = abs(pricePut_UO_Sobol(idx) -
BS_price_put) / BS_price_put;
% Down and Out
relErrorCall_DO_MC(idx) = abs(priceCall_DO_MC(idx) -
BS_price_call) / BS_price_call;
relErrorPut_DO_MC(idx) = abs(pricePut_DO_MC(idx) -
BS_price_put) / BS_price_put;
relErrorCall_DO_Halton(idx) = abs(priceCall_DO_Halton(idx) -
BS_price_call) / BS_price_call;
relErrorPut_DO_Halton(idx) = abs(pricePut_DO_Halton(idx) -
BS_price_put) / BS_price_put;
relErrorCall_DO_Sobol(idx) = abs(priceCall_DO_Sobol(idx) -
BS_price_call) / BS_price_call;

```

```

        relErrorPut_DO_Sobol(idx) = abs(pricePut_DO_Sobol(idx) -
BS_price_put) / BS_price_put;
end

% Tampilkan hasil harga opsi barrier metode black-scholes
fprintf('Harga opsi call Barrier berdasarkan Metode Black-
Scholes: %.5f\n', BS_price_call);
fprintf('Harga opsi put Barrier berdasarkan Metode Black-
Scholes: %.5f\n', BS_price_put);
disp('-----');

% Menampilkan hasil harga opsi untuk semua nilai M
if barrier_type == 1 % Up-and-Out
    fprintf('Harga opsi untuk tipe Up-and-Out:\n');
    fprintf('-----\n');
    fprintf('M\t MC_Call\t MC_Put\t\t Halton_Call\t Halton_Put\t
Sobol_Call\t Sobol_Put\n');
    fprintf('-----\n');
    for idx = 1:length(M_values)
        fprintf('%d\t %.5f\t %.5f\t %.5f\t %.5f\t %.5f\t
%.5f\n', M_values(idx), priceCall_UO_MC(idx),
pricePut_UO_MC(idx), priceCall_UO_Halton(idx),
pricePut_UO_Halton(idx), priceCall_UO_Sobol(idx),
pricePut_UO_Sobol(idx));
    end
elseif barrier_type == 2 % Down-and-Out
    fprintf('Harga opsi untuk tipe Down-and-Out:\n');
    fprintf('-----\n');
    fprintf('M\t MC_Call\t MC_Put\t\t Halton_Call\t Halton_Put\t
Sobol_Call\t Sobol_Put\n');
    fprintf('-----\n');
    for idx = 1:length(M_values)
        fprintf('%d\t %.5f\t %.5f\t %.5f\t %.5f\t %.5f\t
%.5f\n', M_values(idx), priceCall_DO_MC(idx),
pricePut_DO_MC(idx), priceCall_DO_Halton(idx),
pricePut_DO_Halton(idx), priceCall_DO_Sobol(idx),
pricePut_DO_Sobol(idx));
    end
end

% Menampilkan hasil galat relatif untuk semua nilai M
if barrier_type == 1 % Up-and-Out
    fprintf('\nGalat Relatif untuk tipe Up-and-Out:\n');
    fprintf('-----\n');
    fprintf('M\t MC_Call\t MC_Put\t\t Halton_Call\t Halton_Put\t
Sobol_Call\t Sobol_Put\n');
    fprintf('-----\n');
    for idx = 1:length(M_values)
        fprintf('%d\t %.5f\t %.5f\t %.5f\t %.5f\t %.5f\t
%.5f\n', M_values(idx), relErrorCall_UO_MC(idx),
relErrorPut_UO_MC(idx), relErrorCall_UO_Halton(idx),

```

```

relErrorPut_UO_Halton(idx), relErrorCall_UO_Sobol(idx),
relErrorPut_UO_Sobol(idx));
    end
elseif barrier_type == 2 % Down-and-Out
    fprintf('\nGalat Relatif untuk tipe Down-and-Out:\n');
    fprintf('-----\n');
    fprintf('M\t MC_Call\t MC_Put\t\t Halton_Call\t Halton_Put\t
Sobol_Call\t Sobol_Put\n');
    fprintf('-----\n');
    for idx = 1:length(M_values)
        fprintf('%d\t %.5f\t %.5f\t %.5f\t %.5f\t
%.5f\n', M_values(idx), relErrorCall_DO_MC(idx),
relErrorPut_DO_MC(idx), relErrorCall_DO_Halton(idx),
relErrorPut_DO_Halton(idx), relErrorCall_DO_Sobol(idx),
relErrorPut_DO_Sobol(idx));
    end
end

% Visualisasi grafik dengan subplot
if barrier_type == 1 % Up-and-Out
    % Plot Harga Opsi
    figure;
    % Opsi Call
    subplot(2, 1, 1); % Plot pertama
    hold on;
    plot(M_values, priceCall_UO_MC, '-o', 'Color', 'r',
'DisplayName', 'MC Call', 'LineWidth', 1.5);
    plot(M_values, priceCall_UO_Halton, '-^', 'Color', 'b',
'DisplayName', 'Halton Call', 'LineWidth', 1.5);
    plot(M_values, priceCall_UO_Sobol, '-x', 'Color', 'g',
'DisplayName', 'Sobol Call', 'LineWidth', 1.5);
    plot(M_values, BS_price_call * ones(size(M_values)), '--k',
'LineWidth', 1.5, 'DisplayName', 'Black-Scholes (Call)');
    hold off;
    xlabel('Banyak Simulasi');
    ylabel('Harga Opsi');
    title('Konvergensi Harga Call Opsi (Up-and-Out)');
    legend('Location', 'best');
    grid on;
    % Opsi Put
    subplot(2, 1, 2); % Plot kedua
    hold on;
    plot(M_values, pricePut_UO_MC, '-o', 'Color', 'r',
'DisplayName', 'MC Put', 'LineWidth', 1.5);
    plot(M_values, pricePut_UO_Halton, '-^', 'Color', 'b',
'DisplayName', 'Halton Put', 'LineWidth', 1.5);
    plot(M_values, pricePut_UO_Sobol, '-x', 'Color', 'g',
'DisplayName', 'Sobol Put', 'LineWidth', 1.5);
    plot(M_values, BS_price_put * ones(size(M_values)), '--k',
'LineWidth', 1.5, 'DisplayName', 'Black-Scholes (Call)');
    hold off;
    xlabel('Banyak Simulasi');
    ylabel('Harga Opsi');
    title('Konvergensi Harga Put Opsi (Up-and-Out)');
    legend('Location', 'best');
    grid on;

```

```

% Plot Galat Relatif
figure
% Galat Opsi Call
subplot(2, 1, 1); % Plot Pertama
hold on;
plot(M_values, relErrorCall_UO_MC, '-o','Color','r',
'DisplayName','MC Call','LineWidth',1.5);
plot(M_values, relErrorCall_UO_Halton, '-^','Color','b',
'DisplayName','Halton Call','LineWidth',1.5);
plot(M_values, relErrorCall_UO_Sobol, '-x','Color','g',
'DisplayName','Sobol Call','LineWidth',1.5);
hold off;
xlabel('Banyak Simulasi');
ylabel('Error Opsi');
title('Plot Error Harga Call Opsi (Up-and-Out)');
legend('Location','best');
grid on;
% Galat Opsi Call
subplot(2, 1, 2); % Plot Kedua
hold on;
plot(M_values, relErrorPut_UO_MC, '-o','Color','r',
'DisplayName','MC Put','LineWidth',1.5);
plot(M_values, relErrorPut_UO_Halton, '-^','Color','b',
'DisplayName','Halton Put','LineWidth',1.5);
plot(M_values, relErrorPut_UO_Sobol, '-x','Color','g',
'DisplayName','Sobol Put','LineWidth',1.5);
hold off;
xlabel('Banyak Simulasi');
ylabel('erorr Opsi');
title('Plot error Harga Put Opsi (Up-and-Out)');
legend('Location','best');
grid on;
elseif barrier_type == 2 % Down-and-Out
% Plot Harga Opsi
figure;
% Opsi Call
subplot(2, 1, 1); % Plot pertama
hold on;
plot(M_values, priceCall_DO_MC, '-o','Color','r',
'DisplayName','MC Call','LineWidth',1.5);
plot(M_values, priceCall_DO_Halton, '-^','Color','b',
'DisplayName','Halton Call','LineWidth',1.5);
plot(M_values, priceCall_DO_Sobol, '-x','Color','g',
'DisplayName','Sobol Call','LineWidth',1.5);
plot(M_values, BS_price_call * ones(size(M_values)), '--k',
'LineWidth',1.5,'DisplayName','Black-Scholes (Call)');
hold off;
xlabel('Banyak Simulasi');
ylabel('Harga Opsi');
title('Konvergensi Harga Call Opsi (Down-and-Out)');
legend('Location','best');
grid on;
% Opsi Put
subplot(2, 1, 2); % Plot kedua
hold on;
plot(M_values, pricePut_DO_MC, '-o','Color','r',
'DisplayName','MC Put','LineWidth',1.5);

```



```

    plot(M_values, pricePut_DO_Halton, '-^', 'Color', 'b',
'DisplayName', 'Halton Put', 'LineWidth', 1.5);
    plot(M_values, pricePut_DO_Sobol, '-x', 'Color', 'g',
'DisplayName', 'Sobol Put', 'LineWidth', 1.5);
    plot(M_values, BS_price_put * ones(size(M_values)), '--k',
'LineWidth', 1.5, 'DisplayName', 'Black-Scholes (Call)');
    hold off;
    xlabel('Banyak Simulasi');
    ylabel('Harga Opsi');
    title('Konvergensi Harga Put Opsi (Down-and-Out)');
    legend('Location', 'best');
    grid on;

    % Plot Galat Relatif
    figure
    % Galat Opsi Call
    subplot(2, 1, 1); % Plot Pertama
    hold on;
    plot(M_values, relErrorCall_DO_MC, '-o', 'Color', 'r',
'DisplayName', 'MC Call', 'LineWidth', 1.5);
    plot(M_values, relErrorCall_DO_Halton, '-^', 'Color', 'b',
'DisplayName', 'Halton Call', 'LineWidth', 1.5);
    plot(M_values, relErrorCall_DO_Sobol, '-x', 'Color', 'g',
'DisplayName', 'Sobol Call', 'LineWidth', 1.5);
    hold off;
    xlabel('Banyak Simulasi');
    ylabel('Error Opsi');
    title('Plot Error Harga Call Opsi (Down-and-Out)');
    legend('Location', 'best');
    grid on;
    % Galat Opsi Call
    subplot(2, 1, 2); % Plot Kedua
    hold on;
    plot(M_values, relErrorPut_DO_MC, '-o', 'Color', 'r',
'DisplayName', 'MC Put', 'LineWidth', 1.5);
    plot(M_values, relErrorPut_DO_Halton, '-^', 'Color', 'b',
'DisplayName', 'Halton Put', 'LineWidth', 1.5);
    plot(M_values, relErrorPut_DO_Sobol, '-x', 'Color', 'g',
'DisplayName', 'Sobol Put', 'LineWidth', 1.5);
    hold off;
    xlabel('Banyak Simulasi');
    ylabel('erorr Opsi');
    title('Plot error Harga Put Opsi (Down-and-Out)');
    legend('Location', 'best');
    grid on;
end

```

## RIWAYAT HIDUP



Cahyo Teguh Dwi Prasetyo atau lebih dikenal Alex, lahir di

Kediri pada 16 Juli 2002 sebagai anak ke-2 dari 2 bersaudara.

Penulis merupakan anak dari pasangan Bapak Fajar Teguh

Lelono dan Ibuk Purnami serta adik dari Aviana Eko Wardani,

S.Kep., Ns. Penulis telah menempuh pendidikan mulai dari

taman kanak-kanak di TK Dharma Wanita Klandaran 2 dan lulus pada tahun 2009.

Kemudian melanjutkan pendidikan sekolah dasar di SD Negeri 1 Klandaran yang

lulus pada tahun 2015, dilanjutkan menempuh pendidikan sekolah menengah

pertama di SMP Negeri 1 Plosolaten dan lulus pada tahun 2018. Selanjutnya

menempuh pendidikan sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Gurah dan lulus

pada tahun 2021. Pada tahun yang sama, penulis melanjutkan pendidikan Strata

Satu (S1) di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang pada

Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi. Selama masa

perkuliahan, penulis pernah mengikuti berbagai kegiatan organisasi maupun

kepanitiaan, salah satunya seperti Limit (Literasi Matematika Integral) sebagai

anggota Divisi Redaksional dan Reporter. Selain itu, penulis juga melaksanakan

kegiatan PKL di Kantor Wilayah Direktorat Jenderal Pajak Jawa Timur III pada

tahun 2024.



**KEMENTERIAN AGAMA RI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI  
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Gajayana No.50 Dinoyo Malang Telp. / Fax. (0341)558933

**BUKTI KONSULTASI SKRIPSI**

Nama : Cahyo Teguh Dwi Prasetyo  
NIM : 210601110100  
Fakultas / Jurusan : Sains dan Teknologi / Matematika  
Judul Skripsi : Perhitungan Harga Opsi *Barrier* Menggunakan Metode  
*Quasi Monte Carlo Halton dan Sobol*  
Pembimbing I : Abdul Aziz, M.Si.  
Pembimbing II : Erna Herawati, M.Pd.

| No  | Tanggal          | Hal                                     | Tanda Tangan |
|-----|------------------|-----------------------------------------|--------------|
| 1.  | 10 Oktober 2024  | Konsultasi Bab I, II, dan III           | 1.           |
| 2.  | 15 Oktober 2024  | Konsultasi Bab I, II, dan III           | 2.           |
| 3.  | 16 Oktober 2024  | Konsultasi Kajian Agama<br>Bab I dan II | 3.           |
| 4.  | 17 Oktober 2024  | Konsultasi Bab I, II, dan III           | 4.           |
| 5.  | 21 Oktober 2024  | Konsultasi Kajian Agama<br>Bab I dan II | 5.           |
| 6.  | 23 Oktober 2024  | Konsultasi Kajian Agama<br>Bab I dan II | 6.           |
| 7.  | 25 Oktober 2024  | ACC Kajian Agama Bab I<br>dan II        | 7.           |
| 8.  | 29 Oktober 2024  | ACC Bab I, II, dan III                  | 8.           |
| 9.  | 5 November 2024  | ACC Seminar Proposal                    | 9.           |
| 10. | 15 Januari 2025  | Konsultasi Revisi Seminar<br>Proposal   | 10.          |
| 11. | 30 Januari 2025  | Konsultasi Bab IV dan V                 | 11.          |
| 12. | 11 Februari 2025 | Konsultasi Kajian Agama<br>Bab IV       | 12.          |
| 13. | 12 Februari 2025 | Konsultasi Bab IV dan V                 | 13.          |
| 14. | 16 Februari 2025 | Konsultasi Bab IV dan V                 | 14.          |
| 15. | 6 Maret 2025     | ACC Kajian Agama Bab IV                 | 15.          |



**KEMENTERIAN AGAMA RI**  
**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI**  
**MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG**  
**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**  
Jl. Gajayana No.50 Dinoyo Malang Telp. / Fax. (0341)558933

|     |               |                                 |       |
|-----|---------------|---------------------------------|-------|
| 16. | 7 Maret 2025  | ACC Bab IV dan V                | 16. ✓ |
| 17. | 13 Maret 2025 | ACC Seminar Hasil               | 17. ✓ |
| 18. | 2 Mei 2025    | Konsultasi Revisi Seminar Hasil | 18. ✓ |
| 19. | 6 Mei 2025    | ACC Sidang Skripsi              | 19. ✓ |
| 20. | 9 Mei 2025    | ACC Keseluruhan                 | 20. ✓ |

Malang, 9 Mei 2025

Mengetahui,

Ketua Program Studi Matematika



Dr. Ily Susanti, M.Sc.

NIP. 19741129 200012 2 005