

PENENTUAN HARGA OPSI AMERIKA MENGGUNAKAN METODE BINOMIAL DENGAN VOLATILITAS MODEL T-GARCH

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Matematikaa
dalam Ilmu Matematika



Oleh : **AMALIA ARKANA PUTRI**
NIM : 2108046027

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : AMALIA ARKANA PUTRI
NIM : 2108046027
Jurusan/Program Studi : Matematika/ Matematika

menyatakan bahwa skripsi yang berjudul :

PENENTUAN HARGA OPSI AMERIKA MENGGUNAKAN METODE BINOMIAL DENGAN VOLATILITAS MODEL T-GARCH

secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri,
kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 19 Mei 2025
Pembuat pernyataan,



AMALIA ARKANA PUTRI
NIM : 2108046027



KEMENTERIAN AGAMA R.I.
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Prof. Dr. Hamka (Kampus II) Ngaliyan Semarang
Telp. 024-7601295 Fax. 7615387

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini :

Judul : **PENENTUAN HARGA OPSI AMERIKA
MENGUNAKAN METODE BINOMIAL DENGAN
VOLATILITAS MODEL T-GARCH**

Penulis : **AMALIA ARKANA PUTRI**

NIM : **2108046027**

Jurusan : **Matematika**

Telah diujikan dalam sidang *tugas akhir* oleh Dewan Penguji
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima
sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam Ilmu
Matematika.

Semarang, 3 Juni 2025

DEWAN PENGUJI

Penguji I,

Eva Khoirun Nisa, M.Si.

NIP : 198701022019032010

Penguji II,

Aini Fitriyah, M.Sc.

NIP : 198909292019032021

Penguji III,

Nur Khasanah, M. Si.

NIP : 199111212019032017

Penguji IV,

Ayus Riana Isnawati, M. Sc

NIP : 198510192019032014

Pembimbing,

Hj. Emy Siswanah, M.Sc

NIP : 19870202 201101 2 014

NOTA DINAS

Semarang, 14 Mei 2025

Yth. Ketua Program Studi Matematika
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : PENENTUAN HARGA OPSI AMERIKA
MENGUNAKAN METODE BINOMIAL DENGAN
VOLATILITAS MODEL T-GARCH
Nama : AMALIA ARKANA PUTRI
NIM : 2108046027
Jurusan : Matematika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqasyah.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Pembimbing,



Hj. Emy Siswanah, M.Sc
NIP : 19870202 201101 2 014

ABSTRAK

Pada saat berinvestasi saham tentunya dihadapkan dengan risiko yang tinggi, karena harga saham mengalami kenaikan dan penurunan, sehingga untuk mengurangi risiko kerugian tersebut dapat dilakukan melalui produk derivatif yaitu opsi. Salah satu jenis opsi adalah opsi Amerika, opsi ini dapat dieksekusi kapan saja sebelum atau pada waktu jatuh tempo. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil harga opsi Amerika menggunakan metode binomial yang dikombinasikan dengan model volatilitas TGARCH. Pada saat menghitung harga saham dan harga opsi dengan metode binomial terdapat dua cabang yaitu ketika naik dan ketika turun. Perhitungan menggunakan metode binomial didasarkan pada kenyataan bahwa dalam pasar bebas harga saham akan selalu berubah naik atau turun seiring perubahan waktu. Kemudian dari perhitungan harga opsi tersebut dibandingkan dengan harga opsi dipasar dari ketiga waktu jatuh tempo yang berbeda. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa harga opsi Amerika menggunakan metode binomial dengan volatilitas TGARCH pada saham *Microsoft Corporation* (MSFT) periode 14 Maret 2022 – 11 Maret 2025 mendekati harga opsi pasar atau memiliki error yang minimum dan nilai MAPE adalah $\leq 10\%$ yang artinya metode binomial dengan volatilitas model T-GARCH sangat bagus untuk digunakan sebagai penentuan harga opsi Amerika.

Kata kunci : Opsi Amerika, Binomial, Volatilitas TGARCH

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **PENENTUAN HARGA OPSI AMERIKA MENGGUNAKAN METODE BINOMIAL DENGAN VOLATILITAS MODEL TGARCH** sebagai salah satu syarat penyelesaian pendidikan Sarjana - 1 pada Program Studi Matematika. Sholawat serta salam penulis curahkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai suri tauladan bagi umat manusia. Pada proses penyusunan skripsi ini tidak lepas dari doa, bimbingan, arahan dan motivasi dari banyak pihak. Sehingga dengan kerendahan hati dan rasa hormat penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Nizar, M.Ag., selaku Rektor UIN Walisongo Semarang dan segenap pimpinan di UIN Walisongo Semarang.
2. Bapak Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
3. Ibu Any Muanalifah, M.Si., Ph.D., selaku ketua Program Studi Matematika.
4. Ibu Siti Maslihah, M.Si., selaku Dosen Wali penulis selama menempuh pendidikan di UIN Walisongo Semarang.
5. Ibu Emy Siswanah, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing penulis selama menyelesaikan tugas akhir yang membantu, membimbing dan mengarahkan selama proses penulisan.

6. Segenap dosen yang telah mendidik dan memberikan ilmu kepada penulis selama penulis menempuh pendidikan di Program Studi Matematika.
7. Segenap tenaga akademik yang telah membantu secara administratif.
8. Bapak Sugeng dan Ibu Warkonah, selaku kedua orang tua penulis, sebab beliau berdua Tugas Akhir ini penulis persembahkan. Terima kasih penulis ucapkan sebanyak-banyaknya karena senantiasa memberi doa, motivasi, dukungan, pengorbanan, dan kasih sayang kepada penulis sampai bisa dititik ini.
9. Fatimah Oktaviani, Andi Karina, Ekawati Widyaningsih, Yanti Herawati, Zahra Fauziah, Indras Khoeruna, Salma Fauzia, dan Alisa Rahmawati yang telah menemani, memberikan dukungan dan motivasi, kepada penulis dari awal perkuliahan sampai penyelesaian Tugas Akhir ini.
10. LPM Frekuensi 2021 dan LPM Frekuensi 2022 yang menjadi wadah untuk penulis memiliki pengalaman dan pengetahuan diluar pendidikan akademik.
11. NCT Dream, grup idol yang penulis sukai yang telah memberikan semangat bagi penulis selama menjalani proses penyusunan Tugas Akhir ini, melalui musik dan karyanya.
12. Semua Pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan kontribusi hingga selesainya skripsi ini.

13. Diri saya sendiri, Amalia Arkana Putri. Apresiasi sebesar-besarnya karena telah bertahan dan berjuang untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Terima kasih masih bertahan hidup dan tidak menyerah sampai sekarang ditengah - tengah keadaan yang tak terduga.

Penulis menyadari bantuan dari pihak-pihak yang sudah penulis sebutkan sangat berguna untuk penulis. Penulis juga menyadari atas segala kekurangan dan ketidaksempurnaan dalam skripsi ini, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun. Akhir kata, penulis berharap Tugas Akhir ini dapat menjadi bacaan yang bermanfaat dan dapat dikembangkan bagi peneliti-peneliti selanjutnya.

Semarang, 1 Mei 2025

Penulis,

Amalia Arkana Putri

NIM. 2108046027

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PENGESAHAN	iii
NOTA PEMBIMBING I	iv
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	6
C. Tujuan Penelitian	6
D. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Saham	8
B. Opsi	10
1. Opsi Berdasarkan Waktu Jatuh Tempo	14
2. Opsi Berdasarkan Waktu Penggunaannya . .	15
C. Metode Binomial Harga Saham dan Opsi Saham	16
1. Metode Binomial Satu Langkah	21
2. Metode Binomial Dua Langkah	25
3. Metode Binomial n Langkah	29
4. Metode Binomial untuk Opsi Eropa	30
5. Metode Binomial untuk Opsi Amerika	31
D. Uji Stasioneritas	32
E. Model Box-Jenkins	37
F. Model ARCH	43
G. Model GARCH	44
H. Pemodelan ARCH/GARCH	45
I. Efek Asimetris	47

J.	Model T-GARCH	48
K.	Akurasi Prakiraan	49
L.	Penelitian Terdahulu	50
BAB III METODELOGI PENELITIAN		52
A.	Tahapan Penelitian	52
B.	Diagram Alir Penelitian	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		61
A.	HASIL	61
1.	Pemodelan Volatilitas T-GARCH	61
2.	Penentuan Opsi Amerika menggunakan Metode Binomial	80
B.	PEMBAHASAN	108
BAB V PENUTUP		111
A.	Kesimpulan	111
B.	Saran	111
DAFTAR PUSTAKA		113
Lampiran-lampiran		120

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Kriteria Signifikansi MAPE	50
Tabel 4.1	Hasil Uji ADF Data Return Harian MSFT Periode 14 Maret 2022 - 11 Maret 2025	65
Tabel 4.2	Hasil Estimasi Parameter Model ARMA	68
Tabel 4.3	Hasil Estimasi Parameter Model ARMA Tanpa Konstanta	69
Tabel 4.4	Hasil Heteroskedastisitas Pada Model ARMA (2, 2)	73
Tabel 4.5	Hasil Estimasi Parameter Model ARMA	75
Tabel 4.6	Hasil Heteroskedastisitas Pada Model GARCH (1,1)	76
Tabel 4.7	Hasil Estimasi Parameter Model T-GARCH	78
Tabel 4.8	Perhitungan Opsi Amerika Waktu Jatuh Tempo 31 hari	106
Tabel 4.9	Perhitungan Opsi Amerika Waktu Jatuh Tempo 100 hari	107
Tabel 4.10	Perhitungan Opsi Amerika Waktu Jatuh Tempo 191 hari	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Prinsip Metode Binomial	17
Gambar 2.2	Metode Binomial Satu Langkah	22
Gambar 2.3	Metode Binomial Dua Langkah	26
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	59
Gambar 4.1	Plot Harga Saham Harian MSFT Periode 14 Maret 2022 - 11 Maret 2025	61
Gambar 4.2	Plot Return Saham Harian MSFT Periode 14 Maret 2022 - 11 Maret 2025	64
Gambar 4.3	Plot ACF dan PACF Return Saham Harian MSFT Periode 14 Maret 2022 - 11 Maret 2025	67
Gambar 4.4	Plot Uji Ljung-Box dari Model ARMA Terbaik	71
Gambar 4.5	Plot Correlogram pada Model ARMA (2, 2)	74
Gambar 4.6	Plot <i>Cross Correlation</i> pada Model GARCH (1,1)	77
Gambar 4.7	<i>Skewness</i> pada Model GARCH (1,1)	78
Gambar 4.8	Pohon Binomial 100 Langkah untuk Penentuan Harga Saham	89
Gambar 4.9	Pohon Binomial 100 Langkah untuk Penentuan Harga Opsi <i>Call</i> Amerika	97
Gambar 4.10	Pohon Binomial 100 Langkah untuk Penentuan Harga Opsi <i>Put</i> Amerika	105

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1	Data Harga Saham Penutupan dan Return Harian dari Saham <i>Microsoft Corporation</i> 120
Lampiran 2	Nilai residual kuadrat $\varepsilon_{(t-i)}^2$, nilai variansi $\sigma_{(t-i)}^2$, nilai volatilitas model TGARCH(1,1) σ_t^2 , dan nilai volatilitas annual model TGARCH(1,1) $\sigma_t^2 \times \sqrt{252}$ 132
Lampiran 3	Program Matlab untuk menghitung harga opsi Amerika (<i>call</i> dan <i>put</i>) 155

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Di zaman yang sudah berkembang seperti saat ini, internet dan dunia digital lainnya sangat mempermudah seseorang untuk mempelajari berbagai investasi secara *online*, oleh karena itu tidak sedikit di antara kita yang tidak mengetahui mengenai dunia investasi. Bahkan berdasarkan hasil studi terkait multi platform pada tahun 2022 di Indonesia terdapat hampir 75 persen generasi Z sudah terlibat dan sadar investasi. Investasi merupakan kegiatan mengelola dana atau menanamkan modal saat ini dengan tujuan mendapatkan aliran pembayaran yang menguntungkan di masa yang akan datang (Nuzula, 2020). Kegiatan investasi bersifat luas yang melibatkan *real asset* maupun *financial asset*. Seorang investor yang berinvestasi pada *real asset* akan beresiko lebih rendah namun dengan harapan return yang lebih kecil. *Real asset* berupa tanah, emas, ataupun properti. Sementara *financial asset* akan beresiko yang lebih besar dan juga harapan return yang besar. *Financial asset* berupa saham, obligasi, reksadana, dan lainnya (Siswanah, 2020). Pada saat melakukan investasi terdapat keuntungan yang akan didapatkan sebagai dorongan bagi investor disebut juga dengan return (Syahbani et al., 2018).

Salah satu instrumen yang populer dan banyak digunakan oleh investor adalah saham. Saham merupakan bukti kepemilikan dalam bentuk selebar kertas yang memberikan hak kepada pemegangnya untuk mendapatkan bagian dari keuntungan serta kepemilikan di perusahaan yang menerbitkannya (Binatari et

al., 2013). Berinvestasi saham dihadapkan dengan risiko yang tinggi, karena harga saham mengalami kenaikan dan penurunan yang dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, diantaranya kondisi politik, ekonomi, keamanan, dan psikologis pasar. Perubahan harga saham dapat dimanfaatkan untuk memperoleh keuntungan. Salah satu instrumen investasi yang dapat digunakan untuk memperoleh keuntungan dari perubahan harga saham adalah opsi.

Opsi merupakan sebuah kontrak antara dua pihak yang memberikan hak kepada salah satu pihak saja, untuk menjual atau membeli aset pada harga yang telah disepakati sampai waktu jatuh tempo (Sulastri et al., 2019). Berdasarkan jenisnya, opsi dibedakan menjadi dua, yaitu opsi *call* dan opsi *put*. Opsi *call* memberikan hak kepada pemegangnya untuk membeli aset dengan harga tertentu sampai waktu yang sudah ditentukan. Lain halnya dengan opsi *call*, opsi *put* memberikan hak kepada pemegangnya untuk menjual aset dengan harga tertentu sampai waktu yang sudah ditentukan. Sementara opsi berdasarkan periode waktu jatuh temponya dibedakan menjadi dua, yaitu opsi tipe Eropa dan opsi tipe Amerika. Opsi tipe Eropa merupakan opsi yang dijalankan hanya pada akhir jatuh tempo. Sedangkan opsi tipe Amerika bisa dijalankan setiap waktu, mulai dari awal kontrak sampai akhir jatuh tempo (Hull, 2014).

Pada saat melakukan transaksi jual beli opsi yang harus diperhatikan adalah menentukan harga opsi agar tidak mendapatkan kerugian. Salah satu hal yang diperlukan dalam menetapkan harga opsi adalah metode perhitungan yang digunakan. Selain itu, volatilitas merupakan variabel penting dalam menentukan harga opsi, karena volatilitas mengacu pada pergerakan harga aset dari waktu ke waktu dan sering kali

digunakan sebagai ukuran risiko dan ketidakpastian yang harus dihadapi oleh investor (Qezelbash et al., 2024). Volatilitas adalah suatu ukuran yang menyatakan seberapa besar pergerakan harga saham pada waktu yang akan datang. Seiring dengan meningkatnya volatilitas, maka semakin besar pula kemungkinan pergerakan harga saham mengalami kenaikan atau penurunan, selain itu juga peningkatan volatilitas dapat meningkatkan harga opsi (*call* dan *put*) (Hull, 2014). Adanya ketidakpastian tersebut dapat dikontrol melalui proses pemodelan data *time series*.

Salah satu pemodelan yang dapat digunakan adalah *Autoregressive Moving Average* (ARMA) yang mengasumsikan bahwa volatilitas bersifat konstan (homogenitas). Pada kenyataannya, tidak semua volatilitas bersifat konstan, hal tersebut mengakibatkan permasalahan heteroskedastisitas pada data. Salah satu model yang dapat mengatasi hal tersebut adalah *Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity* (GARCH), yaitu model yang menganggap kenaikan harga (guncangan positif) dan penurunan harga (guncangan negatif) memiliki dampak yang sama terhadap perubahan volatilitas, sehingga model GARCH bersifat simetris. Sedangkan pada data finansial, respon volatilitas terhadap guncangan tidak semuanya sama atau disebut dengan pengaruh asimetris (efek *leverage*), yaitu keadaan ketika penurunan harga (guncangan negatif) memiliki dampak yang besar terhadap perubahan volatilitas dibanding dengan kenaikan harga (guncangan positif). Sifat asimetris tersebut membuat model GARCH kurang tepat digunakan, sehingga diperlukan model lainnya (Mubarokah et al., 2020).

Sabiruzzaman dkk (2010) melakukan pemodelan dan

peramalan dari model GARCH dengan T-GARCH, mereka menyatakan bahwa spesifikasi *Threshold* GARCH (T-GARCH) lebih tepat untuk memodelkan volatilitas indeks volume perdagangan. Hal tersebut karena model *Threshold* GARCH (T-GARCH) mampu memisahkan dampak dari kenaikan harga (berita baik) dan penurunan harga (berita buruk) yang dianggap sama terhadap perubahan volatilitas oleh model GARCH, selain itu juga menemukan efek *leverage* yang signifikan dalam volume perdagangan harian (Sabiruzzaman et al., 2010).

Sementara Fadugba dkk (2013) menyatakan bahwa metode binomial sangat fleksibel, mudah diimplementasikan dan baik untuk penilaian opsi Amerika. Selain itu juga dari penelitiannya yang membandingkan perhitungan opsi Amerika (*call* dan *put*) dengan dua nilai volatilitas yang berbeda ($\sigma_1 = 0,25$ dan $\sigma_1 = 0,50$), menghasilkan harga opsi Amerika yang lebih besar pada saat nilai volatilitasnya yang tinggi dibanding volatilitas yang lebih kecil, sehingga membuktikan bahwa besarnya volatilitas sangat berpengaruh terhadap harga opsi. Semakin tinggi volatilitas, maka semakin besar probabilitas harga opsi Amerika mendapat keuntungan (Fadugba et al., 2013). Pada tahun 2014, Fadugba dkk juga melakukan penelitian penentuan harga opsi Amerika dan Opsi Eropa dari ketiga metode yang berbeda, kemudian menunjukkan bahwa metode binomial lebih baik dibandingkan dengan metode beda hingga, selain itu juga metode binomial dapat digunakan untuk penentuan harga opsi Amerika dan opsi Eropa, jika dibandingkan dengan metode Black Scholes yang hanya bisa untuk penentuan harga opsi Eropa saja (Fadugba et al., 2014)

Pada penelitian ini menggunakan opsi tipe Amerika karena opsi tersebut dapat digunakan kapanpun sampai waktu jatuh

tempo, sehingga waktu yang diberikan jauh lebih luas. Waktu pelaksanaan yang lebih fleksibel membuat opsi tipe Amerika bisa lebih menguntungkan dibandingkan dengan opsi tipe Eropa, karena ketika opsi lebih tinggi pada saat sebelum jatuh tempo, seorang investor mempunyai hak untuk mengeksekusinya, sehingga paling banyak diperjualbelikan pada pasar modal. Dalam perspektif ini, investor memiliki kesempatan untuk mendapatkan keuntungan di setiap situasi pasar selama investor membuat strategi investasi yang tepat pada kontrak opsi saham (Siswanah et al., 2023).

Akibat dari pengaruh fleksibilitas waktu pelaksanaannya menyebabkan harga opsi tipe Amerika hanya bisa ditentukan dengan menggunakan metode numerik. Selain itu juga penentuan harga opsi tipe Amerika ini berhubungan masalah diskrit yang biasanya tidak ada solusi lengkap, sehingga harus diselesaikan secara numerik (Siswanah, 2020). Oleh karena itu metode numerik lebih akurat dibanding metode analitik, karena tidak ada rumus analitik yang tepat untuk menentukan harga opsi tipe Amerika dan metode numerik mampu mengeksekusi harga di sepanjang waktu yang terus berubah (Hull, 2012). Salah satu metode numerik yang dapat digunakan untuk menentukan opsi tipe Amerika adalah metode binomial. Metode ini sangat cocok digunakan untuk menentukan opsi tipe Amerika karena relatif sederhana, mudah dipahami, dan diimplementasikan dalam bentuk pohon harga diskrit. Metode ini juga mampu menentukan harga saham di masa depan pada waktu yang cukup fleksibel setiap periodenya dengan dua kemungkinan, yaitu naik atau turun (Emmanuel, 2014), sedangkan untuk volatilitasnya penelitian ini akan diuji coba menggunakan model T-GARCH, karena salah satu model yang

cukup kuat untuk menganalisis volatilitas dengan efek asimetris pada harga saham, sebab tidak semua nilai saham bersifat simetris ada juga yang bersifat asimetris (Winata, 2017). Berdasarkan uraian di atas yang terinspirasi dari kedua penelitian tersebut, maka peneliti mengambil judul tentang “Penentuan Harga Opsi Amerika Menggunakan Metode Binomial dengan Volatilitas Model T-GARCH”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana hasil harga opsi saham tipe Amerika menggunakan metode binomial dengan volatilitas model T-GARCH?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil harga opsi saham tipe Amerika menggunakan metode binomial dengan volatilitas model T-GARCH.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Bagi Peneliti dan Pembaca Sebagai bahan pembelajaran dan penambah wawasan di bidang keuangan khususnya mengenai perhitungan harga opsi tipe Amerika menggunakan metode binomial dengan volatilitas model T-GARCH.

2. Bagi Pelaku Pasar Modal Sebagai informasi tambahan mengenai penentuan harga opsi tipe Amerika menggunakan metode binomial dengan volatilitas model T-GARCH.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Saham

Seorang investor mengartikan suatu saham yaitu bagian kepemilikan sebuah aset dan pendapatan bagi tiap individu maupun perusahaan (Alhabeeb, 2012). Saham berwujud surat berharga yang menjadi bukti penyetoran dana dari investor kepada perusahaan (Nastiti, 2012). Menurut Handini saham merupakan bukti partisipasi kepemilikan modal atau dana yang mencantumkan nominal dengan jelas kepada setiap pemegangnya dengan disertai hak dan kewajibannya (Handini, 2020).

Saham diterbitkan oleh perusahaan Perseroan Terbatas. Melalui IPO (*Initial Public Offering*) di pasar primer, saham ditawarkan kepada para investor kemudian diperdagangkan di pasar sekunder. Pada saat melakukan investasi saham, investor akan memperoleh hasil berupa return, yaitu kelebihan harga jual saham di atas harga belinya. Ketika mengalami sebuah keuntungan dimana terdapat kenaikan harga saham yang dimiliki, maka komponen yang akan didapatkan yaitu berupa *dividen* dan *capital gain*. *Dividen* merupakan bagian dari laba perusahaan yang menjadi hak pemegang saham. Laba yang diperoleh investor apabila harga jual saham melebihi harga pada saat membeli saham disebut dengan *capital gain*. Sedangkan apabila saat menjual saham ternyata nilainya lebih rendah dari harga beli, investor harus menanggung risiko berupa *capital loss* (Permata, 2019). Keuntungan yang akan diperoleh dari sebuah investasi saham sebanding dengan risiko yang dihadapinya. Semakin tinggi

return yang dihasilkan, maka semakin besar pula risiko yang harus ditanggung (Widiarini, 2019).

Untuk menghitung return saham (Hull, 2014):

$$r_t = \ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right) \quad (2.1)$$

dengan

r_t : Return saham ke- t

S_t : Harga saham pada waktu ke- t

S_{t-1} : Harga saham pada waktu ke- $(t - 1)$

Sedangkan untuk menghitung rata-rata return harga saham (Hull, 2014):

$$\bar{r}_t = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n r_t \quad (2.2)$$

keterangan :

$\bar{r}_t$: Rata-rata return saham

r_t : Return saham pada waktu t

n : Banyaknya nilai return harga saham

Dalam pasar modal terdapat dua jenis saham yang populer oleh kalangan publik, yaitu :

1. Saham Biasa (*Common Stock*)

Saham biasa (*common stock*) merupakan jenis kepemilikan sebuah aset dalam perusahaan yang paling sederhana. Saham ini sangat penting karena dapat membantu perusahaan dalam mendapatkan dana untuk berkembang. Bagi pemegang saham ini, mendapatkan salah satu kelebihan yaitu diberikan hak untuk ikut serta dalam pengambilan

keputusan penting. Hak tersebut sepadan dengan jumlah saham yang dimiliki oleh seorang pemegang saham, kemudian pada akhir tahun akan memperoleh keuntungan dalam bentuk dividen. Saham biasa dapat dimiliki secara pribadi atau publik dan memiliki berbagai kelas dan kategori.

2. Saham Istimewa (*Preferred Stock*)

Saham ini merupakan jenis saham yang mirip dengan obligasi, karena pemilik saham akan menerima pendapatan tetap dan dividen dalam jumlah yang sama dari keuntungan perusahaan sebelum pemegang saham biasa. Namun pemilik saham *preferred* tidak dapat ikut serta dalam pengambilan keputusan penting dan biaya yang dikeluarkan bisa lebih mahal dibanding saham biasa (Alhabeeb, 2012).

B. Opsi

Investasi bertujuan untuk mendapat keuntungan semaksimal mungkin dengan biaya yang seminimal mungkin. Namun, untuk mendapatkan hal tersebut, investor harus bersedia menghadapi risiko. Cara untuk mengurangi risiko tersebut biasanya melalui instrumen baru, yaitu produk derivatif. Produk ini bertujuan untuk meminimalisir risiko kerugian berupa *capital loss* dan meningkatkan peluang keuntungan berupa *capital gain* dalam berinvestasi. Produk derivatif tersebut yaitu *future contracts*, *forward contracts*, *swaps* dan opsi (Siswanah et al., 2023). Tahun 1973 Chicago Board of Options Exchange (CBOE) memperkenalkan perdagangan kontrak opsi terstandarisasi. Sejak saat itu opsi telah menjadi bagian penting dari dunia investasi. Opsi berhasil menarik perhatian investor yang berdedikasi dan menciptakan

budaya serta istilah tersendiri yang perlu dipahami (Alhabeeb, 2012).

Opsi (*Option*) adalah kontrak antara penjual dan pembeli di mana penjual memberikan hak kepada pembeli untuk membeli atau menjual saham tertentu pada waktu dan harga yang telah disepakati (Herlianto, 2013). Opsi tidak diwajibkan pemegangnya untuk membeli atau menjual tersebut, hanya memberikan hak atau pilihan. Opsi juga dapat didefinisikan sebagai instrumen keuangan yang berfungsi seperti kontrak standar, memberikan hak tetapi bukan kewajiban kepada pemegangnya untuk membeli atau menjual aset tertentu pada harga yang telah ditentukan dengan batas waktu kadaluwarsa jangka pendek, umumnya dalam satu tahun (Alhabeeb, 2012).

Terdapat enam faktor yang berpengaruh dalam menentukan harga opsi adalah (Hull, 2014) :

1. Harga Saham (S_0)

Nilai suatu opsi saham akan bergantung pada harga saham saat ini. Pada opsi *call* harga akan lebih tinggi ketika harga saham meningkat, sedangkan opsi *put* berlawanan dengan opsi *call* yaitu harganya akan menurun ketika harga saham meningkat.

2. Harga Kesepakatan/*Strike Price* (K)

Harga yang telah disepakati atau ditentukan antara penjual dan pembeli untuk menentukan aset akan dijual atau dibeli ketika opsi dilaksanakan. *Strike price* lebih kecil dari harga saham saat ini, hal tersebut akan sangat berharga bagi investor opsi *call*. Bagi investor opsi *put*, *strike price* yang

lebih besar dari harga saham saat ini yang berharga agar mendapat keuntungan.

3. Waktu Jatuh Tempo (T)

Semakin lama waktu yang tersisa, maka akan semakin tinggi harga opsi (*call* ataupun *put*). Hal tersebut karena akan ada lebih banyak waktu untuk mengeksekusi opsi dengan harapan saham bergerak naik melebihi harga dipasar sehingga menguntungkan pemegangnya. Begitu sebaliknya (Halim, 2023).

4. Tingkat Suku Bunga (r)

Jika tingkat suku bunga naik, harga saham cenderung turun, hal tersebut akan menurunkan harga opsi *call*, tetapi menurunkan harga opsi *put*. Efek gabungan juga berlaku ketika penurunan suku bunga dan kenaikan harga saham yang akan meningkatkan nilai opsi beli dan menurunkan nilai opsi jual.

5. Volatilitas (σ)

Salah satu teori yang membahas mengenai risiko adalah volatilitas (Raneo, 2018). Tingkat volatilitas harga yang tinggi terlihat dari periode di mana terjadinya fluktuasi yang besar, diikuti oleh fluktuasi yang lebih rendah, lalu kembali meningkat. Namun waktu terjadinya perubahan ini tidak dapat diprediksi (Puspitasari et al., 2019). Selain itu juga tingkat volatilitas yang tinggi dapat menggambarkan tingkat risiko dan return yang tinggi. Semakin tinggi volatilitas, semakin tinggi pula harga opsi. Pemilik opsi *call* akan mendapat keuntungan ketika harga naik, namun tetap

terdapat risiko penurunan yang terbatas jika harga turun, sedangkan pemilik opsi *put* akan diuntungkan pada saat harga turun, tetapi terdapat risiko penurunan ketika terjadi kenaikan harga.

Dalam mengukur volatilitas dibutuhkan metode atau model untuk menghitung volatilitas agar dapat memprediksi pergerakan harga saham, yaitu (Hull, 2014):

(a) *Simple Variance*

Merupakan volatilitas dengan perhitungan yang paling sederhana, karena menggunakan standar deviasi atau simpangan baku.

$$\sigma = S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (r_t - \bar{r}_t)^2}$$

dengan:

S : Standar deviasi

$\bar{r}_t$: Rata-rata return saham

r_t : Return saham pada waktu t

n : Banyaknya nilai return harga saham

(b) *Exponentially Weighted Moving Average (EWMA)*

Merupakan metode pengukur yang mempertimbangkan bobot dari data yang digunakan.

(c) *Generalize Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (ARCH)*

Merupakan metode yang digunakan dengan memanfaatkan kondisi heteroskedastisitas.

6. Dividen

Nilai opsi *call* memiliki hubungan yang negatif dengan ukuran dividen, sedangkan pada opsi *put* memiliki hubungan yang positif.

1. Opsi Berdasarkan Waktu Jatuh Tempo

1. Opsi Beli (*Call Option*)

Opsi *call* memberikan pemegang saham atas hak untuk membeli sejumlah aset pada tanggal tertentu sampai dengan opsi *call* tersebut jatuh tempo dengan harga yang disepakati atau *strike price* (Hull, 2014). Pemegang opsi *call* tidak diwajibkan untuk menjalankan opsinya ketika harga saham lebih kecil dari harga kesepakatan (*strike price*) pada tanggal jatuh tempo, karena nilai dari opsi *call* akan sama dengan selisih antara harga saham dan harga kesepakatan. Keuntungan yang diperoleh dari opsi *call* akan meningkat ketika harga aset naik (Bodie et al., 2019).

Persamaan opsi *call* dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$C_t = \max (S_t - K; 0) \quad (2.3)$$

Dimana C_t merupakan nilai opsi *call* pada waktu t dengan t adalah waktu jatuh tempo dan K adalah kontrak saham.

2. Opsi Jual (*Put Option*)

Opsi *put* memberikan hak kepada pemegangnya untuk menjual sejumlah aset pada harga yang telah ditentukan dengan tanggal tertentu sampai dengan opsi *put* tersebut jatuh tempo (Hull, 2014). Pada opsi *put*, laba akan meningkat

ketika harga aset jatuh. Penjualan dengan opsi ini akan dilakukan hanya jika pemegangnya dapat menjual aset yang nilai pasarnya kurang dari harga kesepakatan opsi.

Persamaan opsi *put* dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P_t = \max (K - S_t; 0) \quad (2.4)$$

Dimana P_t merupakan nilai opsi *put* pada waktu t dengan t adalah waktu jatuh tempo dan K adalah kontrak saham.

2. Opsi Berdasarkan Waktu Penggunaannya

1. Opsi Eropa

Opsi Eropa dapat dieksekusi hanya pada hari jatuh tempo saja. Opsi *call* Eropa adalah kontrak yang memberikan hak kepada pemegangnya untuk membeli suatu aset dengan harga yang telah ditetapkan (*strike price*) pada waktu tertentu yang telah ditentukan di masa depan. Sedangkan opsi *put* Eropa memberikan hak kepada pemegangnya untuk menjual aset dengan harga dan waktu yang ditentukan (Capinski, 2003).

2. Opsi Amerika

Berbeda dengan tipe Eropa, opsi Amerika dapat dieksekusi kapan saja sebelum atau pada hari jatuh tempo. Hal tersebut membuat opsi Amerika lebih fleksibel dibanding opsi Eropa (Petters, 2016). Opsi *call* atau *put* Amerika memberikan hak untuk membeli atau membeli aset dengan *strike price* dan waktu jatuh tempo kapan saja dari saat terjadi kesepakatan hingga waktu tertentu di masa depan yang sudah ditentukan

(Capinski, 2003). Keuntungan dari opsi Amerika adalah keakuratan penentuan harga dan batas waktu eksekusi opsi tersebut (Siswanah et al., 2023)

C. Metode Binomial Harga Saham dan Opsi Saham

Model binomial merupakan salah satu metode numerik yang sangat populer untuk menentukan harga saham dan opsi. Pertama kali dikembangkan oleh Cox, Ross, Rubenstein (1979). Metode ini mudah ditiru secara matematis karena melibatkan sejumlah parameter yang kecil dan mengasumsikan struktur sederhana yang identik di setiap harga sahamnya. Perhitungan harga opsi menggunakan metode binomial didasarkan pada kenyataan bahwa dalam pasar bebas, harga saham akan selalu berubah naik atau turun seiring perubahan waktu (Sari et al., 2016).

Metode binomial berasal dari suatu model untuk menghitung pergerakan saham yang sederhana. Interval $[0, T]$ dibagi menjadi n menjadi ukuran dengan panjang yang sama berupa titik-titik bagi yaitu $0 = t_0 < t_1 < \dots < t_n = T$, dimana $t_i = i\Delta t$ dengan $i = 0, 1, \dots, n$ dan $\Delta t = \frac{T}{n}$. Kemudian terdapat tiga buah parameter, yaitu u untuk harga saham ketika naik, d untuk harga saham ketika turun, dan p yang merupakan peluang perubahan harga saham (Pramuditya, 2016). Dari ketiga parameter tersebut, sehingga dapat membantu metode binomial agar lebih efektif dan sesuai dengan kondisi dunia nyata, maka diperlukan asumsi-asumsi yang akan digunakan dalam metode ini, yaitu (Aziz, 2009):

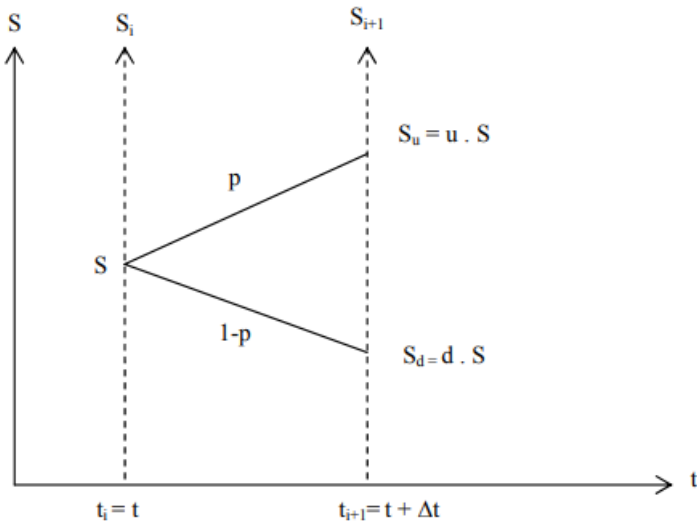
1. Harga saham pada harga awal adalah S , dengan periode waktu Δt , maka harga saham akan mengalami dua kemungkinan yaitu naik menjadi Su atau turun menjadi

Sd .

2. Pada saat perubahan naik, peluangnya adalah p . Sedangkan pada saat perubahan turun, peluangnya adalah $1 - p$
3. Ekspektasi saham secara kontinu, di mana r adalah suku bebas risiko dari S_i saat t_i menjadi S_{i+1} saat t_{i+1} yaitu

$$E(S_{i+1}) = S_i e^{r\Delta t} \quad (2.5)$$

Untuk lebih mudah memahami asumsi tersebut, maka dapat dilihat gambar berikut :



Gambar 2.1: Prinsip Metode Binomial

Berdasarkan gambar tersebut dimisalkan harga saham pada saat $t = t_i$ adalah $S = S_i$, karena berada pada langkah 0 atau harga awal, maka harga saham diasumsikan menjadi $S_{(0,0)}$ dengan

$t = t_0$ dan $S = S_0$. Kemudian harga saham pada saat langkah 1 dengan $t = t_{i+1} = t_1$ adalah S_{i+1} , harga saham ketika naik menjadi $S_{(1,1)} = S_0u$ dan ketika turun menjadi $S_{(1,0)} = S_0d$. Begitu juga dengan langkah selanjutnya, sehingga dapat dirumuskan harga saham dengan metode binomial secara umum yaitu (Aziz, 2009):

$$S_{(i,j)} = S_0 u^j d^{i-j} \quad (2.6)$$

Dengan i merupakan jumlah langkah waktu atau banyaknya periode yang telah dilalui ($i = 0, 1, \dots, n$) atau biasa disebut dengan node dan j merupakan jumlah langkah pergerakan saham pada waktu naik atau turun ($j = 0, 1, \dots, i$).

Sedangkan untuk nilai opsi terdapat probabilitas p yang bergerak dari langkah (i, j) pada waktu $i\Delta t$ ke $(i + 1, j + 1)$ pada waktu $(i + 1) \Delta t$ dan terdapat probabilitas $1 - p$ yang bergerak dari langkah (i, j) pada waktu $i\Delta t$ ke $(i + 1, j)$ pada waktu $(i + 1) \Delta t$, sehingga diperoleh (Hull, 2014):

$$f_{(i,j)} = e^{-r\Delta t} [f_{(i+1,j+1)}p + f_{(i+1,j)}(1 - p)] \quad (2.7)$$

Pada metode binomial terdapat tiga parameter yang belum diketahui yaitu u , d , dan p . Untuk menentukan ketiga parameter tersebut diperlukan persamaan :

1. Menyetarakan ekspektasi harga saham model diskrit pada persamaan (2.8) yaitu

$$E(S_{i+1}) = S_u p + S_d (1 - p) \quad (2.8)$$

dengan model kontinu pada persamaan (2.5) yaitu

$$E(S_{i+1}) = S_0 e^{r\Delta t} \quad (2.5)$$

2. Menyetarakan variansi model diskrit pada persamaan (2.9) yaitu

$$\text{var}(S_{i+1}) = S_0^2 pu^2 + S_0^2 (1-p)d^2 - (S_0 pu + S_0(1-p)d)^2 \quad (2.9)$$

dengan model kontinu pada persamaan (2.10) yaitu

$$\text{var}(S_{i+1}) = S_0^2 e^{2r\Delta t} (e^{\sigma^2 \Delta t} - 1) \quad (2.10)$$

3. Menyetarakan $u \cdot d = 1$.

Sehingga langkah untuk menentukan ketiga parameter tersebut adalah mengerjakan dari persamaan (1) terlebih dahulu yaitu menyetarakan ekspektasi harga saham model kontinu (2.5) dengan ekspektasi harga saham model diskrit (2.8) :

$$S_0 e^{r\Delta t} = Sup + Sd(1-p)$$

$$\iff S_0 e^{r\Delta t} = S_0 (up + d(1-p))$$

karena S_0 merupakan nilai sembarang maka diperoleh

$$e^{r\Delta t} = pu + (1-p)d$$

$$\iff e^{r\Delta t} = pu + d - pd$$

$$\iff e^{r\Delta t} = p(u - d) + d$$

$$\Longleftrightarrow p = \frac{e^{r\Delta t} - d}{u - d} \quad (2.11)$$

dengan p merupakan peluang yang harus memenuhi $0 \leq p \leq 1$. Kemudian dicari persamaan (2) yaitu menyetarakan persamaan (2.9) dengan (2.10) :

$$S_0^2 pu^2 + S_0^2 (1-p)d^2 - (S_0 pu + S_0(1-p)d)^2 = S_0^2 e^{2r\Delta t} (e^{\sigma^2 \Delta t} - 1)$$

$$\Longleftrightarrow S_0^2 [pu^2 + (1-p)d^2 - (pu + (1-p)d)^2] = S_0^2 [e^{2r\Delta t} (e^{\sigma^2 \Delta t} - 1)]$$

karena S_0 merupakan nilai sembarang maka diperoleh

$$pu^2 + (1-p)d^2 - (pu + (1-p)d)^2 = e^{2r\Delta t} (e^{\sigma^2 \Delta t} - 1)$$

karena $e^{r\Delta t} = pu + (1-p)d$, maka :

$$pu^2 + (1-p)d^2 - e^{2r\Delta t} = e^{2r\Delta t + \sigma^2 \Delta t} - e^{2r\Delta t}$$

$$\Longleftrightarrow pu^2 + (1-p)d^2 = e^{2r\Delta t + \sigma^2 \Delta t}$$

$$\Longleftrightarrow pu^2 + d^2 - pd^2 = e^{2r\Delta t + \sigma^2 \Delta t}$$

$$\Longleftrightarrow p(u^2 - d^2) + d^2 = e^{(2r + \sigma^2)\Delta t}$$

$$p = \frac{e^{(2r + \sigma^2)\Delta t} - d^2}{u^2 - d^2} \quad (2.12)$$

Setarakan persamaan (2.11) dengan persamaan (2.12) serta persamaan (3) sehingga didapatkan :

$$u^2 - u(e^{-r\Delta t} + e^{(r + \sigma^2)\Delta t}) + 1 = 0$$

dengan memisalkan $\beta = \frac{1}{2}(e^{-r\Delta t} + e^{(r+\sigma^2)\Delta t})$ diperoleh :

$$u^2 - 2\beta u + 1 = 0$$

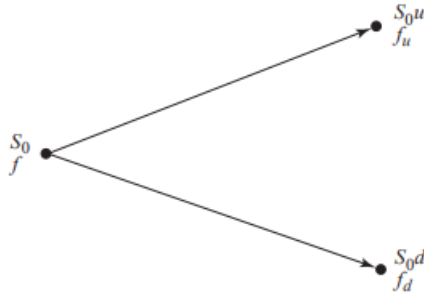
dengan akar-akar u , sehingga didapatkan parameter :

$$\begin{aligned} u &= e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \\ d &= e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} \end{aligned} \quad (2.13)$$

1. Metode Binomial Satu Langkah

Pada binomial satu langkah sebuah saham yang memiliki harga saat ini (S_0) dan sebuah opsi pada saham tersebut dengan harga saat ini (f). Diasumsikan bahwa opsi tersebut berakhir pada waktu jatuh tempo (T) dan selama opsi berjalan, harga saham bergerak naik dari S_0 ke tingkat baru yaitu S_0u dimana $u > 1$ dengan persentase pergerakan $u - 1$, atau turun dari S_0 ke tingkat baru yaitu S_0d dimana $d < 1$ dengan persentase pergerakan $1 - d$.

Pada saat harga saham bergerak naik ke S_0u atau $S_{(1,1)}$ maka harga opsi tersebut adalah f_u , kemudian saat harga saham bergerak turun ke S_0d atau $S_{(1,0)}$ maka harga opsi tersebut adalah f_d . Sehingga dapat digambarkan metode binomial satu langkah ini dalam bentuk model pohon atau yang sering disebut dengan pohon binomial, yaitu seperti berikut :



Gambar 2.2: Metode Binomial Satu Langkah

Berdasarkan persamaan (2.6), untuk mengetahui harga saham pada metode binomial satu langkah ini yaitu (Aziz, 2009):

Ketika harga saham mengalami kenaikan ($i = 1$ dan $j = 1$)

$$S_{(1,1)} = S_0 u = S_0 \cdot u$$

dan ketika harga saham menurun ($i = 1$ dan $j = 0$)

$$S_{(1,0)} = S_0 d = S_0 \cdot d$$

Terdapat portofolio saham (Δ) agar terbebas dari risiko. Maka jika terjadi pergerakan naik dari harga saham, nilai portofolio di akhir masa jatuh tempo opsi adalah

$$S_0 u \Delta - f_u$$

Sedangkan pada saat pergerakan turun dari harga saham, nilai portofolio di akhir masa jatuh tempo opsi adalah

$$S_0 d \Delta - f_d$$

Kemudian keduanya disetarakan :

$$S_0u\Delta - f_u = S_0d\Delta - f_d$$

$$\Longleftrightarrow \Delta = \frac{f_u - f_d}{S_0u - S_0d} \quad (2.14)$$

Pada persamaan (2.14) menunjukkan bahwa Δ adalah rasio perubahan harga opsi terhadap perubahan harga saham saat bergerak di antara node/langkah pada waktu T . Asumsikan suku bunga bebas risiko dengan r , maka nilai sekarang dari portofolio adalah

$$(S_0u\Delta - f_u)e^{-rT}$$

Harga portofolio :

$$S_0\Delta - f$$

Sehingga di dapatkan

$$S_0\Delta - f = (S_0u\Delta - f_u)e^{-rT}$$

$$f = S_0\Delta - (S_0u\Delta - f_u)e^{-rT}$$

$$f = S_0\Delta - S_0u\Delta e^{rT} + f_ue^{-rT}$$

$$f = S_0\Delta - (1 - ue^{rT}) + f_ue^{-rT}$$

dengan mensubstitusi dari persamaan (2.14) :

$$f = S_0 \left(\frac{f_u - f_d}{S_0u - S_0d} \right) (1 - ue^{-rT}) + f_ue^{-rT}$$

$$\Longleftrightarrow f = S_0 \left(\frac{f_u - f_ue^{-rT} - f_d + f_due^{-rT}}{S_0(u - d)} \right) + f_ue^{-rT}$$

$$\begin{aligned}
\Longleftrightarrow f &= \frac{f_u - f_u u e^{-rT} - f_d + f_d u e^{-rT} + f_u u e^{-rT} - f_u d e^{-rT}}{u - d} \\
\Longleftrightarrow f &= \frac{f_u - f_d + f_d u e^{-rT} - f_u d e^{-rT}}{u - d} \\
\Longleftrightarrow f &= \frac{f_u(1 - d e^{-rT}) + f_d(u e^{-rT} - 1)}{u - d} \\
\Longleftrightarrow f &= \frac{f_u(1 - d e^{-rT})}{u - d} + \frac{f_d(u e^{-rT} - 1)}{u - d} \\
\Longleftrightarrow f &= \frac{f_u e^{-rT}(e^{rT} - d)}{u - d} + \frac{f_d e^{-rT}(u - e^{rT})}{u - d} \\
\Longleftrightarrow f &= f_u e^{-rT} \frac{e^{rT} - d}{u - d} + f_d e^{-rT} \frac{u - e^{rT}}{u - d} \\
\Longleftrightarrow f &= f_u e^{-rT} \left(\frac{e^{rT} - d}{u - d} \right) + f_d e^{-rT} \left(1 - \frac{e^{rT} - d}{u - d} \right) \\
\Longleftrightarrow f &= e^{-rT} \left(f_u \frac{e^{rT} - d}{u - d} + f_d \left(1 - \frac{e^{rT} - d}{u - d} \right) \right)
\end{aligned}$$

dengan

$$p = \frac{e^{-rT} - d}{u - d}$$

Maka diperoleh harga opsi dengan menggunakan metode binomial satu langkah, yaitu (Hull, 2014)

$$f = e^{-rT} (f_u p + f_d (1 - p)) \quad (2.15)$$

dengan (Fadugba et al., 2013)

pada opsi *call*

$$f_u = \max(S_0 u - K; 0)$$

$$f_d = \max(S_0 d - K; 0)$$

pada opsi *put*

$$f_u = \max(K - S_0u; 0)$$

$$f_d = \max(K - S_0u; 0)$$

Berdasarkan bentuk rekursif pada persamaan (2.15) untuk harga opsi dengan metode binomial satu langkah yaitu :

$$f = e^{-rT}(f_{(1,1)}p + f_{(1,0)}(1 - p)) \quad (2.16)$$

dengan

pada opsi *call*

$$f_{(1,1)} = \max(S_{(1,1)} - K; 0)$$

$$f_{(1,0)} = \max(S_{(1,0)} - K; 0)$$

pada opsi *put*

$$f_{(1,1)} = \max(K - S_{(1,1)}; 0)$$

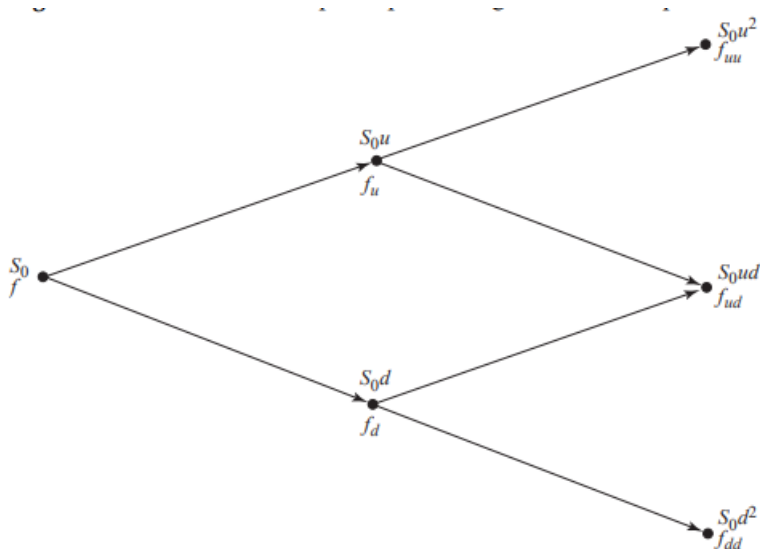
$$f_{(1,0)} = \max(K - S_{(1,0)}; 0)$$

Sehingga untuk menghitung harga opsi menggunakan metode binomial satu langkah pada persamaan (2.15) harus dihitung terlebih dahulu nilai f_u dan f_d atau bentuk rekursifnya pada persamaan (2.16) dihitung dahulu nilai $f_{(1,1)}$ dan $f_{(1,0)}$.

2. Metode Binomial Dua Langkah

Metode ini merupakan perluasan dari metode binomial satu langkah dengan memperhitungkan dua periode waktu. Harga

saham awalnya adalah S_0 . Setiap langkah waktu, harga saham akan bergerak naik menjadi u kali nilai awalnya, atau turun menjadi d kali nilai awalnya. Sebagai contoh harga naik menjadi dua kali, maka nilai opsi dinotasikan f_{uu} . Sehingga dari pohon binomial satu langkah dapat diteruskan menjadi dua langkah yaitu



Gambar 2.3: Metode Binomial Dua Langkah

Berdasarkan persamaan (2.6) dan bentuk lanjutan dari binomial satu langkah, untuk mengetahui harga saham pada metode binomial dua langkah ini yaitu :

Ketika harga saham mengalami kenaikan dua kali ($i = 2$ dan $j = 2$)

$$S_{(2,2)} = S_{(1,1)} \cdot u = S_0 \cdot u^2$$

Ketika harga saham mengalami kenaikan satu kali kemudian

penurunan satu kali ($i = 2$ dan $j = 1$)

$$S_{(2,1)} = S_{(1,1)} \cdot d = S_{(1,0)} \cdot u = S_0 \cdot u \cdot d$$

dan ketika harga saham menurun dua kali ($i = 2$ dan $j = 0$)

$$S_{(2,0)} = S_{(2,0)} \cdot d = S_0 \cdot d^2$$

Sedangkan untuk menghitung harga opsi metode binomial dua langkah, dengan mensubstitusikan parameter p pada persamaan (2.11) ke dalam persamaan harga opsi metode binomial satu langkah pada persamaan (2.15).

Sehingga diperoleh

$$f_u = e^{-r\Delta t}(f_{uu}p + f_{ud}(1-p))$$

$$f_d = e^{-r\Delta t}(f_{ud}p + f_{dd}(1-p))$$

Substitusikan kedua persamaan diatas pada persamaan (2.15)

$$f = e^{-r\Delta t}(f_u p + f_d(1-p))$$

$$\iff f = e^{-r\Delta t}[(e^{-r\Delta t}(f_{uu}p + f_{ud}(1-p)))p + (e^{-r\Delta t}(f_{ud}p + f_{dd}(1-p)))(1-p)]$$

$$\iff f = e^{-r\Delta t}e^{-r\Delta t}[(f_{uu}p + f_{ud}(1-p))p + (f_{ud}p + f_{dd}(1-p))(1-p)]$$

$$\iff f = e^{-2r\Delta t}[f_{uu}p^2 + f_{ud}2p(1-p) + f_{dd}(1-p)^2]$$

Maka diperoleh harga opsi dengan menggunakan metode binomial dua langkah, yaitu (Hull, 2014):

$$f = e^{-2r\Delta t}[f_{uu}p^2 + f_{ud}2p(1-p) + f_{dd}(1-p)^2] \quad (2.17)$$

dengan (Fadugba et al., 2013)

pada opsi *call*

$$f_{uu} = \max(S_{0uu} - K; 0)$$

$$f_{ud} = \max(S_{0ud} - K; 0)$$

$$f_{dd} = \max(S_{0dd} - K; 0)$$

pada opsi *put*

$$f_{uu} = \max(K - S_{0uu}; 0)$$

$$f_{ud} = \max(K - S_{0ud}; 0)$$

$$f_{dd} = \max(K - S_{0dd}; 0)$$

Berdasarkan bentuk rekursif persamaan (2.17) untuk harga opsi dengan metode binomial dua langkah yaitu :

$$f = e^{-2r\Delta t} [f_{(2,2)}p^2 + f_{(2,1)}2p(1-p) + f_{(2,0)}(1-p)^2] \quad (2.18)$$

Menentukan harga opsi menggunakan metode binomial dua langkah juga dapat dilakukan dengan langkah mundur, yaitu dengan menghitung harga opsi pada saat $i = 2$ yang dimana perhitungannya seperti pada persamaan (2.3) untuk opsi *call* dan opsi *put* pada persamaan (2.4) (Hull, 2014):

pada opsi *call*

$$f_{(2,2)} = \max(S_{(2,2)} - K; 0)$$

$$f_{(2,1)} = \max(S_{(2,1)} - K; 0)$$

$$f_{(2,0)} = \max(S_{(2,0)} - K; 0)$$

pada opsi *put*

$$f_{(2,2)} = \max(K - S_{(2,2)}; 0)$$

$$f_{(2,1)} = \max(K - S_{(2,1)}; 0)$$

$$f_{(2,0)} = \max(K - S_{(2,0)}; 0)$$

dengan $j = 2$ (saat mengalami kenaikan sebanyak dua kali);
 $j = 1$ (saat mengalami kenaikan sekali dan penurunan sekali); dan
 $j = 0$ (saat mengalami penurunan sebanyak dua kali).

Setelah mendapatkan harga opsi dengan $i = 2$, maka dihitung harga opsi pada saat $i = 1$ dalam bentuk rekursif persamaan (2.7) yaitu:

$$f_{(1,1)} = e^{-r\Delta t}(f_{(2,2)}p + f_{(2,1)}(1 - p))$$

$$f_{(1,0)} = e^{-r\Delta t}(f_{(2,1)}p + f_{(2,0)}(1 - p))$$

Sehingga harga opsi metode binomial dua langkah didapatkan saat $i = 0$:

$$f_{(0,0)} = e^{-r\Delta t}(f_{(1,1)}p + f_{(1,0)}(1 - p))$$

3. Metode Binomial n Langkah

Model binomial n langkah merupakan perluasan dari model binomial satu langkah, dua langkah, sampai banyak langkah. Untuk menentukan harga saham dengan menggunakan metode binomial n langkah yaitu :

$$S_{(n,j)} = S_0 u^j d^{n-j} \quad (2.19)$$

dengan peluang $\binom{n}{j}p^j(1-p)^{n-j}$ dimana $j = 0, 1, \dots, n$.

Sedangkan untuk menghitung harga opsi dengan menggeneralisasi dari harga opsi dengan metode binomial n langkah, yaitu (Fadugba et al., 2013):

$$f_{(n,j)} = e^{-rT} \sum_{j=0}^n \binom{n}{j} p^j (1-p)^{n-j} f_{u^j d^{n-j}} \quad (2.20)$$

dimana :

$\binom{n}{j} = \frac{n!}{(n-j)!j!}$ merupakan koefisien binomial berupa kombinasi dari pergerakan harga saham

$f_{(u^j d^{n-j})}$ merupakan *payoff* pada opsi dengan *payoff* pada opsi call:

$$C_{(n,j)} = \max(S_{(n,j)} - K; 0)$$

dan *payoff* pada opsi put:

$$P_{(n,j)} = \max(K - S_{(n,j)}; 0)$$

4. Metode Binomial untuk Opsi Eropa

Harga Opsi tipe Eropa dapat dihitung ketika sudah mengetahui harga saham pada saat jatuh tempo, sehingga dengan menggunakan metode binomial diperlukan harga saham awal (S_0) pada saat menentukan harga saham pada waktu jatuh tempo (Maulida et al., 2019). Berdasarkan rumus umum yang sudah dijabarkan sebelumnya, maka diperoleh rumus opsi *call* :

Menggunakan rumus pada saat akhir node ke n atau pada saat

waktu jatuh tempo (T) (Pramuditya, 2016) :

$$C_{(i,j)} = \max(S_{(i,j)} - K; 0)$$

dengan $i = n$ dan $j = 0, 1, \dots, i$.

Pada saat node ke $n - 1$ sampai nol :

$$C_{(i,j)} = e^{-r\Delta t}(C_{(i+1,j+1)}p + C_{(i+1,j)}(1 - p)) \quad (2.21)$$

dengan $i = n - 1, n - 2, \dots, 0$ dan $j = 0, 1, \dots, i$

Sedangkan untuk opsi put :

Menggunakan rumus pada saat akhir node ke n atau pada saat waktu jatuh tempo (T) (Pramuditya, 2016) :

$$P_{(i,j)} = \max(K - S_{(i,j)}; 0)$$

dengan $i = n$ dan $j = 0, 1, \dots, i$

Pada saat node ke $n - 1$ sampai nol :

$$P_{(i,j)} = e^{-r\Delta t}(P_{(i+1,j+1)}p + P_{(i+1,j)}(1 - p)) \quad (2.22)$$

dengan $i = n - 1, n - 2, \dots, 0$ dan $j = 0, 1, \dots, i$

5. Metode Binomial untuk Opsi Amerika

Akibat adanya kemungkinan *exercise* lebih awal, sehingga perlu perbandingan nilai tersebut dengan nilai *payoff* yang akan diperoleh jika opsi dieksekusi. Berdasarkan rumus umum yang sudah dijabarkan sebelumnya, maka diperoleh rumus opsi *call* (Pramuditya, 2016) :

Menggunakan rumus pada saat akhir node ke n atau pada saat

waktu jatuh tempo (T) (Pramuditya, 2016) :

$$C_{(i,j)} = \max(S_{(i,j)} - K; 0) \quad (2.23)$$

dengan $i = n$ dan $j = 0, 1, \dots, i$

Pada saat node ke $n - 1$ sampai nol :

$$C_{(i,j)} = \max[e^{-r\Delta t}(C_{(i+1,j+1)}p + C_{(i+1,j)}(1-p)); \max(S_{(i,j)} - K; 0)] \quad (2.24)$$

dengan $i = n - 1, n - 2, \dots, 0$ dan $j = 0, 1, \dots, i$

Sedangkan untuk opsi put :

Menggunakan rumus pada saat akhir node ke n atau pada saat waktu jatuh tempo (T) (Pramuditya, 2016) :

$$P_{(i,j)} = \max(K - S_{(i,j)}; 0) \quad (2.25)$$

dengan $i = n$ dan $j = 0, 1, \dots, i$

Pada saat node ke $n - 1$ sampai nol :

$$P_{(i,j)} = \max[e^{-r\Delta t}(P_{(i+1,j+1)}p + P_{(i+1,j)}(1-p)); \max(K - S_{(i,j)}; 0)] \quad (2.26)$$

dengan $i = n - 1, n - 2, \dots, 0$ dan $j = 0, 1, \dots, i$

D. Uji Stasioneritas

Suatu data runtun waktu (*time series*) dikatakan stasioner apabila *mean*, variansi, dan kovariansinya konstan seiring berjalannya waktu. Sehingga apabila salah satu syarat tidak terpenuhi, maka data tersebut tidak stasioner (Rusdi, 2011). Uji stasioneritas ini bertujuan untuk melihat apakah pada suatu data yang digunakan stasioner atau tidak. Terdapat beberapa pengujian

stasioneritas, namun yang sangat populer adalah *unit root test* atau uji akar unit (Gujarati, 2009)

Titik awal dari uji ini yaitu :

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.27)$$

dimana $-1 \leq \rho \leq 1$ dan ε_t adalah *error term white noise*.

Jika dalam kasus akar unit $\rho = 1$, maka pada persamaan (2.27) merupakan model *random walk without drift* atau model ini tanpa adanya konstanta dan kecenderungan yang acak. Oleh karena itu, tidak cukup meregresikan Y_t pada nilai lag Y_{t-1} , sehingga perlu diperhatikan apakah $\rho = 1$ atau tidak, jika $\rho = 1$ artinya (2.27) tidak stasioner.

Pada persamaan (2.27) tidak dapat diestimasi menggunakan *OLS* dan menguji hipotesis bahwa $\rho = 1$ menggunakan uji t , karena uji tersebut sangat bias dalam uji *unit root*. Oleh karena itu memanipulasi persamaan (2.27) dengan mengurangi Y_{t-1} pada kedua ruas.

$$Y_t - Y_{t-1} = \rho Y_{t-1} - Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

$$\iff \Delta Y_t = (\rho - 1)Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

dengan memisalkan $\delta = (\rho - 1)$.

Sehingga

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.28)$$

Dalam praktiknya, pada persamaan (2.28) dilakukan pengujian hipotesis bahwa $\delta = 0$, yang berarti $\rho = 1$ dan memiliki akar unit, sehingga *time series* yang dipertimbangkan adalah tidak stasioner. Terdapat alternatif dari Dickey dan Fuller yang menunjukkan bahwa pada persamaan (2.28) perlu diuji hipotesis terlebih dahulu untuk

stasioner yaitu nilai ρ harus kurang dari 1, sehingga nilai δ harus negatif atau ketika $\delta < 0$, karena $\delta = \rho - 1$ maka hipotesis yang digunakan yaitu :

$H_0 : \delta = 0$ (Tidak Stasioner, karena terdapat akar unit)

$H_1 : \delta < 0$ (Stasioner, karena tidak terdapat akar unit)

Jika $\delta = 0$, maka :

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

$$\Longleftrightarrow \Delta Y_t = (0)Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

$$\Longleftrightarrow \Delta Y_t = \varepsilon_t$$

yang berarti perubahan data hanya tergantung pada *error* acak, sesuai karakteristik *random walk*.

Selanjutnya adalah estimasi persamaan (2.28) terhadap δ terlebih dahulu menggunakan metode *Ordinary Least Square* (OLS), yaitu dengan meminimumkan $\sum \varepsilon_t^2$ (Rusdi, 2011).

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

$$\Longleftrightarrow \varepsilon_t = \Delta Y_t - \delta Y_{t-1}$$

maka menggunakan *OLS* untuk meminimalkan jumlah kuadrat residual, menjadi :

$$\sum \varepsilon_t^2 = \sum (\Delta Y_t - \delta Y_{t-1})^2$$

kemudian diambil turunan parsial dari δ agar mendapat nilai minimum

$$\Longleftrightarrow \frac{\partial}{\partial \delta} [\sum \varepsilon_t^2] = \frac{\partial}{\partial \delta} [\sum (\Delta Y_t - \delta Y_{t-1})^2]$$

$$\begin{aligned}
&\iff 0 = \sum 2[\Delta Y_t - \bar{\delta}Y_{t-1}][-Y_{t-1}] \\
&\iff 0 = \sum [\Delta Y_t - \hat{\delta}Y_{t-1}][Y_{t-1}] \\
&\iff 0 = \sum [\Delta Y_t Y_{t-1} - \hat{\delta}Y_{t-1}Y_{t-1}] \\
&\iff 0 = \sum \Delta Y_t Y_{t-1} - \sum \hat{\delta}Y_{t-1}Y_{t-1} \\
&\iff 0 = \sum \Delta Y_t Y_{t-1} - \sum \hat{\delta}Y_{t-1}^2 \\
&\iff \hat{\delta} = \frac{\sum Y_t \Delta Y_t}{\sum Y_{t-1}^2}
\end{aligned}$$

dimana $\hat{\delta}$ merupakan penaksiran kuadrat terkecil dari δ . Sehingga didapatkan statistik Uji yang berasal dari statistik - t yang sudah didefinisikan, yaitu :

$$\tau = \frac{\hat{\delta} - \delta}{se(\hat{\delta})} \quad (2.29)$$

dengan $\hat{\delta}$ merupakan penaksiran kuadrat terkecil dari δ dan $se(\hat{\delta})$ adalah *standar error* dari $\hat{\delta}$.

Kriteria uji:

Jika $\tau < t_{(n-1, \alpha)}$ atau $p\text{-value} < \alpha$ maka H_0 ditolak, artinya data stasioner. Namun apabila data tersebut tidak stasioner akibat dari nilai rata-rata tidak konstan, maka diperlukan metode *differencing* yaitu metode yang mengubah data dari tidak stasioner menjadi stasioner dengan mempertimbangkan perubahannya untuk mendekati nilai rata-rata tersebut agar stasioner. Untuk memperhitungkan berbagai kemungkinan, uji DF diperkirakan dalam tiga bentuk yang berbeda, yaitu (Gujarati, 2009):

1. Y_t merupakan model *random walk without drift*

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.28)$$

digunakan ketika tidak ada tren dan *intercep* pada data.

2. Y_t merupakan model *random walk with drift*

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \delta Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.30)$$

digunakan ketika tren konstan pada data

3. Y_t merupakan model *random walk with drift around a deterministic trend*

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.31)$$

digunakan ketika trend berubah setiap waktu pada data

Dari persamaan (2.28), (2.30) dan (2.31) asumsikan bahwa error ε_t tidak berkorelasi, tetapi jika ε_t berkorelasi artinya terdapat uji baru yang menambahkan variabel dependen Y_t , yaitu uji *Augmented Dickey-Fuller* (ADF). Uji ADF memperkirakan persamaan berikut (Gujarati, 2009):

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^m \alpha_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (2.32)$$

Hipotesis :

$H_0 : \delta = 0$ (Tidak Stasioner, karena terdapat akar unit)

$H_1 : \delta < 0$ (Stasioner, karena tidak terdapat akar unit)

Jika nilai statistik $<$ nilai kritis atau $p - value < \alpha$ maka H_0 ditolak, artinya data stasioner. Namun apabila data tersebut tidak stasioner akibat dari nilai rata-rata tidak konstan, maka diperlukan metode *differencing* terlebih dahulu sampai data bersifat stasioner.

E. Model Box-Jenkins

Jika data yang telah diuji kestasioneritasnya ternyata bersifat stasioner, maka dilakukan pembentukan model ARMA. Namun apabila data tidak stasioner, hal yang dilakukan adalah pembentukan model ARIMA dengan d adalah banyaknya data *didifferencing*. Menurut model Box-Jenkins secara umum model ARMA dan ARIMA terdiri atas :

1. Model *Autoregressive* (AR)

Autoregressive (AR) merupakan model yang digunakan untuk merepresentasikan data *time series* yang bergantung pada nilai masa lalunya. Pada model ini yang menjadi jumlah nilai masa lalunya (lag) yang digunakan adalah p dan berada pada waktu t (Prawintara et al., 2024), sehingga untuk model $AR(p)$ secara umum yaitu (Box et al., 2015):

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \cdots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (2.33)$$

Keterangan :

Y_t : Deret waktu stasioner

Y_{t-p} : Variabel bebas

ϕ_p : Koefisien parameter pada saat orde p

ε_t : *White noise*

2. Model *Moving Average* (MA)

Model yang menghubungkan antara nilai *white noise* saat ini dan periode sebelumnya (lag). Jumlah lag yang digunakan pada model ini disebut dengan orde q (Prawintara et al.,

2024), sehingga model MA(q) secara umum yaitu (Box et al., 2015) :

$$Y_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \cdots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (2.34)$$

Keterangan :

Y_t : Deret waktu stasioner

ε_t : *White noise* pada waktu ke - t

ε_{t-q} : *White noise* pada periode sebelum t atau pada waktu ke - $t - q$

θ_q : Koefisien parameter pada saat orde q

3. Model Autoregressive Moving Average (ARMA)

Model ini merupakan model gabungan antara model AR dan MA, sehingga berada pada orde p dan q atau biasa ditulis dengan ARMA (p, q). Model ARMA hanya dapat digunakan ketika data stasioner. Model ini pertama kali diperkenalkan oleh George Edward Pelham Box dan Gwilym Meiron Jenkins (1976) (Melyani et al., 2021), sehingga untuk model ARMA(p, q) yaitu (Box et al., 2015) :

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \cdots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \cdots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (2.35)$$

Keterangan :

Y_t : Dret waktu stasioner

ϕ_p : Koefisien parameter pada saat orde p

Y_{t-p} : Variabel bebas pada *lag* p

ε_t : *White noise* pada waktu ke - t

θ_q : Koefisien parameter pada saat orde q

ε_{t-q} : *White noise* pada periode sebelum t atau pada waktu ke - $t - q$

4. Model *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA)

Model ini digunakan pada saat data yang digunakan tidak stasioner, sehingga dilakukan *differncing*. Sedangkan model AR, MA, dan ARMA tidak dapat digunakan pada data yang sudah di *differncing*, maka model ARIMA ini mampu mengatasi hal tersebut, dengan orde d yang merupakan orde pada saat *differncing* (Melyani et al., 2021), sehingga untuk model ARMA(p, q) yaitu (Box et al., 2015) :

$$\phi_p(B)D^dY_t = \theta_q(B)\varepsilon_t \quad (2.36)$$

Keterangan :

- Y_t : Deret waktu stasioner
- ϕ_p : Koefisien parameter pada saat orde p
- θ_q : Koefisien parameter pada saat orde q
- B : Operator *backshift*
- D : *Differencing*
- ε_t : *White noise*
- d : Tingkat proses differencing

Prosedur yang digunakan dalam pembentukan model ARMA atau ARIMA menggunakan model Box-Jenkins terdiri dari empat tahapan, yaitu (Gujarati, 2009) :

1. Identifikasi Model

Tahapan pertama yang dilakukan adalah mengidentifikasi model untuk mencari orde p, d (jika model ARIMA) dan orde q yang sesuai agar mendapatkan beberapa kandidat model terbaik dengan melihat pola data menggunakan plot pada metode *correlogram*, yaitu

(a) *Autocorrelation Function (ACF)*

ACF adalah hubungan linear dalam data *time series* yang dipisahkan oleh lag waktu t . ACF digunakan untuk melihat korelasi antara Y_t dengan Y_{t-k} . Pada saat melakukan identifikasi model untuk pembentukan model ARMA, plot atau grafik ACF digunakan untuk melihat model MA (q). Model MA (q) terbentuk ketika plot ACF *cut off* atau terdapat lag ke - q yang pertama kali keluar dari garis batas signifikansi (Bartlett). Jumlah lag ke - q yang pertama keluar tersebut disebut dengan orde *Moving Average* (q).

(b) *Partial Autocorrelation Function (PACF)*

PACF digunakan untuk mengukur korelasi antara Y_t dengan Y_{t-k} setelah pengaruh variabel pengganggu dihilangkan. Sama halnya dengan ACF, PACF juga digunakan untuk melakukan identifikasi pembentukan model ARMA, bedanya untuk model AR (p). Model AR (p) terbentuk ketika plot PACF *cut off* atau terdapat lag ke - p yang pertama kali keluar dari garis (Parhusip, 2013). Jumlah lag ke - p yang pertama keluar tersebut disebut dengan orde *Autoregressive* (p).

2. Estimasi Model

Setelah diidentifikasi, didapatkan orde p , orde q dan banyaknya *differencing* sampai stasioner d (jika data tidak stasioner) yang menjadi kandidat model terbaik, maka tahapan berikutnya adalah mengestimasi parameternya. Metode perhitungannya dapat menggunakan metode *Least Square*, kemudian pada setiap parameternya dilihat

signifikansinya untuk mengetahui layak atau tidak dengan melakukan hipotesis. Kriteria penolakannya adalah apabila $p\text{-value} < \alpha = 0,05$ pada tingkat kepercayaan 95% (Aksan, 2020). Selain itu juga, untuk pemilihan model terbaik dapat menggunakan nilai *Akaike's Information Criterion* (AIC) dengan memilih nilai yang terendah. Persamaan dari AIC adalah

$$AIC = e^{\frac{2k}{n}} \frac{\sum \hat{\varepsilon}_i^2}{n}$$

dengan n adalah jumlah data, k adalah jumlah parameter, dan $\hat{\varepsilon}_i^2$ adalah residual kuadrat (Gujarati, 2009).

3. Diagnosis Model

Model yang sudah diestimasi dan didapatkan parameternya yang signifikan atau dengan melihat nilai AIC paling terendah, kemudian tahapan selanjutnya yaitu diagnosis model terbaik untuk membuktikan kelayakan pada model tersebut. Model Ljung-Box dapat digunakan untuk menguji autokorelasi residual (Gujarati, 2009).

Hipotesis yang digunakan pada model ini yaitu

$H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0$ (Tidak terdapat autokorelasi di dalam residual)

$H_1 : \text{minimal terdapat satu pasang } \rho_k \neq 0 \text{ untuk } n = 0, 1, 2, \dots, k$ (Terdapat autokorelasi di dalam residual)

Statistik uji:

$$Q = n(n+2) \sum_{k=1}^K \left(\frac{\hat{\rho}_k^2}{n-k} \right) \quad (2.37)$$

dengan $Q \sim \chi_{K-m}^2; m = p + q$

dengan:

- Q : Statistik uji Ljung-Box
 n : Banyaknya jumlah data
 K : Banyaknya lag yang diuji
 $\hat{\rho}_k$: Autokorelasi *sample* pada lag ke- k
 $Q \sim \chi^2_{K-m}$: Statistik Q mengikuti distribusi chi-kuadrat

Kriteria uji:

H_0 akan ditolak apabila $Q > \chi^2_{\text{tabel}}$ atau jika $p\text{-value} < \alpha$, artinya terdapat autokorelasi di dalam residual.

4. Uji Heteroskedastisitas

Setelah mendapatkan model terbaik dari ARMA atau ARIMA, langkah terakhir adalah menguji heteroskedastisitas. Pada kenyataannya tidak semua data finansial memiliki kasus dengan volatilitas konstan, banyak juga kasus dengan volatilitas tidak konstan. Hal tersebut membuat masalah heteroskedastisitas pada data. (Mubarakah et al., 2020). Salah satu yang dapat mendeteksi adanya heteroskedastisitas adalah uji ARCH *lagrange Multiplier* (ARCH-LM) atau menguji keberadaan efek ARCH/GARCH. Hipotesis uji ARCH-LM adalah (Ervina, 2020) :

H_0 : Tidak terdapat heteroskedastisitas

H_1 : Terdapat heteroskedastisitas

Statistik uji:

$$F = \frac{\frac{(SSR_0 - SSR_1)}{p}}{\frac{SSR_1}{(n-2p-1)}} \quad (2.38)$$

dengan:

F	: Statistik uji LM
SSR_0	: $\sum_{p+1}^n (\varepsilon_t^2 - \bar{\varepsilon})^2$ dengan $\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n} \sum_{p+1}^n \varepsilon_t^2$
SSR_1	: $\sum_{p+1}^n (\varepsilon_t^2 - \hat{\varepsilon}_t^2)$
p	: Orde pada model ARCH
n	: Jumlah observasi
ε_t	: <i>White noise</i>
$\bar{\varepsilon}$	: Rata-rata dari ε_t^2
$\hat{\varepsilon}_t^2$	: Residual kuadrat yang diprediksi

Kriteria uji:

H_0 akan ditolak apabila $F < \chi_{\alpha;p}^2$ atau $p\text{-value} < \alpha$, sehingga dikatakan terdapat efek ARCH/GARCH atau heteroskedastisitas.

F. Model ARCH

Model *Autoregressive Conditional Heteroscedastic* (ARMA) diperkenalkan oleh Engle (1982) untuk menggambarkan variabilitas yang sering berubah seiring berjalannya waktu dalam serangkaian inflasi. Pada tahun 1982, Engle menggunakan model ini untuk mempelajari varians dari tingkat inflasi di Inggris dan Amerika Serikat pada tahun 1983. Model ini mengasumsikan bahwa varians tak bersyarat (*unconditional variance*) dari kesalahan (ε_t) adalah konstan, sedangkan varians yang bersyarat (*conditional variance*) (σ_t^2) dari kesalahan (ε_t) dapat berubah atau bervariasi pada fungsi kuadrat residual (kesalahan) masa lalu (ε_{t-1}^2).

Secara umum model ARCH (p) dengan p adalah jumlah residual

kuadrat yang digunakan, yaitu (Box et al., 2015) :

$$\begin{aligned}\sigma_t^2 &= \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p \varepsilon_{t-p}^2 \\ \iff \sigma_t^2 &= \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2\end{aligned}\quad (2.39)$$

dengan :

σ_t^2 : Varians bersyarat atau volatilitas dari t

α_0 : Konstanta dimana $\alpha_0 > 0$

α_i : Koefisien ARCH dimana $\alpha_i \geq 0$ dengan $i = 1, 2, \dots, p$

ε_{t-i} : Residual kuadrat

p : Orde dari ARCH.

G. Model GARCH

Seiring dengan berkembangnya waktu, berbagai spesifikasi parametrik untuk varians sudah berubah. Berawal dari model ARCH yang diperkenalkan oleh Engle (1982), lalu dikembangkan menjadi *Generalized utoregressive Conditional Heteroscedastic* GARCH oleh Bollerslev (1986). Kelebihan dari model ini adalah tidak menganggap heteroskedastisitas sebagai masalah, melainkan memanfaatkannya untuk membangun sebuah model dan juga memprediksi varians (Faustina et al., 2017).

Rumus dari model GARCH (p, q) dengan p adalah jumlah residual kuadrat yang digunakan dan q adalah jumlah varians yang digunakan, yaitu,

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j \sigma_{t-j}^2 \quad (2.40)$$

keterangan :

- σ_t^2 : Varians kondisional pada waktu t
 α_0 : Konstanta dimana $\alpha_0 > 0$
 α_i : Koefisien ARCH dimana $\alpha_i \geq 0$ dengan $i = 1, 2, \dots, p$
 β_j : Koefisien GARCH dimana $\beta_j \geq 0$ dengan $j = 1, 2, \dots, q$
 ε_{t-i}^2 : Residual kuadrat dari periode sebelumnya
 σ_{t-j}^2 : Varians kondisional dari periode sebelumnya
 p : Orde ARCH
 q : Orde GARCH

Model GARCH memiliki karakteristik merespon volatilitas yang simetris terhadap guncangan, artinya sepanjang intensitasnya sama maka respon volatilitas terhadap guncangan adalah sama, baik guncangan positif maupun guncangan negatif (Susanti et al., 2016).

H. Pemodelan ARCH/GARCH

Pada memodelkan volatilitas ARCH/GARCH, terdapat langkah - langkah yang perlu dilakukan, yaitu :

1. Identifikasi Model

Jika hasil uji ARCH-LM adalah signifikan adanya efek heteroskedastisitas pada model ARMA (p, q) , maka menggunakan plot ACF dan PACF dari residual kuadrat (ε_t^2) model ARMA (p, q) terbaik untuk memilih orde ARCH/GARCH. Pada plot ACF dan PACF jika terdapat lag terkecil yang melewati batas signifikansi, maka yang dijadikan sebagai orde pada model ARCH (p) /GARCH (p, q) .

2. Estimasi Model

Mengestimasi parameter dari model yang sudah ditentukan dengan menggunakan *Maximum Likelihood Estimation* (MLE). Misalkan x adalah parameter yang ingin di estimasi yaitu α_0, α_j dan β_j dengan asumsi normalitas, fungsi *likelihood* dari residual ε_t yaitu (Tsay, 2010):

$$L(x) = \prod_{t=1}^T \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_t^2}} \exp\left(-\frac{\varepsilon_t^2}{2\sigma_t^2}\right)$$

dengan memaksimalkan *conditional likelihood* sama dengan memaksimalkan logaritmanya, maka

$$l(x) = \ln L(x)$$

$$\Leftrightarrow l(x) = \sum_{t=1}^T \left(-\frac{1}{2}\ln(2\pi) - \frac{1}{2}\ln(\sigma_t^2) - \frac{1}{2}\ln\left(\frac{\varepsilon_t^2}{\sigma_t^2}\right)\right)$$

karena $\ln(2\pi)$ tidak melibatkan apapun, sehingga fungsi *log-likelihood* menjadi :

$$l(x) = -\frac{1}{2} \sum_{t=1}^T (\ln(\sigma_t^2) + \ln(\frac{\varepsilon_t^2}{\sigma_t^2})) \quad (2.41)$$

dimana x merupakan parameter yang ingin diestimasi yaitu α_i dan β_j , kemudian σ_t^2 adalah model volatilitas dari ARCH/GARCH. Kemudian maksimumkan fungsi *log-likelihood* terhadap σ_t^2 dan dilanjutkan dengan perhitungan numerik.

3. Diagnosis Model

Jika sudah didapatkan model terbaik dari ARCH/GARCH,

maka dilakukan pengecekan apakah masih terdapat efek heteroskedastisitas pada model tersebut menggunakan uji ARCH-LM.

I. Efek Asimetris

Model ARCH/GARCH digunakan untuk asumsi bahwa semua efek guncangan pada volatilitas adalah sama atau konstan, namun tidak semua data pada finansial respon volatilitasnya akan sama jika terdapat guncangan. Beberapa di antaranya terdapat perbedaan besarnya perubahan pada volatilitas saat nilai return mengalami pergerakan atau yang biasa dikenal dengan efek asimetris (*leverage effect*). Kondisi asimetris ini umumnya muncul ketika pasar saham sedang dalam kondisi penurunan harga saham yang besar sehingga memberikan efek lanjutan pada peningkatan yang signifikan pada volatilitas saham. Akibatnya menyebabkan efek kejadian negatif yang lebih besar dibandingkan dengan kejadian positif terhadap volatilitas tersebut (Sari, 2017). Hal yang dapat terjadi berupa korelasi negatif atau positif antara nilai return saat ini dengan volatilitas yang akan datang. Adanya efek asimetris ini membuat model ARCH dan GARCH tidak tepat dipakai untuk menduga model. Oleh karena itu diperlukan model yang dapat digunakan untuk data yang memiliki efek asimetris (Mubarokah et al., 2020).

Salah satu cara yang digunakan untuk menguji efek asimetris pada suatu data yaitu menggunakan *cross correlation*. Dilihat pada plot, jika terdapat batang yang melebihi standar maka nilai *cross correlation* berbeda signifikan dengan nol, artinya terdapat efek asimetris terhadap volatilitas. Selain itu juga

dapat menggunakan *skewness*, yaitu ukuran asimetris disekitar rata-ratanya. Kemiringan pada data distribusi adalah nol, jadi jika kemiringan (*skewness*) nilainya positif artinya distribusi bersifat simetris, tetapi jika kemiringan (*skewness*) nilainya negatif artinya distribusi bersifat asimetris (Inc, 2017).

J. Model T-GARCH

Masalah dalam penggunaan volatilitas GARCH untuk return saham adalah simetri. Model ini mengharuskan adanya simetri dalam estimasinya. Dalam penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa adanya efek *leverage*, yaitu efek yang menunjukkan bahwa return saham umumnya memiliki distribusi yang condong negatif. Sedangkan model GARCH tidak mampu menghasilkan estimasi asimetris, hal ini berarti prediksi yang dihasilkan akan bias. Salah satu solusi yang mungkin untuk masalah ini adalah adanya model-model baru yang secara khusus dirancang untuk mengakomodasi asimetri, salah satunya model Threshold GARCH (T-GARCH) oleh Zakoian (1994) (Dol, 2021).

Rumus dari model T-GARCH adalah

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j \sigma_{t-j}^2 + \sum_{i=1}^p \gamma_i \varepsilon_{t-i}^2 I(\varepsilon_{t-i} < 0) \quad (2.42)$$

keterangan :

σ_t^2	: varians kondisional pada waktu t
α_0	: konstanta
α_i	: koefisien ARCH
β_j	: koefisien GARCH
γ_i	: koefisien dampak asimetris

- ε_{t-i}^2 : residual kuadrat dari periode sebelumnya
 σ_{t-j}^2 : varians kondisional dari periode sebelumnya
 $I(\varepsilon_{t-i} < 0)$: indikator bernilai 1 jika ε_{t-i} negatif
 p : orde ARCH
 q : orde GARCH

Untuk menentukan parameter dari model T-GARCH, seperti α_i , β_j dan γ_i menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) dengan x merupakan parameter yang ingin diestimasi yaitu α_i , β_j , dan γ_i kemudian σ_t^2 adalah model volatilitas dari model T-GARCH.

K. Akurasi Prakiraan

Salah satu akurasi perkiraan dalam memprakirakan suatu data adalah *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). MAPE adalah ukuran ketepatan relatif yang digunakan untuk mengetahui persentase penyimpangan hasil pendugaan. Formulasi dari MAPE (Mean Absolute Percentage Error) yaitu (Nurhidayati et al., 2024)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right|$$

Dimana Y_t adalah data asli, $\hat{Y}_t$ adalah perkiraan, dan N adalah banyaknya data. Kriteria MAPE dapat dilihat pada Tabel 2.1 (Samudra et al., 2024)

Tabel 2.1: Kriteria Signifikansi MAPE

MAPE	Signifikansi
$MAPE \leq 10\%$	Sangat Bagus
$10\% < MAPE \leq 20\%$	Bagus
$20\% < MAPE \leq 50\%$	Layak
$MAPE \geq 50\%$	Tidak Bagus

L. Penelitian Terdahulu

Sejumlah penelitian telah membahas mengenai penentuan harga opsi tipe Amerika menggunakan metode binomial. I Gusti dkk (2016) dalam penelitiannya yang berjudul “Penerapan Metode Binomial Tree dalam Mengestimasi Kontrak Opsi Tipe Amerika” mengemukakan bahwa penggunaan metode binomial dalam menentukan harga kontrak opsi tipe Amerika lebih mendekati harga opsi kontrak. Disisi lain, Salaman (2019) melakukan peneliatian berjudul “Penentuan Nilai Opsi Saham Tipe Amerika Menggunakan Metode Binomial Tree dengan Pembagian Dividen” menghasilkan bahwa nilai pada opsi *call* lebih besar dibanding dengan nilai opsi *put*.

Sedangkan penelitian terdahulu yang membaahas mengenai penggunaan volatilitas T-GARCH juga sudah banyak, salah satunya adalah Ervina dkk (2020) yang meneliti mengenai “Peramalan Volatilitas Saham menggunakan Model Threshold Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity” yang menghasilkan diantara model-model T-GARCH yang dihasilkan untuk memodelkan volatilitas IHSG, model yang terbaik adalah T-GARCH (1,1), sama halnya dengan penelitian yang dilakukan Henry dkk (2017) yang berjudul “Penggunaan Metode Threshold

GARCH dalam Memprediksi Harga Saham PT. Gudang Garam, Tbk". Meskipun berbeda saham, hasil yang ditentukan yaitu sama, yaitu model terbaiknya adalah T-GARCH (1,1). Pada tahun 2020, Waruya Hongwiengjan dan Dawud Thongtha memaparkan bahwa dalam hal akurasi, hasil empiris menunjukkan bahwa pendekatan analitis melalui model T-GARCH lebih akurat dibanding model lainnya.

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

Langkah-langkah yang harus dilakukan dalam penelitian ini untuk menyelesaikan Tugas Akhir adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Tahap yang pertama adalah studi literatur, yaitu proses pengumpulan referensi yang berisikan materi dan teori dasar untuk mendukung pembahasan masalah yang akan diteliti.

2. Perumusan Masalah

Pada tahap ini, dilakukan pembuatan rumusan dari masalah yang ditemukan pada referensi yang sudah dikumpulkan.

3. Pengambilan Data

Dilakukan pengambilan data berupa data harian dari harga penutup (*close*) saham *Microsoft Corporation* (MSFT) periode waktu tiga tahun yang dimulai dari 14 Maret 2022 sampai 11 Maret 2025 dengan jumlah data sebanyak 751. Data ini diambil dari situs yahoo finance yaitu <https://finance.yahoo.com/> yang diambil pada tanggal 12 Maret 2025. Selain mengambil saham harian, diambil juga data harga opsi dipasar, harga kesepakatan yang sudah disediakan pada situs yang sama, dan tingkat suku bunga risiko yang didapatkan dari US The Fed Funds Interest Rate.

4. Input Data Saham

Data harga penutup (*close*) saham yang sudah diambil dari sumber, kemudian di input ke dalam *microsoft excel* guna membantu penentuan return saham.

5. Menentukan Return Saham

Perhitungan return saham harian sesuai pada persamaan (2.1) dengan bantuan *microsoft excel*.

6. Uji Stasioneritas

Data return saham yang sudah dihitung dengan bantuan *microsoft excel* akan diuji kestasioneritasannya menggunakan bantuan software *evIEWS-10* pada bagian *ADF test statistic* atau dapat di lihat juga menggunakan hipotesis uji DF pada persamaan (2.29). Jika kriteria uji hasilnya tidak stasioner maka lakukan *differencing*.

7. Pemodelan ARMA (p, q) atau Pemodelan ARIMA (p, d, q)

Jika data pada return saham bersifat stasioner, maka dilakukan pemodelan ARMA (p, q) dengan bantuan software *evIEWS-10*, yaitu :

(a) Identifikasi model ARMA

Penentuan model ARMA menggunakan plot ACF dan PACE, kemudian pada plot tersebut dilihat batang yang melewati garis batas signifikansi itulah yang dijadikan orde pada model ARMA.

(b) Estimasi Parameter Model ARMA

Orde terkecil yang melewati batas signifikansi, maka orde tersebut yang akan dijadikan kandidat

model ARMA untuk dilakukan estimasi parameter menggunakan metode *least square*.

(c) Diagnosis Model ARMA

Setelah didapatkan persamaan model terbaik dari ARMA (p, q) (2.35) dengan melihat nilai AIC terkecil atau parameter yang signifikan, maka dilakukan diagnosis model tersebut menggunakan metode Ljung-Box pada persamaan (2.37) guna menguji autokorelasi residual.

Tetapi jika data pada return saham bersifat tidak stasioner, maka dilakukan *differencing* terlebih dahulu sampai stasioner, kemudian dapat dilakukan pemodelan ARIMA (p, d, q) dengan tahapan yang sama seperti pemodelan ARMA (p, q) .

8. Asumsi Heteroskedastisitas

Setelah model terbaik dinyatakan layak karena tidak terdapat autokorelasi di dalam residual, kemudian dilakukan uji heteroskedastisitas menggunakan hipotesis uji ARCH-LM pada persamaan (2.38) dengan bantuan software *evIEWS-10*. Jika hasilnya ternyata terdapat efek heteroskedastisitas pada model ARMA (p, q) atau ARIMA (p, d, q) , maka perlu dilakukan pemodelan volatilitas GARCH, tetapi jika hasilnya tidak terdapat efek heteroskedastisitas pada ARMA (p, q) atau ARIMA (p, d, q) , maka penelitian tidak bisa dilanjutkan yang artinya penelitian selesai.

9. Model ARCH atau GARCH

Jika terdapat asumsi heteroskedastisitas pada model ARMA (p, q) , maka dilakukan pembentukan persamaan model ARCH (2.39) atau GARCH (2.40) dengan cara yang sama yaitu mengidentifikasi orde menggunakan plot ACF dan PACF, estimasi parameter menggunakan metode *Least Square*, kemudian dipilih model terbaik menggunakan AIC terkecil dan parameter yang signifikan. Setelah itu diuji lagi heteroskedastisitasnya untuk melihat apakah masih ada efek tersebut atau tidak, kemudian ditentukan pula residual kuadratnya dengan bantuan software *views-10*.

10. Asumsi Asimetris

Setelah didapatkan model terbaik dari model GARCH dan sudah tidak terdapat efek heteroskedastisitas, kemudian dilakukan uji asimetris dengan menggunakan plot *cross correlogram* dan *skewness*. Jika hasil uji asimetris ternyata terdapat efek asimetris pada model GARCH, maka perlu dilakukan pemodelan volatilitas TGARCH, tetapi jika hasilnya tidak terdapat efek asimetris pada GARCH, maka penelitian tidak perlu pemodelan volatilitas TGARCH yang artinya penelitian selesai.

11. Volatilitas Model T-GARCH

Jika terdapat efek asimetris pada model GARCH terbaik, maka dilakukan pembentukan model T-GARCH (2.42), karena model GARCH tidak bisa mengatasi keadaan asimetris. Pembentukan ini dilakukan dengan mengidentifikasi orde, mengestimasi parameter, kemudian didapatkan model terbaiknya dengan melihat nilai AIC terkecil. Setelah didapatkan model terbaiknya, maka model

tersebut akan ditentukan volatilitasnya dengan waktu t dari parameter yang sudah didapatkan dengan bantuan software *views-10*.

12. Input Parameter

Setelah didapatkan nilai volatilitas model T-GARCH, maka substitusikan volatilitas (σ) tersebut, beserta parameter lainnya yang sudah ditentukan seperti harga saham awal (S_0), suku bunga risk-free (r) yang didapatkan dari US The Fed Funds Interest Rate, waktu jatuh tempo (T), banyaknya interval (n), dan strike price (K) ke dalam persamaan metode binomial melalui software *matlab* untuk menentukan harga opsi Amerika baik opsi *call* maupun opsi *put* pada persamaan. Namun sebelum menghitung opsi menggunakan metode binomial, perlu ditentukan terlebih dahulu, parameter p (2.11), parameter u dan d (2.13).

13. Penentuan Harga Opsi Amerika Menggunakan Metode Binomial

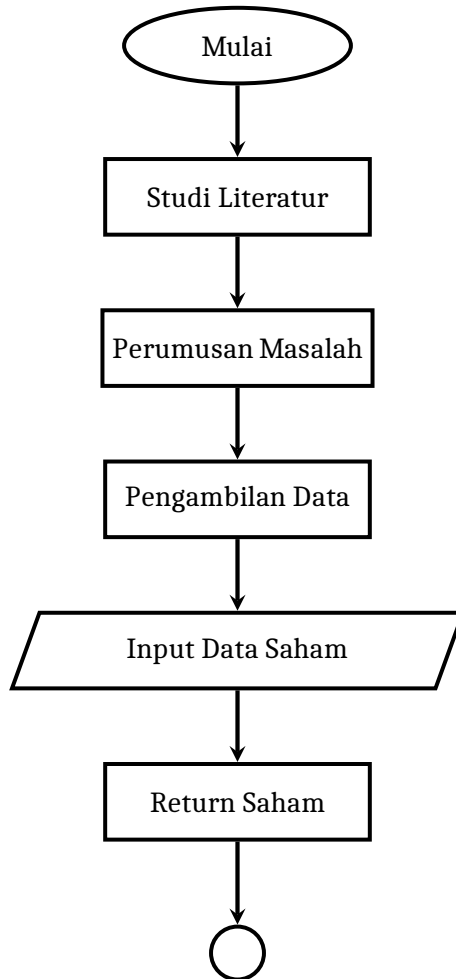
Setelah semua parameter sudah diinput, maka dapat dilakukan penentuan harga saham menggunakan metode binomial pada persamaan (2.6) dan opsi Amerika menggunakan metode binomial menggunakan bantuan software *matlab*. Perhitungan opsi Amerika dengan menggunakan persamaan (2.23) dan (2.24) untuk opsi *call*, sedangkan untuk opsi *put* menggunakan persamaan (2.25) dan (2.26).

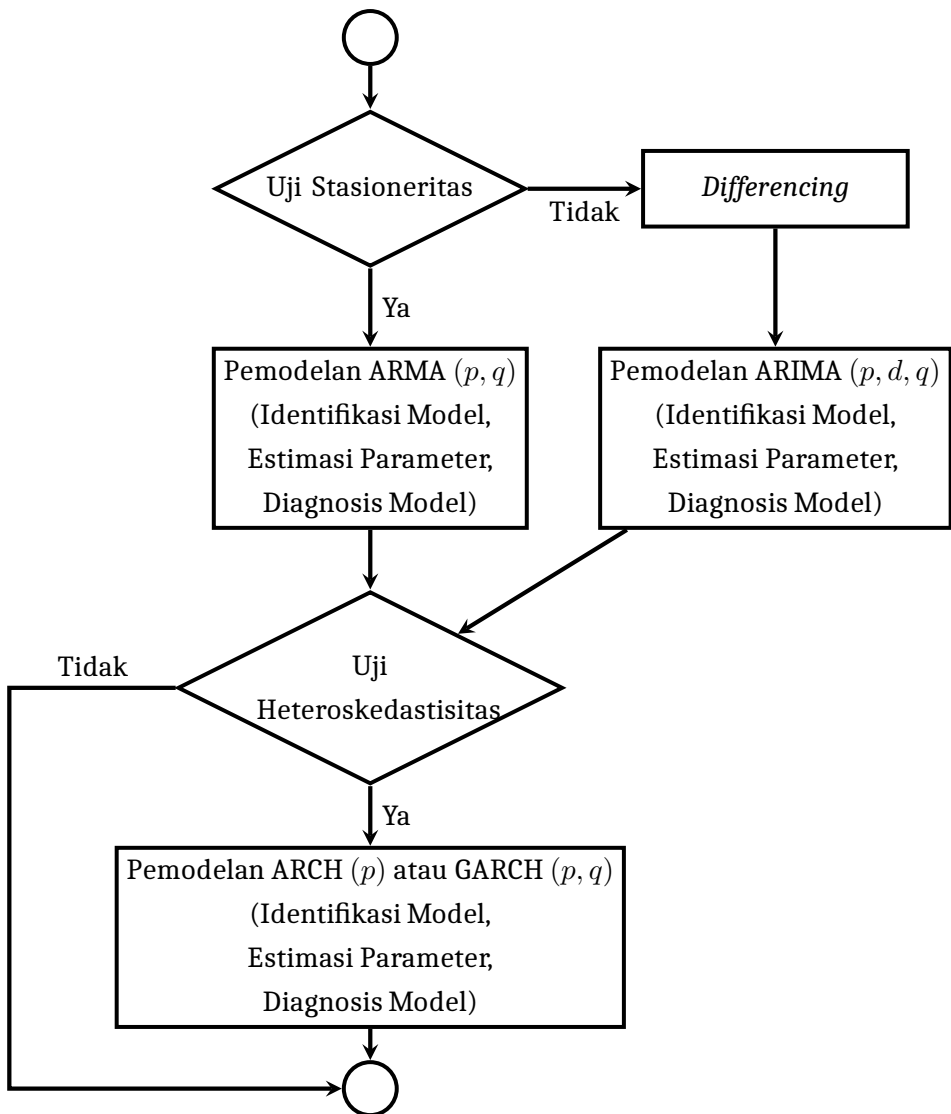
14. Hasil dan Pembahasan

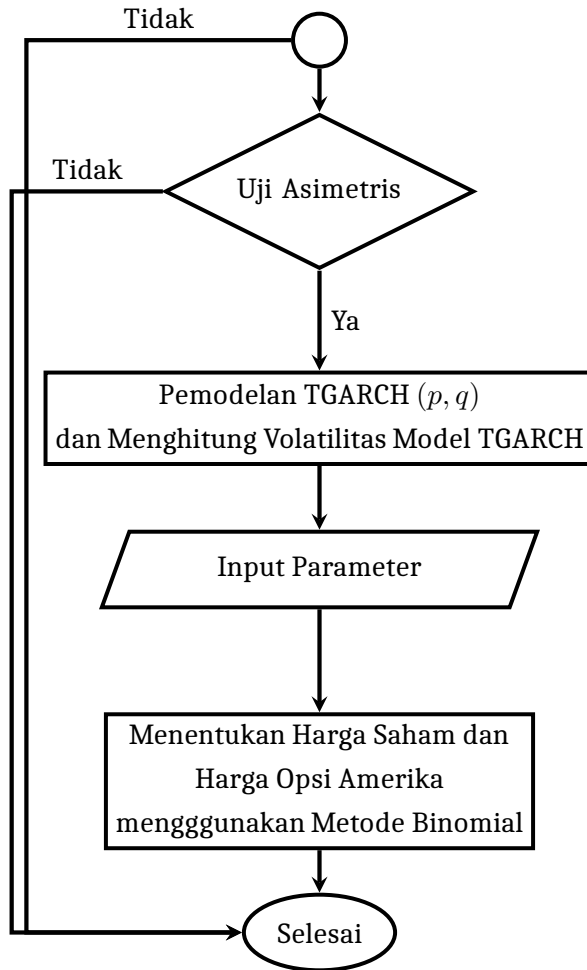
Jika semua langkah pada penyelesaian masalah dengan

numerik sudah dijalankan, maka tahapan terakhir adalah mendapatkan hasil dan menganalisis dari hasil tersebut.

B. Diagram Alir Penelitian







Gambar 3.1: Diagram Alir Penelitian

Pada diagram tersebut terlihat alurnya dimulai dengan mengumpulkan berbagai referensi untuk mendukung pembahasan masalah yang akan diteliti, dari referensi tersebut ditemukan masalah yang terjadi sehingga dapat dirumuskan

permasalahannya. Karena permasalahan yang diambil pada penelitian ini mengenai opsi saham, maka dilakukan pengambilan data harian dari saham MSFT. Data saham yang sudah diambil sesuai periode yang ditentukan, kemudian diinput ke *Microsoft Excel* dan dilakukan perhitungan return saham.

Tahapan selanjutnya dengan bantuan software *eviews-10* yaitu menguji kestasioneritasan dari return saham, jika hasilnya stasioner maka bisa langsung dilakukan pemodelan ARMA (p, q) , tetapi jika hasilnya tidak stasioner maka dilakukan *differencing* terlebih dahulu sampai stasioner, setelah itu bisa dilakukan pemodelan ARIMA (p, d, q) . Pada model ARMA atau ARIMA tersebut kemudian dilakukan pengujian heteroskedastisitas, jika hasilnya tidak terdapat efek heteroskedastisitas maka penelitian tidak dapat dilanjutkan penelitian, tetapi jika hasilnya terdapat efek heteroskedastisitas maka dilanjutkan pemodelan ARCH (p) atau GARCH (p, q) .

Setelah didapatkan model terbaik dari ARCH atau GARCH maka dilakukan pengujian efek asimetrisnya, jika tidak terdapat efek asimetris pada model tersebut maka penelitian tidak dapat dilanjutkan, tetapi jika terdapat efek asimetris maka perlu dimodelkan volatilitas T-GARCH. Pada model T-GARCH tersebut kemudian dihitung nilai volatilitasnya sebagai salah satu parameter penentuan harga opsi. Jika sudah didapatkan nilai volatilitasnya, maka input parameter lainnya yang sudah ditentukan pula ke dalam persamaan harga saham dan harga opsi Amerika menggunakan metode binomial. Melalui bantuan software *matlab* maka didapatkan hasil harga opsi Amerika.

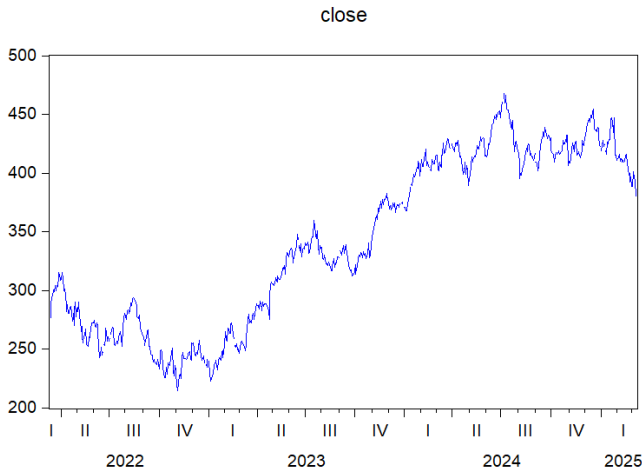
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. HASIL

Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data harian dari harga penutup (*close*) saham *Microsoft Corporation* (MSFT) periode waktu tiga tahun yang dimulai dari 14 Maret 2022 sampai 11 Maret 2025 dengan jumlah data sebanyak 751. Data ini diambil pada tanggal 12 Maret 2025 dari situs <https://finance.yahoo.com> yang dilampirkan pada Lampiran 1.

1. Pemodelan Volatilitas T-GARCH



Gambar 4.1: Plot Harga Saham Harian MSFT Periode 14 Maret 2022 - 11 Maret 2025

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa plot harga penutup (*close*) saham MSFT periode 14 Maret 2022 sampai 11 Maret 2025 terjadi kenaikan dan penurunan harga yang tidak stabil. Terlihat pada tahun 2022 mengalami penurunan sampai pertengahan tahun namun setelah itu terjadi kenaikan sementara. Tetapi dari pertengahan tahun 2022 sampai awal tahun 2023 mengalami penurunan lagi. Kemudian dari awal tahun 2023 mulai mengalami kenaikan harga saham, meskipun terdapat penurunan harga juga. Hal tersebut menunjukkan adanya ketidakstasioneran pada data harga penutup saham MSFT. Agar data menjadi stasioner, maka perlu dilakukan transformasi menggunakan logaritma natural atau perhitungan return. Return saham merupakan kelebihan harga jual saham di atas harga belinya. Perhitungan return saham harian terdapat pada persamaan (2.1) yaitu :

$$r_t = \ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right) \quad (2.1)$$

Data harga saham yang sudah terlampir pada Lampiran 1, maka dapat diperhitungkan return saham hariannya, yaitu sebagai berikut :

Saat $t = 1$ (11 Maret 2025), maka :

$$\begin{aligned} r_t &= \ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right) \\ \iff r_1 &= \ln\left(\frac{S_1}{S_0}\right) \\ \iff r_1 &= \ln\left(\frac{287,15}{276,44}\right) \\ \iff r_1 &= 0,038011 \end{aligned}$$

Saat $t = 2$ (16 Maret 2022), maka :

$$\begin{aligned}
 r_t &= \ln \left(\frac{S_t}{S_{t-1}} \right) \\
 &\iff r_2 = \ln \left(\frac{S_2}{S_1} \right) \\
 &\iff r_2 = \ln \left(\frac{294,39}{287,15} \right) \\
 &\iff r_2 = 0,024901
 \end{aligned}$$

dengan perhitungan yang sama dilakukan saat $t = 3$ sampai $t = 748$

Saat $t = 749$ (7 Maret 2025), maka :

$$\begin{aligned}
 r_t &= \ln \left(\frac{S_t}{S_{t-1}} \right) \\
 &\iff r_{749} = \ln \left(\frac{S_{749}}{S_{748}} \right) \\
 &\iff r_{749} = \ln \left(\frac{393,31}{396,89} \right) \\
 &\iff r_{749} = -0,009061
 \end{aligned}$$

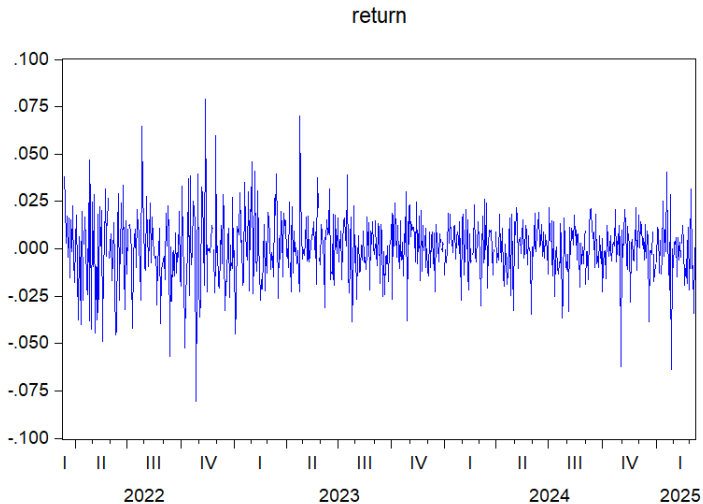
Saat $t = 750$ (10 Maret 2025), maka :

$$\begin{aligned}
 r_t &= \ln \left(\frac{S_t}{S_{t-1}} \right) \\
 &\iff r_{750} = \ln \left(\frac{S_{750}}{S_{749}} \right) \\
 &\iff r_{750} = \ln \left(\frac{380,16}{393,31} \right) \\
 &\iff r_{750} = -0,034006
 \end{aligned}$$

Saat $t = 751$ (11 Maret 2025), maka :

$$\begin{aligned}
 r_t &= \ln \left(\frac{S_t}{S_{t-1}} \right) \\
 \iff r_{751} &= \ln \left(\frac{S_{751}}{S_{750}} \right) \\
 \iff r_{751} &= \ln \left(\frac{380,45}{380,16} \right) \\
 \iff r_{751} &= 0,000763
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan return harian secara lengkap sudah dilampirkan pada Lampiran 1, sedangkan pada Gambar 4.2 merupakan plot return harian selama 3 tahun, terlihat bahwa plot data sudah stabil, sehingga terindikasi data return sudah stasioner.



Gambar 4.2: Plot Return Saham Harian MSFT Periode 14 Maret 2022 - 11 Maret 2025

Namun untuk membuktikan data return saham harian sudah bersifat stasioner atau belum, maka dilakukan uji stasioneritas.

Uji stasioneritas ini bertujuan untuk melihat apakah data return saham harian stasioner atau tidak. Pada penelitian ini menggunakan *Unit Root Test* dengan jenis uji *Augmented Dickey – Fuller* (ADF). Menggunakan bantuan software *Eviews 10* didapatkan hasil uji ADF pada Tabel 4.1 :

Tabel 4.1: Hasil Uji ADF Data Return Harian MSFT Periode 14
Maret 2022 - 11 Maret 2025

Lag Length: 1 (Automatic - based on t-statistic, lagpval=0.05, maxlag=19)				
	t-Statistic	Prob.*		
ADF test statistic	-21.59408	0.0000		
Test critical values:				
1% level	-3.438865			
5% level	-2.865188			
10% level	-2.568768			
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
RETURN(-1)	-1.111628	0.051478	-21.59408	0.0000
D(RETURN(-1))	0.105502	0.036362	2.901473	0.0038
C	0.000395	0.000619	0.637477	0.5240

Terlihat bahwa data return saham harian bersifat stasioner dengan uji ADF pada (2.32) :

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^m \alpha_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t$$
$$\iff \Delta Y_t = 0,000395 + 0t - 1.111628Y_{t-1} + 0,105502\Delta Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

Berdasarkan nilai *t-statistik* ADF pada Tabel 4.1 yaitu

-21,59408 yang artinya nilai statistik lebih kecil dari ketiga nilai kritis, sehingga H_0 ditolak yang artinya data return saham bersifat stasioner. Selain itu juga dapat digunakan pengujian hipotesis dari uji DF.

$H_0 : \delta = 0$ (Tidak Stasioner, karena terdapat akar unit)

$H_1 : \delta < 0$ (Stasioner, karena tidak terdapat akar unit)

Statistik uji :

$$\tau = \frac{\hat{\delta} - \delta}{se(\hat{\delta})} \iff \tau = \frac{-1,111628 - 0}{0,051478} \iff \tau = -21,59408$$

dengan nilai kritis 5%, maka :

$$t_{tabel} = t_{(n-1;\alpha)} \iff t_{(750;0,05)} \iff -2,865188$$

Kriteria uji :

Hasil uji DF didapatkan $|\tau| > |t_{tabel}|$ yaitu: $21,59408 > 2,865188$ dan $\text{Prob} = 0.000$. Karena $|t_{hitung}| > |t_{tabel}|$ $\text{Prob} < 0.05$, maka H_0 ditolak, artinya bahwa data return saham harian bersifat stasioner sehingga tidak diperlukan metode *differencing*.

a. Pemodelan ARMA

Setelah data bersifat stasioner, maka dilakukan pembentukan model ARMA, yaitu dengan tahapan - tahapan :

1. Identifikasi Model

Untuk mengidentifikasi orde model ARMA yang akan dipilih, maka dilihat menggunakan plot correlogram dengan pemilihan 20 lag yaitu ACF dan PACF pada Gambar 4.3 :

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 -0.002	-0.002	0.0021	0.963
		2 -0.105	-0.105	8.3041	0.016
		3 -0.025	-0.025	8.7630	0.033
		4 0.028	0.017	9.3447	0.053
		5 0.038	0.033	10.415	0.064
		6 -0.036	-0.032	11.374	0.077
		7 -0.025	-0.017	11.850	0.106
		8 -0.020	-0.026	12.156	0.144
		9 0.082	0.076	17.311	0.044
		10 -0.010	-0.015	17.382	0.066
		11 -0.079	-0.063	22.205	0.023
		12 -0.048	-0.048	23.968	0.021
		13 0.076	0.061	28.435	0.008
		14 -0.015	-0.034	28.601	0.012
		15 -0.053	-0.036	30.768	0.009
		16 -0.018	-0.014	31.027	0.013
		17 -0.028	-0.038	31.619	0.017
		18 0.049	0.030	33.495	0.015
		19 -0.005	-0.008	33.512	0.021
		20 0.025	0.043	33.981	0.026

Gambar 4.3: Plot ACF dan PACF Return Saham Harian MSFT
Periode 14 Maret 2022 - 11 Maret 2025

Berdasarkan plot *Autocorrelation*(ACF) digunakan untuk memodelkan MA (q) menunjukkan bahwa terdapat lag ke – 2, 9, 11 dan 13 yang melebihi batas signifikansi atau lag yang berpengaruh (signifikan) untuk dimodelkan MA (q) dan pada plot *Partial Autocorrelation* (PACF) yang digunakan untuk memodelkan AR (p) terlihat bahwa yang melebihi batas signifikansi atau lag yang berpengaruh (signifikan) untuk dimodelkan AR (p) adalah pada lag 2 dan 9. Selain itu

juga dapat dikatakan terjadi penurunan eksponensial secara bertahap menuju nol setelah lag yang melewati batas.

2. Estimasi Parameter

Pada saat mengestimasi parameter model AR (p), MA (q) dan ARMA (p,q) hanya dipilih orde atau jumlah lag yang tidak terlalu besar, karena semakin besar orde maka semakin kompleks model yang dihasilkan, sehingga berdasarkan plot ACF dan PACF yang dipilih untuk diestimasi parameternya adalah lag 2, karena lag 2 merupakan orde terkecil yang melebihi batas signifikansi. Oleh karena itu, model yang akan diestimasi parameternya untuk melihat model terbaik yaitu AR(2), MA (2) dan ARMA (2,2), selain itu juga akan diestimasi parameter dari model AR (1), MA(1), ARMA (1,1), ARMA (1,2), dan ARMA (2,1) menggunakan metode *Least Squares* dengan bantuan software *Eviews 10* :

Tabel 4.2. Hasil Estimasi Parameter Model ARMA

Model	Param.	Koef.	St error	t-hitung	p-value	Sign	AIC
AR (1)	μ	0,000426	0,000627	0,678653	0,4976	Tidak	-5,297492
	φ_1	-0,001690	0,033786	-0,050020	0,9601	Tidak	
MA (1)	μ	0,000426	0,000627	0,678922	0,4974	Tidak	-5,297493
	θ_1	-0,002142	0,033772	-0,063430	0,9494	Tidak	
AR (2)	μ	0,000422	0,000565	0,747561	0,4550	Tidak	-5,306035
	φ_1	-0,002316	0,033927	-0,068253	0,9456	Tidak	
	φ_2	-0,106219	0,032493	-3,268990	0,0011	Ya	
MA (2)	μ	0,000422	0,000556	0,757633	0,4489	Tidak	-5,305679
	θ_1	-0,006763	0,033731	-0,200504	0,8411	Tidak	
	θ_2	-0,103168	0,032237	-3,200345	0,0014	Ya	
ARMA (1,1)	μ	0,000418	0,000511	0,817083	0,4141	Tidak	-5,298571

Lanjutan Tabel 4.2

Model	Param.	Koef.	St error	t-hitung	p-value	Sign	AIC
	φ_1	0,811926	0,169523	4,789470	0,0000	Ya	
ARMA (1,2)	μ	0,000421	0,000550	0,766309	0,4437	Tidak	-5,303249
	φ_1	0,124446	0,315824	0,394036	0,6937	Tidak	
	θ_1	-0,129408	0,314555	-0,411401	0,6809	Tidak	
	θ_2	-0,102093	0,032821	-3,110645	0,0019	Ya	
ARMA (2,1)	μ	0,000422	0,000553	0,762505	0,4460	Tidak	-5,303850
	φ_1	0,162104	0,287685	0,563477	0,5733	Tidak	
	φ_2	-0,106743	0,033343	-3,201231	0,0014	Ya	
	θ_1	-0,166394	0,290172	-0,573432	0,5665	Tidak	
ARMA (2,2)	μ	0,000423	0,000613	0,690825	0,4899	Tidak	-5,309291
	φ_1	0,199585	0,051023	3,911656	0,0001	Ya	
	φ_2	-0,920338	0,046692	-19,71077	0,0000	Ya	
	θ_1	-0,176521	0,062641	-2,817962	0,0050	Ya	
	θ_2	0,867249	0,060156	14,41656	0,0000	Ya	

Berdasarkan Tabel 4.2 terlihat bahwa nilai konstanta (*intercept*) semuanya tidak signifikan, maka dapat dihilangkan untuk menyederhanakan model, menjadi :

Tabel 4.3. Hasil Estimasi Parameter Model ARMA Tanpa Konstanta

Model	Param.	Koefisien	St error	t-hitung	p-value	Sign	AIC
AR (1)	φ_1	-0,001138	0,033656	-0,033802	0,9730	Tidak	-5,299534
MA (1)	θ_1	-0,001440	0,033648	-0,042790	0,9659	Tidak	-5,299534
AR (2)	φ_1	-0,001706	0,033789	-0,050495	0,9597	Tidak	-5,307941
	φ_2	-0,105585	0,032504	-3,248351	0,0012	Ya	
MA (2)	θ_1	-0,005965	0,033672	-0,177148	0,8594	Tidak	-5,307567
	θ_2	-0,102369	0,032258	-3,173423	0,0016	Ya	
ARMA (1,1)	φ_1	0,770710	0,212416	3,628312	0,0003	Ya	-5,300346
	θ_1	-0,808868	0,198776	-4,069243	0,0001	Ya	

Lanjutan Tabel 4.3

Model	Param.	Koefisien	St error	t-hitung	p-value	Sign	AIC
ARMA (1,2)	φ_1	0,119394	0,318273	0,375132	0,7077	Tidak	-5,305118
	θ_1	-0,123637	0,317245	-0,389720	0,6969	Tidak	
	θ_2	-0,101413	0,032772	-3,094463	0,0020	Ya	
ARMA (2,1)	φ_1	0,157591	0,289451	0,544447	0,5863	Tidak	-5,305725
	φ_2	-0,106173	0,033274	-3,190913	0,0015	Ya	
	θ_1	-0,161183	0,292153	-0,551709	0,5813	Tidak	
ARMA (2,2)	φ_1	0,198837	0,050842	3,910893	0,0001	Ya	-5,311306
	φ_2	-0,920870	0,046362	-19,86251	0,0000	Ya	
	θ_1	-0,175559	0,062421	-2,812481	0,0050	Ya	
	θ_2	0,868089	0,059804	14,51568	0,0000	Ya	

Pada Tabel 4.3 didapatkan nilai AIC terkecil pada model ARMA (2,2), sehingga dijadikan model terbaik dalam penelitian ini.

$$\begin{aligned}
 Y_t &= \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} \\
 \iff Y_t &= 0,198837 Y_{t-1} - 0,920870 Y_{t-2} + \varepsilon_t \\
 &\quad + 0,175559 \varepsilon_{t-1} - 0,868089 \varepsilon_{t-2}
 \end{aligned}$$

3. Diagnosis Model

Dari model ARMA (2,2) maka dibuktikan kelayakannya dengan menggunakan metode Ljung-Box pada persamaan (2.37). Dengan menggunakan bantuan software *Eviews 10* didapatkan :

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 -0.028	-0.028	0.5931	
		2 -0.043	-0.043	1.9604	
		3 0.014	0.011	2.1001	
		4 -0.027	-0.029	2.6658	
		5 -0.007	-0.007	2.7014	0.100
		6 0.005	0.002	2.7172	0.257
		7 0.025	0.026	3.2040	0.361
		8 -0.051	-0.050	5.1894	0.268
		9 0.036	0.035	6.1508	0.292
		10 0.005	0.002	6.1695	0.404
		11 -0.034	-0.028	7.0432	0.424
		12 -0.055	-0.060	9.3302	0.315
		13 0.036	0.032	10.321	0.325
		14 -0.023	-0.026	10.730	0.379
		15 -0.016	-0.012	10.917	0.450
		16 -0.005	-0.017	10.936	0.534
		17 -0.065	-0.062	14.161	0.363
		18 0.036	0.032	15.158	0.367
		19 0.022	0.017	15.536	0.414
		20 0.046	0.046	17.166	0.375

Gambar 4.4: Plot Uji Ljung-Box dari Model ARMA Terbaik

Hipotesis :

$H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0$ (Tidak terdapat autokorelasi di dalam residual)

$H_1 : \text{minimal terdapat satu pasang } \rho_k \neq 0$ (Terdapat autokorelasi di dalam residual)

Statistik uji :

$$\begin{aligned}
 Q &= n(n+2) \sum_{i=1}^k (n-k)^{-1} r_k^2 & (2.37) \\
 &\text{dengan } Q \sim \chi_{k-m}^2; \quad m = p + q \\
 \iff Q &= 751(751+2) \sum_{i=1}^{20} (752-k)^{-1} r_k^2 \\
 \iff Q &= 751(753) \left[(751-1)^{-1} (-0,028)^2 \right. \\
 &\quad + (751-2)^{-1} (-0,043)^2 + \\
 &\quad \left. \dots + (751-20)^{-1} (0,046)^2 \right] \\
 \iff Q &= 751(753)(0,0000305) \\
 \iff Q &= 17,283778
 \end{aligned}$$

dengan:

- Q : Statistik uji Ljung-Box
 n : Banyaknya jumlah data adalah 751
 k : Banyaknya *lag* yang diuji yaitu 20
 $\hat{\rho}_k$: Autokorelasi *sample* pada *lag* ke- k
 $Q \sim \chi_{K-m}^2$: Statistik Q mengikuti distribusi chi-kuadrat

Kriteria uji:

Berdasarkan statistik uji, didapatkan hasil uji Ljung-Box didapatkan $Q < \chi_{\text{tabel}}^2$ yaitu $17,283778 < 31,41043$ dan nilai (prob) $p\text{-value} > 0,05$ maka H_0 diterima yang artinya tidak terdapat autokorelasi di dalam residual.

4. Uji heteroskedastisitas

Berdasarkan estimasi dan uji kelayakan atau diagnosis didapatkan model terbaik adalah ARMA (2,2), sehingga sebelum memodelkan ARCH/GARCH dilakukan uji heteroskedastisitas dalam residual model ARMA (2,2). Uji ini digunakan untuk melihat apakah terdapat efek heteroskedastisitas pada model ARMA (2,2). Salah satu uji yang digunakan untuk menguji efek heteroskedastisitas adalah uji ARCH-LM. Menggunakan bantuan *Eviews 10* didapatkan hasil uji ARCH-LM pada tabel 4.4, yaitu :

Tabel 4.4. Hasil Heteroskedastisitas Pada Model ARMA (2, 2)

Heteroskedasticity Test: ARCH				
F-statistic	3.378670	Prob. F(2,745)	0.0346	
Obs*R-squared	6.723566	Prob. Chi-Square(2)	0.0347	
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.000247	2.50E-05	9.877376	0.0000
RESID ² (-1)	0.051014	0.036533	1.396386	0.1630
RESID ² (-2)	0.076919	0.036481	2.108453	0.0353

Hipotesis uji ARCH-LM adalah :

H_0 : Tidak terdapat heteroskedastisitas

H_1 : Terdapat heteroskedastisitas

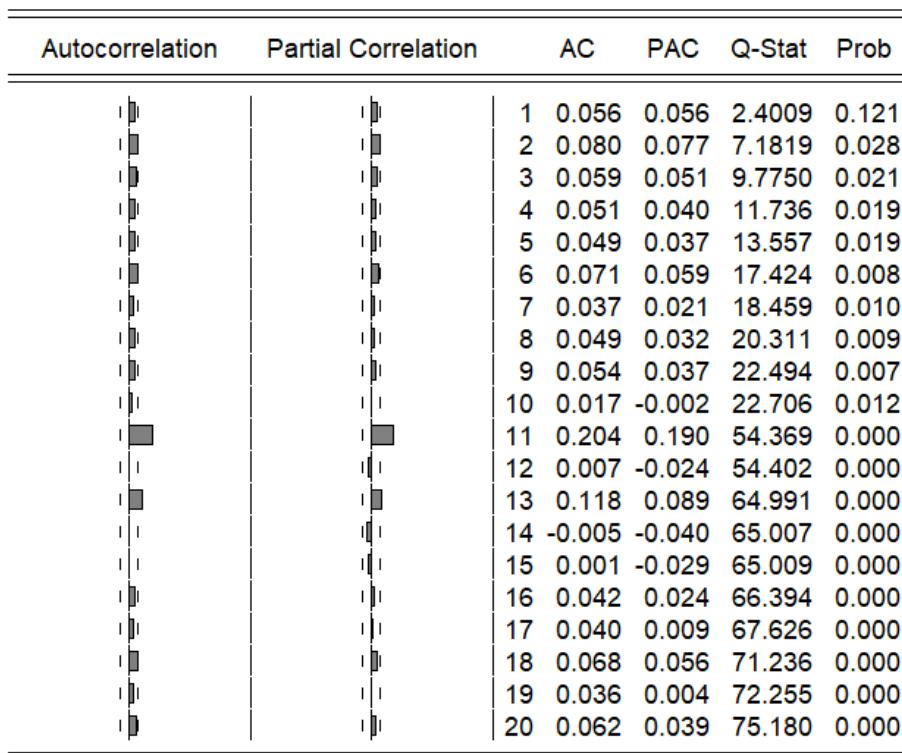
Kriteria uji:

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai *F-Statistic* adalah 3,378670 dan nilai *p-value* atau prob pada saat lag ke-2 dimana $df = 745$ atau dapat ditulis dengan $F(2;745)$ yaitu 0,0347. Karena $Prob < 0,05$ yang artinya tolak H_0

maka pada model ARMA (2, 2) terdapat heteroskedastisitas pada data return saham harian. Oleh karena itu diperlukan pemodelan ARCH/GARCH. Namun diperlukan residual kuadrat model ARMA untuk menguji efek asimetris nantinya.

b. Pemodelan ARCH/GARCH

Untuk menentukan orde pada model ARCH/GARCH dapat dilihat menggunakan plot *correlogram* dari residual kuadrat model ARMA (2,2).



Gambar 4.5: Plot Correlogram pada Model ARMA (2, 2)

Pada Gambar 4.5 terlihat bahwa orde paling kecil yang melewati batas signifikansi atau lag yang berpengaruh (signifikan) untuk dimodelkan ARCH/GARCH adalah lag ke – 2 pada plot ACF, sehingga orde p dan q yang akan diestimasi adalah 1 dan 2.

Tabel 4.5. Hasil Estimasi Parameter Model ARMA

Model	Param.	Koef.	St error	p-value	z statistic	Sign	AIC
ARCH (1)	α_0	0,000251	$1,38e^{-05}$	0,0000	18,21980	Ya	-5,3219
	α_1	0,124373	0,044300	0,0000	2,807490	Ya	
ARCH (2)	α_0	0,000220	$1,63e^{-05}$	0,0000	13,43636	Ya	-5,3340
	α_1	0,091044	0,038300	0,0174	2,377097	Ya	
	α_2	0,151080	0,050264	0,0026	3,005735	Ya	
GARCH (1,1)	α_0	$9,41e^{-06}$	$4,18e^{-06}$	0,0244	2,251534	Ya	-5,3730
	α_1	0,052589	0,09566	0,0072	2,687692	Ya	
	β_1	0,914668	0,030106	0,0000	30,3812	Ya	
GARCH (1,2)	α_0	$9,41e^{-06}$	$4,18e^{-06}$	0,0244	2,251534	Ya	-5,3895
	α_1	$1,02e^{-06}$	$2,52e^{-06}$	0,6859	0,404461	Tidak	
	β_1	0,013241	2,200821	0,6736	0,475514	Tidak	
	β_2	-0,064481	2,158467	0,6344	30,3812	Tidak	
GARCH (2,1)	α_0	$1,08e^{-06}$	$5,85e^{-06}$	0,0644	1,849225	Tidak	-5,3895
	α_1	0,009773	0,030669	0,7500	0,318669	Tidak	
	α_2	0,004433	0,030281	0,8836	0,146380	Tidak	
	β_1	0,980769	0,006510	0,0000	150,6565	Ya	
GARCH (2,2)	α_0	$1,68e^{-05}$	$1,01e^{-05}$	0,0953	1,668154	Ya	-5,3879
	α_1	-0,007844	0,023756	0,7413	-0,330197	Tidak	
	α_2	0,031551	0,021856	0,0149	1,443582	Ya	
	β_1	0,294078	0,381982	0,4414	0,769875	Tidak	
	β_2	0,674249	0,376050	0,0730	1,792978	Tidak	

Berdasarkan Tabel 4.5 estimasi parameter model ARCH (p) atau GARCH (p, q) didapatkan model terbaiknya adalah GARCH (1,1) dengan semua nilai parameter signifikan dan nilai AIC terkecil, sehingga model yang terbentuk adalah

Model GARCH (1,1)

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j \sigma_{t-j}^2$$

$$\iff \sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^1 \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^1 \beta_j \sigma_{t-j}^2$$

$$\iff \sigma_t^2 = 9,14 \times 10^{-06} + 0,048900 \varepsilon_{t-1}^2 + 0,920416 \varepsilon_{t-2}^2$$

Setelah mendapatkan model terbaik dari GARCH (p, q) yaitu model GARCH (1,1), maka uji heteroskedastisitas terlebih dahulu untuk melihat apakah masih terdapat efek heteroskedastisitas pada data menggunakan uji ARCH-LM.

Tabel 4.6. Hasil Heteroskedastisitas Pada Model GARCH (1,1)

Heteroskedasticity Test: ARCH			
F-statistic	0.018921	Prob. F(1,745)	0.8906
Obs*R-squared	0.018971	Prob. Chi-Square(1)	0.8904

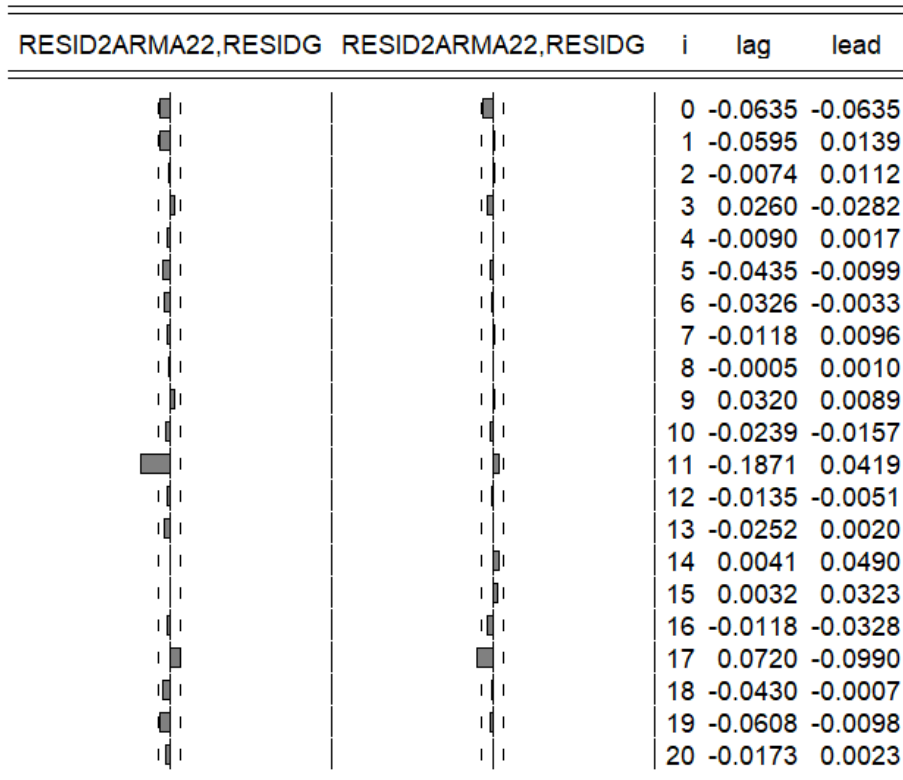
Berdasarkan Tabel 4.6 dapat dilihat nilai p-value adalah 0,8705. Karena $p\text{-value} > 0,05$ artinya terima H_0 , maka pada model GARCH (1,1) sudah tidak terdapat efek heteroskedastisitas. Langkah selanjutnya adalah menentukan residual (ε_{t-i}) dan residual kuadrat (ε_{t-i}^2) dari model GARCH (1,1) dengan bantuan software *Eviews 10*, yang dipergunakan untuk disubstitusikan ke dalam model volatilitas nantinya. Selanjutnya dilakukan uji efek asimetris untuk melihat apakah data bersifat asimetris atau tidak, menggunakan *cross correlation* dari residual kuadrat model ARMA (2,2) dan residual dari model GARCH (1,1).

Date: 06/30/25 Time: 21:54

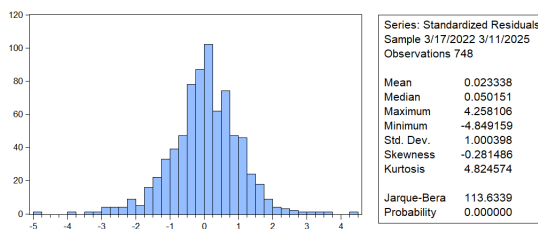
Sample: 3/14/2022 3/11/2025

Included observations: 748

Correlations are asymptotically consistent approximations

Gambar 4.6: Plot *Cross Correlation* pada Model GARCH (1,1)

Pada Gambar 4.6 terdapat lag yang keluar dari batas signifikansi yaitu lag ke - 11, sehingga dapat disimpulkan bahwa guncangan positif dan negatif memberikan pengaruh asimetris terhadap volatilitas pada model GARCH (1, 1).



Gambar 4.7: *Skewness* pada Model GARCH (1,1)

Selain menggunakan *cross correlation*, menentukan efek asimetris juga dapat menggunakan grafik *skewness* dari residual model GARCH (1,1) seperti pada Gambar 4.7 dimana grafik tersebut tidak simetris bentuknya dan nilai *skewness* negatif yaitu $-0,281486$. Oleh karena itu, model GARCH (1,1) tidak dapat digunakan untuk perhitungan volatilitas, sehingga perlu dimodelkan volatilitas yang dapat mengatasi efek asimetris, salah satunya adalah model T-GARCH.

c. Pemodelan T-GARCH

Tabel 4.7. Hasil Estimasi Parameter Model T-GARCH

Model	Param.	Koef.	St error	p-value	z statistic	Sign	AIC
T-GARCH (1,1)	α_0	$7,31e^{-08}$	$2,12e^{-07}$	0,7302	0,344860	Tidak	$-5,4267$
	α_1	-0,018762	0,002620	0,0000	-7,160222	Ya	
	γ_1	0,026882	0,004889	0,0000	5,498186	Ya	
	β_1	1,004841	$7,30e^{-05}$	0,0000	13763,49	Ya	
T-GARCH (1,2)	α_0	$1,64e^{-07}$	$2,09e^{-07}$	0,4328	0,784409	Tidak	$-5,4224$
	α_1	-0,017508	0,002739	0,0000	-6,391978	Ya	
	γ_1	0,092056	0,052526	0,0797	1,52590	Tidak	
	γ_2	-0,066207	0,054221	0,2221	-1,221042	Tidak	
	β_1	1,003552	0,000102	0,0000	9831,114	Ya	

Berdasarkan Tabel 4.7 didapatkan nilai AIC terkecil pada estimasi parameter dan semua parameter signifikan yaitu pada model T-GARCH (1,1).

Model T-GARCH (1,1) :

$$\begin{aligned}\sigma_t^2 &= \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j \sigma_{t-j}^2 + \sum_{i=1}^p \gamma_i \varepsilon_{t-i}^2 I(\varepsilon_{t-i} < 0) \\ \iff \sigma_t^2 &= \alpha_0 + \sum_{i=1}^1 \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^1 \beta_j \sigma_{t-j}^2 + \sum_{i=1}^1 \gamma_i \varepsilon_{t-i}^2 I(\varepsilon_{t-i} < 0) \\ \iff \sigma_t^2 &= 7,31 \times 10^{-8} - 0,018762 \varepsilon_{t-1}^2 + 1,004841 \sigma_{t-1}^2 + 0,026882 \varepsilon_{t-1}^2 I(\varepsilon_{t-1} < 0)\end{aligned}$$

Berdasarkan model T-GARCH (1,1) yang sudah didapatkan, maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai volatilitas dari model T-GARCH saat data $t = 752$ (12 Maret 2025), karena untuk menentukan nilai volatilitas model T-GARCH adalah dengan melakukan peramalan satu langkah selanjutnya dari data $t = 751$ (11 Maret 2025) atau lebih tepatnya satu langkah dari data terakhir. Terlihat dari model T-GARCH (1, 1), terdapat nilai varians (σ_{t-1}^2) dan nilai residual kuadrat (ε_{t-1}^2) yang harus ditentukan nilainya agar dapat menghasilkan nilai volatilitas (σ_t^2). Untuk nilai residual kuadrat (ε_{t-1}^2) sudah diperoleh dan dilampirkan pada Lampiran 2. Sedangkan untuk nilai variansi (σ_{t-1}^2) dapat diperoleh dengan bantuan software *Eviews 10* yang dilampirkan pada Lampiran 2 juga.

Oleh karena itu, didapatkan nilai keduanya yang sudah dilampirkan Lampiran 2, $\varepsilon_{t-1}^2 = \varepsilon_{751}^2$ yaitu 0,000010 dan $\sigma_{t-1}^2 = \sigma_{751}^2$ adalah 0,0000283. Maka dengan menggunakan model T-GARCH (1,1) dan mensubstitusikan nilai ε_{751}^2 dan σ_{751}^2

didapatkan nilai volatilitas yaitu :

$$\sigma_t^2 = 7,31 \times 10^{-8} - 0,018762\varepsilon_{t-1}^2 + 1,004841\sigma_{t-1}^2 + 0,026882\varepsilon_{t-1}^2 I(\varepsilon_{t-1} < 0)$$

$$\begin{aligned} \iff \sigma_t^2 &= 7,31 \times 10^{-8} - 0,018762(0,000011) + 1,004841(0,000283) \\ &\quad + 0,026882(0,000011)(1) \end{aligned}$$

$$\iff \sigma_t^2 = 7,31 \times 10^{-8} - (2 \times 10^{-7}) + (0,000283) + (2,87 \times 10^{-7})$$

$$\iff \sigma_t^2 = 0,000284$$

$$\iff \sigma_t = \sqrt{0,000284}$$

$$\iff \sigma_t = 0,016856$$

$$\sigma_t = 0,016856 \times \sqrt{252} \iff \sigma_t = 0,267579$$

Sehingga diperoleh volatilitas model T-GARCH yaitu 0,267579.

2. Penentuan Opsi Amerika menggunakan Metode Binomial

Langkah selanjutnya adalah mencari opsi Amerika (opsi *call* dan opsi *put*) menggunakan metode binomial. Harga saham MSFT saat ini (12 Maret 2025) adalah 383,27 dengan suku bunga *risk-free* sebesar 4,5% pertahun. Dimana waktu jatuh tempo dalam penelitian ini adalah selama 31 hari (14 Maret 2022 - 11 Maret 2025) sehingga nilai $T_{harian} = \frac{31}{365} \iff 0,084932$. Banyaknya interval n yang digunakan pada penelitian ini adalah 100, maka $\Delta t = \frac{T}{n} \iff \frac{0,084932}{100} \iff 0,000849$.

Sebelum melakukan perhitungan menggunakan metode binomial, dilakukan perhitungan parameter u , d , dan p :

1. Parameter u

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (2.13)$$

$$\Longleftrightarrow u = e^{(0,267579)\sqrt{0,000849}}$$

$$\Longleftrightarrow u = 1,007829$$

2. Parameter d

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (2.13)$$

$$\Longleftrightarrow d = e^{-(0,267579)\sqrt{0,000849}}$$

$$\Longleftrightarrow d = 0,992232$$

3. Parameter p

$$p = \frac{e^{r\Delta t} - d}{u - d} \quad (2.11)$$

$$\Longleftrightarrow p = \frac{e^{(0,045)(0,000849)} - 0,992232}{1,007829 - 0,992232}$$

$$\Longleftrightarrow p = 0,501$$

$$\text{maka } 1 - p = 1 - 0,501 \Longleftrightarrow 0,499$$

Setelah didapatkan parameter u , d , dan p , selanjutnya adalah perhitungan harga saham pada persamaan (2.20) menggunakan pohon binomial $n = 100$ dengan bantuan software *matlab*

$$S_{(n,j)} = S_0 u^j d^{n-j} \quad (2.20)$$

Saat $n = 0$

$$S_{(0,0)} = 383,2700$$

Saat $n = 1$

$$\begin{aligned} S_{(1,1)} &= S_0 u^1 d^{1-1} \iff S_0 u^1 d^0 \\ &\iff S_{(1,1)} = 383,2700 \times 1,007829 \times 1 \\ &\iff S_{(1,1)} = 386,2704 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{(1,0)} &= S_0 u^0 d^{1-0} \iff S_{(1,0)} = S_0 u^0 d^1 \\ &\iff S_{(1,0)} = 383,2700 \times 1 \times 0,992232 \\ &\iff S_{(1,0)} = 380,2929 \end{aligned}$$

Saat $n = 2$

$$\begin{aligned} S_{(2,2)} &= S_0 u^2 d^{2-2} \iff S_{(2,2)} = S_0 u^2 d^0 \\ &\iff S_{(2,2)} = 383,2700 \times (1,007829)^2 \times 1 \\ &\iff S_{(2,2)} = 389,2944 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{(2,1)} &= S_0 u^1 d^{2-1} \iff S_{(2,1)} = S_0 u^1 d^1 \\ &\iff S_{(2,1)} = 383,2700 \times 1,007829 \times 0,992232 \\ &\iff S_{(2,1)} = 383,2700 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{(2,0)} &= S_0 u^0 d^{2-0} \iff S_{(2,0)} = S_0 u^0 d^2 \\
&\iff S_{(2,0)} = 383,2700 \times 1 \times (0,992232)^2 \\
&\iff S_{(2,0)} = 377,3388
\end{aligned}$$

Saat $n = 3$

$$\begin{aligned}
S_{(3,3)} &= S_0 u^3 d^{3-3} \iff S_{(3,3)} = S_0 u^3 d^0 \\
&\iff S_{(3,3)} = 383,2700 \times (1,007829)^3 \times 1 \\
&\iff S_{(3,3)} = 392,3420
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{(3,2)} &= S_0 u^2 d^{3-2} \iff S_{(3,2)} = S_0 u^2 d^1 \\
&\iff S_{(3,2)} = 383,2700 \times (1,007829)^2 \times 0,992232 \\
&\iff S_{(3,2)} = 386,2704
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{(3,1)} &= S_0 u^1 d^{3-1} \iff S_{(3,1)} = S_0 u^1 d^2 \\
&\iff S_{(3,1)} = 383,2700 \times 1,007829 \times (0,992232)^2 \\
&\iff S_{(3,1)} = 380,2929
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{(3,0)} &= S_0 u^0 d^{3-0} \iff S_{(3,0)} = S_0 u^0 d^3 \\
&\iff S_{(3,0)} = 383,2700 \times 1 \times (0,992232)^3 \\
&\iff S_{(3,0)} = 374,4078
\end{aligned}$$

Saat $n = 4$

$$\begin{aligned}
 S_{(4,4)} &= S_0 u^4 d^{4-4} \iff S_{(4,4)} = S_0 u^4 d^0 \\
 &\iff S_{(4,4)} = 383,2700 \times (1,007829)^4 \times 1 \\
 &\iff S_{(4,4)} = 395,4135
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{(4,3)} &= S_0 u^3 d^{4-3} \iff S_{(4,3)} = S_0 u^3 d^1 \\
 &\iff S_{(4,3)} = 383,2700 \times (1,007829)^3 \times 0,992232 \\
 &\iff S_{(4,3)} = 389,2944
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{(4,2)} &= S_0 u^2 d^{4-2} \iff S_{(4,2)} = S_0 u^2 d^2 \\
 &\iff S_{(4,2)} = 383,2700 \times (1,007829)^2 \times (0,992232)^2 \\
 &\iff S_{(4,2)} = 383,2700
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{(4,1)} &= S_0 u^1 d^{4-1} \iff S_{(4,1)} = S_0 u^1 d^3 \\
 &\iff S_{(4,1)} = 383,2700 \times 1,007829 \times (0,992232)^3 \\
 &\iff S_{(4,1)} = 377,3388
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{(4,0)} &= S_0 u^0 d^{4-0} \iff S_{(4,0)} = S_0 u^0 d^4 \\
 &\iff S_{(4,0)} = 383,2700 \times 1 \times (0,992232)^4 \\
 &\iff S_{(4,0)} = 371,4995
 \end{aligned}$$

Saat $n = 5$

$$\begin{aligned}
 S_{(5,5)} &= S_0 u^5 d^{5-5} \iff S_{(5,5)} = S_0 u^5 d^0 \\
 &\iff S_{(5,5)} = 383,2700 \times (1,007829)^5 \times 1 \\
 &\iff S_{(5,5)} = 398,5090
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{(5,4)} &= S_0 u^4 d^{5-4} \iff S_{(5,4)} = S_0 u^4 d^1 \\
 &\iff S_{(5,4)} = 383,2700 \times (1,007829)^4 \times 0,992232 \\
 &\iff S_{(5,4)} = 392,3420
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{(5,3)} &= S_0 u^3 d^{5-3} \iff S_{(5,3)} = S_0 u^3 d^2 \\
 &\iff S_{(5,3)} = 383,2700 \times (1,007829)^3 \times (0,992232)^2 \\
 &\iff S_{(5,3)} = 386,2704
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{(5,2)} &= S_0 u^2 d^{5-2} \iff S_{(5,2)} = S_0 u^2 d^3 \\
 &\iff S_{(5,2)} = 383,2700 \times (1,007829)^2 \times (0,992232)^3 \\
 &\iff S_{(5,2)} = 380,2929
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{(5,1)} &= S_0 u^1 d^{5-1} \iff S_{(5,1)} = S_0 u^1 d^4 \\
 &\iff S_{(5,1)} = 383,2700 \times 1,007829 \times (0,992232)^4 \\
 &\iff S_{(5,1)} = 374,4078
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{(5,0)} &= S_0 u^0 d^{4-0} \iff S_{(5,0)} = S_0 u^0 d^5 \\
&\iff S_{(5,0)} = 383,2700 \times 1 \times (0,992232)^5 \\
&\iff S_{(5,0)} = 368,6138
\end{aligned}$$

Saat $n = 6$

$$\begin{aligned}
S_{(6,6)} &= S_0 u^6 d^{6-6} \iff S_{(6,6)} = S_0 u^6 d^0 \\
&\iff S_{(6,6)} = 383,2700 \times (1,007829)^6 \times 1 \\
&\iff S_{(6,6)} = 401,6287
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{(6,5)} &= S_0 u^5 d^{6-5} \iff S_{(6,5)} = S_0 u^5 d^1 \\
&\iff S_{(6,5)} = 383,2700 \times (1,007829)^5 \times 0,992232 \\
&\iff S_{(6,5)} = 395,4135
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{(6,4)} &= S_0 u^4 d^{6-4} \iff S_{(6,4)} = S_0 u^4 d^2 \\
&\iff S_{(6,4)} = 383,2700 \times (1,007829)^4 \times (0,992232)^2 \\
&\iff S_{(6,4)} = 389,2944
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{(6,3)} &= S_0 u^3 d^{6-3} \iff S_{(6,3)} = S_0 u^3 d^3 \\
&\iff S_{(6,3)} = 383,2700 \times (1,007829)^3 \times (0,992232)^3 \\
&\iff S_{(6,3)} = 383,2700
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{(6,2)} &= S_0 u^2 d^{6-2} \iff S_{(6,2)} = S_0 u^2 d^4 \\
&\iff S_{(6,2)} = 383,2700 \times (1,007829)^2 \times (0,992232)^4 \\
&\iff S_{(6,2)} = 377,3388
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{(6,1)} &= S_0 u^1 d^{5-1} \iff S_{(6,1)} = S_0 u^1 d^5 \\
&\iff S_{(6,1)} = 383,2700 \times 1,007829 \times (0,992232)^5 \\
&\iff S_{(6,1)} = 371,4995
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{(6,0)} &= S_0 u^0 d^{4-0} \iff S_{(6,0)} = S_0 u^0 d^4 \\
&\iff S_{(6,0)} = 383,2700 \times 1 \times (0,992232)^6 \\
&\iff S_{(6,0)} = 365,7505
\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dilanjutkan sampai $n = 99$

Saat $n = 100$

$$\begin{aligned}
S_{(100,100)} &= S_0 u^{100} d^{100-100} \\
&\iff S_{(100,100)} = S_0 u^{100} d^0 \\
&\iff S_{(100,100)} = 383,2700 \times (1,007829)^{100} \times 1 \\
&\iff S_{(100,100)} = 835,9305
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{(100,99)} &= S_0 u^{99} d^{100-99} \\
&\iff S_{(100,99)} = S_0 u^{99} d^1 \\
&\iff S_{(100,99)} = 383,2700 \times (1,007829)^{99} \times 0,992232 \\
&\iff S_{(100,99)} = 822,9944
\end{aligned}$$

Dengan rumus yang sama, dilanjutkan sampai $S_{(100,2)}$

$$S_{(100,1)} = S_0 u^1 d^{100-1}$$

$$\iff S_{(100,1)} = S_0 u^1 d^{99}$$

$$\iff S_{(100,1)} = 383,2700 \times 1,007829 \times (0,992232)^{99}$$

$$\iff S_{(100,1)} = 178,4895$$

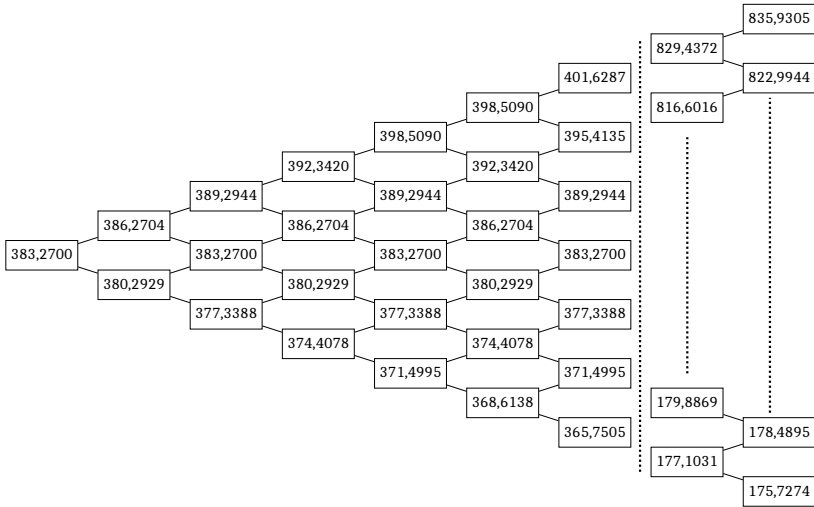
$$S_{(100,0)} = S_0 u^0 d^{100-0}$$

$$\iff S_{(100,0)} = S_0 u^0 d^{100}$$

$$\iff S_{(100,0)} = 383,2700 \times 1 \times (0,992232)^{100}$$

$$\iff S_{(100,0)} = 175,7274$$

Dari penjabaran tersebut, dapat digambarkan pohon binomial harga saham dengan $n = 100$ yaitu :



Gambar 4.8: Pohon Binomial 100 Langkah untuk Penentuan Harga Saham

Setelah itu lakukan perhitungan opsi Amerika (*call*) menggunakan metode binomial. Harga kesepakatan yang diambil antara penjual dengan pembeli pada penelitian ini adalah $K = 350$.

Dengan menggunakan langkah mundur, maka akan dihitung terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan (2.22) :

$$C_{(i,j)} = \max(S_{(i,j)} - K; 0) \quad (2.22)$$

dengan $i = n = 100$ dan $j = 0, 1, \dots, i$

Ketika :

$$i = 100$$

$$\begin{aligned} C_{(100,100)} &= \max(S_{(100,100)} - K; 0) \\ &\iff C_{(100,100)} = \max(835, 9305 - 350; 0) \\ &\iff C_{(100,100)} = 485, 9305 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{(100,99)} &= \max(S_{(100,99)} - K; 0) \\ &\iff C_{(100,99)} = \max(822, 9944 - 350; 0) \\ &\iff C_{(100,99)} = 472, 9944 \end{aligned}$$

Dengan rumus yang sama, dilanjutkan sampai $C_{(100,2)}$

$$\begin{aligned} C_{(100,1)} &= \max(S_{(100,1)} - K; 0) \\ &\iff C_{(100,1)} = \max(178, 4895 - 350; 0) \\ &\iff C_{(100,1)} = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{(100,0)} &= \max(S_{(i,j)} - K; 0) \\ &\iff C_{(100,0)} = \max(175, 7274 - 350; 0) \\ &\iff C_{(100,0)} = 0 \end{aligned}$$

Dengan rumus opsi *call* $n - 1$ sampai nol, dilanjutkan perhitungan dari $i = 99$ sampai $i = 7$ menggunakan persamaan (2.23):

$$C_{(i,j)} = \max[e^{-r\Delta t}(C_{(i+1,j+1)}p + C_{(i+1,j)}(1-p)); \max(S_{(i,j)} - K; 0)] \quad (2.23)$$

$$i = 6$$

$$\begin{aligned}
C_{(6,6)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(7,7)}p + C_{(7,6)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(6,6)} - K; 0)] \\
\iff C_{(6,6)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((56, 2633)(0, 501) + (50, 1743)(0, 499)); \\
&\quad \max(401, 6287 - 350; 0)] \\
\iff C_{(6,6)} &= \max[53, 2198; 51, 6287] = 53, 2198
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{(6,5)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(7,5)}p + C_{(7,4)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(6,5)} - K; 0)] \\
\iff C_{(6,5)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((50, 1743)(0, 501) + (44, 2797)(0, 499)); \\
&\quad \max(395, 4135 - 350; 0)] \\
\iff C_{(6,5)} &= \max[47, 2281; 45, 4135] = 47, 2281
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{(6,4)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(7,4)}p + C_{(7,3)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(6,4)} - K; 0)] \\
\iff C_{(6,4)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((44, 2797)(0, 501) + (38, 6166)(0, 499)); \\
&\quad \max(389, 2944 - 350; 0)] \\
\iff C_{(6,4)} &= \max[41, 4494; 39, 2944] = 41, 4494
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{(6,3)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(7,3)}p + C_{(7,2)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(6,3)} - K; 0)] \\
\iff C_{(6,3)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((38, 6166)(0, 501) + (33, 2289)(0, 499)); \\
&\quad \max(383, 2700 - 350; 0)] \\
\iff C_{(6,3)} &= \max[35, 9240; 33, 2700] = 35, 9240
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{(6,2)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(7,2)}p + C_{(7,1)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(6,2)} - K; 0)] \\
\iff C_{(6,2)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((33, 2289)(0, 501) + (28, 1655)(0, 499)); \\
&\quad \max(377, 3388 - 350; 0)] \\
\iff C_{(6,2)} &= \max[30, 6986; 27, 3388] = 30, 6986
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{(6,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(7,2)}p + C_{(7,1)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(6,1)} - K; 0)] \\
\iff C_{(6,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((28, 1655)(0, 501) + (23, 4769)(0, 499)); \\
&\quad \max(371, 4995 - 350; 0)] \\
\iff C_{(6,1)} &= \max[25, 8226; 21, 4995] = 25, 8226
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{(6,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(7,1)}p + C_{(7,0)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(6,0)} - K; 0)] \\
\iff C_{(6,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((23, 4769)(0, 501) + (19, 2099)(0, 499)); \\
&\quad \max(365, 7505 - 350; 0)] \\
\iff C_{(6,0)} &= \max[21, 3447; 15, 7505] = 21, 3447
\end{aligned}$$

$i = 5$

$$\begin{aligned}
C_{(5,5)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(6,6)}p + C_{(6,5)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(5,5)} - K; 0)] \\
\iff C_{(5,5)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((53, 2198)(0, 501) + (47, 2281)(0, 499)); \\
&\quad \max(398, 5090 - 350; 0)] \\
\iff C_{(5,5)} &= \max[50, 2251; 48, 5090] = 50, 2251
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{(5,4)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(6,5)}p + C_{(6,4)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(5,4)} - K; 0)] \\
\iff C_{(5,4)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((47, 2281)(0, 501) + (41, 4494)(0, 499)); \\
&\quad \max(392, 3420 - 350; 0)] \\
\iff C_{(5,4)} &= \max[44, 3400; 42, 3420] = 44, 3400
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{(5,3)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(6,4)}p + C_{(6,3)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(5,3)} - K; 0)] \\
\iff C_{(5,3)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((41, 4494)(0, 501) + (35, 9240)(0, 499)); \\
&\quad \max(386, 2704 - 350; 0)] \\
\iff C_{(5,3)} &= \max[38, 6880; 36, 2704] = 38, 6880
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{(5,2)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(6,3)}p + C_{(6,2)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(5,2)} - K; 0)] \\
\iff C_{(5,2)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((35, 9240)(0, 501) + (30, 6986)(0, 499)); \\
&\quad \max(380, 2929 - 350; 0)] \\
\iff C_{(5,2)} &= \max[33, 3126; 30, 2929] = 33, 3126
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{(5,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(6,2)}p + C_{(6,1)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(5,1)} - K; 0)] \\
\iff C_{(5,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((30, 6986)(0, 501) + (25, 8226)(0, 499)); \\
&\quad \max(374, 4078 - 350; 0)] \\
\iff C_{(5,1)} &= \max[28, 2619; 24, 4078] = 28, 2619
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{(5,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(6,1)}p + C_{(6,0)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(5,0)} - K; 0)] \\
\iff C_{(5,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((25, 8226)(0, 501) + (21, 3447)(0, 499)); \\
&\quad \max(368, 6138 - 350; 0)] \\
\iff C_{(5,0)} &= \max[23, 5850; 18, 6138] = 23, 5850
\end{aligned}$$

$i = 4$

$$\begin{aligned}
C_{(4,4)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(5,5)}p + C_{(5,4)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(4,4)} - K; 0)] \\
\iff C_{(4,4)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((50, 2251)(0, 501) + (44, 3400)(0, 499)); \\
&\quad \max(395, 4135 - 350; 0)] \\
\iff C_{(4,4)} &= \max[47, 2837; 45, 4135] = 47, 2837
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{(4,3)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(5,4)}p + C_{(5,3)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(4,3)} - K; 0)] \\
\iff C_{(4,3)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((44, 3400)(0, 501) + (38, 6880)(0, 499)); \\
&\quad \max(386, 2704 - 350; 0)] \\
\iff C_{(4,3)} &= \max[41, 5152; 36, 2704] = 41, 5152
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{(4,2)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(5,3)}p + C_{(5,2)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(4,2)} - K; 0)] \\
\iff C_{(4,2)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((38, 6880)(0, 501) + (33, 3126)(0, 499)); \\
&\quad \max(383, 2700 - 350; 0)] \\
\iff C_{(4,2)} &= \max[36, 0016; 33, 2700] = 36, 0016
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{(4,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(5,2)}p + C_{(5,1)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(4,1)} - K; 0)] \\
\iff C_{(4,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((33, 3126)(0, 501) + (28, 2619)(0, 499)); \\
&\quad \max(377, 3388 - 350; 0)] \\
\iff C_{(4,1)} &= \max[30, 7886; 27, 3388] = 30, 7886
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{(4,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(5,1)}p + C_{(5,0)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(4,0)} - K; 0)] \\
\iff C_{(4,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((28, 2619)(0, 501) + (23, 5850)(0, 499)); \\
&\quad \max(371, 4995 - 350; 0)] \\
\iff C_{(4,0)} &= \max[25, 9248; 21, 4995] = 25, 9248
\end{aligned}$$

$i = 3$

$$\begin{aligned}
C_{(3,3)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(4,4)}p + C_{(4,3)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(3,3)} - K; 0)] \\
\iff C_{(3,3)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((47, 2837)(0, 501) + (41, 5152)(0, 499)); \\
&\quad \max(392, 3420 - 350; 0)] \\
\iff C_{(3,3)} &= \max[44, 4006; 42, 3420] = 44, 4006
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{(3,2)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(4,3)}p + C_{(4,2)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(3,2)} - K; 0)] \\
\iff C_{(3,2)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((41, 5152)(0, 501) + (36, 0016)(0, 499)); \\
&\quad \max(386, 2704 - 350; 0)] \\
\iff C_{(3,2)} &= \max[38, 7597; 36, 2704] = 38, 7597
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{(3,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(4,2)}p + C_{(4,1)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(3,1)} - K; 0)] \\
\iff C_{(3,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((36, 0016)(0, 501) + (30, 7886)(0, 499)); \\
&\quad \max(380, 2929 - 350; 0)] \\
\iff C_{(3,1)} &= \max[33, 3965; 30, 2929] = 33, 3965
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{(3,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(4,1)}p + C_{(4,0)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(3,0)} - K; 0)] \\
\iff C_{(3,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((30, 7886)(0, 501) + (25, 9248)(0, 499)); \\
&\quad \max(374, 4078 - 350; 0)] \\
\iff C_{(3,0)} &= \max[28, 3581; 24, 4078] = 28, 3581
\end{aligned}$$

$i = 2$

$$\begin{aligned}
C_{(2,2)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(3,3)}p + C_{(3,2)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(2,2)} - K; 0)] \\
\iff C_{(2,2)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((44, 4006)(0, 501) + (38, 7597)(0, 499)); \\
&\quad \max(389, 2944 - 350; 0)] \\
\iff C_{(2,2)} &= \max[41, 5814; 39, 2944] = 41, 5814
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{(2,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(3,2)}p + C_{(3,1)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(2,1)} - K; 0)] \\
\iff C_{(2,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((38, 7597)(0, 501) + (33, 3965)(0, 499)); \\
&\quad \max(383, 2700 - 350; 0)] \\
\iff C_{(2,1)} &= \max[36, 0794; 33, 2700] = 36, 0794
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{(2,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(3,1)}p + C_{(3,0)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(2,0)} - K; 0)] \\
\iff C_{(2,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((33, 3965)(0, 501) + (28, 3581)(0, 499)); \\
&\quad \max(377, 3388 - 350; 0)] \\
\iff C_{(2,0)} &= \max[30, 8786; 27, 3388] = 30, 8786
\end{aligned}$$

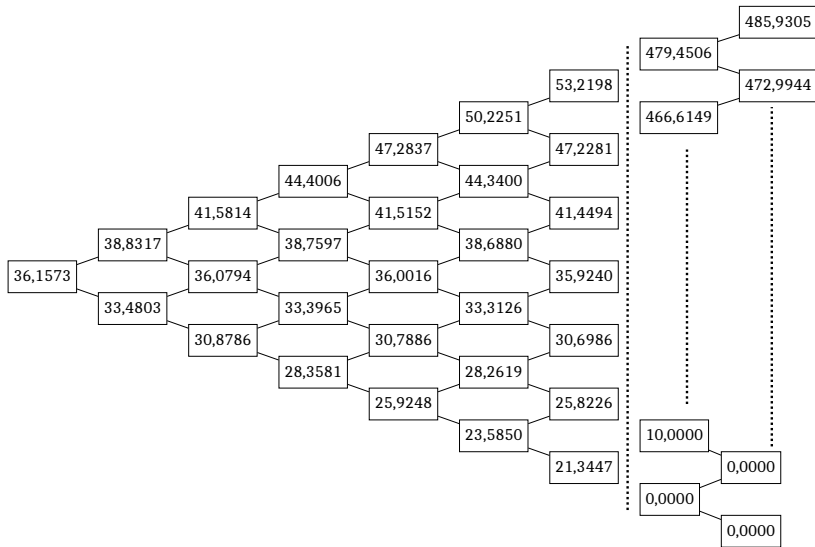
$i = 1$

$$\begin{aligned}
C_{(1,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(2,2)}p + C_{(2,1)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(1,1)} - K; 0)] \\
\iff C_{(1,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((41,5814)(0,501) + (36,0794)(0,499)); \\
&\quad \max(386,2704 - 345; 0)] \\
\iff C_{(1,1)} &= \max[38,8317; 36,2704] = 38,8317
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{(1,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(2,1)}p + C_{(2,0)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(1,0)} - K; 0)] \\
\iff C_{(1,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((36,0794)(0,501) + (30,8786)(0,499)); \\
&\quad \max(380,2929 - 350; 0)] \\
\iff C_{(1,0)} &= \max[33,4803; 30,2929] = 33,4803
\end{aligned}$$

$i = 0$

$$\begin{aligned}
C_{(0,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(C_{(1,1)}p + C_{(1,0)}(1-p)); \\
&\quad \max(S_{(0,0)} - K; 0)] \\
\iff C_{(0,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((38,8317)(0,501) + (33,4803)(0,499)); \\
&\quad \max(383,2700 - 350; 0)] \\
\iff C_{(0,0)} &= \max[36,1573; 33,2700] = 36,1573
\end{aligned}$$



Gambar 4.9: Pohon Binomial 100 Langkah untuk Penentuan Harga Opsi *Call* Amerika

Sama halnya dengan opsi *call*, opsi Amerika (*put*) juga dihitung menggunakan metode binomial. Harga kesepakatan yang diambil antara penjual dengan pembeli pada penelitian ini adalah $K = 400$. Dengan menggunakan langkah mundur, maka akan dihitung terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan (2.24) :

$$P_{(i,j)} = \max(K - S_{(i,j)}; 0) \quad (2.24)$$

dengan $i = n = 100$ dan $j = 0, 1, \dots, i$

Ketika :

$$i = 100$$

$$\begin{aligned} P_{(100,100)} &= \max(K - S_{(100,100)}; 0) \\ &\iff P_{(100,100)} = \max(400 - 835, 9305; 0) \\ &\iff P_{(100,100)} = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{(100,99)} &= \max(K - S_{(100,99)}; 0) \\ &\iff P_{(100,99)} = \max(400 - 822, 9944; 0) \\ &\iff P_{(100,99)} = 0 \end{aligned}$$

Dengan rumus yang sama, dilanjutkan sampai $P_{(100,2)}$

$$\begin{aligned} P_{(100,1)} &= \max(K - S_{(100,1)}; 0) \\ &\iff P_{(100,1)} = \max(400 - 178, 4895; 0) \\ &\iff P_{(100,1)} = 221, 5105 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{(100,0)} &= \max(K - S_{(i,j)}; 0) \\ &\iff P_{(100,0)} = \max(400 - 179, 7534; 0) \\ &\iff P_{(100,0)} = 224, 2726 \end{aligned}$$

Dengan rumus opsi *put* $n - 1$ sampai nol, dilanjutkan perhitungan dari $i = 99$ sampai $i = 7$ menggunakan persamaan (2.25):

$$P_{(i,j)} = \max[e^{-r\Delta t}(P_{(i+1,j+1)}p + P_{(i+1,j)}(1-p)); \max(K - S_{(i,j)}; 0)] \quad (2.25)$$

$$i = 6$$

$$\begin{aligned}
P_{(6,6)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(7,7)}p + P_{(7,6)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(6,6)}; 0)] \\
\iff P_{(6,6)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((9, 2950)(0, 501) + (12, 1132)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 401, 6287; 0)] \\
\iff P_{(6,6)} &= \max(10, 7023; 0) = 10, 7023
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{(6,5)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(7,5)}p + P_{(7,5)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(6,5)}; 0)] \\
\iff P_{(6,5)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((12, 1132)(0, 501) + (15, 4048)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 395, 4135; 0)] \\
\iff P_{(6,5)} &= \max(13, 7568; 4, 5865) = 13, 7568
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{(6,4)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(7,5)}p + P_{(7,4)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(6,4)}; 0)] \\
\iff P_{(6,4)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((15, 4048)(0, 501) + (19, 1500)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 389, 2944; 0)] \\
\iff P_{(6,4)} &= \max(17, 2748; 10, 7056) = 17, 2748
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{(6,3)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(7,4)}p + P_{(7,3)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(6,3)}; 0)] \\
\iff P_{(6,3)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((19, 1500)(0, 501) + (23, 100)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 383, 2700; 0)] \\
\iff P_{(6,3)} &= \max(21, 2271; 16, 7300) = 21, 2271
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{(6,2)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(7,3)}p + P_{(7,2)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(6,2)}; 0)] \\
\iff P_{(6,2)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((23, 100)(0, 501) + (27, 8315)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 377, 3388; 0)] \\
\iff P_{(6,2)} &= \max(25, 5675; 22, 6612) = 25, 5675
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{(6,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(7,2)}p + P_{(7,1)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(6,1)}; 0)] \\
\iff P_{(6,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((27, 8315)(0, 501) + (32, 6522)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 371, 4187; 0)] \\
\iff P_{(6,1)} &= \max(30, 2383; 28, 5813) = 30, 2383
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{(6,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(7,1)}p + P_{(7,0)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(6,0)}; 0)] \\
\iff P_{(6,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((32, 6522)(0, 501) + (37, 7068)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 365, 7505; 0)] \\
\iff P_{(6,0)} &= \max(35, 1756; 34, 2495) = 35, 1756
\end{aligned}$$

$i = 5$

$$\begin{aligned}
P_{(5,5)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(6,6)}p + P_{(6,5)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(5,5)}; 0)] \\
\iff P_{(5,5)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((10, 7023)(0, 501) + (13, 7568)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 398, 5090; 0)] \\
\iff P_{(5,5)} &= \max(12, 2275; 1, 4910) = 12, 2275
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{(5,4)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(6,5)}p + P_{(6,4)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(5,4)}; 0)] \\
\iff P_{(5,4)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((13, 7568)(0, 501) + (17, 2748)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 392, 3420; 0)] \\
\iff P_{(5,4)} &= \max(15, 5134; 7, 6580) = 15, 5134
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{(5,3)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(6,4)}p + P_{(6,3)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(5,3)}; 0)] \\
\iff P_{(5,3)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((17, 2748)(0, 501) + (21, 2271)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 386, 2704; 0)] \\
\iff P_{(5,3)} &= \max(19, 2482; 13, 7296) = 19, 2482
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{(5,2)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(6,3)}p + P_{(6,2)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(5,2)}; 0)] \\
\iff P_{(5,2)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((21, 2271)(0, 501) + (25, 5675)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 380, 2929; 0)] \\
\iff P_{(5,2)} &= \max(23, 3942; 19, 7071) = 23, 3942
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{(5,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(6,2)}p + P_{(6,1)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(5,1)}; 0)] \\
\iff P_{(5,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((25, 5675)(0, 501) + (30, 2383)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 374, 4078; 0)] \\
\iff P_{(5,1)} &= \max(27, 8995; 25, 5922) = 27, 8995
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{(5,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(6,1)}p + P_{(6,0)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(5,0)}; 0)] \\
\iff P_{(5,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((30, 2383)(0, 501) + (35, 1756)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 368, 6138; 0)] \\
\iff P_{(5,0)} &= \max(32, 7032; 31, 3862) = 32, 7032
\end{aligned}$$

$i = 4$

$$\begin{aligned}
P_{(4,4)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(5,5)}p + P_{(5,4)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(4,4)}; 0)] \\
\iff P_{(4,4)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((12, 2275)(0, 501) + (15, 5134)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 395, 4135; 0)] \\
\iff P_{(4,4)} &= \max(13, 8683; 4, 5865) = 13, 8683
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{(4,3)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(5,4)}p + P_{(5,3)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(4,3)}; 0)] \\
\iff P_{(4,3)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((15, 5134)(0, 501) + (19, 2482)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 389, 2944; 0)] \\
\iff P_{(4,3)} &= \max(17, 3783; 10, 7056) = 17, 3783
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{(4,2)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(5,3)}p + P_{(5,2)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(4,2)}; 0)] \\
\iff P_{(4,2)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((19, 2482)(0, 501) + (23, 3942)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 383, 2700; 0)] \\
\iff P_{(4,2)} &= \max(21, 3183; 16, 7300) = 21, 3183
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{(4,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(5,2)}p + P_{(5,1)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(4,1)}; 0)] \\
\iff P_{(4,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((23, 3942)(0, 501) + (27, 8995)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 377, 3388; 0)] \\
\iff P_{(4,1)} &= \max(25, 6436; 22, 6612) = 25, 6436
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{(4,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(5,1)}p + P_{(5,0)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(4,0)}; 0)] \\
\iff P_{(4,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((27, 8995)(0, 501) + (32, 7032)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 371, 4995; 0)] \\
\iff P_{(4,0)} &= \max(30, 2978; 28, 5005) = 30, 2978
\end{aligned}$$

$i = 3$

$$\begin{aligned}
P_{(3,3)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(4,4)}p + P_{(4,3)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(3,3)}; 0)] \\
\iff P_{(3,3)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((13, 8683)(0, 501) + (17, 3783)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 392, 3420; 0)] \\
\iff P_{(3,3)} &= \max(15, 6210; 7, 6580) = 15, 6210
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{(3,2)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(4,3)}p + P_{(4,2)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(3,2)}; 0)] \\
\iff P_{(3,2)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((17, 3783)(0, 501) + (21, 3183)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 386, 2704; 0)] \\
\iff P_{(3,2)} &= \max(19, 3456; 13, 7296) = 19, 3456
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{(3,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(4,2)}p + P_{(4,1)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(3,1)}; 0)] \\
\iff P_{(3,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((21, 3183)(0, 501) + (25, 6436)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 380, 2929; 0)] \\
\iff P_{(3,1)} &= \max(23, 4779; 19, 7071) = 23, 4779
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{(3,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(4,1)}p + P_{(4,0)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(3,0)}; 0)] \\
\iff P_{(3,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((25, 6436)(0, 501) + (30, 2978)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 374, 4078; 0)] \\
\iff P_{(3,0)} &= \max(27, 9673; 25, 5922) = 27, 9673
\end{aligned}$$

$i = 2$

$$\begin{aligned}
P_{(2,2)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(3,3)}p + P_{(3,2)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(2,2)}; 0)] \\
\iff P_{(2,2)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((15, 6210)(0, 501) + (19, 3456)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 389, 2944; 0)] \\
\iff P_{(2,2)} &= \max(17, 4807; 10, 7056) = 17, 4807
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{(2,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(3,2)}p + P_{(3,1)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(2,1)}; 0)] \\
\iff P_{(2,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((19, 3456)(0, 501) + (23, 4779)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 383, 2700; 0)] \\
\iff P_{(2,1)} &= \max(21, 4089; 16, 7300) = 21, 4089
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{(2,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(3,1)}p + P_{(3,0)}(1-p)); \\
&\quad \max(K - S_{(2,0)}; 0)] \\
\iff P_{(2,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((23, 4779)(0, 501) + (27, 9673)(0, 499)); \\
&\quad \max(400 - 377, 3388; 0)] \\
\iff P_{(2,0)} &= \max(25, 7194; 22, 6612) = 25, 7194
\end{aligned}$$

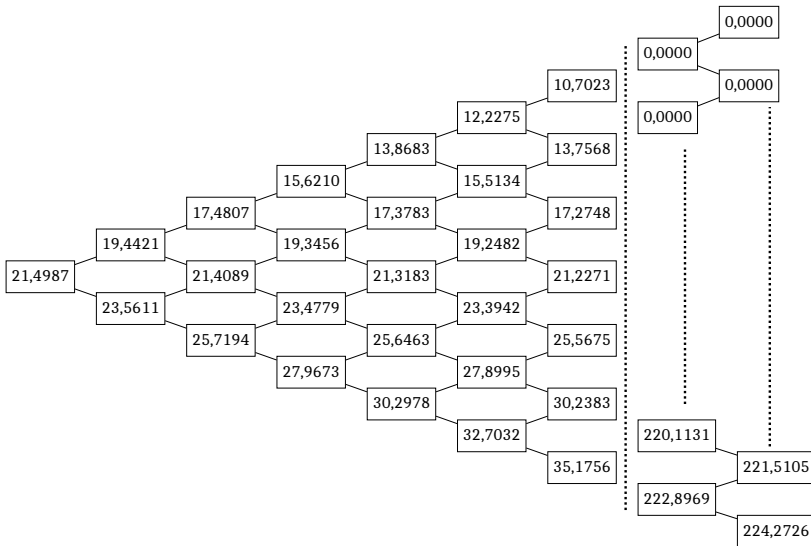
$i = 1$

$$\begin{aligned}
 P_{(1,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(2,2)}p + P_{(2,1)}(1-p)); \\
 &\quad \max(K - S_{(1,1)}; 0)] \\
 \iff P_{(1,1)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((17,4807)(0,501) + (21,4089)(0,499)); \\
 &\quad \max(400 - 386,2704; 0)] \\
 \iff P_{(1,1)} &= \max(19,4421; 13,7296) = 19,4421
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{(1,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(2,1)}p + P_{(2,0)}(1-p)); \\
 &\quad \max(K - S_{(1,0)}; 0)] \\
 \iff P_{(1,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((21,4089)(0,501) + (25,7194)(0,499)); \\
 &\quad \max(400 - 380,2929; 0)] \\
 \iff P_{(1,0)} &= \max(23,5611; 19,7071) = 23,5611
 \end{aligned}$$

$i = 0$

$$\begin{aligned}
 P_{(0,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}(P_{(1,1)}p + P_{(1,0)}(1-p)); \\
 &\quad \max(K - S_{(0,0)}; 0)] \\
 \iff P_{(0,0)} &= \max[e^{-(0,045)(0,000849)}((19,4421)(0,501) + (23,5611)(0,499)); \\
 &\quad \max(400 - 383,2700; 0)] \\
 \iff P_{(0,0)} &= \max(21,4987; 16,7300) = 21,4987
 \end{aligned}$$



Gambar 4.10: Pohon Binomial 100 Langkah untuk Penentuan Harga Opsi *Put* Amerika

Berdasarkan rangkaian penjabaran diatas, dengan $S_0 = 383,27$ dan $r = 0,045$, dimana $K = 350$ untuk opsi *call* dan $K = 400$ untuk opsi *put*. Waktu jatuh tempo yang diambil 31 hari adalah $T = \frac{31}{365} = 0,08493151$, maka dengan $n = 100$ dan $\Delta_t = \frac{0,08493151}{100} = 0,000849$ diperoleh harga opsi *call* $C = 36,1573$ dan harga opsi *put* $P = 21,4987$.

Dengan cara yang sama seperti di atas diperoleh harga opsi *call* dan opsi *put* dari lima harga kontrak yang berbeda masih dengan waktu jatuh tempo 31 hari seperti Tabel 4.8.

Tabel 4.8: Perhitungan Opsi Amerika Waktu Jatuh Tempo 31 hari

OPSI CALL				OPSI PUT			
K	Harga Opsi Pasar	Opsi Amerika	Error	K	Harga Opsi Pasar	Opsi Amerika	Error
310	84,83	74,4743	0,12	390	18,50	14,9520	0,19
350	40,00	36,1573	0,10	400	22,07	21,4987	0,03
360	31,52	27,7870	0,12	410	31,27	29,1706	0,07
370	22,21	20,4803	0,08	420	42,78	37,7390	0,12
380	16,25	14,3846	0,11	430	48,79	47,0069	0,04
MAPE = 10,58%				MAPE = 8,78%			

Selain menghitung perbandingan harga opsi Amerika menggunakan metode Binomial dari kelima harga opsi kontrak yang berbeda dengan waktu jatuh tempo 31 hari, dalam penelitian ini juga menghitung perbandingan harga opsi dengan waktu jatuh tempo 100 hari seperti Tabel 4.9

Tabel 4.9: Perhitungan Opsi Amerika Waktu Jatuh Tempo 100 hari

OPSI CALL				OPSI PUT			
K	Harga Opsi Pasar	Opsi Amerika	Error	K	Harga Opsi Pasar	Opsi Amerika	Error
310	77,55	78,1780	0,01	390	23,10	22,9718	0,01
350	47,30	44,4072	0,06	400	28,75	28,8642	0,00
360	39,14	37,3612	0,05	410	35,43	35,4651	0,00
370	32,80	31,0187	0,05	420	43,25	42,7211	0,01
380	26,65	25,4102	0,05	430	49,21	50,5716	0,03
MAPE = 4,31%				MAPE = 1,01%			

dan waktu jatuh tempo 191 hari seperti Tabel 4.10

Tabel 4.10: Perhitungan Opsi Amerika Waktu Jatuh Tempo 191 hari

OPSI CALL				OPSI PUT			
K	Harga Opsi Pasar	Opsi Amerika	Error	K	Harga Opsi Pasar	Opsi Amerika	Error
310	83,22	84,0605	0,01	390	30,95	29,3428	0,05
350	54,40	53,4243	0,02	400	35,50	34,9319	0,02
360	48,67	46,9621	0,04	410	40,35	41,1615	0,17
370	42,29	40,9324	0,03	420	49,48	47,9029	0,03
380	35,60	35,5635	0,00	430	56,30	55,0320	0,02
MAPE = 1,93%				MAPE = 5,81%			

B. PEMBAHASAN

Penelitian ini mengambil kasus studi dengan penerapan metode binomial untuk menentukan harga opsi Amerika (*call* dan *put*) menggunakan volatilitas khusus yaitu model T-GARCH. Data harga penutup (*close*) saham yang diterapkan berasal dari Yahoo Finance (<https://finance.yahoo.com/>) yaitu saham MSFT dengan periode waktu 14 Maret 2022 sampai 11 Maret 2025. Harga saham MSFT saat ini (12 Maret 2025) adalah 383,27. Dari data saham tersebut menghasilkan data return saham. Nilai return saham tersebut dapat digunakan untuk menghasilkan model ARMA, ARCH/GARCH dan T-GARCH dan berakhir mendapatkan volatilitas T-GARCH yaitu $\sigma_t = 0,267579$.

Di sisi lain, penelitian ini memperoleh data suku bunga *risk-free* dari *US The Fed Funds Interest Rate*, yang dimana pada saat itu nilainya 4,5%. Selain itu juga terdapat parameter – parameter yang diperlukan seperti $u = 1,007829$, $d = 0,992232$, dan $p = 0,501$. Setelah semua parameter yang dibutuhkan sudah diperoleh, maka dilakukan perhitungan harga saham pada masing-masing periode menggunakan metode binomial dengan $n = 100$ yang hasilnya seperti Gambar 4.8. Kemudian dilakukan perhitungan mundur sampai waktu ke nol untuk mendapatkan harga opsi dengan menggunakan metode binomial. Sedangkan untuk perhitungan harga opsi, pada penelitian ini membagi menjadi tiga studi kasus dengan ketiga waktu jatuh tempo yang berbeda, yaitu 31 hari, 100 hari dan 191 hari, namun dengan kelima harga kesepakatan (*strike price*) yang sama, yaitu 310;350;360;370;380 untuk opsi *call* dan 390;400;410;420;430 untuk opsi *put*.

Kasus studi pertama berlaku untuk lima *strike price* (harga

kesepakatan) dengan masa jatuh tempo yang sama. Masa jatuh tempo yang diterapkan adalah 31 hari. Pada saat itu, suku bunga risk-free adalah $r = 4,5\%$ sedangkan partisi adalah $n = 100$. Tabel 4.8 menyajikan hasil perhitungan harga opsi *call* dan opsi *put* antara kelima harga kesepakatan yang berbeda. Dari Tabel 4.8, harga opsi Amerika menggunakan metode binomial dengan volatilitas model T-GARCH didapatkan MAPE, yaitu $10,58\%$ untuk opsi *call* dan $8,78\%$ untuk opsi *put*. Secara empiris, pada kasus pertama ternyata terdapat perbedaan hasil dalam akurasi perkiraan dalam perhitungan harga opsi. Pada perhitungan opsi *call* menggunakan metode binomial akurasinya bagus atau sangat baik, namun untuk perhitungan opsi *put* menggunakan metode binomial ternyata akurasinya justru sangat bagus atau baik.

Masih dengan data saham dan suku bunga *risk-free* yang sama, pada kasus studi kedua dengan periode waktu jatuh tempo yang berbeda dari kasus studi pertama yaitu 100 hari. Menunjukkan hasil perhitungan harga opsi Amerika (*call* dan *put*) pada Tabel 4.9. Dari tabel tersebut, didapatkan MAPE mendekati harga opsi pasar, yaitu $4,31\%$ untuk opsi *call* dan $1,01\%$ untuk opsi *put*. Secara empiris, hasilnya menunjukkan harga opsi Amerika (*call* dan *put*) dengan periode jatuh tempo yang sama menggunakan metode binomial didapatkan akurasi perkiraan dalam perhitungan opsi yaitu sangat bagus atau sangat baik. Sehingga dengan periode waktu jatuh tempo 100 hari, metode binomial sangat bagus atau sangat baik untuk perhitungan harga opsi Amerika dibandingkan dengan waktu jatuh tempo 31 hari.

Sama halnya dengan kasus studi pertama dan kedua, pada kasus studi yang terakhir yang membedakan adalah waktu jatuh temponya saja. Untuk kasus studi ini, waktu jatuh temponya

adalah 191 hari, didapatkan hasil perbandingannya dari kelima kesepakatan yang berbeda antara opsi *call* dan opsi *put* yaitu pada Tabel 4.10. Dari tabel tersebut, dapat dilihat bahwa MAPE mendekati harga opsi pasar, yaitu 1,93% untuk opsi *call* dan 5.81% untuk opsi *put*. Secara empiris, hasilnya menunjukkan harga opsi Amerika (*call* dan *put*) dengan periode jatuh tempo yang sama menggunakan metode binomial didapatkan akurasi perkiraan dalam perhitungan opsi yaitu sangat bagus atau sangat baik. Sehingga dengan periode waktu jatuh tempo 191 hari, metode binomial sangat bagus atau sangat baik untuk perhitungan harga opsi Amerika dibandingkan dengan waktu jatuh tempo 31 hari.

Pada saat perhitungan opsi menggunakan metode binomial tentunya terdapat salah satu faktor penting yaitu volatilitas. Pemodelan volatilitas yang pertama adalah model GARCH, namun model tersebut tidak dapat digunakan pada penelitian ini. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan nilai *skewness* yang menunjukkan nilai negatif, artinya model volatilitas pada GARCH tidak dapat digunakan untuk memodelkan volatilitas karena terdapat efek asimetris pada data penelitian, yang dimana model GARCH tidak mampu mengatasi masalah asimetris pada data. Sehingga dilakukan pemodelan volatilitas yang kedua yaitu model T-GARCH untuk peramalan volatilitas, penggunaan model tersebut baik digunakan karena dapat melihat dan mengatasi adanya hubungan asimetris dari dampak guncangan negatif yang lebih besar terhadap return dibanding dampak positif.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan uraian hasil dan pembahasan dapat disimpulkan, bahwa harga opsi Amerika menggunakan metode binomial dengan volatilitas model T-GARCH dari ketiga waktu jatuh tempo yang berbeda, namun dengan kelima harga kesepakatan yang sama tiap waktu jatuh temponya, menghasilkan harga opsi yang mendekati harga opsi dipasar. Diambil salah satu contohnya adalah harga opsi *call* dengan $K = 350$ dan waktu jatuh tempo 31 hari, yaitu \$36,1573 sedangkan harga opsi dipasar adalah \$40. Begitu juga dengan harga opsi *put* dengan $K = 400$ dan waktu jatuh tempo 31 hari, yaitu \$21,4987 sedangkan harga opsi dipasar adalah \$22. Hal ini juga dapat dilihat dari nilai MAPE opsi *call* dengan waktu jatuh tempo 191 hari yang nilainya lebih kecil yaitu 1,93% dibanding kedua jatuh tempo lainnya, sedangkan untuk opsi *put* yang nilai MAPE lebih kecil adalah waktu jatuh tempo 100 hari yaitu 1,01%. Secara empiris opsi Amerika menggunakan metode binomial dengan volatilitas T-GARCH memiliki kesalahan kecil atau mendekati harga opsi dipasaran ketika harga kesepakatan berada dibawah harga saham saat ini untuk opsi *call* dan harga kesepakatan berada diatas harga saham saat ini untuk opsi *put*.

B. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya berdasarkan penelitian ini adalah dapat membandingkan hasil harga opsi Eropa dan

opsi Amerika dengan harga opsi pasar, dimana penggunaan volatilitas asimetrisnya selain volatilitas model T-GARCH. Selain itu juga dapat dilakukan menggunakan metode trinomial dengan pembayaran dividen pada waktu yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Aksan, I., & Nurfadila, K. (2020). Aplikasi Metode Arima Box-Jenkis Untuk Meramalkan Penggunaan Harian Data Seluler. *Journal of Mathematics : Theory and Applications*, 2(1) : 5-10
- Alhabeeb, M. J. (2012). *Mathematical Finance*. USA: Wiley.
- Aziz, A. (2009). Empat Model Aproksimasi Binomial Harga Saham Model black-Scholes. *CAUCHY: Jurnal Matematika Murni Dan Aplikasi*, 1(1) : 15–24.
- Binatari, N., Kusumawati, R., & Latif, A. (2013). PENENTUAN HARGA OPSI SAHAM TIPE AMERIKA DENGAN PEMBAGIAN DEVIDEN MENGGUNAKAN ELEMENT METHOD. *Jurnal Penelitian Saintek*, 18(2).
- Bodie, Z., Alex, K., & Alan, J. M. (2019). *Dasar-Dasar Investasi*. (Buku 2). Edisi 9. Jakarta : Salemba Empat.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M (2015). *Time Series Analysis Forecasting and Control (5 th)*. Wiley.
- Capinski, M. & Zastawniak, T. (2003). *Mathematics for Finance: An Introduction to Financial Engineering*. Poland: Springer.
- Dol, M. (2021). *Comparison of the GARCH , EGARCH , GJR-GARCH and TGARCH model in times of crisis for the S & P500 , NASDAQ and Dow-Jones*. Thesis. Belanda: Erasmus University Rotterdam

- Emmanuel, F. S. (2014). Performance Measure of Binomial Model for Pricing American and European Options. *Applied and Computational Mathematics*, 3(6): 18-30.
- Engle, R. (2001). GARCH 101: The use of ARCH/GARCH models in applied econometrics. *Journal of Economic Perspectives*, 15(4): 157-168.
- Ervina, K.D., & Imro'ah, N. (2020). Peramalan Volatilitas Saham Menggunakan Model Threshold Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity. *Bimaster: Buletin Ilmiah Matematika, Statistika Dan Terapannya*, 9(1): 79-86.
- Fadugba, S.E., Ajayi, A.O., & Nwozo, C.R. (2013). Effect of Volatility on Binomial Model for the Valuation of American Options. *International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology*, 18(1): 43-53.
- Fadugba, S.E., Ajayi, A.O., & Nwozo, C.R. (2013). Performance measure of binomial model for pricing American and European options. *Applied and Computational Mathematics*, 3(6-1): 18-30.
- Faustina, R., Agostanto, A., & Hendikawati, P. (2017). Model Hybrid ARIMA-GARCH Untuk Estimasi Volatilitas harga Emas. *UNNES Jurnal of Mathematic*, 6(1): 11-24.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic Econometrics (5th ed.)*. McGraw-Hill.
- Halim, A. (2023). *Analisis Investasi Di Aset Keuangan*. Edisi 2. Bogor : Mitra Wacana Media.

- Handini, S. & Astawinetu, E.D. (2020). *Teori Portofolio dan Pasar Modal Indonesia*. Surabaya: Scopindo Media Pustaka.
- Herlianto. (2013). *Manajemen Investasi Plus Jurusan Mnedeteksi Investasi Bodong* Edisi 1. Gosyen Publishing.
- Hull, J.C. (2012). *Options, Futures, and Other Derivatives (8th ed.)*. Pearson Education.
- Hull, J.C. (2014). *Options, Futures, and Other Derivatives (9th ed.)*. Pearson Education.
- Inc, I. G. (2017). *Eviews 10 Users Guide 1*. IHS Global Inc.
- Maulida, V., Siswanah, E., & Nisa, E. K. (2019). Penentuan Harga Opsi Tipe Eropa dengan Model Binomial. *Square: Journal of Mathematics and Mathematics Education*, 1(1): 65-72.
- Melyani, C. A., Nurtsabita, A., & Shafa, G. Z. (2021). Peramalan Inflasi Di Indonesia Menggunakan Metode Autoregressive Moving Average (Arma). *Journal of Mathematics Education and Science*, 4(2): 67-74.
- Mubarokah, I. S., Fitrianto, A., & Affendi, F. M. (2020). Perbandingan Model Garch Simetris Dan Asimetris Pada Data Kurs Harian. *Indonesian Journal of Statistics and Its Applications*, 4(4): 627-637.
- Nastiti, K.L.A., & Suharsono, A. (2012). Analisis Volatilitas Saham Perusahaan Go Public dengan Metode ARCH-GARCH. *Jurnal Sains Dan Seni Its*, 1(1): 259-264.
- Nurhidayati, Roehati,E., & Sumarsa, A. (2024). Perbandingan Model Asymmetric Power ARCH Dengan Threshold GARCH

- Dalam Peramalan Kurs Poundsterling Terhadap Kurs Rupiah. *Jurnal Ilmiah Matematika*, 12(1) : 11-20.
- Nuzula, N.F. & Nurlaily, F. (2020). *Dasar-Dasar Manajemen Investasi*. Malang: UB Press.
- Parhusip, J. (2013). Implementasi R Software Untuk Prediksi Curah Hujan (Perbandingan ARMA dan ARIMA). *Journal.Upr.Ac.Id*, 8(2)
- Permata, C.P., & Ghoni, M.A. (2019). Peranan Pasar Modal Dalam Perekonomian Negara Indonesia. *Jurnal AkunStie (JAS)*, 5(2): 50-61.
- Petters, A.O. & Dong, X. (2016). *An Introduction to Mathematical Finance with Applications*. USA: Springer.
- Pramuditya, S.A. (2016). Perbandingan Metode Binomial dan Metode Black-Scholes Dalam Penentuan Harga Opsi. *Jurnal Sainsmat*, 5(1) : 1–6.
- Prawintara, A.R., Asma S., & Muhammad F. H., (2024). Menakar Proyeksi Tingkat Pengangguran Terbuka di Indonesia : *An Approach Quantitative Study Using Arima Model*. *Jurnal EKOMA : Jurnal Ekonomi, Manajemen, Akuntansi*, 3(5) : 214–223.
- Puspitasari, Kurniasih, D., & Kiloes, A. M. (2019). Aplikasi Model ARCH-GARCH dalam Menganalisis Volatilitas Harga Bawang Merah. *Informatika Pertanian*, 28(1) : 21–30.
- Qezelbash, M., Tajdini, S., Jafari, F., Ghahroud, M. L., & Farajnezhad, M. (2024). An analysis of volatility and herd behavior among

- investors in the SP500 stock market index , Bitcoin , and gold markets. *Journal of Mathematics and Modeling in Finance*, 3(2): 78-92.
- Raneo, A. P., & Muthia, F. (2018). Penerapan Model GARCH Dalam Peramalan Volatilitas di Bursa Efek Indonesia. *Jurnal Manajemen Dan Bisnis Sriwijaya*, 15(3) : 194–202.
- Rizal, J., & Syahrul, A. (2015) Perbandingan uji stasioner data time series antara metode : control chart, correlogram, akar unit Dickey Fuller, dan derajat integrasi. *Jurnal Gradien*, 11(1) : 1040-1046.
- Rusdi. (2011). Deteksi Stasioneritas Data Runtut Waktu Melalui Uji Akar-Akar Unit/ *Jurnal Saintek*, 3(1) : 78-89
- Sabiruzzaman M., Monimul Huq, M., Beg, R. A., & Anwar, S. (2010). Modeling and forecasting trading volume index: GARCH versus TGARCH approach. *Quarterly Review of Economics and Finance*, 50(2), 141–145.
- Samudra, M.S.R., Marcellina, D., & lain-lain. (2024). Penerapan Metode Forecasting Dalam Menentukan Prediksi Jumlah Mahasiswa Baru Dengan Menggunakan Single Exponential Smoothing. *Jurnal Ilmiah Informatika Global*, 15(2).
- Sari, I.G.A.M.E., Dharmawan, K., & Okta, T.B. (2016). Penerapan Metode Binomial Tree Dalam Mengestimasi Harga Kontrak Opsi Tipe Amerika. *E-Jurnal Matematika*, 5(4) : 156–163.
- Sari, L.K., Achsani, N.A., & Sartono, Bagus. (2017). Pemodelan Volatilitas Return Saham : Studi Kasus Pasar Saham Asia. *Ekonomi dan Pembangunan Indonesia*, 18(1) : 35-52.

- Siswanah, E. (2020). *FAST FOURIER TRANSFORM (FFT) PADA OPSI AMERIKA*. Semarang: SeAP.
- Siswanah, E. (2023). American Call Option Pricing With Variable Maturity Dates and the Binomial Method Implementation. *Journal of Engineering Science and Technology*, 18(4) : 73–83.
- Siswanah, E., Idrus, A. M., & Hakim, M. M. (2023). Binomial Method in Bermudan Option. *Journal of Multidisciplinary Applied Natural Science*, 3(2): 161-171.
- Sulastri, S., Novieyanti, L., & Sukono, F. (2019). Penentuan Harga Opsi Barrier Menggunakan Metode Trinomial Kamrad-Ritchken Dengan Volatilitas Model Garch. *Jurnal Ilmu Manajemen dan Bisnis*, 10(1): 83-92.
- Susanti., Mastur, Z., & Mariani, S. (2016). Analisis Model Threshold GARCH dan Model Exponential GARCH pada Peramalan IHSG. *Jurnal Ilmu Manajemen dan Bisnis*, 5(1): 56-63.
- Syahbani, D. I., Murni, Y., & SN, H. F. (2018). Analisis Pengaruh Rasio Likuiditas, Leverage Dan Profitabilitas Terhadap Return Saham Pada Perusahaan Makanan Dan Minuman. *Economica*, 7(1): 1-6.
- Tsay, Ruey S., (2010). *Analysis of Financial Time Series*. Canada : Wiley
- Widiarini, S., & Dillak, V.J. (2019). Pengaruh Profitabilitas, Leverage, Likuiditas, Kebijakan Dividen, Dan Ukuran Perusahaan Terhadap Return Saham (Studi Kasus Pada Perusahaan Sektor Properti, Real Estate, Dan Konstruksi Bangunan Yang Terdaftar Di Bursa Efek Indonesia Periode

2013-2017). *Jurnal Ilmu Sosial Politik Dan Humaniora*, 2(2): 1-14.

Winata, H., & Hapsari, Y. D. (2017). PENGGUNAAN METODE TRESHOLD GARCH DALAM MEMPREDIKSI HARGA SAHAM PT. GUDANG GARAM, Tbk. *Optimum: Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan*, 7(1): 59-70.

**Lampiran 1. Data Harga Saham Penutupan dan Return Harian
dari Saham *Microsoft Corporation***

t	Tanggal	Harga Saham	Return	t	Tanggal	Harga Saham	Return
1	14/03/2022	276,44		377	12/09/2023	331,77	-0,01843
2	15/03/2022	287,15	0,03801	378	13/09/2023	336,06	0,01285
3	16/03/2022	294,39	0,02490	379	14/09/2023	338,70	0,00783
4	17/03/2022	295,22	0,00282	380	15/09/2023	330,22	-0,02536
5	18/03/2022	300,43	0,01749	381	18/09/2023	329,06	-0,00352
6	21/03/2022	299,16	-0,00424	382	19/09/2023	328,65	-0,00125
7	22/03/2022	304,06	0,01625	383	20/09/2023	320,77	-0,02427
8	23/03/2022	299,49	-0,01514	384	21/09/2023	319,53	-0,00387
9	24/03/2022	304,10	0,01528	385	22/09/2023	317,01	-0,00792
10	25/03/2022	303,68	-0,00138	386	25/09/2023	317,54	0,00167
11	28/03/2022	310,70	0,02285	387	26/09/2023	312,14	-0,01715
12	29/03/2022	315,41	0,01505	388	27/09/2023	312,79	0,00208
13	30/03/2022	313,86	-0,00493	389	28/09/2023	313,64	0,00271
14	31/03/2022	308,31	-0,01784	390	29/09/2023	315,75	0,00670
15	01/04/2022	309,42	0,00359	391	02/10/2023	321,80	0,01898
16	04/04/2022	314,97	0,01778	392	03/10/2023	313,39	-0,02648
17	05/04/2022	310,88	-0,01307	393	04/10/2023	318,96	0,01762
18	06/04/2022	299,50	-0,03729	394	05/10/2023	319,36	0,00125
19	07/04/2022	301,37	0,00622	395	06/10/2023	327,26	0,02444
20	08/04/2022	296,97	-0,01471	396	09/10/2023	329,82	0,00779
21	11/04/2022	285,26	-0,04023	397	10/10/2023	328,39	-0,00435
22	12/04/2022	282,06	-0,01128	398	11/10/2023	332,42	0,01220
23	13/04/2022	287,62	0,01952	399	12/10/2023	331,16	-0,00380
24	14/04/2022	279,83	-0,02746	400	13/10/2023	327,73	-0,01041
25	18/04/2022	280,52	0,00246	401	16/10/2023	332,64	0,01487
26	19/04/2022	285,30	0,01690	402	17/10/2023	332,06	-0,00175
27	20/04/2022	286,36	0,00371	403	18/10/2023	330,11	-0,00589

t	Tanggal	Harga Saham	Return	t	Tanggal	Harga Saham	Return
28	21/04/2022	280,81	-0,01957	404	19/10/2023	331,32	0,00366
29	22/04/2022	274,03	-0,02444	405	20/10/2023	326,67	-0,01413
30	25/04/2022	280,72	0,02412	406	23/10/2023	329,32	0,00808
31	26/04/2022	270,22	-0,03812	407	24/10/2023	330,53	0,00367
32	27/04/2022	283,22	0,04699	408	25/10/2023	340,67	0,03022
33	28/04/2022	289,63	0,02238	409	26/10/2023	327,89	-0,03824
34	29/04/2022	277,52	-0,04271	410	27/10/2023	329,81	0,00584
35	02/05/2022	284,47	0,02473	411	30/10/2023	337,31	0,02249
36	03/05/2022	281,78	-0,00950	412	31/10/2023	338,11	0,00237
37	04/05/2022	289,98	0,02869	413	01/11/2023	346,07	0,02327
38	05/05/2022	277,35	-0,04453	414	02/11/2023	348,32	0,00648
39	06/05/2022	274,73	-0,00949	415	03/11/2023	352,80	0,01278
40	09/05/2022	264,58	-0,03765	416	06/11/2023	356,53	0,01052
41	10/05/2022	269,50	0,01842	417	07/11/2023	360,53	0,01116
42	11/05/2022	260,55	-0,03377	418	08/11/2023	363,20	0,00738
43	12/05/2022	255,35	-0,02016	419	09/11/2023	360,69	-0,00693
44	13/05/2022	261,12	0,02234	420	10/11/2023	369,67	0,02459
45	16/05/2022	261,50	0,00145	421	13/11/2023	366,68	-0,00812
46	17/05/2022	266,82	0,02014	422	14/11/2023	370,27	0,00974
47	18/05/2022	254,08	-0,04893	423	15/11/2023	369,67	-0,00162
48	19/05/2022	253,14	-0,00371	424	16/11/2023	376,17	0,01743
49	20/05/2022	252,56	-0,00229	425	17/11/2023	369,85	-0,01694
50	23/05/2022	260,65	0,03153	426	20/11/2023	377,44	0,02031
51	24/05/2022	259,62	-0,00396	427	21/11/2023	373,07	-0,01165
52	25/05/2022	262,52	0,01111	428	22/11/2023	377,85	0,01273
53	26/05/2022	265,90	0,01279	429	24/11/2023	377,43	-0,00111
54	27/05/2022	273,24	0,02723	430	27/11/2023	378,61	0,00312
55	31/05/2022	271,87	-0,00503	431	28/11/2023	382,70	0,01074
56	01/06/2022	272,42	0,00202	432	29/11/2023	378,85	-0,01011
57	02/06/2022	274,58	0,00790	433	30/11/2023	378,91	0,00016
58	03/06/2022	270,02	-0,01675	434	01/12/2023	374,51	-0,01168
59	06/06/2022	268,75	-0,00471	435	04/12/2023	369,14	-0,01444

t	Tanggal	Harga Saham	Return	t	Tanggal	Harga Saham	Return
60	07/06/2022	272,50	0,01386	436	05/12/2023	372,52	0,00911
61	08/06/2022	270,41	-0,00770	437	06/12/2023	368,80	-0,01004
62	09/06/2022	264,79	-0,02100	438	07/12/2023	370,95	0,00581
63	10/06/2022	252,99	-0,04559	439	08/12/2023	374,23	0,00880
64	13/06/2022	242,26	-0,04334	440	11/12/2023	371,30	-0,00786
65	14/06/2022	244,49	0,00916	441	12/12/2023	374,38	0,00826
66	15/06/2022	251,76	0,02930	442	13/12/2023	374,37	-0,00003
67	16/06/2022	244,97	-0,02734	443	14/12/2023	365,93	-0,02280
68	17/06/2022	247,65	0,01088	444	15/12/2023	370,73	0,01303
69	21/06/2023	253,74	0,02429	445	18/12/2023	372,65	0,00517
70	22/06/2023	253,13	-0,00241	446	19/12/2023	373,26	0,00164
71	23/06/2023	258,86	0,02238	447	20/12/2023	370,62	-0,00710
72	24/06/2023	267,70	0,03358	448	21/12/2023	373,54	0,00785
73	27/06/2022	264,89	-0,01055	449	22/12/2023	374,58	0,00278
74	28/06/2022	256,48	-0,03226	450	26/12/2023	374,66	0,00021
75	29/06/2022	260,26	0,01463	451	27/12/2023	374,07	-0,00158
76	30/06/2022	256,83	-0,01327	452	28/12/2023	375,28	0,00323
77	01/07/2022	259,58	0,01065	453	29/12/2023	376,04	0,00202
78	05/07/2022	262,85	0,01252	454	02/01/2024	370,87	-0,01384
79	06/07/2022	266,21	0,01270	455	03/01/2024	370,60	-0,00073
80	07/07/2022	268,40	0,00819	456	04/01/2024	367,94	-0,00720
81	08/07/2022	267,66	-0,00276	457	05/01/2024	367,75	-0,00052
82	11/07/2022	264,51	-0,01184	458	08/01/2024	374,69	0,01870
83	12/07/2022	253,67	-0,04184	459	09/01/2024	375,79	0,00293
84	13/07/2022	252,72	-0,00375	460	10/01/2024	382,77	0,01840
85	14/07/2022	254,08	0,00537	461	11/01/2024	384,63	0,00485
86	15/07/2022	256,72	0,01034	462	12/01/2024	388,47	0,00993
87	18/07/2022	254,25	-0,00967	463	16/01/2024	390,27	0,00462
88	19/07/2022	259,53	0,02055	464	17/01/2024	389,47	-0,00205
89	20/07/2022	262,27	0,01050	465	18/01/2024	393,87	0,01123
90	21/07/2022	264,84	0,00975	466	19/01/2024	398,67	0,01211
91	22/07/2022	260,36	-0,01706	467	22/01/2024	396,51	-0,00543

t	Tanggal	Harga Saham	Return	t	Tanggal	Harga Saham	Return
92	25/07/2022	258,83	-0,00589	468	23/01/2024	398,90	0,00601
93	26/07/2022	251,90	-0,02714	469	24/01/2024	402,56	0,00913
94	27/07/2022	268,74	0,06471	470	25/01/2024	404,87	0,00572
95	28/07/2022	276,41	0,02814	471	26/01/2024	403,93	-0,00232
96	29/07/2022	280,74	0,01554	472	29/01/2024	409,72	0,01423
97	01/08/2022	278,01	-0,00977	473	30/01/2024	408,59	-0,00276
98	02/08/2022	274,82	-0,01154	474	31/01/2024	397,58	-0,02732
99	03/08/2022	282,47	0,02746	475	01/02/2024	403,78	0,01547
100	04/08/2022	283,65	0,00417	476	02/02/2024	411,22	0,01826
101	05/08/2022	282,91	-0,00261	477	05/02/2024	405,65	-0,01364
102	08/08/2022	280,32	-0,00920	478	06/02/2024	405,49	-0,00039
103	09/08/2022	282,30	0,00704	479	07/02/2024	414,05	0,02089
104	10/08/2022	289,16	0,02401	480	08/02/2024	414,11	0,00014
105	11/08/2022	287,02	-0,00743	481	09/02/2024	420,55	0,01543
106	12/08/2022	291,91	0,01689	482	12/02/2024	415,26	-0,01266
107	15/08/2022	293,47	0,00533	483	13/02/2024	406,32	-0,02176
108	16/08/2022	292,71	-0,00259	484	14/02/2024	409,49	0,00777
109	17/08/2022	291,32	-0,00476	485	15/02/2024	406,56	-0,00718
110	18/08/2022	290,17	-0,00396	486	16/02/2024	404,06	-0,00617
111	19/08/2022	286,15	-0,01395	487	20/02/2024	402,79	-0,00315
112	22/08/2022	277,75	-0,02979	488	21/02/2024	402,18	-0,00152
113	23/08/2022	276,44	-0,00473	489	22/02/2024	411,65	0,02327
114	24/08/2022	275,79	-0,00235	490	23/02/2024	410,34	-0,00319
115	25/08/2022	278,85	0,01103	491	26/02/2024	407,54	-0,00685
116	26/08/2022	268,09	-0,03935	492	27/02/2024	407,48	-0,00015
117	29/08/2022	265,23	-0,01073	493	28/02/2024	407,72	0,00059
118	30/08/2022	262,97	-0,00856	494	29/02/2024	413,64	0,01442
119	31/08/2022	261,47	-0,00572	495	01/03/2024	415,50	0,00449
120	01/09/2022	260,40	-0,00410	496	04/03/2024	414,92	-0,00140
121	02/09/2022	256,06	-0,01681	497	05/03/2024	402,65	-0,03002
122	06/09/2022	253,25	-0,01103	498	06/03/2024	402,09	-0,00139
123	07/09/2022	258,09	0,01893	499	07/03/2024	409,14	0,01738

t	Tanggal	Harga Saham	Return	t	Tanggal	Harga Saham	Return
124	08/09/2022	258,52	0,00166	500	08/03/2024	406,22	-0,00716
125	09/09/2022	264,46	0,02272	501	11/03/2024	404,52	-0,00419
126	12/09/2022	266,65	0,00825	502	12/03/2024	415,28	0,02625
127	13/09/2022	251,99	-0,05655	503	13/03/2024	415,10	-0,00043
128	14/09/2022	252,22	0,00091	504	14/03/2024	425,22	0,02409
129	15/09/2022	245,38	-0,02749	505	15/03/2024	416,42	-0,02091
130	16/09/2022	244,74	-0,00261	506	18/03/2024	417,32	0,00216
131	19/09/2022	244,52	-0,00090	507	19/03/2024	421,41	0,00975
132	20/09/2022	242,45	-0,00850	508	20/03/2024	425,23	0,00902
133	21/09/2022	238,95	-0,01454	509	21/03/2024	429,37	0,00969
134	22/09/2022	240,98	0,00846	510	22/03/2024	428,74	-0,00147
135	23/09/2022	237,92	-0,01278	511	25/03/2024	422,86	-0,01381
136	26/09/2022	237,45	-0,00198	512	26/03/2024	421,65	-0,00287
137	27/09/2022	236,41	-0,00439	513	27/03/2024	421,43	-0,00052
138	28/09/2022	241,07	0,01952	514	28/03/2024	420,72	-0,00169
139	29/09/2022	237,5	-0,01492	515	01/04/2024	424,57	0,00911
140	30/09/2022	232,9	-0,01956	516	02/04/2024	421,44	-0,00740
141	03/10/2022	240,74	0,03311	517	03/04/2024	420,45	-0,00235
142	04/10/2022	248,88	0,03325	518	04/04/2024	417,88	-0,00613
143	05/10/2022	249,2	0,00128	519	05/04/2024	425,52	0,01812
144	06/10/2022	246,79	-0,00972	520	08/04/2024	424,59	-0,00219
145	07/10/2022	234,24	-0,05219	521	09/04/2024	426,28	0,00397
146	10/10/2022	229,25	-0,02153	522	10/04/2024	423,26	-0,00711
147	11/10/2022	225,41	-0,01689	523	11/04/2024	427,93	0,01097
148	12/10/2022	225,75	0,00151	524	12/04/2024	421,90	-0,01419
149	13/10/2022	234,24	0,03692	525	15/04/2024	413,64	-0,01977
150	14/10/2022	228,56	-0,02455	526	16/04/2024	414,58	0,00227
151	17/10/2022	237,53	0,03850	527	17/04/2024	411,84	-0,00663
152	18/10/2022	238,50	0,00408	528	18/04/2024	404,27	-0,01855
153	19/10/2022	236,48	-0,00851	529	19/04/2024	399,12	-0,01282
154	20/10/2022	236,15	-0,00140	530	22/04/2024	400,96	0,00460
155	21/10/2022	242,12	0,02497	531	23/04/2024	407,57	0,01635

t	Tanggal	Harga Saham	Return	t	Tanggal	Harga Saham	Return
156	24/10/2022	247,25	0,02097	532	24/04/2024	409,06	0,00365
157	25/10/2022	250,66	0,01370	533	25/04/2024	399,04	-0,02480
158	26/10/2022	231,32	-0,08030	534	26/04/2024	406,32	0,01808
159	27/10/2022	226,75	-0,01995	535	29/04/2024	402,25	-0,01007
160	28/10/2022	235,87	0,03943	536	30/04/2024	389,33	-0,03265
161	31/10/2022	232,13	-0,01598	537	01/05/2024	394,94	0,01431
162	01/11/2022	228,17	-0,01721	538	02/05/2024	397,84	0,00732
163	02/11/2022	220,10	-0,03601	539	03/05/2024	406,66	0,02193
164	03/11/2022	214,25	-0,02694	540	06/05/2024	413,54	0,01678
165	04/11/2022	221,39	0,03278	541	07/05/2024	409,34	-0,01021
166	07/11/2022	227,87	0,02885	542	08/05/2024	410,54	0,00293
167	08/11/2022	228,87	0,00438	543	09/05/2024	412,32	0,00433
168	09/11/2022	224,51	-0,01923	544	10/05/2024	414,74	0,00585
169	10/11/2022	242,98	0,07906	545	13/05/2024	413,72	-0,00246
170	11/11/2022	247,11	0,01685	546	14/05/2024	416,56	0,00684
171	14/11/2022	241,55	-0,02276	547	15/05/2024	423,08	0,01553
172	15/11/2022	241,97	0,00174	548	16/05/2024	420,99	-0,00495
173	16/11/2022	241,73	-0,00099	549	17/05/2024	420,21	-0,00185
174	17/11/2022	241,68	-0,00021	550	20/05/2024	425,34	0,01213
175	18/11/2022	241,22	-0,00191	551	21/05/2024	429,04	0,00866
176	21/11/2022	242,05	0,00343	552	22/05/2024	430,52	0,00344
177	22/11/2022	245,03	0,01224	553	23/05/2024	427	-0,00821
178	23/11/2022	247,58	0,01035	554	24/05/2024	430,16	0,00737
179	25/11/2022	247,49	-0,00036	555	28/05/2024	430,32	0,00037
180	28/11/2022	241,76	-0,02342	556	29/05/2024	429,17	-0,00268
181	29/11/2022	240,33	-0,00593	557	30/05/2024	414,67	-0,03437
182	30/11/2022	255,14	0,05980	558	31/05/2024	415,13	0,00111
183	01/12/2022	254,69	-0,00177	559	03/06/2024	413,52	-0,00389
184	02/12/2022	255,02	0,00129	560	04/06/2024	416,07	0,00615
185	05/12/2022	250,2	-0,01908	561	05/06/2024	424,01	0,01890
186	06/12/2022	245,12	-0,02051	562	06/06/2024	424,52	0,00120
187	07/12/2022	244,37	-0,00306	563	07/06/2024	423,85	-0,00158

t	Tanggal	Harga Saham	Return	t	Tanggal	Harga Saham	Return
188	08/12/2022	247,4	0,01232	564	10/06/2024	427,87	0,00944
189	09/12/2022	245,42	-0,00804	565	11/06/2024	432,68	0,01118
190	12/12/2022	252,51	0,02848	566	12/06/2024	441,06	0,01918
191	13/12/2022	256,92	0,01731	567	13/06/2024	441,58	0,00118
192	14/12/2022	257,22	0,00117	568	14/06/2024	442,57	0,00224
193	15/12/2022	249,01	-0,03244	569	17/06/2024	448,37	0,01302
194	16/12/2022	244,69	-0,01750	570	18/06/2024	446,34	-0,00454
195	19/12/2022	240,45	-0,01748	571	20/06/2024	445,7	-0,00143
196	20/12/2022	241,8	0,00560	572	21/06/2024	449,78	0,00911
197	21/12/2022	244,43	0,01082	573	24/06/2024	447,67	-0,00470
198	22/12/2022	238,19	-0,02586	574	25/06/2024	450,95	0,00730
199	23/12/2022	238,73	0,00226	575	26/06/2024	452,16	0,00268
200	27/12/2022	236,96	-0,00744	576	27/06/2024	452,85	0,00152
201	28/12/2022	234,53	-0,01031	577	28/06/2024	446,95	-0,01311
202	29/12/2022	241,01	0,02725	578	01/07/2024	456,73	0,02165
203	30/12/2022	239,82	-0,00495	579	02/07/2024	459,28	0,00557
204	03/01/2023	239,58	-0,00100	580	03/07/2024	460,77	0,00324
205	04/01/2023	229,10	-0,04473	581	05/07/2024	467,56	0,01463
206	05/01/2023	222,31	-0,03009	582	08/07/2024	466,24	-0,00283
207	06/01/2023	224,93	0,01172	583	09/07/2024	459,54	-0,01447
208	09/01/2023	227,12	0,00969	584	10/07/2024	466,25	0,01450
209	10/01/2023	228,85	0,00759	585	11/07/2024	454,70	-0,02508
210	11/01/2023	235,77	0,02979	586	12/07/2024	453,55	-0,00253
211	12/01/2023	238,51	0,01155	587	15/07/2024	453,96	0,00090
212	13/01/2023	239,23	0,00301	588	16/07/2024	449,52	-0,00983
213	17/01/2023	240,35	0,00467	589	17/07/2024	443,52	-0,01344
214	18/01/2023	235,81	-0,01907	590	18/07/2024	440,37	-0,00713
215	19/01/2023	231,93	-0,01659	591	19/07/2024	437,11	-0,00743
216	20/01/2023	240,22	0,03512	592	22/07/2024	442,94	0,01325
217	23/01/2023	242,58	0,00978	593	23/07/2024	444,85	0,00430
218	24/01/2023	242,04	-0,00223	594	24/07/2024	428,90	-0,03651
219	25/01/2023	240,61	-0,00593	595	25/07/2024	418,40	-0,02479

t	Tanggal	Harga Saham	Return	t	Tanggal	Harga Saham	Return
220	26/01/2023	248,00	0,03025	596	26/07/2024	425,27	0,01629
221	27/01/2023	248,16	0,00064	597	29/07/2024	426,73	0,00343
222	30/01/2023	242,71	-0,02221	598	30/07/2024	422,92	-0,00897
223	31/01/2023	247,81	0,02080	599	31/07/2024	418,35	-0,01086
224	01/02/2023	252,75	0,01974	600	01/08/2024	417,11	-0,00297
225	02/02/2023	264,60	0,04582	601	02/08/2024	408,49	-0,02088
226	03/02/2023	258,35	-0,02390	602	05/08/2024	395,15	-0,03320
227	06/02/2023	256,77	-0,00613	603	06/08/2024	399,61	0,01122
228	07/02/2023	267,56	0,04116	604	07/08/2024	398,43	-0,00296
229	08/02/2023	266,73	-0,00311	605	08/08/2024	402,69	0,01064
230	09/02/2023	263,62	-0,01173	606	09/08/2024	406,02	0,00824
231	10/02/2023	263,10	-0,00197	607	12/08/2024	406,81	0,00194
232	13/02/2023	271,32	0,03076	608	13/08/2024	414,01	0,01754
233	14/02/2023	272,17	0,00313	609	14/08/2024	416,86	0,00686
234	15/02/2023	269,32	-0,01053	610	15/08/2024	421,03	0,00995
235	16/02/2023	262,15	-0,02698	611	16/08/2024	418,47	-0,00610
236	17/02/2023	258,06	-0,01572	612	19/08/2024	421,53	0,00729
237	21/02/2023	252,67	-0,02111	613	20/08/2024	424,80	0,00773
238	22/02/2023	251,51	-0,00460	614	21/08/2024	424,14	-0,00155
239	23/02/2023	254,77	0,01288	615	22/08/2024	415,55	-0,02046
240	24/02/2023	249,22	-0,02203	616	23/08/2024	416,79	0,00298
241	27/02/2023	250,16	0,00376	617	26/08/2024	413,49	-0,00795
242	28/02/2023	249,42	-0,00296	618	27/08/2024	413,84	0,00085
243	01/03/2023	246,27	-0,01271	619	28/08/2024	410,60	-0,00786
244	02/03/2023	251,11	0,01946	620	29/08/2024	413,12	0,00612
245	03/03/2023	255,29	0,01651	621	30/08/2024	417,14	0,00968
246	06/03/2023	256,87	0,00617	622	03/09/2024	409,44	-0,01863
247	07/03/2023	254,15	-0,01065	623	04/09/2024	408,90	-0,00132
248	08/03/2023	253,70	-0,00177	624	05/09/2024	408,39	-0,00125
249	09/03/2023	252,32	-0,00545	625	06/09/2024	401,70	-0,01652
250	10/03/2023	248,59	-0,01489	626	09/09/2024	405,72	0,00996
251	13/03/2023	253,92	0,02121	627	10/09/2024	414,20	0,02069

t	Tanggal	Harga Saham	Return	t	Tanggal	Harga Saham	Return
252	14/03/2023	260,79	0,02670	628	11/09/2024	423,04	0,02112
253	15/03/2023	265,44	0,01767	629	12/09/2024	427,00	0,00932
254	16/03/2023	276,20	0,03974	630	13/09/2024	430,59	0,00837
255	17/03/2023	279,43	0,01163	631	16/09/2024	431,34	0,00174
256	20/03/2023	272,23	-0,02610	632	17/09/2024	435,15	0,00879
257	21/03/2023	273,78	0,00568	633	18/09/2024	430,81	-0,01002
258	22/03/2023	272,29	-0,00546	634	19/09/2024	438,69	0,01813
259	23/03/2023	277,66	0,01953	635	20/09/2024	435,27	-0,00783
260	24/03/2023	280,57	0,01043	636	23/09/2024	433,51	-0,00405
261	27/03/2023	276,38	-0,01505	637	24/09/2024	429,17	-0,01006
262	28/03/2023	275,23	-0,00417	638	25/09/2024	432,11	0,00683
263	29/03/2023	280,51	0,01900	639	26/09/2024	431,31	-0,00185
264	30/03/2023	284,05	0,01254	640	27/09/2024	428,02	-0,00766
265	31/03/2023	288,30	0,01485	641	30/09/2024	430,30	0,00531
266	03/04/2023	287,23	-0,00372	642	01/10/2024	420,69	-0,02259
267	04/04/2023	287,18	-0,00017	643	02/10/2024	417,13	-0,00850
268	05/04/2023	284,34	-0,00994	644	03/10/2024	416,54	-0,00142
269	06/04/2023	291,60	0,02521	645	04/10/2024	416,06	-0,00115
270	10/04/2023	289,39	-0,00761	646	07/10/2024	409,54	-0,01579
271	11/04/2023	282,83	-0,02293	648	09/10/2024	417,46	0,00661
272	12/04/2023	283,49	0,00233	649	10/10/2024	415,84	-0,00389
273	13/04/2023	289,84	0,02215	650	11/10/2024	416,32	0,00115
274	14/04/2023	286,14	-0,01285	651	14/10/2024	419,14	0,00675
275	17/04/2023	288,8	0,00925	652	15/10/2024	418,74	-0,00095
276	18/04/2023	288,37	-0,00149	653	16/10/2024	416,12	-0,00628
277	19/04/2023	288,45	0,00028	654	17/10/2024	416,72	0,00144
278	20/04/2023	286,11	-0,00815	655	18/10/2024	418,16	0,00345
279	21/04/2023	285,76	-0,00122	656	21/10/2024	418,78	0,00148
280	24/04/2023	281,77	-0,01406	657	22/10/2024	427,51	0,02063
281	25/04/2023	275,42	-0,02279	658	23/10/2024	424,60	-0,00683
282	26/04/2023	295,37	0,06993	659	24/10/2024	424,73	0,00031
283	27/04/2023	304,83	0,03153	660	25/10/2024	428,15	0,00802

t	Tanggal	Harga Saham	Return	t	Tanggal	Harga Saham	Return
284	28/04/2023	307,26	0,00794	661	28/10/2024	426,59	-0,00365
285	01/05/2023	305,56	-0,00555	662	29/10/2024	431,95	0,01249
286	02/05/2023	305,41	-0,00049	663	30/10/2024	432,53	0,00134
287	03/05/2023	304,40	-0,00331	664	31/10/2024	406,35	-0,06244
288	04/05/2023	305,41	0,00331	665	01/11/2024	410,37	0,00984
289	05/05/2023	310,65	0,01701	666	04/11/2024	408,46	-0,00467
290	08/05/2023	308,65	-0,00646	667	05/11/2024	411,46	0,00732
291	09/05/2023	307,00	-0,00536	668	06/11/2024	420,18	0,02097
292	10/05/2023	312,31	0,01715	669	07/11/2024	425,43	0,01242
293	11/05/2023	310,11	-0,00707	670	08/11/2024	422,54	-0,00682
294	12/05/2023	308,97	-0,00368	671	11/11/2024	418,01	-0,01078
295	15/05/2023	309,46	0,00158	672	12/11/2024	423,03	0,01194
296	16/05/2023	311,74	0,00734	673	13/11/2024	425,20	0,00512
297	17/05/2023	314,00	0,00722	674	14/11/2024	426,89	0,00397
298	18/05/2023	318,52	0,01429	675	15/11/2024	415,00	-0,02825
299	19/05/2023	318,34	-0,00057	676	18/11/2024	415,76	0,00183
300	22/05/2023	321,18	0,00888	677	19/11/2024	417,79	0,00487
301	23/05/2023	315,26	-0,01860	678	20/11/2024	415,49	-0,00552
302	24/05/2023	313,85	-0,00448	679	21/11/2024	412,87	-0,00633
303	25/05/2023	325,92	0,03774	679	21/11/2024	412,87	-0,00633
304	26/05/2023	332,89	0,02116	680	22/11/2024	417,00	0,00995
305	30/05/2023	331,21	0,01058	681	25/11/2024	418,79	0,00428
306	31/05/2023	328,39	-0,00585	682	26/11/2024	427,99	0,02173
307	01/06/2023	332,58	0,01268	683	27/11/2024	422,99	-0,01175
308	02/06/2023	335,40	0,00844	684	29/11/2024	423,46	0,00111
309	05/06/2023	335,94	0,00161	685	02/12/2024	430,98	0,01760
310	06/06/2023	323,68	-0,00675	686	03/12/2024	431,20	0,00501
311	07/06/2023	323,38	-0,00093	687	04/12/2024	437,42	0,01432
312	08/06/2023	325,26	0,00580	688	05/12/2024	442,62	0,01182
313	09/06/2023	326,79	0,00464	689	06/12/2024	443,57	0,00214
314	12/06/2023	331,85	0,01537	690	09/12/2024	446,02	-0,00551
315	13/06/2023	334,29	0,00733	691	10/12/2024	443,33	-0,00605

t	Tanggal	Harga Saham	Return	t	Tanggal	Harga Saham	Return
316	14/06/2023	337,34	0,00908	692	11/12/2024	448,99	0,01269
317	15/06/2023	348,10	0,03140	693	12/12/2024	449,56	0,00127
318	16/06/2023	342,33	-0,01671	694	13/12/2024	447,27	-0,00511
319	20/06/2023	338,05	-0,01258	695	16/12/2024	451,59	0,00961
320	21/06/2023	333,56	-0,01337	696	17/12/2024	454,46	0,00634
324	27/06/2023	334,57	0,01800	700	23/12/2024	435,25	-0,00310
325	28/06/2023	335,85	0,00382	701	24/12/2024	439,33	0,00933
326	29/06/2023	335,05	-0,00238	702	26/12/2024	438,11	-0,00278
327	30/06/2023	340,54	0,01625	703	27/12/2024	430,53	-0,01745
328	03/07/2023	337,99	-0,00752	704	30/12/2024	424,83	-0,01333
329	05/07/2023	338,15	0,00047	705	31/12/2024	421,50	-0,00787
330	06/07/2023	341,27	0,00918	706	02/01/2025	418,58	-0,00695
331	07/07/2023	337,22	-0,01194	707	03/01/2025	423,35	0,01133
332	10/07/2023	331,83	-0,01611	708	06/01/2025	427,85	0,01057
333	11/07/2023	332,47	0,00193	709	07/01/2025	422,37	-0,01289
334	12/07/2023	337,20	0,01413	710	08/01/2025	424,56	0,00517
348	01/08/2023	336,34	0,00125	724	30/01/2025	414,99	-0,06380
349	02/08/2023	327,5	-0,02663	725	31/01/2025	415,06	0,00017
350	03/08/2023	326,66	-0,00257	726	03/02/2025	410,92	-0,01002
351	04/08/2023	327,78	0,00342	727	04/02/2025	412,37	0,00352
352	07/08/2023	330,11	0,00708	728	05/02/2025	413,29	0,00223
353	08/08/2023	326,05	-0,01238	729	06/02/2025	415,82	0,00610
354	09/08/2023	322,23	-0,01179	730	07/02/2025	409,75	-0,01471
355	10/08/2023	322,93	0,00217	731	10/02/2025	412,22	0,00601
356	11/08/2023	321,01	-0,00596	732	11/02/2025	411,44	-0,00189
357	14/08/2023	324,04	0,00939	733	12/02/2025	409,04	-0,00585
358	15/08/2023	321,86	-0,00675	734	13/02/2025	410,54	0,00366
359	16/08/2023	320,4	-0,00455	735	14/02/2025	408,43	-0,00515
360	17/08/2023	316,88	-0,01105	736	18/02/2025	409,64	0,00296
361	18/08/2023	316,48	-0,00126	737	19/02/2025	414,77	0,01245
362	21/08/2023	321,88	0,01692	738	20/02/2025	416,13	0,00327
363	22/08/2023	322,46	0,00180	739	21/02/2025	408,21	-0,01922

t	Tanggal	Harga Saham	Return	t	Tanggal	Harga Saham	Return
364	23/08/2023	327	0,01398	740	24/02/2025	404	-0,01037
365	24/08/2023	319,97	-0,02173	741	25/02/2025	397,9	-0,01521
366	25/08/2023	322,98	0,00936	742	26/02/2025	399,73	0,00459
367	28/08/2023	323,7	0,00223	743	27/02/2025	392,53	-0,01818
368	29/08/2023	328,41	0,01445	744	28/02/2025	396,99	0,01130
369	30/08/2023	328,79	0,00116	745	03/03/2025	388,49	-0,02164
370	31/08/2023	327,76	-0,00314	746	04/03/2025	388,61	0,00031
371	01/09/2023	328,66	0,00274	747	05/03/2025	401,02	0,03144
372	05/09/2023	333,55	0,01477	748	06/03/2025	396,89	-0,01035
373	06/09/2023	332,88	-0,00201	749	07/03/2025	393,31	-0,00906
374	07/09/2023	329,91	-0,00896	750	10/03/2025	380,16	-0,03401
375	08/09/2023	334,27	0,01313	751	11/03/2025	380,45	0,00076
376	11/09/2023	337,94	0,01092				

Lampiran 2. Nilai residual kuadrat $\varepsilon_{(t-i)}^2$, nilai variansi $\sigma_{(t-i)}^2$, nilai volatilitas model TGARCH(1,1) σ_t^2 , dan nilai volatilitas annual model TGARCH(1,1) $\sigma_t^2 \times \sqrt{252}$

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
1				
2				
3				
4	$2,94 \times 10^{-4}$	0,000376	0,019379	0,307636
5	$1,02 \times 10^{-3}$	0,000372	0,019285	0,306147
6	$8,38 \times 10^{-4}$	0,000355	0,018834	0,298973
7	$3,99 \times 10^{-5}$	0,000357	0,018899	0,300012
8	$2,19 \times 10^{-4}$	0,000358	0,018927	0,300455
9	$5,42 \times 10^{-4}$	0,000362	0,019021	0,301954
10	$8,98 \times 10^{-6}$	0,000353	0,018801	0,298455
11	$3,69 \times 10^{-4}$	0,000355	0,018848	0,299208
12	$3,6645 \times 10^{-4}$	0,000350	0,018716	0,297103
13	$3,4960 \times 10^{-5}$	0,000349	0,018673	0,296417
14	$2,0347 \times 10^{-4}$	0,000350	0,018720	0,297165
15	$1,0535 \times 10^{-6}$	0,000354	0,018811	0,298610
16	$3,6971 \times 10^{-4}$	0,000356	0,018858	0,299356
17	$1,9866 \times 10^{-4}$	0,000354	0,018821	0,298767
18	$1,2380 \times 10^{-3}$	0,000357	0,018899	0,300010
19	$8,1399 \times 10^{-6}$	0,000368	0,019171	0,304330
20	$2,3302 \times 10^{-4}$	0,000369	0,019207	0,304897
21	$1,7525 \times 10^{-3}$	0,000374	0,019352	0,307197
22	$1,8142 \times 10^{-4}$	0,000390	0,019752	0,313560
23	$2,4931 \times 10^{-4}$	0,000393	0,019819	0,314612
24	$7,7305 \times 10^{-4}$	0,000389	0,019728	0,313175
25	$1,5029 \times 10^{-6}$	0,000399	0,019965	0,316934
26	$2,2504 \times 10^{-4}$	0,000400	0,020006	0,317590
27	$1,8675 \times 10^{-5}$	0,000397	0,019919	0,316211
28	$3,7457 \times 10^{-4}$	0,000399	0,019965	0,316936

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
29	$5,9913 \times 10^{-4}$	0,000403	0,020084	0,318819
30	$4,8249 \times 10^{-4}$	0,000410	0,020247	0,321411
31	$1,4952 \times 10^{-3}$	0,000403	0,020085	0,318844
32	$2,1819 \times 10^{-3}$	0,000419	0,020473	0,324997
33	$4,2437 \times 10^{-4}$	0,000376	0,019382	0,307679
34	$1,4393 \times 10^{-3}$	0,000368	0,019179	0,304459
35	$5,1785 \times 10^{-4}$	0,000383	0,019558	0,310469
36	$7,9015 \times 10^{-5}$	0,000371	0,019270	0,305894
37	$8,4513 \times 10^{-4}$	0,000375	0,019360	0,307336
38	$1,9526 \times 10^{-3}$	0,000362	0,019025	0,302017
39	$7,2036 \times 10^{-5}$	0,000378	0,019441	0,308614
40	$1,7270 \times 10^{-3}$	0,000380	0,019499	0,309536
41	$3,3410 \times 10^{-4}$	0,000397	0,019923	0,316264
42	$1,4644 \times 10^{-3}$	0,000396	0,019888	0,315713
43	$3,4013 \times 10^{-4}$	0,000407	0,020181	0,320368
44	$2,5885 \times 10^{-4}$	0,000411	0,020284	0,321995
45	$1,1605 \times 10^{-6}$	0,000405	0,020132	0,319588
46	$3,2116 \times 10^{-4}$	0,000407	0,020185	0,320419
47	$2,1575 \times 10^{-3}$	0,000401	0,020015	0,317731
48	$3,1217 \times 10^{-5}$	0,000419	0,020468	0,324926
49	$1,8694 \times 10^{-5}$	0,000421	0,020521	0,325765
50	$9,4626 \times 10^{-4}$	0,000424	0,020589	0,326838
51	$1,6431 \times 10^{-5}$	0,000411	0,020267	0,321729
52	$1,7098 \times 10^{-4}$	0,000413	0,020318	0,322535
53	$1,4800 \times 10^{-4}$	0,000409	0,020235	0,321219
54	$8,8582 \times 10^{-4}$	0,000409	0,020223	0,321036
55	$1,8571 \times 10^{-5}$	0,000400	0,020005	0,317575
56	$2,6783 \times 10^{-5}$	0,000402	0,020058	0,318411
57	$4,8853 \times 10^{-5}$	0,000403	0,020086	0,318858
58	$2,0572 \times 10^{-4}$	0,000404	0,020107	0,319191
59	$3,4076 \times 10^{-5}$	0,000409	0,020236	0,321235
60	$1,9755 \times 10^{-4}$	0,000412	0,020292	0,322130
61	$6,9268 \times 10^{-5}$	0,000410	0,020250	0,321456

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
62	$3,9392 \times 10^{-4}$	0,000413	0,020311	0,322432
63	$2,2589 \times 10^{-3}$	0,000418	0,020443	0,324516
64	$2,0389 \times 10^{-3}$	0,000438	0,020920	0,332102
65	$1,4065 \times 10^{-5}$	0,000458	0,021396	0,339643
66	$7,2029 \times 10^{-4}$	0,000460	0,021442	0,340377
67	$7,8022 \times 10^{-4}$	0,000449	0,021181	0,336238
68	$1,2511 \times 10^{-4}$	0,000455	0,021337	0,338715
69	$4,8654 \times 10^{-4}$	0,000453	0,021280	0,337814
70	$1,7313 \times 10^{-9}$	0,000447	0,021141	0,335609
71	$4,9497 \times 10^{-4}$	0,000449	0,021200	0,336537
72	$1,2570 \times 10^{-3}$	0,000439	0,020955	0,332656
73	$7,0844 \times 10^{-5}$	0,000416	0,020390	0,323684
74	$8,7459 \times 10^{-4}$	0,000419	0,020459	0,324771
75	$1,7320 \times 10^{-4}$	0,000429	0,020706	0,328696
76	$1,8052 \times 10^{-4}$	0,000428	0,020687	0,328395
77	$1,1330 \times 10^{-4}$	0,000432	0,020794	0,330101
78	$1,3710 \times 10^{-4}$	0,000432	0,020781	0,329893
79	$2,0068 \times 10^{-4}$	0,000430	0,020739	0,329218
80	$7,5226 \times 10^{-5}$	0,000429	0,020708	0,328733
81	$7,3658 \times 10^{-7}$	0,000430	0,020728	0,329047
82	$1,3453 \times 10^{-4}$	0,000432	0,020781	0,329883
83	$1,7186 \times 10^{-3}$	0,000435	0,020857	0,331091
84	$3,5368 \times 10^{-5}$	0,000452	0,021259	0,337472
85	$8,1056 \times 10^{-6}$	0,000455	0,021319	0,338436
86	$9,5586 \times 10^{-5}$	0,000457	0,021372	0,339266
87	$1,0277 \times 10^{-4}$	0,000457	0,021375	0,339314
88	$4,3723 \times 10^{-4}$	0,000459	0,021436	0,340279
89	$1,0005 \times 10^{-4}$	0,000453	0,021276	0,337754
90	$1,4487 \times 10^{-4}$	0,000454	0,021300	0,338131
91	$2,8598 \times 10^{-4}$	0,000454	0,021309	0,338276
92	$1,9740 \times 10^{-5}$	0,000458	0,021401	0,339737
93	$8,4237 \times 10^{-4}$	0,000460	0,021459	0,340653
94	$4,1981 \times 10^{-3}$	0,000470	0,021685	0,344237

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
95	$7,2489 \times 10^{-4}$	0,000401	0,020014	0,317715
96	$4,7999 \times 10^{-4}$	0,000387	0,019683	0,312461
97	$9,4111 \times 10^{-5}$	0,000379	0,019466	0,309017
98	$5,1204 \times 10^{-5}$	0,000381	0,019520	0,309872
99	$6,2651 \times 10^{-4}$	0,000385	0,019612	0,311337
100	$5,2426 \times 10^{-5}$	0,000377	0,019426	0,308381
101	$6,7297 \times 10^{-6}$	0,000379	0,019467	0,309026
102	$5,2908 \times 10^{-5}$	0,000381	0,019510	0,309713
103	$3,5678 \times 10^{-5}$	0,000383	0,019569	0,310655
104	$6,1900 \times 10^{-4}$	0,000385	0,019614	0,311361
105	$4,8889 \times 10^{-5}$	0,000379	0,019457	0,308872
106	$3,5713 \times 10^{-4}$	0,000381	0,019511	0,309721
107	$2,3864 \times 10^{-5}$	0,000374	0,019329	0,306836
108	$1,7172 \times 10^{-5}$	0,000375	0,019367	0,307443
109	$3,0230 \times 10^{-5}$	0,000377	0,019420	0,308289
110	$6,6974 \times 10^{-5}$	0,000379	0,019473	0,309131
111	$2,3313 \times 10^{-4}$	0,000381	0,019524	0,309933
112	$8,6314 \times 10^{-4}$	0,000385	0,019615	0,311382
113	$5,7483 \times 10^{-5}$	0,000395	0,019866	0,315361
114	$1,3985 \times 10^{-5}$	0,000397	0,019925	0,316300
115	$8,9376 \times 10^{-5}$	0,000399	0,019979	0,317161
116	$1,5582 \times 10^{-3}$	0,000399	0,019969	0,317004
117	$1,4124 \times 10^{-4}$	0,000412	0,020306	0,322354
118	$1,3669 \times 10^{-4}$	0,000415	0,020378	0,323496
119	$4,2231 \times 10^{-5}$	0,000419	0,020463	0,324846
120	$4,1270 \times 10^{-5}$	0,000421	0,020529	0,325886
121	$2,9226 \times 10^{-4}$	0,000424	0,020582	0,326724
122	$1,7036 \times 10^{-4}$	0,000428	0,020678	0,328250
123	$3,1447 \times 10^{-4}$	0,000431	0,020759	0,329532
124	$4,0611 \times 10^{-7}$	0,000428	0,020699	0,328579
125	$5,7199 \times 10^{-4}$	0,000431	0,020750	0,329395
126	$6,6273 \times 10^{-5}$	0,000420	0,020487	0,325219
127	$2,8967 \times 10^{-3}$	0,000420	0,020489	0,325245

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
128	$1,1172 \times 10^{-6}$	0,000448	0,021156	0,335848
129	$8,8913 \times 10^{-4}$	0,000450	0,021209	0,336690
130	$1,4011 \times 10^{-5}$	0,000461	0,021470	0,340824
131	$1,6535 \times 10^{-5}$	0,000463	0,021526	0,341712
132	$7,0271 \times 10^{-5}$	0,000466	0,021580	0,342564
133	$2,7690 \times 10^{-4}$	0,000468	0,021645	0,343601
134	$6,4897 \times 10^{-5}$	0,000473	0,021743	0,345158
135	$2,1579 \times 10^{-4}$	0,000474	0,021778	0,345710
136	$1,7876 \times 10^{-6}$	0,000478	0,021867	0,347135
137	$4,4841 \times 10^{-5}$	0,000481	0,021922	0,348002
138	$4,1159 \times 10^{-4}$	0,000483	0,021980	0,348927
139	$2,6138 \times 10^{-4}$	0,000479	0,021892	0,347517
140	$3,1242 \times 10^{-4}$	0,000484	0,021989	0,349066
141	$9,0474 \times 10^{-4}$	0,000488	0,022100	0,350829
142	$1,2029 \times 10^{-3}$	0,000471	0,021709	0,344619
143	$7,8817 \times 10^{-6}$	0,000456	0,021357	0,339025
144	$4,5532 \times 10^{-5}$	0,000458	0,021401	0,339730
145	$2,7525 \times 10^{-3}$	0,000460	0,021458	0,340627
146	$4,9197 \times 10^{-4}$	0,000485	0,022031	0,349729
147	$4,6676 \times 10^{-4}$	0,000494	0,022224	0,352793
148	$1,5114 \times 10^{-7}$	0,000501	0,022377	0,355217
149	$1,1156 \times 10^{-3}$	0,000503	0,022431	0,356086
150	$5,2153 \times 10^{-4}$	0,000476	0,021817	0,346333
151	$1,4594 \times 10^{-3}$	0,000483	0,021968	0,348732
152	$1,8871 \times 10^{-5}$	0,000455	0,021341	0,338771
153	$3,1321 \times 10^{-5}$	0,000458	0,021392	0,339591
154	$4,3257 \times 10^{-6}$	0,000460	0,021454	0,340571
155	$6,7890 \times 10^{-4}$	0,000463	0,021507	0,341417
156	$4,3723 \times 10^{-4}$	0,000454	0,021318	0,338408
157	$2,8607 \times 10^{-4}$	0,000450	0,021205	0,336618
158	$6,2798 \times 10^{-3}$	0,000447	0,021134	0,335493
159	$3,9550 \times 10^{-4}$	0,000496	0,022274	0,353583
160	$1,0931 \times 10^{-3}$	0,000502	0,022411	0,355764

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
161	$2,0625 \times 10^{-4}$	0,000489	0,022112	0,351015
162	$3,4500 \times 10^{-4}$	0,000494	0,022234	0,352954
163	$1,3311 \times 10^{-3}$	0,000497	0,022301	0,354017
164	$8,9954 \times 10^{-4}$	0,000509	0,022551	0,357986
165	$8,8831 \times 10^{-4}$	0,000521	0,022820	0,362249
166	$7,2749 \times 10^{-4}$	0,000512	0,022624	0,359150
167	$4,6013 \times 10^{-5}$	0,000498	0,022307	0,354108
168	$3,4578 \times 10^{-4}$	0,000497	0,022285	0,353758
169	$6,3898 \times 10^{-3}$	0,000501	0,022379	0,355260
170	$3,1800 \times 10^{-4}$	0,000400	0,020007	0,317608
171	$2,5105 \times 10^{-4}$	0,000400	0,019988	0,317303
172	$6,1706 \times 10^{-7}$	0,000403	0,020076	0,318701
173	$1,8067 \times 10^{-6}$	0,000404	0,020092	0,318947
174	$1,7883 \times 10^{-6}$	0,000406	0,020152	0,319905
175	$1,3309 \times 10^{-7}$	0,000409	0,020211	0,320847
176	$5,1532 \times 10^{-6}$	0,000411	0,020262	0,321651
177	$1,7932 \times 10^{-4}$	0,000411	0,020280	0,321939
178	$1,0010 \times 10^{-4}$	0,000411	0,020263	0,321659
179	$2,7318 \times 10^{-6}$	0,000412	0,020288	0,322057
180	$5,4895 \times 10^{-4}$	0,000414	0,020339	0,322865
181	$3,1032 \times 10^{-5}$	0,000419	0,020473	0,324991
182	$3,3250 \times 10^{-3}$	0,000422	0,020531	0,325912
183	$1,9745 \times 10^{-7}$	0,000365	0,019117	0,303478
184	$1,6795 \times 10^{-5}$	0,000367	0,019167	0,304262
185	$3,5461 \times 10^{-4}$	0,000368	0,019175	0,304399
186	$3,8164 \times 10^{-4}$	0,000372	0,019281	0,306073
187	$2,8657 \times 10^{-5}$	0,000379	0,019463	0,308966
188	$1,4047 \times 10^{-4}$	0,000381	0,019526	0,309971
189	$8,1154 \times 10^{-5}$	0,000380	0,019504	0,309615
190	$8,5525 \times 10^{-4}$	0,000382	0,019557	0,310460
191	$2,8168 \times 10^{-4}$	0,000367	0,019156	0,304085
192	$2,0395 \times 10^{-5}$	0,000364	0,019088	0,303012
193	$1,0470 \times 10^{-3}$	0,000366	0,019134	0,303745

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
194	$2,7525 \times 10^{-4}$	0,000375	0,019364	0,307395
195	$4,3263 \times 10^{-4}$	0,000379	0,019478	0,309203
196	$2,7089 \times 10^{-5}$	0,000386	0,019634	0,311683
197	$6,2701 \times 10^{-5}$	0,000387	0,019681	0,312426
198	$5,9619 \times 10^{-4}$	0,000387	0,019661	0,312112
199	$8,8939 \times 10^{-8}$	0,000393	0,019815	0,314553
200	$6,4233 \times 10^{-5}$	0,000394	0,019861	0,315283
201	$1,2672 \times 10^{-4}$	0,000398	0,019939	0,316518
202	$6,9342 \times 10^{-4}$	0,000401	0,020018	0,317770
203	$2,6688 \times 10^{-5}$	0,000387	0,019675	0,312327
204	$3,0625 \times 10^{-7}$	0,000389	0,019727	0,313157
205	$2,0925 \times 10^{-3}$	0,000391	0,019776	0,313941
206	$9,2214 \times 10^{-4}$	0,000410	0,020247	0,321411
207	$4,6403 \times 10^{-5}$	0,000420	0,020506	0,325519
208	$8,1532 \times 10^{-5}$	0,000422	0,020533	0,325958
209	$3,9997 \times 10^{-5}$	0,000423	0,020559	0,326362
210	$9,4925 \times 10^{-4}$	0,000422	0,020553	0,326268
211	$1,4534 \times 10^{-4}$	0,000404	0,020093	0,318959
212	$3,7381 \times 10^{-5}$	0,000403	0,020083	0,318804
213	$2,4956 \times 10^{-5}$	0,000405	0,020128	0,319522
214	$2,9220 \times 10^{-4}$	0,000407	0,020162	0,320063
215	$2,9697 \times 10^{-4}$	0,000411	0,020282	0,321960
216	$1,1828 \times 10^{-3}$	0,000416	0,020392	0,323712
217	$8,8627 \times 10^{-5}$	0,000398	0,019950	0,316689
218	$2,9651 \times 10^{-7}$	0,000399	0,019963	0,316910
219	$3,9347 \times 10^{-5}$	0,000400	0,020011	0,317663
220	$9,9344 \times 10^{-4}$	0,000403	0,020063	0,318490
221	$2,7344 \times 10^{-7}$	0,000390	0,019754	0,313582
222	$3,6391 \times 10^{-4}$	0,000392	0,019804	0,314383
223	$3,6644 \times 10^{-4}$	0,000397	0,019925	0,316295
224	$4,3450 \times 10^{-4}$	0,000389	0,019718	0,313015
225	$2,1914 \times 10^{-3}$	0,000386	0,019637	0,311732
226	$4,2659 \times 10^{-4}$	0,000349	0,018683	0,296579

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
227	$1,3776 \times 10^{-5}$	0,000354	0,018810	0,298604
228	$1,6105 \times 10^{-3}$	0,000356	0,018858	0,299360
229	$4,7962 \times 10^{-7}$	0,000331	0,018199	0,288897
230	$9,7808 \times 10^{-5}$	0,000333	0,018257	0,289826
231	$3,3090 \times 10^{-6}$	0,000335	0,018314	0,290731
232	$9,4496 \times 10^{-4}$	0,000337	0,018359	0,291434
233	$1,6026 \times 10^{-5}$	0,000324	0,018011	0,285914
234	$6,8776 \times 10^{-5}$	0,000326	0,018056	0,286637
235	$7,4333 \times 10^{-4}$	0,000328	0,018112	0,287520
236	$2,5817 \times 10^{-4}$	0,000334	0,018282	0,290217
237	$5,6445 \times 10^{-4}$	0,000339	0,018406	0,292189
238	$3,4307 \times 10^{-5}$	0,000346	0,018612	0,295454
239	$1,0026 \times 10^{-4}$	0,000348	0,018667	0,296325
240	$4,7537 \times 10^{-4}$	0,000346	0,018607	0,295378
241	$6,1023 \times 10^{-6}$	0,000351	0,018747	0,297599
242	$1,6499 \times 10^{-5}$	0,000353	0,018788	0,298243
243	$1,6577 \times 10^{-4}$	0,000355	0,018842	0,299106
244	$3,3457 \times 10^{-4}$	0,000358	0,018927	0,300454
245	$2,6802 \times 10^{-4}$	0,000352	0,018762	0,297832
246	$5,7845 \times 10^{-5}$	0,000349	0,018672	0,296416
247	$9,3590 \times 10^{-5}$	0,000349	0,018693	0,296737
248	$1,2628 \times 10^{-6}$	0,000352	0,018757	0,297750
249	$3,6157 \times 10^{-5}$	0,000354	0,018804	0,298511
250	$2,1529 \times 10^{-4}$	0,000356	0,018864	0,299463
251	$3,9832 \times 10^{-4}$	0,000360	0,018966	0,301075
252	$7,1167 \times 10^{-4}$	0,000353	0,018781	0,298135
253	$3,7926 \times 10^{-4}$	0,000341	0,018471	0,293216
254	$1,7483 \times 10^{-3}$	0,000336	0,018320	0,290822
255	$2,1250 \times 10^{-4}$	0,000303	0,017396	0,276160
256	$5,0145 \times 10^{-4}$	0,000301	0,017342	0,275297
257	$3,9349 \times 10^{-5}$	0,000307	0,017522	0,278150
258	$3,0132 \times 10^{-5}$	0,000308	0,017550	0,278604
259	$4,0584 \times 10^{-4}$	0,000310	0,017614	0,279606

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
260	$1,0787 \times 10^{-4}$	0,000305	0,017465	0,277250
261	$1,6495 \times 10^{-4}$	0,000304	0,017424	0,276599
262	$2,0299 \times 10^{-5}$	0,000306	0,017503	0,277847
263	$3,6099 \times 10^{-4}$	0,000308	0,017551	0,278617
264	$1,5900 \times 10^{-4}$	0,000305	0,017465	0,277242
265	$2,7909 \times 10^{-4}$	0,000304	0,017437	0,276802
266	$7,8967 \times 10^{-6}$	0,000299	0,017292	0,274500
267	$2,6147 \times 10^{-6}$	0,000301	0,017336	0,275199
268	$1,0585 \times 10^{-4}$	0,000302	0,017380	0,275899
269	$6,7510 \times 10^{-4}$	0,000305	0,017461	0,277185
270	$6,4774 \times 10^{-5}$	0,000295	0,017179	0,272710
271	$4,2525 \times 10^{-4}$	0,000297	0,017232	0,273554
272	$7,2413 \times 10^{-9}$	0,000302	0,017371	0,275752
273	$5,0044 \times 10^{-4}$	0,000303	0,017414	0,276439
274	$1,7648 \times 10^{-4}$	0,000299	0,017284	0,274374
275	$1,1788 \times 10^{-4}$	0,000302	0,017366	0,275669
276	$8,6964 \times 10^{-6}$	0,000300	0,017307	0,274735
277	$5,2184 \times 10^{-6}$	0,000301	0,017351	0,275437
278	$9,3459 \times 10^{-5}$	0,000303	0,017396	0,276151
279	$1,2970 \times 10^{-9}$	0,000305	0,017460	0,277163
280	$2,5542 \times 10^{-4}$	0,000306	0,017504	0,277866
281	$4,8392 \times 10^{-4}$	0,000309	0,017592	0,279265
282	$4,4670 \times 10^{-3}$	0,000316	0,017767	0,282041
283	$1,1055 \times 10^{-3}$	0,000231	0,015203	0,241341
284	$1,4835 \times 10^{-4}$	0,000214	0,014638	0,232372
285	$1,0132 \times 10^{-5}$	0,000211	0,014514	0,230403
286	$2,4306 \times 10^{-6}$	0,000212	0,014552	0,231000
287	$9,5994 \times 10^{-6}$	0,000213	0,014593	0,231659
288	$1,7883 \times 10^{-5}$	0,000215	0,014651	0,232581
289	$2,7851 \times 10^{-4}$	0,000215	0,014680	0,233035
290	$2,5800 \times 10^{-5}$	0,000209	0,014446	0,229328
291	$2,3220 \times 10^{-5}$	0,000210	0,014491	0,230040
292	$2,9124 \times 10^{-4}$	0,000211	0,014539	0,230799

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
293	$4,4174 \times 10^{-5}$	0,000208	0,014424	0,228969
294	$7,4226 \times 10^{-6}$	0,000210	0,014476	0,229796
295	$7,2917 \times 10^{-7}$	0,000211	0,014514	0,230398
296	$6,1585 \times 10^{-5}$	0,000212	0,014549	0,230963
297	$4,9235 \times 10^{-5}$	0,000212	0,014568	0,231262
298	$2,3810 \times 10^{-4}$	0,000212	0,014576	0,231389
299	$5,4234 \times 10^{-10}$	0,000209	0,014443	0,229280
300	$1,0910 \times 10^{-4}$	0,000210	0,014480	0,229859
301	$3,4449 \times 10^{-4}$	0,000209	0,014462	0,229570
302	$1,2314 \times 10^{-5}$	0,000213	0,014606	0,231863
303	$1,2861 \times 10^{-3}$	0,000215	0,014650	0,232558
304	$5,3200 \times 10^{-4}$	0,000190	0,013802	0,219099
305	$9,3358 \times 10^{-6}$	0,000183	0,013526	0,214723
306	$4,3727 \times 10^{-5}$	0,000184	0,013562	0,215287
307	$1,5681 \times 10^{-4}$	0,000185	0,013607	0,216000
308	$8,5852 \times 10^{-5}$	0,000184	0,013574	0,215487
309	$6,3801 \times 10^{-6}$	0,000185	0,013592	0,215761
310	$3,4436 \times 10^{-5}$	0,000185	0,013617	0,216171
311	$9,7357 \times 10^{-4}$	0,000186	0,013656	0,216781
312	$2,2521 \times 10^{-5}$	0,000196	0,013987	0,222036
313	$7,8898 \times 10^{-6}$	0,000197	0,014021	0,222572
314	$2,5494 \times 10^{-4}$	0,000198	0,014056	0,223135
315	$4,8280 \times 10^{-5}$	0,000193	0,013887	0,220445
316	$1,2010 \times 10^{-4}$	0,000192	0,013841	0,219712
317	$9,9036 \times 10^{-4}$	0,000191	0,013807	0,219173
318	$1,9707 \times 10^{-4}$	0,000175	0,013219	0,209850
319	$1,3002 \times 10^{-4}$	0,000178	0,013337	0,211718
320	$1,9506 \times 10^{-4}$	0,000179	0,013398	0,212681
321	$3,1328 \times 10^{-4}$	0,000182	0,013493	0,214202
322	$2,1164 \times 10^{-4}$	0,000179	0,013385	0,212478
323	$3,4040 \times 10^{-4}$	0,000182	0,013491	0,214155
324	$2,4626 \times 10^{-4}$	0,000185	0,013601	0,215903
325	$1,6372 \times 10^{-5}$	0,000180	0,013400	0,212719

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
326	$4,7832 \times 10^{-6}$	0,000181	0,013435	0,213276
327	$2,7372 \times 10^{-4}$	0,000181	0,013472	0,213857
328	$5,1688 \times 10^{-5}$	0,000176	0,013252	0,210374
329	$2,5021 \times 10^{-6}$	0,000177	0,013301	0,211145
330	$7,1346 \times 10^{-5}$	0,000178	0,013336	0,211699
331	$1,1639 \times 10^{-4}$	0,000178	0,013327	0,211563
332	$2,7259 \times 10^{-4}$	0,000180	0,013404	0,212789
333	$1,5561 \times 10^{-6}$	0,000182	0,013504	0,214370
334	$1,6663 \times 10^{-4}$	0,000183	0,013539	0,214921
335	$2,7710 \times 10^{-4}$	0,000182	0,013483	0,214034
336	$6,8174 \times 10^{-5}$	0,000178	0,013331	0,211615
337	$8,9894 \times 10^{-6}$	0,000176	0,013281	0,210834
338	$1,5674 \times 10^{-3}$	0,000177	0,013306	0,211231
339	$1,0712 \times 10^{-4}$	0,000151	0,012282	0,194965
340	$4,4112 \times 10^{-4}$	0,000153	0,012373	0,196412
341	$1,0616 \times 10^{-4}$	0,000157	0,012535	0,198986
342	$1,2185 \times 10^{-5}$	0,000159	0,012593	0,199908
343	$2,4572 \times 10^{-4}$	0,000159	0,012626	0,200439
344	$1,3986 \times 10^{-3}$	0,000156	0,012499	0,198413
345	$4,7890 \times 10^{-4}$	0,000167	0,012929	0,205240
346	$3,9913 \times 10^{-4}$	0,000171	0,013064	0,207386
347	$6,0461 \times 10^{-5}$	0,000165	0,012865	0,204220
348	$1,9647 \times 10^{-6}$	0,000168	0,012945	0,205500
349	$7,5586 \times 10^{-4}$	0,000168	0,012962	0,205763
350	$8,6181 \times 10^{-6}$	0,000173	0,013157	0,208858
351	$7,9662 \times 10^{-7}$	0,000174	0,013197	0,209499
352	$5,7155 \times 10^{-5}$	0,000175	0,013233	0,210071
353	$1,8011 \times 10^{-4}$	0,000175	0,013238	0,210148
354	$1,2153 \times 10^{-4}$	0,000177	0,013294	0,211037
355	$1,0401 \times 10^{-9}$	0,000178	0,013358	0,212057
356	$3,3092 \times 10^{-5}$	0,000179	0,013394	0,212621
357	$6,6413 \times 10^{-5}$	0,000181	0,013455	0,213594
358	$4,1421 \times 10^{-5}$	0,000180	0,013409	0,212854

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
359	$2,2953 \times 10^{-5}$	0,000181	0,013449	0,213503
360	$1,3155 \times 10^{-4}$	0,000182	0,013490	0,214144
361	$3,8484 \times 10^{-6}$	0,000184	0,013578	0,215538
362	$2,5582 \times 10^{-4}$	0,000185	0,013615	0,216139
363	$4,4857 \times 10^{-6}$	0,000181	0,013451	0,213532
364	$2,1796 \times 10^{-4}$	0,000182	0,013480	0,213985
365	$4,5076 \times 10^{-4}$	0,000178	0,013341	0,211777
366	$1,0149 \times 10^{-4}$	0,000183	0,013517	0,214579
367	$7,3854 \times 10^{-7}$	0,000182	0,013498	0,214267
368	$2,5787 \times 10^{-4}$	0,000183	0,013533	0,214826
369	$2,8060 \times 10^{-7}$	0,000180	0,013411	0,212890
370	$7,9537 \times 10^{-7}$	0,000181	0,013439	0,213342
371	$2,9114 \times 10^{-6}$	0,000182	0,013475	0,213915
372	$2,6088 \times 10^{-4}$	0,000182	0,013508	0,214436
373	$5,4535 \times 10^{-6}$	0,000180	0,013420	0,213037
374	$4,9081 \times 10^{-5}$	0,000181	0,013456	0,213604
375	$1,4210 \times 10^{-4}$	0,000182	0,013504	0,214368
376	$1,4533 \times 10^{-4}$	0,000180	0,013421	0,213052
377	$3,2653 \times 10^{-4}$	0,000180	0,013403	0,212764
378	$1,8652 \times 10^{-4}$	0,000183	0,013532	0,214816
379	$4,5081 \times 10^{-6}$	0,000180	0,013408	0,212849
380	$5,4397 \times 10^{-4}$	0,000180	0,013412	0,212912
381	$2,4081 \times 10^{-5}$	0,000186	0,013650	0,216689
382	$3,2799 \times 10^{-6}$	0,000187	0,013688	0,217291
383	$6,3355 \times 10^{-4}$	0,000188	0,013726	0,217896
384	$2,2503 \times 10^{-5}$	0,000195	0,013954	0,221508
385	$1,0345 \times 10^{-4}$	0,000196	0,013994	0,222151
386	$1,7923 \times 10^{-6}$	0,000198	0,014055	0,223113
387	$3,5551 \times 10^{-4}$	0,000199	0,014091	0,223687
388	$4,1173 \times 10^{-6}$	0,000202	0,014213	0,225619
389	$2,6231 \times 10^{-7}$	0,000203	0,014246	0,226141
390	$5,7731 \times 10^{-5}$	0,000204	0,014281	0,226706
391	$3,2110 \times 10^{-4}$	0,000204	0,014292	0,226884

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
392	$6,0330 \times 10^{-4}$	0,000198	0,014063	0,223247
393	$2,9358 \times 10^{-4}$	0,000204	0,014278	0,226649
394	$8,2047 \times 10^{-7}$	0,000199	0,014090	0,223674
395	$6,6060 \times 10^{-4}$	0,000200	0,014127	0,224266
396	$6,4924 \times 10^{-5}$	0,000189	0,013758	0,218402
397	$2,4782 \times 10^{-6}$	0,000188	0,013722	0,217823
398	$1,4337 \times 10^{-4}$	0,000189	0,013758	0,218402
399	$4,7655 \times 10^{-6}$	0,000188	0,013697	0,217432
400	$1,0374 \times 10^{-4}$	0,000189	0,013743	0,218168
401	$2,2706 \times 10^{-4}$	0,000191	0,013808	0,219197
402	$4,1919 \times 10^{-6}$	0,000187	0,013670	0,217001
403	$2,0907 \times 10^{-5}$	0,000188	0,013707	0,217594
404	$7,6884 \times 10^{-6}$	0,000189	0,013752	0,218310
405	$1,8208 \times 10^{-4}$	0,000190	0,013778	0,218716
406	$5,2639 \times 10^{-5}$	0,000193	0,013877	0,220292
407	$1,1595 \times 10^{-5}$	0,000192	0,013872	0,220216
408	$9,3597 \times 10^{-4}$	0,000193	0,013903	0,220699
409	$1,3902 \times 10^{-3}$	0,000176	0,013278	0,210790
410	$4,8500 \times 10^{-5}$	0,000188	0,013716	0,217728
411	$3,9328 \times 10^{-4}$	0,000188	0,013711	0,217662
412	$2,4434 \times 10^{-5}$	0,000182	0,013505	0,214388
413	$5,2302 \times 10^{-4}$	0,000183	0,013540	0,214939
414	$7,9340 \times 10^{-5}$	0,000170	0,013047	0,207122
415	$1,9168 \times 10^{-4}$	0,000169	0,013019	0,206672
416	$1,5420 \times 10^{-4}$	0,000167	0,012932	0,205297
417	$1,5582 \times 10^{-4}$	0,000166	0,012902	0,204817
418	$8,4258 \times 10^{-5}$	0,000165	0,012831	0,203689
419	$3,2021 \times 10^{-5}$	0,000164	0,012799	0,203177
420	$6,5305 \times 10^{-4}$	0,000165	0,012843	0,203882
421	$5,6458 \times 10^{-5}$	0,000155	0,012452	0,197664
422	$1,3854 \times 10^{-4}$	0,000157	0,012512	0,198625
423	$5,0740 \times 10^{-6}$	0,000155	0,012441	0,197496
424	$3,7829 \times 10^{-4}$	0,000156	0,012474	0,198023

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
425	$3,0638 \times 10^{-4}$	0,000151	0,012286	0,195042
426	$5,0377 \times 10^{-4}$	0,000154	0,012419	0,197142
427	$1,7738 \times 10^{-4}$	0,000146	0,012096	0,192026
428	$2,4500 \times 10^{-4}$	0,000148	0,012177	0,193300
429	$1,1905 \times 10^{-5}$	0,000146	0,012073	0,191652
430	$4,1008 \times 10^{-5}$	0,000147	0,012106	0,192175
431	$7,1695 \times 10^{-5}$	0,000147	0,012128	0,192519
432	$4,9621 \times 10^{-5}$	0,000146	0,012064	0,191511
433	$2,2222 \times 10^{-6}$	0,000147	0,012129	0,192546
434	$1,0583 \times 10^{-4}$	0,000148	0,012161	0,193054
435	$2,5970 \times 10^{-4}$	0,000150	0,012246	0,194394
436	$8,1546 \times 10^{-5}$	0,000153	0,012355	0,196130
437	$1,3885 \times 10^{-4}$	0,000152	0,012337	0,195850
438	$4,5065 \times 10^{-5}$	0,000154	0,012408	0,196978
439	$4,8432 \times 10^{-5}$	0,000154	0,012406	0,196945
440	$3,6929 \times 10^{-5}$	0,000153	0,012379	0,196518
441	$5,1242 \times 10^{-5}$	0,000155	0,012433	0,197360
442	$8,4726 \times 10^{-7}$	0,000154	0,012407	0,196957
443	$5,3117 \times 10^{-4}$	0,000155	0,012440	0,197480
444	$1,6713 \times 10^{-4}$	0,000160	0,012638	0,200620
445	$1,3451 \times 10^{-5}$	0,000157	0,012548	0,199188
446	$1,0370 \times 10^{-5}$	0,000158	0,012573	0,199589
447	$6,3155 \times 10^{-5}$	0,000159	0,012602	0,200050
448	$7,8982 \times 10^{-5}$	0,000160	0,012644	0,200713
449	$2,8165 \times 10^{-6}$	0,000160	0,012631	0,200504
450	$3,3197 \times 10^{-6}$	0,000160	0,012663	0,201023
451	$5,9863 \times 10^{-6}$	0,000161	0,012697	0,201553
452	$1,8879 \times 10^{-5}$	0,000162	0,012730	0,202086
453	$1,3909 \times 10^{-6}$	0,000163	0,012754	0,202471
454	$1,6026 \times 10^{-4}$	0,000164	0,012787	0,202993
455	$3,2976 \times 10^{-6}$	0,000166	0,012884	0,204521
456	$5,3775 \times 10^{-5}$	0,000167	0,012918	0,205061
457	$1,8191 \times 10^{-6}$	0,000168	0,012972	0,205927

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
458	$3,3480 \times 10^{-4}$	0,000169	0,013007	0,206479
459	$9,7821 \times 10^{-6}$	0,000164	0,012794	0,203105
460	$3,8753 \times 10^{-4}$	0,000164	0,012818	0,203479
461	$2,8662 \times 10^{-5}$	0,000157	0,012542	0,199097
462	$1,4582 \times 10^{-4}$	0,000158	0,012552	0,199263
463	$2,4281 \times 10^{-5}$	0,000156	0,012505	0,198511
464	$2,6468 \times 10^{-9}$	0,000157	0,012520	0,198752
465	$1,2296 \times 10^{-4}$	0,000158	0,012554	0,199288
466	$1,8045 \times 10^{-4}$	0,000156	0,012486	0,198214
467	$2,1752 \times 10^{-5}$	0,000154	0,012415	0,197081
468	$5,3045 \times 10^{-5}$	0,000155	0,012455	0,197714
469	$7,9558 \times 10^{-5}$	0,000155	0,012446	0,197582
470	$5,2351 \times 10^{-5}$	0,000154	0,012423	0,197215
471	$4,0500 \times 10^{-6}$	0,000155	0,012435	0,197401
472	$2,3544 \times 10^{-4}$	0,000155	0,012469	0,197933
473	$7,1860 \times 10^{-6}$	0,000152	0,012325	0,195652
474	$6,6036 \times 10^{-4}$	0,000153	0,012361	0,196223
475	$1,9522 \times 10^{-4}$	0,000160	0,012630	0,200497
476	$3,2138 \times 10^{-4}$	0,000156	0,012495	0,198348
477	$1,5836 \times 10^{-4}$	0,000152	0,012338	0,195854
478	$1,4825 \times 10^{-8}$	0,000154	0,012421	0,197170
479	$4,0901 \times 10^{-4}$	0,000155	0,012447	0,197593
480	$1,5315 \times 10^{-6}$	0,000148	0,012181	0,193364
481	$2,6830 \times 10^{-4}$	0,000149	0,012215	0,193901
482	$1,4088 \times 10^{-4}$	0,000144	0,012016	0,190751
483	$4,2680 \times 10^{-4}$	0,000146	0,012084	0,191826
484	$3,8506 \times 10^{-5}$	0,000150	0,012267	0,194726
485	$5,7328 \times 10^{-5}$	0,000151	0,012282	0,194966
486	$4,2418 \times 10^{-5}$	0,000152	0,012348	0,196020
487	$1,6072 \times 10^{-5}$	0,000153	0,012388	0,196646
488	$4,0864 \times 10^{-6}$	0,000154	0,012421	0,197177
489	$5,1366 \times 10^{-4}$	0,000155	0,012456	0,197739
490	$7,2192 \times 10^{-6}$	0,000147	0,012141	0,192731

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
491	$3,1366 \times 10^{-5}$	0,000148	0,012175	0,193280
492	$5,1107 \times 10^{-7}$	0,000149	0,012212	0,193858
493	$8,1297 \times 10^{-7}$	0,000150	0,012244	0,194374
494	$1,9643 \times 10^{-4}$	0,000151	0,012279	0,194918
495	$2,7733 \times 10^{-5}$	0,000148	0,012173	0,193244
496	$3,4112 \times 10^{-7}$	0,000148	0,012173	0,193247
497	$8,7204 \times 10^{-4}$	0,000149	0,012205	0,193744
498	$4,5015 \times 10^{-6}$	0,000157	0,012537	0,199021
499	$2,3927 \times 10^{-4}$	0,000158	0,012575	0,199628
500	$4,2968 \times 10^{-5}$	0,000155	0,012458	0,197766
501	$1,8299 \times 10^{-5}$	0,000156	0,012503	0,198486
502	$6,7178 \times 10^{-4}$	0,000157	0,012537	0,199012
503	$8,6845 \times 10^{-9}$	0,000145	0,012054	0,191358
504	$6,6539 \times 10^{-4}$	0,000146	0,012090	0,191916
505	$4,1809 \times 10^{-4}$	0,000135	0,011598	0,184118
506	$1,7705 \times 10^{-5}$	0,000138	0,011745	0,186449
507	$6,0846 \times 10^{-5}$	0,000138	0,011767	0,186796
508	$1,2567 \times 10^{-4}$	0,000138	0,011764	0,186750
509	$8,0869 \times 10^{-5}$	0,000138	0,011750	0,186530
510	$8,9564 \times 10^{-7}$	0,000136	0,011658	0,185066
511	$2,0201 \times 10^{-4}$	0,000137	0,011688	0,185541
512	$3,8313 \times 10^{-6}$	0,000139	0,011788	0,187122
513	$4,8163 \times 10^{-6}$	0,000140	0,011829	0,187774
514	$8,4261 \times 10^{-7}$	0,000141	0,011862	0,188306
515	$6,1879 \times 10^{-5}$	0,000141	0,011894	0,188814
516	$4,1642 \times 10^{-5}$	0,000140	0,011839	0,187936
517	$8,0149 \times 10^{-6}$	0,000141	0,011890	0,188747
518	$3,7459 \times 10^{-5}$	0,000142	0,011924	0,189292
519	$3,0556 \times 10^{-4}$	0,000143	0,011972	0,190049
520	$3,6728 \times 10^{-6}$	0,000138	0,011753	0,186570
521	$2,3998 \times 10^{-5}$	0,000139	0,011786	0,187091
522	$5,3234 \times 10^{-5}$	0,000139	0,011791	0,187177
523	$1,3532 \times 10^{-4}$	0,000140	0,011839	0,187934

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
524	$2,1668 \times 10^{-4}$	0,000139	0,011791	0,187168
525	$3,5415 \times 10^{-4}$	0,000142	0,011900	0,188899
526	$9,3731 \times 10^{-10}$	0,000145	0,012050	0,191291
527	$4,7477 \times 10^{-5}$	0,000146	0,012080	0,191771
528	$3,9025 \times 10^{-4}$	0,000147	0,012141	0,192733
529	$1,8718 \times 10^{-4}$	0,000151	0,012290	0,195103
530	$5,5468 \times 10^{-6}$	0,000153	0,012371	0,196381
531	$2,4649 \times 10^{-4}$	0,000154	0,012396	0,196784
532	$1,2118 \times 10^{-5}$	0,000151	0,012272	0,194810
533	$5,6205 \times 10^{-4}$	0,000151	0,012287	0,195052
534	$2,9527 \times 10^{-4}$	0,000156	0,012473	0,198008
535	$1,1224 \times 10^{-4}$	0,000150	0,012259	0,194606
536	$1,0151 \times 10^{-3}$	0,000153	0,012356	0,196147
537	$1,4376 \times 10^{-4}$	0,000162	0,012730	0,202078
538	$4,0002 \times 10^{-5}$	0,000158	0,012585	0,199775
539	$4,9784 \times 10^{-4}$	0,000159	0,012599	0,200002
540	$3,0139 \times 10^{-4}$	0,000151	0,012275	0,194862
541	$6,3048 \times 10^{-5}$	0,000144	0,012020	0,190805
542	$1,2673 \times 10^{-5}$	0,000146	0,012069	0,191586
543	$2,1711 \times 10^{-5}$	0,000146	0,012092	0,191961
544	$4,1709 \times 10^{-5}$	0,000147	0,012123	0,192445
545	$3,7916 \times 10^{-6}$	0,000147	0,012135	0,192642
546	$5,4760 \times 10^{-5}$	0,000148	0,012168	0,193155
547	$2,4512 \times 10^{-4}$	0,000147	0,012145	0,192792
548	$1,3493 \times 10^{-5}$	0,000144	0,012015	0,190732
549	$1,2260 \times 10^{-6}$	0,000145	0,012057	0,191403
550	$1,4784 \times 10^{-4}$	0,000146	0,012089	0,191914
551	$8,6242 \times 10^{-5}$	0,000144	0,011998	0,190469
552	$2,0106 \times 10^{-5}$	0,000144	0,011985	0,190253
553	$5,4763 \times 10^{-5}$	0,000144	0,012004	0,190559
554	$5,9518 \times 10^{-5}$	0,000145	0,012051	0,191297
555	$8,3612 \times 10^{-8}$	0,000145	0,012038	0,191094
556	$3,5063 \times 10^{-6}$	0,000146	0,012070	0,191612

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
557	$1,2051 \times 10^{-3}$	0,000147	0,012105	0,192162
558	$1,5620 \times 10^{-7}$	0,000156	0,012502	0,198466
559	$4,2574 \times 10^{-5}$	0,000157	0,012535	0,198989
560	$4,2704 \times 10^{-5}$	0,000158	0,012588	0,199822
561	$2,9663 \times 10^{-4}$	0,000159	0,012599	0,200005
562	$8,9338 \times 10^{-6}$	0,000151	0,012298	0,195217
563	$2,3198 \times 10^{-6}$	0,000152	0,012322	0,195608
564	$1,0913 \times 10^{-4}$	0,000153	0,012355	0,196131
565	$1,2243 \times 10^{-4}$	0,000152	0,012335	0,195817
566	$4,3479 \times 10^{-4}$	0,000151	0,012286	0,195035
567	$4,2787 \times 10^{-6}$	0,000144	0,011987	0,190286
568	$1,9576 \times 10^{-5}$	0,000144	0,012009	0,190641
569	$1,6896 \times 10^{-4}$	0,000145	0,012032	0,190995
570	$7,6322 \times 10^{-6}$	0,000143	0,011952	0,189734
571	$1,2213 \times 10^{-6}$	0,000144	0,011994	0,190393
572	$9,1813 \times 10^{-5}$	0,000145	0,012026	0,190901
573	$2,0256 \times 10^{-5}$	0,000144	0,011985	0,190251
574	$6,5101 \times 10^{-5}$	0,000145	0,012027	0,190923
575	$5,7942 \times 10^{-6}$	0,000144	0,012017	0,190764
576	$7,2073 \times 10^{-6}$	0,000145	0,012042	0,191162
577	$1,7853 \times 10^{-4}$	0,000146	0,012070	0,191609
578	$4,8735 \times 10^{-4}$	0,000148	0,012158	0,192998
579	$2,4294 \times 10^{-5}$	0,000140	0,011843	0,188000
580	$3,0719 \times 10^{-5}$	0,000141	0,011858	0,188245
581	$1,9909 \times 10^{-4}$	0,000141	0,011868	0,188402
582	$5,0009 \times 10^{-7}$	0,000137	0,011684	0,185475
583	$2,0574 \times 10^{-4}$	0,000137	0,011718	0,186025
584	$2,2356 \times 10^{-4}$	0,000140	0,011824	0,187695
585	$6,6816 \times 10^{-4}$	0,000137	0,011697	0,185682
586	$2,7995 \times 10^{-6}$	0,000143	0,011961	0,189871
587	$3,3427 \times 10^{-6}$	0,000144	0,011994	0,190396
588	$7,5569 \times 10^{-5}$	0,000145	0,012026	0,190906
589	$2,4052 \times 10^{-4}$	0,000146	0,012098	0,192051

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
590	$4,9763 \times 10^{-5}$	0,000149	0,012187	0,193456
591	$9,7225 \times 10^{-5}$	0,000150	0,012237	0,194256
592	$1,7549 \times 10^{-4}$	0,000151	0,012297	0,195208
593	$7,8050 \times 10^{-6}$	0,000149	0,012217	0,193936
594	$1,2165 \times 10^{-3}$	0,000150	0,012232	0,194179
595	$7,2293 \times 10^{-4}$	0,000160	0,012651	0,200822
596	$2,0155 \times 10^{-4}$	0,000166	0,012880	0,204458
597	$2,1462 \times 10^{-6}$	0,000164	0,012822	0,203537
598	$6,6009 \times 10^{-5}$	0,000165	0,012855	0,204074
599	$1,4886 \times 10^{-4}$	0,000166	0,012897	0,204739
600	$9,8218 \times 10^{-6}$	0,000168	0,012948	0,205546
601	$5,0660 \times 10^{-4}$	0,000169	0,012992	0,206242
602	$1,1333 \times 10^{-3}$	0,000175	0,013221	0,209874
603	$6,1175 \times 10^{-5}$	0,000185	0,013592	0,215760
604	$1,9686 \times 10^{-5}$	0,000183	0,013534	0,214844
605	$1,0040 \times 10^{-4}$	0,000184	0,013578	0,215543
606	$5,9384 \times 10^{-5}$	0,000183	0,013537	0,214887
607	$8,1632 \times 10^{-6}$	0,000182	0,013505	0,214390
608	$3,1263 \times 10^{-4}$	0,000183	0,013532	0,214813
609	$6,4090 \times 10^{-5}$	0,000178	0,013349	0,211914
610	$1,2694 \times 10^{-4}$	0,000178	0,013356	0,212026
611	$2,5318 \times 10^{-5}$	0,000177	0,013301	0,211150
612	$6,8461 \times 10^{-5}$	0,000178	0,013342	0,211803
613	$6,0076 \times 10^{-5}$	0,000178	0,013337	0,211725
614	$4,5214 \times 10^{-8}$	0,000178	0,013344	0,211830
615	$4,1204 \times 10^{-4}$	0,000179	0,013380	0,212394
616	$8,5155 \times 10^{-6}$	0,000183	0,013522	0,214649
617	$8,7616 \times 10^{-5}$	0,000184	0,013552	0,215124
618	$1,5301 \times 10^{-6}$	0,000186	0,013622	0,216240
619	$8,7445 \times 10^{-5}$	0,000187	0,013657	0,216805
620	$4,3777 \times 10^{-5}$	0,000188	0,013707	0,217586
621	$6,8620 \times 10^{-5}$	0,000188	0,013711	0,217653
622	$2,9424 \times 10^{-4}$	0,000188	0,013696	0,217422

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
623	$5,4994 \times 10^{-6}$	0,000191	0,013835	0,219628
624	$2,6599 \times 10^{-6}$	0,000192	0,013871	0,220201
625	$2,9250 \times 10^{-4}$	0,000193	0,013909	0,220803
626	$8,6973 \times 10^{-5}$	0,000197	0,014038	0,222843
627	$3,8273 \times 10^{-4}$	0,000196	0,014008	0,222371
628	$5,0760 \times 10^{-4}$	0,000189	0,013765	0,218506
629	$1,1112 \times 10^{-4}$	0,000181	0,013459	0,213652
630	$1,1481 \times 10^{-4}$	0,000179	0,013393	0,212600
631	$7,1833 \times 10^{-6}$	0,000178	0,013352	0,211958
632	$1,1023 \times 10^{-4}$	0,000179	0,013386	0,212491
633	$9,2679 \times 10^{-5}$	0,000179	0,013375	0,212324
634	$3,7339 \times 10^{-4}$	0,000181	0,013439	0,213332
635	$6,7440 \times 10^{-5}$	0,000175	0,013213	0,209747
636	$4,3737 \times 10^{-6}$	0,000176	0,013268	0,210625
637	$1,3486 \times 10^{-4}$	0,000177	0,013307	0,211239
638	$6,0053 \times 10^{-5}$	0,000179	0,013375	0,212315
639	$1,2727 \times 10^{-5}$	0,000179	0,013386	0,212493
640	$3,7781 \times 10^{-5}$	0,000180	0,013423	0,213083
641	$1,2479 \times 10^{-5}$	0,000181	0,013472	0,213854
642	$4,6893 \times 10^{-4}$	0,000182	0,013483	0,214039
643	$1,0057 \times 10^{-4}$	0,000187	0,013685	0,217250
644	$6,1127 \times 10^{-6}$	0,000189	0,013746	0,218212
645	$5,6540 \times 10^{-6}$	0,000190	0,013785	0,218824
646	$2,6064 \times 10^{-4}$	0,000191	0,013822	0,219412
647	$1,3018 \times 10^{-4}$	0,000194	0,013924	0,221042
648	$3,4884 \times 10^{-5}$	0,000192	0,013849	0,219845
649	$9,6444 \times 10^{-6}$	0,000192	0,013867	0,220136
650	$8,6575 \times 10^{-7}$	0,000193	0,013907	0,220762
651	$4,8674 \times 10^{-5}$	0,000194	0,013938	0,221253
652	$7,2172 \times 10^{-7}$	0,000194	0,013945	0,221368
653	$3,2300 \times 10^{-5}$	0,000196	0,013982	0,221962
654	$1,1028 \times 10^{-6}$	0,000197	0,014029	0,222699
655	$1,1862 \times 10^{-5}$	0,000198	0,014063	0,223236

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
656	$2,2142 \times 10^{-6}$	0,000199	0,014094	0,223731
657	$4,3863 \times 10^{-4}$	0,000200	0,014130	0,224301
658	$3,8149 \times 10^{-5}$	0,000192	0,013864	0,220083
659	$2,8587 \times 10^{-6}$	0,000193	0,013910	0,220816
660	$5,5134 \times 10^{-5}$	0,000194	0,013944	0,221357
661	$5,9626 \times 10^{-6}$	0,000194	0,013945	0,221378
662	$1,5154 \times 10^{-4}$	0,000196	0,013988	0,222057
663	$4,6248 \times 10^{-6}$	0,000193	0,013905	0,220742
664	$3,8141 \times 10^{-3}$	0,000194	0,013938	0,221263
665	$6,8567 \times 10^{-5}$	0,000226	0,015038	0,238723
666	$7,0987 \times 10^{-5}$	0,000226	0,015034	0,238652
667	$6,8010 \times 10^{-5}$	0,000228	0,015104	0,239765
668	$3,4172 \times 10^{-4}$	0,000228	0,015110	0,239863
669	$2,2208 \times 10^{-4}$	0,000218	0,014760	0,234307
670	$4,7744 \times 10^{-5}$	0,000215	0,014661	0,232738
671	$7,4335 \times 10^{-5}$	0,000216	0,014712	0,233543
672	$1,0735 \times 10^{-4}$	0,000219	0,014786	0,234713
673	$3,9641 \times 10^{-5}$	0,000217	0,014748	0,234112
674	$1,4726 \times 10^{-5}$	0,000218	0,014773	0,234509
675	$7,3114 \times 10^{-4}$	0,000219	0,014791	0,234800
676	$7,0440 \times 10^{-7}$	0,000226	0,015025	0,238522
677	$1,3464 \times 10^{-5}$	0,000227	0,015064	0,239129
678	$2,9176 \times 10^{-5}$	0,000228	0,015102	0,239730
679	$4,6304 \times 10^{-5}$	0,000229	0,015149	0,240487
680	$9,0977 \times 10^{-5}$	0,000231	0,015192	0,241162
681	$1,5639 \times 10^{-5}$	0,000230	0,015165	0,240743
682	$5,0703 \times 10^{-4}$	0,000231	0,015201	0,241316
683	$1,2483 \times 10^{-4}$	0,000223	0,014945	0,237250
684	$7,3698 \times 10^{-6}$	0,000225	0,015008	0,238250
685	$2,7347 \times 10^{-4}$	0,000226	0,015040	0,238753
686	$5,4694 \times 10^{-6}$	0,000223	0,014924	0,236905
687	$2,1253 \times 10^{-4}$	0,000224	0,014963	0,237522
688	$1,7467 \times 10^{-4}$	0,000220	0,014828	0,235382

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
689	$1,1173 \times 10^{-5}$	0,000217	0,014743	0,234030
690	$4,7620 \times 10^{-5}$	0,000218	0,014776	0,234563
691	$3,0072 \times 10^{-5}$	0,000219	0,014797	0,234892
692	$1,8289 \times 10^{-4}$	0,000220	0,014846	0,235666
693	$1,5190 \times 10^{-6}$	0,000218	0,014774	0,234534
694	$1,2969 \times 10^{-5}$	0,000219	0,014811	0,235124
695	$8,2356 \times 10^{-5}$	0,000221	0,014855	0,235813
696	$5,2056 \times 10^{-5}$	0,000220	0,014832	0,235447
697	$1,4363 \times 10^{-3}$	0,000221	0,014850	0,235737
698	$1,2753 \times 10^{-6}$	0,000233	0,015272	0,242428
699	$1,3809 \times 10^{-5}$	0,000234	0,015311	0,243053
700	$6,3594 \times 10^{-6}$	0,000236	0,015356	0,243764
701	$5,6066 \times 10^{-5}$	0,000237	0,015401	0,244478
702	$3,4618 \times 10^{-6}$	0,000236	0,015364	0,243898
703	$3,2739 \times 10^{-4}$	0,000237	0,015404	0,244533
704	$1,7899 \times 10^{-4}$	0,000241	0,015524	0,246442
705	$9,9670 \times 10^{-5}$	0,000244	0,015622	0,247998
706	$5,8063 \times 10^{-5}$	0,000246	0,015689	0,249049
707	$9,1173 \times 10^{-5}$	0,000248	0,015745	0,249937
708	$1,1137 \times 10^{-4}$	0,000247	0,015703	0,249270
709	$1,5993 \times 10^{-4}$	0,000246	0,015672	0,248781
710	$3,0516 \times 10^{-5}$	0,000248	0,015749	0,250001
711	$1,9972 \times 10^{-4}$	0,000249	0,015768	0,250315
712	$1,4147 \times 10^{-5}$	0,000252	0,015865	0,251844
713	$2,9338 \times 10^{-5}$	0,000253	0,015912	0,252589
714	$6,5636 \times 10^{-4}$	0,000255	0,015957	0,253303
715	$2,1666 \times 10^{-5}$	0,000244	0,015620	0,247960
716	$1,6025 \times 10^{-4}$	0,000245	0,015663	0,248650
717	$5,0366 \times 10^{-6}$	0,000244	0,015607	0,247758
718	$1,8309 \times 10^{-3}$	0,000245	0,015648	0,248398
719	$1,0381 \times 10^{-6}$	0,000216	0,014707	0,233468
720	$2,0398 \times 10^{-6}$	0,000217	0,014744	0,234049
721	$5,3688 \times 10^{-4}$	0,000219	0,014783	0,234670

t	ε_{t-i}^2	σ_{t-i}^2	σ_t^2	$\varepsilon_t^2 \sqrt{252}$
722	$9,2975 \times 10^{-4}$	0,000223	0,014938	0,237132
723	$1,7370 \times 10^{-4}$	0,000212	0,014571	0,231308
724	$3,6242 \times 10^{-3}$	0,000215	0,014662	0,232756
725	$2,4614 \times 10^{-5}$	0,000245	0,015667	0,248701
726	$1,3215 \times 10^{-4}$	0,000247	0,015706	0,249328
727	$7,6476 \times 10^{-7}$	0,000250	0,015827	0,251249
728	$2,4153 \times 10^{-6}$	0,000252	0,015868	0,251891
729	$2,7103 \times 10^{-5}$	0,000252	0,015889	0,252224
730	$2,0845 \times 10^{-4}$	0,000252	0,015875	0,252000
731	$2,9910 \times 10^{-5}$	0,000255	0,015978	0,253651
732	$6,5297 \times 10^{-6}$	0,000256	0,016012	0,254186
733	$3,0565 \times 10^{-5}$	0,000258	0,016056	0,254874
734	$8,2521 \times 10^{-6}$	0,000259	0,016101	0,255591
735	$2,5846 \times 10^{-5}$	0,000260	0,016129	0,256038
736	$6,9532 \times 10^{-6}$	0,000262	0,016181	0,256863
737	$1,5047 \times 10^{-4}$	0,000263	0,016220	0,257482
738	$1,4174 \times 10^{-5}$	0,000261	0,016168	0,256653
739	$3,3803 \times 10^{-4}$	0,000262	0,016197	0,257124
740	$1,1408 \times 10^{-4}$	0,000266	0,016319	0,259052
741	$2,7196 \times 10^{-4}$	0,000269	0,016390	0,260183
742	$1,2453 \times 10^{-5}$	0,000273	0,016513	0,262131
743	$3,8443 \times 10^{-4}$	0,000274	0,016550	0,262723
744	$1,2020 \times 10^{-4}$	0,000278	0,016670	0,264635
745	$5,4798 \times 10^{-4}$	0,000276	0,016624	0,263900
746	$8,0201 \times 10^{-7}$	0,000282	0,016792	0,266573
747	$9,10 \times 10^{-4}$	0,000283	0,016835	0,267252
748	$6,68 \times 10^{-5}$	0,000268	0,016364	0,259776
749	$8,32 \times 10^{-5}$	0,000270	0,016429	0,260803
750	$1,19 \times 10^{-3}$	0,000272	0,016478	0,261587
751	$1,07 \times 10^{-5}$	0,000283	0,016811	0,266858

Lampiran 3. Program Matlab untuk menghitung harga opsi Amerika (*call* dan *put*)

```

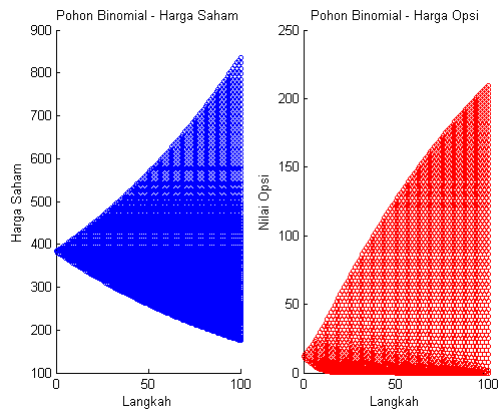
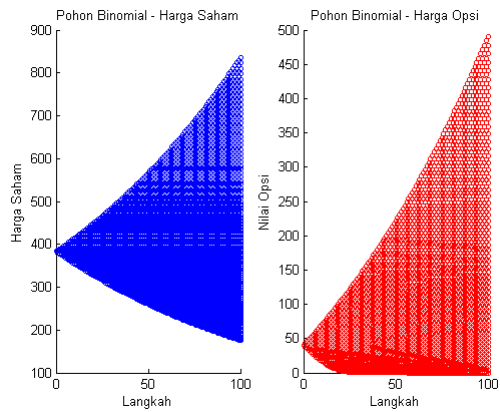
1  clc; clear; close all;
2
3  % Input parameter
4  S0 = input('Masukkan harga saham saat t = 0 (S0): ');
5  K = input('Masukkan strike price (K): ');
6  r = input('Masukkan suku bunga tahunan (r): ');
7  T = input('Masukkan waktu jatuh tempo (dalam tahun) (T): ');
8  sigma = input('Masukkan volatilitas (sigma): ');
9  N = input('Masukkan jumlah partisi selang waktu (N): ');
10
11 % Hitung parameter pohon binomial
12 dt = T / N; % panjang setiap langkah waktu
13 u = exp(sigma * sqrt(dt)); % faktor naik
14 d = 1 / u; % faktor turun
15 p = (exp(r * dt) - d) / (u - d); % probabilitas
16
17 % Buat matriks harga saham S
18 S = zeros(N+1, N+1);
19 for i = 0:N
20     for j = 0:i
21         S(j+1, i+1) = S0 * u^j * d^(i-j);
22     end
23 end
24
25 % Pilih jenis opsi (call atau put)
26 fprintf('\nPilih jenis opsi:\n');
27 fprintf(' 1. Call option\n');
28 fprintf(' 2. Put option\n');
29 choice = input('Masukkan pilihan (1/2): ');
30
31 % Hitung payoff di node akhir
32 V = zeros(N+1, N+1);
33 for j = 0:N
34     if choice == 1
35         V(j+1, N+1) = max(S(j+1, N+1) - K, 0);
36     else
37         V(j+1, N+1) = max(K - S(j+1, N+1), 0);
38     end

```

```

39 end
40
41 % Perhitungan mundur untuk harga opsi
42 for i = N-1:-1:0
43     for j = 0:i
44         continuation = exp(-r*dt) * (p * V(j+2, i+2) + (1-p) * V(j+1, i+2));
45         if choice == 1
46             V(j+1, i+1) = max(S(j+1, i+1) - K, continuation);
47         else
48             V(j+1, i+1) = max(K - S(j+1, i+1), continuation);
49         end
50     end
51 end
52
53 % Tampilkan hasil
54 disp('Matriks harga saham S (pohon binomial):');
55 disp(S);
56 disp('Matriks nilai opsi V (backward induction):');
57 disp(V);
58
59 % Plot pohon binomial untuk harga saham dan nilai opsi
60 figure;
61
62 subplot(1,2,1);
63 hold on;
64 for i = 0:N
65     x = i * ones(i+1,1);
66     y = S(1:i+1, i+1);
67     plot(x, y, 'bo', 'MarkerSize', 4);
68 end
69 hold off;
70 title('Pohon Binomial - Harga Opsi');
71 xlabel('Langkah (i)');
72 ylabel('Harga Saham S_{i,j}');
73
74 subplot(1,2,2);
75 hold on;
76 for i = 0:N
77     x = i * ones(i+1,1);
78     y = V(1:i+1, i+1);
79     plot(x, y, 'ro', 'MarkerSize', 4);
80 end

```

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Identitas

NAMA : AMALIA ARKANA PUTRI

TEMPAT, TANGGAL LAHIR : JAKARTA 19 FEBRUARI 2003

B. Latar Belakang Pendidikan

1. (2009 - 2015) SDN CBU 05 PAGI
2. (2015 - 2018) SMPN 52 JAKARTA
3. (2018 - 2021) SMAN 50 JAKARTA
4. (2021 - 2025) UIN WALISONGO SEMARANG

C. Pengalaman Organisasi dan Magang

1. Pengalaman Organisasi

1. (2022) LPM FREKUENSI - Anggota Divisi Cetak

2. Pengalaman Magang

1. (Januari - Maret 2024) - BPS Kota Jakarta Pusat
2. (2025) PT. Intikom Berlian Mustika