

**PENENTUAN HARGA OPSI EROPA MENGGUNAKAN
METODE TRINOMIAL KAMRAD RITCHKEN DENGAN
VOLATILITAS *MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION*
(MLE)**

SKRIPSI

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



Oleh : **AINUR ROFIAH**

NIM : 2108046029

PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG
2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ainur Rofiah
NIM : 2108046029
Jurusan/Program Studi : Matematika/Matematika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul :

PENENTUAN HARGA OPSI EROPA MENGGUNAKAN METODE TRINOMIAL KAMRAD RITCHKEN DENGAN VOLATILITAS MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION (MLE)

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

Semarang, 24 Februari 2025

Pembuat pernyataan,



Ainur Rofiah

NIM : 2108046029



KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Prof. Dr. Hamka (Kampus II) Ngaliyan Semarang
Telp. 024-7602195 Fax. 76153987

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : **Penentuan Harga Opsi Eropa Menggunakan Metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan Volatilitas *Maximum Likelihood Estimation* (MLE)**

Penulis : Ainur Rofiah

NIM : 2108046029

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, 30 April 2025

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang/Penguji,

Sekretaris Sidang/Penguji,

Eva Khoirun Nisa, M.Si.
NIP. 198701022019032017

Dinni Rahma Oktaviani, M.Si.
NIP. 199410092019032017

Penguji Utama I,

Penguji Utama II,

Yolanda Morasia, M.Si.
NIP. 199409232019032017

Mini Fitriyah, M.Sc.
NIP. 198909292019032021

Emy Siswanah, M.Sc.

NIP. 198702022011012014

NOTA DINAS

Semarang, 24 Februari 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:

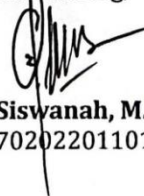
Judul : PENENTUAN HARGA OPSI EROPA
MENGUNAKAN METODE TRINOMIAL KAMRAD
RITCHKEN DENGAN VOLATILITAS MAXIMUM
LIKELIHOOD ESTIMATION

Nama : Ainur Rofiah
NIM : 2108046029
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,



Emy Siswanah, M.Sc
NIP. 198702022011012014

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan harga opsi Eropa dengan menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken dan volatilitas yang diestimasi melalui *Maximum Likelihood Estimation* (MLE). Data yang digunakan berupa harga penutupan saham dari lima perusahaan (PYPL, TMUS, CTSH, AMD, dan AMAT) yang diperoleh dari *Yahoo Finance* dalam periode 31 Desember 2021 hingga 31 Desember 2024. Dengan tingkat suku bunga bebas risiko sebesar 4,5% dan langkah waktu sebanyak 150 periode. Berdasarkan hasil perhitungan, metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan volatilitas *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) menghasilkan nilai opsi yang cukup dekat dengan harga pasar pada kondisi tertentu, khususnya untuk opsi *call* saat $K < S_0$ dan opsi *put* saat $K > S_0$. Namun, pada kondisi K di sekitar S_0 hasil perhitungan cenderung jauh dari harga pasar.

Kata Kunci: Opsi Eropa, Volatilitas, Trinomial Kamrad Ritchken, *Maximum Likelihood Estimation*.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr. wb.

Alhamdulillahirabbi'alamin. Puji syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT berkat rahmat, taufik dan hidayah-Nya yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Penentuan Harga Opsi Eropa Menggunakan Metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan Volatilitas *Maximum Likelihood Estimation* (MLE)”**. Sholawat serta salam tak lupa penulis haturkan kepada Baginda Rasulullah SAW yang selalu dinantikan syafa'atnya di *Yaumil Qiyamah*.

Skripsi ini dibuat guna memenuhi tugas dan prasyarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Matematika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang. Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, motivasi, do'a, dan peran serta dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Walisongo.
2. Ibu Any Muanalifah, M.Si., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Walisongo.

3. Ibu Emy Siswanah, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga, pikiran dan sudah dengan sabar memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan skripsi ini.
4. Orang tua tercinta Bapak Sumilan dan Ibu Winarti yang senantiasa mencurahkan do'a, kasih sayang, motivasi-motivasi yang luar biasa serta material yang tidak dapat terbalaskan dengan apapun, sehingga penulis dapat menyelesaikan kuliah dan skripsi ini dengan lancar.
5. Almarhumah Mbah Julisih tersayang dan seluruh keluarga besar yang telah memberikan dukungan, motivasi, semangat serta do'a untuk menyelesaikan perkuliahan ini.
6. Segenap dosen, pegawai dan seluruh civitas akademik di lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang khususnya dosen jurusan Matematika yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan bimbingan serta pengarahan dalam penyusunan skripsi ini.
7. Pak Hadi Prasetyo, S.Pd. selaku Koordinator Laboratorium Matematika dan seluruh teman-teman asisten Laboratorium Matematika, yang banyak

membantu memberikan semangat, pengalaman, nasehat, hiburan dan cerita-cerita hebat dalam menjalankan perkuliahan.

8. Teman-teman Program studi Matematika dan Pendidikan Matematika, khususnya Matematika angkatan 2021 yang selalu memberikan semangat kepada penulis.
9. Teman-teman Pesantren Mahasiswa Rahmadiyah yang telah memberikan semangat dan juga dukungan kepada penulis.
10. Teman-teman KKN MIT ke-18 posko 89 Desa Rejosari, Kecamatan Brangsong, Kabupaten Kendal yang telah memberi pengalaman berharga bagi penulis. Serta adik-adik Desa Rejosari tercinta yang memberikan semangat kepada penulis.
11. Semua pihak yang telah memberikan dukungan baik moral maupun material yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
12. Diri Sendiri, Ainur Rofiah. Terima kasih sudah berjuang sampai titik ini, perjalanan masih panjang, semangat untuk menghadapi tantangan-tantangan lain di masa depan.

Penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna, baik dari segi isi maupun metodologi. Oleh karena itu, segala bentuk masukan dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca umumnya. Aamiin.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Semarang, 24 Februari 2025

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Ainur Rofiah', with a small mark below the final letter.

Ainur Rofiah

NIM : 2108046029

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
NOTA DINAS.....	iii
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	6
C. Tujuan Penelitian.....	6
D. Manfaat Penelitian	6
E. Batasan Masalah	7
BAB II LANDASAN PUSTAKA	9
A. Opsi.....	9
1. Investasi.....	9

2. Saham	9
3. Definisi Opsi	10
4. Pembagian Opsi	11
5. Opsi Eropa	13
6. Kontrak Opsi	15
7. Beberapa Faktor yang Mempengaruhi Harga Opsi	17
B. Metode Trinomial Kamrad Ritchken	20
1. Pengantar Metode Trinomial	20
2. Metode Trinomial Kamrad Ritchken	21
C. Metode <i>Maximum Likelihood Estimation</i> (MLE)	31
1. Fungsi Kepadatan Distribusi Normal	31
2. Volatilitas dengan <i>Maximum Likelihood Estimation</i>	32
D. Penelitian Terdahulu	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	42
A. Tahap Penelitian	42
B. Diagram Alir Penelitian	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48
A. Hasil Penelitian	48
B. Pembahasan	92
BAB V PENUTUP	107
A. Kesimpulan	107
B. Saran	108
DAFTAR PUSTAKA	109

LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	113
RIWAYAT HIDUP	118

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Parameter S_0 dan K untuk Setiap Saham	49
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan Return Harga Saham PYPL	50
Tabel 4.3	Proses Perhitungan Volatilitas Saham PYPL	51
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan Volatilitas Masing-masing Saham	52
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan Parameter λ, u , dan d Pada Masing-masing Saham	55
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan Peluang Harga Saham p_u, p_m , dan p_d Pada Masing-masing Saham	58
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan Harga Opsi <i>Call</i> Eropa dan Opsi <i>Put</i> Eropa Pada Masing-masing Saham	92
Tabel 4.8	Perbandingan Harga Opsi <i>Call</i> di Pasar dengan Harga Opsi <i>Call</i> Eropa Pada Masing-masing Saham untuk $K < S_0$	94

Tabel 4.9	Perbandingan Harga Opsi <i>Put</i> di Pasar dengan Harga Opsi <i>Put</i> Eropa Pada Masing-masing Saham untuk $K < S_0$	96
Tabel 4.10	Perbandingan Harga Opsi <i>Call</i> di Pasar dengan Harga Opsi <i>Call</i> Eropa Pada Masing-masing Saham untuk K di sekitar S_0	98
Tabel 4.11	Perbandingan Harga Opsi <i>Put</i> di Pasar dengan Harga Opsi <i>Put</i> Eropa Pada Masing-masing Saham untuk K di sekitar S_0	100
Tabel 4.12	Perbandingan Harga Opsi <i>Call</i> di Pasar dengan Harga Opsi <i>Call</i> Eropa Pada Masing-masing Saham untuk $K > S_0$	102
Tabel 4.13	Perbandingan Harga Opsi <i>Put</i> di Pasar dengan Harga Opsi <i>Put</i> Eropa Pada Masing-masing Saham untuk $K > S_0$	104

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	46
Gambar 4.1	Skema Umum Pohon Trinomial	58
Gambar 4.2	Harga Saham PYPL Pada Node (j, i)	60
Gambar 4.3	Nilai <i>Payoff</i> Opsi <i>Call</i> Saham PYPL Pada Node (j, i) dengan $K = 50$	63
Gambar 4.4	Nilai <i>Payoff</i> Opsi <i>Put</i> Saham PYPL Pada Node (j, i) dengan $K = 50$	65
Gambar 4.5	Nilai <i>Payoff</i> Opsi <i>Call</i> Saham PYPL Pada Node (j, i) dengan $K = 85$	67
Gambar 4.6	Nilai <i>Payoff</i> Opsi <i>Put</i> Saham PYPL Pada Node (j, i) dengan $K = 85$	69
Gambar 4.7	Nilai <i>Payoff</i> Opsi <i>Call</i> Saham PYPL Pada Node (j, i) dengan $K = 110$	71
Gambar 4.8	Nilai <i>Payoff</i> Opsi <i>Put</i> Saham PYPL Pada Node (j, i) dengan $K = 110$	73
Gambar 4.9	Skema Pohon Trinomial Harga Opsi <i>Call</i> Eropa Saham PYPL dengan $K = 50$	76

Gambar 4.10	Skema Pohon Trinomial Harga Opsi <i>Put</i> Eropa Saham PYPL dengan $K = 50$	79
Gambar 4.11	Skema Pohon Trinomial Harga Opsi <i>Call</i> Eropa Saham PYPL dengan $K = 85$	82
Gambar 4.12	Skema Pohon Trinomial Harga Opsi <i>Put</i> Eropa Saham PYPL dengan $K = 85$	85
Gambar 4.13	Skema Pohon Trinomial Harga Opsi <i>Call</i> Eropa Saham PYPL dengan $K = 110$	88
Gambar 4.14	Skema Pohon Trinomial Harga Opsi <i>Put</i> Eropa Saham PYPL dengan $K = 110$	91
Gambar 4.15	Diagram Batang Error Opsi <i>Call</i> dengan $K < S_0$ untuk Masing- masing Saham	94
Gambar 4.16	Diagram Batang Error Opsi <i>Put</i> dengan $K < S_0$ untuk Masing- masing Saham	96
Gambar 4.17	Diagram Batang Error Opsi <i>Call</i> dengan K di sekitar S_0 untuk Masing-masing Saham	98

Gambar 4.18	Diagram Batang Error Opsi <i>Put</i> dengan K di sekitar S_0 untuk Masing-masing Saham	100
Gambar 4.19	Diagram Batang Error Opsi <i>Call</i> dengan $K > S_0$ untuk Masing-masing Saham	102
Gambar 4.20	Diagram Batang Error Opsi <i>Put</i> dengan $K > S_0$ untuk Masing-masing Saham	104

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Halaman
Lampiran 1	Harga Penutupan Saham Pada Masing-masing Saham	113
Lampiran 2	<i>Script</i> Program Matlab R2013a Perhitungan Opsi Eropa Menggunakan Metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan Volatilitas <i>Maximum Likelihood Estimation</i>	114

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Investasi mengacu pada alokasi modal ke dalam satu atau lebih aset yang biasanya dipegang untuk jangka waktu lama dengan harapan memperoleh keuntungan di masa yang akan datang (Sunariyah, 2011). Investor memiliki berbagai pilihan investasi, termasuk aset berwujud seperti tanah, bangunan, logam mulia (emas, perak, berlian) dan dapat juga berinvestasi pada aset finansial, seperti sekuritas. Sekuritas ini diperdagangkan di pasar uang atau pasar modal, termasuk saham, obligasi, dan mata uang (Tandelilin, 2017).

Dari waktu ke waktu, berbagai produk investasi telah dikembangkan, termasuk derivatif. Derivatif adalah instrumen keuangan yang nilainya didasarkan pada aset acuan. Dengan demikian, derivatif dapat digunakan untuk menilai kemungkinan naik atau turunnya nilai aset. Instrumen ini biasanya digunakan untuk meminimalkan risiko investasi, menurunkan biaya transaksi, dan menawarkan lindung nilai. Contoh produk derivatif termasuk kontrak berjangka, kontrak *forward*, kontrak opsi, dan lain-lain (Prihandoko, 2016). Opsi telah menjadi produk derivatif yang semakin populer di pasar keuangan. Opsi

adalah sebuah kontrak antara penjual (*writer*) dan pembeli (*holder*) opsi (Martalena & Malinda, 2011). Dalam kontrak ini, penjual memberikan hak, tetapi bukan kewajiban, kepada pembeli untuk membeli atau menjual suatu aset di masa depan dengan harga yang telah ditentukan. Opsi dikategorikan ke dalam dua jenis berdasarkan waktu pelaksanaannya: Opsi Amerika dan Opsi Eropa. Opsi Amerika adalah kontrak yang menawarkan waktu pelaksanaan yang fleksibel, sehingga dapat dilaksanakan kapan saja sejak awal kontrak hingga jatuh tempo. Sebaliknya, opsi Eropa hanya dapat dieksekusi pada saat jatuh tempo (Hull, 2015). Opsi Eropa mengizinkan pemegangnya untuk bertransaksi hanya pada tanggal kedaluwarsa tertentu, sedangkan opsi Amerika mengizinkan pemegangnya untuk bertransaksi kapan saja sebelum tanggal kedaluwarsa.

Dalam menentukan harga opsi dapat menggunakan berbagai macam metode, seperti : metode *Black-Scholes*, Binomial, Trinomial, dan lain sebagainya. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa metode Trinomial menawarkan akurasi yang lebih tinggi dalam penentuan harga opsi dibandingkan dengan metode lainnya. Hal ini dikarenakan metode Trinomial mempertimbangkan tiga kemungkinan pergerakan harga (naik, tetap, dan turun)

pada setiap langkah waktu, sehingga memberikan hasil yang lebih tepat dibandingkan dengan metode Binomial yang hanya mempertimbangkan dua kemungkinan (naik dan turun). Sebagai contoh, penelitian oleh Langat, dkk (2019) menunjukkan bahwa metode Trinomial dapat mengaproksimasi distribusi kontinu dari pergerakan harga aset dasar dengan lebih baik, dan menghasilkan error yang lebih kecil dalam penentuan harga opsi. Penelitian lainnya menunjukkan bahwa metode Trinomial memiliki konvergensi yang lebih cepat dibandingkan dengan metode binomial dan *Black-Scholes*, terutama dalam kondisi volatilitas yang berubah-ubah (Abdurakhman, 2023). Penelitian yang dilakukan oleh Mika & Riri (2012) mengenai penentuan harga opsi call Eropa dengan menggunakan metode Trinomial mengungkapkan bahwa perubahan harga saham dipengaruhi oleh faktor-faktor yang menyebabkan harga saham naik atau turun. Koefisien fluktuasi harga saham pada dasarnya setara dengan tingkat suku bunga.

Terdapat beberapa jenis metode Trinomial, secara umum diantaranya adalah Trinomial Boyle, Trinomial Hull-White, Trinomial Kamrad Ritchken, dan Trinomial Tian. Metode Trinomial Kamrad Ritchken mampu menghasilkan perkiraan harga opsi yang lebih akurat, terutama untuk opsi dengan volatilitas tinggi dan jangka waktu yang panjang,

serta dapat digunakan untuk menghitung harga opsi barrier dengan lebih akurat dibandingkan dengan metode Cox Ross Rubinstein. Hal ini karena pada metode Cox Ross Rubinstein terdapat *Sawtooth Effect* yang menyebabkan harga menjadi tidak akurat dan tidak stabil (Chen, 2002).

Dengan memantau pergerakan harga saham, investor tentu akan mencari informasi terkait peluang keuntungan dan risiko kerugian yang mungkin dialami, salah satu pendekatan untuk menilai hal ini adalah dengan menganalisis statistik volatilitas saham dalam hal fluktuasi harganya. Volatilitas tinggi mengindikasikan dinamika penawaran dan permintaan yang tidak biasa, sehingga menimbulkan ketidakpastian terkait potensi imbal hasil (Elst, 2015). Untuk mengurangi risiko ini, volatilitas dapat diestimasi secara matematis. Salah satu metode untuk mengestimasi parameter adalah *Maximum Likelihood Estimation* (MLE), metode ini mampu menghasilkan estimasi parameter yang akurat dan efisien dengan cara memaksimalkan fungsi *likelihood*, yang memberikan parameter paling sesuai dengan data yang diamati (Casella & Berger, 2002).

Maximum Likelihood Estimation (MLE) juga konsisten, dengan bertambahnya jumlah data, estimasi volatilitas yang diperoleh akan semakin mendekati nilai sebenarnya. Metode

ini juga sangat fleksibel dan dapat diterapkan pada berbagai jenis distribusi data, termasuk data yang kompleks dan volatilitas tinggi yang sering terjadi pada harga aset (Hamilton, 1994). Penelitian sebelumnya Ismail & Atiya (2003) menunjukkan bahwa penggunaan *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) memberikan hasil yang lebih akurat dan efisien dalam memperkirakan volatilitas dibandingkan dengan metode konvensional yang hanya mengandalkan harga penutupan.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, penelitian ini bertujuan untuk menentukan harga opsi Eropa dengan menggunakan metode Trinomial Kamrad-Ritchken yang kemudian volatilitasnya akan dihitung dengan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE). Penggabungan dua metode ini untuk menentukan harga opsi Eropa masih belum banyak dieksplorasi dalam literatur. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah pengetahuan dengan menggabungkan kedua metode tersebut, sehingga penulis mengambil judul "**Penentuan Harga Opsi Eropa Menggunakan Metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan Volatilitas *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) ."**

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana penentuan harga opsi Eropa menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan estimasi volatilitas *Maximum Likelihood Estimation* (MLE)?
2. Bagaimana perbandingan antara harga opsi hasil perhitungan dengan harga opsi di pasar?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui bagaimana perhitungan harga opsi Eropa menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan estimasi volatilitas *Maximum Likelihood Estimation* (MLE).
2. Untuk mengetahui perbandingan antara harga opsi hasil perhitungan dengan harga opsi di pasar.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penulisan ini antara lain:

1. Untuk Peneliti: Berkontribusi terhadap pengetahuan dan memberikan manfaat sebagai referensi dan

pengembangan ilmu matematika, khususnya di bidang keuangan untuk menentukan harga opsi saham.

2. Untuk kemajuan ilmu pengetahuan: Menjadi sumber informasi bagi penelitian selanjutnya dan referensi bagi mahasiswa mengenai penentuan harga opsi Eropa menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan volatilitas yang diestimasi melalui metode *Maximum Likelihood Estimation* pada perusahaan.
3. Untuk pelaku pasar modal: Bertindak sebagai pedoman bagi yang terlibat dalam pasar modal, khususnya pembeli opsi, dalam menentukan harga opsi saham.

E. Batasan Masalah

Batasan masalah untuk penelitian ini adalah:

1. Penentuan harga opsi Eropa menggunakan metode Trinomial Kamrad-Ritchken.
2. Volatilitas yang digunakan hanya berasal dari estimasi yang diperoleh melalui metode *Maximum*

Likelihood Estimation (MLE).

3. Nilai *strike price* (K) diklasifikasikan menjadi tiga kondisi berdasarkan persentase selisih terhadap harga saham awal (S_0), yaitu: $K < S_0$ jika selisih lebih dari 5%, K di sekitar S_0 jika selisih kurang dari atau sama dengan 5%, dan $K > S_0$ jika selisih lebih dari 5%.
4. Perbandingan antara harga opsi hasil perhitungan dan harga opsi pasar dilakukan dengan menggunakan *Mean Absolute Deviation* (MAD) sebagai ukuran error.
5. Penilaian hasil perhitungan terhadap harga pasar dilakukan secara kualitatif berdasarkan nilai error (MAD), di mana nilai MAD yang kecil menunjukkan hasil perhitungan mendekati harga pasar, dan nilai MAD yang besar menunjukkan hasil perhitungan jauh dari harga pasar.

BAB II

LANDASAN PUSTAKA

A. Opsi

1. Investasi

Investasi adalah proses menempatkan uang atau dana sekarang untuk mendapatkan keuntungan di masa depan (Suprpto, 2010). Artinya, investasi adalah kegiatan di mana seseorang menaruh uangnya ke dalam satu atau lebih aset selama periode tertentu dengan tujuan menghasilkan pendapatan atau meningkatkan nilai dari investasi tersebut. Melalui pasar modal, investasi tidak hanya terbatas pada aset-aset riil seperti membangun pabrik, menciptakan produk baru, atau menambah saluran distribusi. Investasi juga dapat melibatkan aset keuangan atau sekuritas, seperti membeli sertifikat deposito, surat berharga, saham, obligasi, atau reksadana.

2. Saham

Salah satu instrumen yang banyak digunakan oleh investor yaitu saham. Saham adalah instrumen keuangan yang menandakan kepemilikan dalam sebuah perusahaan (Brigham & Houston, 2019). Saat seseorang membeli saham, ia membeli sebagian kecil dari perusahaan tersebut. Fluktuasi harga saham dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk

pengaruh eksternal seperti kondisi politik, ekonomi, keamanan, dan psikologi pasar. Faktor-faktor ini sering kali tidak dapat diprediksi, sehingga menyebabkan perubahan harga saham secara acak. Kenaikan dan penurunan harga saham dapat memberikan peluang keuntungan. Salah satu cara untuk mendapatkan keuntungan dari pergerakan harga ini adalah melalui opsi saham.

3. Definisi Opsi

Opsi adalah sebuah kontrak atau perjanjian antara dua pihak, di mana pihak pertama, pembeli, memiliki hak untuk membeli atau menjual aset tertentu dari pihak kedua, penjual, dengan harga dan waktu yang telah ditentukan (Hull, 2015). Secara umum, opsi memberikan hak untuk mengambil tindakan tanpa kewajiban untuk melakukannya. Ini berarti pemegang opsi memiliki pilihan untuk bertindak jika terbukti menguntungkan, dan dapat memilih untuk tidak melakukannya jika tindakan tersebut merugikan. Beberapa istilah yang sering digunakan dalam opsi antara lain (Khuriyanti, 2009) :

- 1) *Holder* yaitu pihak yang membeli kontrak opsi.
- 2) *Writer* yaitu pihak yang menerbitkan atau menjual kontrak opsi.
- 3) *Strike Price* (K) atau harga kontrak, adalah jumlah

yang harus dibayarkan oleh *holder* opsi kepada *writer* ketika mengeksekusi opsi.

- 4) *Maturity time* (T) atau waktu jatuh tempo, mengacu pada waktu yang tersisa hingga opsi mencapai tanggal kedaluwarsa.
- 5) *Payoff* yaitu nilai yang akan diterima oleh pemegang opsi pada saat opsi berakhir.
- 6) Aset dasar yaitu instrumen keuangan atau aset yang menjadi dasar kontrak opsi.
- 7) Harga opsi yaitu jumlah awal yang dibayarkan oleh *holder* ke *writer* untuk memperoleh hak atas opsi.
- 8) Volatilitas mengacu pada deviasi standar harga aset keuangan, yang mengindikasikan tingkat fluktuasi harganya.
- 9) *Risk-free rate* (r) atau tingkat suku bunga bebas resiko adalah suku bunga yang diperkirakan akan diperoleh dari investasi pada aset yang dianggap bebas risiko.

4. Pembagian Opsi

Terdapat dua klasifikasi opsi berdasarkan hak pemegangnya, yaitu (Jiang, L., 2005) :

- 1) Opsi *call* atau opsi beli adalah jenis opsi yang memberikan hak kepada pembeli untuk membeli aset atau saham perusahaan dari penjual dengan harga

dan persyaratan yang telah ditentukan sebelumnya. Jika harga opsi pada saat jatuh tempo melebihi harga kesepakatan $S_T > K$, maka nilai opsi dihitung sebagai $S_T - K$. Secara matematis, *payoff* dari *call option* ditulis sebagai :

$$C = \max(S_T - K; 0)$$

dimana,

- C : *Payoff Call Option*
- S_T : Harga aset pada saat jatuh tempo
- K : Harga aset saat pengeksekusian/harga kesepakatan

- 2) Opsi *put* atau opsi jual adalah jenis opsi yang memberikan hak kepada pembeli untuk menjual aset atau saham perusahaan kepada penjual pada harga dan waktu jatuh tempo yang telah ditentukan. Jika harga opsi pada saat jatuh tempo kurang dari atau sama dengan harga kesepakatan $S_T \leq K$, maka nilai opsi dihitung sebagai $K - S_T$. Secara matematis, *payoff* dari *put option* ditulis sebagai:

$$P = \max(K - S_T; 0)$$

dimana,

- P : *Payoff Put Option*

- K : Harga aset saat pengeksekusian/harga kesepakatan
 S_T : Harga aset pada saat jatuh tempo

Opsi dapat dikategorikan menjadi dua jenis berdasarkan waktu pelaksanaannya: Opsi Amerika dan Opsi Eropa (Jiang, L., 2005). Opsi Amerika adalah kontrak yang memberikan hak kepada pemegangnya untuk mengeksekusi opsi kapan saja sebelum tanggal jatuh tempo (Siswanah, 2023). Sementara itu, opsi Eropa hanya dapat dieksekusi pada tanggal jatuh tempo (Hull, 2015).

5. Opsi Eropa

Opsi Eropa adalah instrumen keuangan yang memberikan hak, tetapi bukan kewajiban, kepada pemegangnya untuk membeli atau menjual aset yang mendasarinya pada harga yang telah ditentukan sebelumnya (*strike price*) secara eksklusif pada tanggal jatuh tempo yang ditentukan (Hull, 2015).

Payoff dari opsi Eropa ditentukan pada tanggal jatuh tempo dan bergantung pada jenis opsinya :

1) *Payoff* Opsi *Call* Eropa

$$Payoff = \max(0; S_T - K)$$

S_T : Harga aset dasar pada tanggal jatuh tempo
 K : Harga *strike*

Ini berarti jika harga aset dasar pada tanggal jatuh tempo (S_T) lebih tinggi dari *strike price* (K), pemegang opsi beli akan mendapatkan keuntungan sebesar $S_T - K$. Jika tidak, *payoff*-nya adalah nol.

2) *Payoff* Opsi Put Eropa

$$\text{Payoff} = \max(0; K - S_T)$$

K : Harga *strike*
 S_T : Harga aset dasar pada tanggal jatuh tempo

Ini berarti jika harga aset dasar pada tanggal jatuh tempo (S_T) lebih rendah dari *strike price* (K), pemegang opsi jual akan mendapatkan keuntungan sebesar $K - S_T$. Jika tidak, *payoff*-nya adalah nol.

Contoh 2.1.1 (Penggunaan Opsi Eropa)

Misalkan ada dua skenario untuk sebuah opsi beli (*call option*) Eropa dengan harga *strike* $K = \text{Rp}100.000$ yang jatuh tempo dalam satu bulan:

Skenario 1 : Harga Saham Naik

- Harga saham pada tanggal jatuh tempo
 $(S_T) = Rp120.000$
- *Payoff*: $Payoff = \max(0, 120.000 - 100.000) = Rp20.000$
- Pemegang opsi mendapatkan keuntungan sebesar Rp20.000 per lembar saham.

Skenario 2 : Harga Saham Turun

- Harga saham pada tanggal jatuh tempo
 $(S_T) = Rp90.000$
- *Payoff*: $Payoff = \max(0, 90.000 - 100.000) = Rp0$
- Opsi tersebut tidak akan dieksekusi karena tidak menguntungkan, sehingga *payoff*-nya nol.

6. Kontrak Opsi

Jenis-jenis opsi berdasarkan hak pelaksanaannya adalah opsi beli (*call option*) dan opsi jual (*put option*). Pihak-pihak yang terlibat dalam transaksi kontrak opsi adalah sebagai berikut (Hull, 2015):

- 1) Pembeli *call option* (dikenal sebagai *call holder* atau *long call*) adalah pihak yang memiliki hak (tetapi

bukan kewajiban) untuk membeli sejumlah saham tertentu pada harga dan waktu yang ditentukan dalam kontrak.

- 2) Penjual *call option* (dikenal sebagai *call writer* atau *short call*) adalah pihak yang menerima pembayaran dari pemegang *call option* dan berkomitmen untuk menjual sejumlah saham tertentu pada harga dan waktu yang tertera pada kontrak, jika pemegang *call option* memilih untuk melaksanakan haknya.
- 3) Pembeli *put option* (dikenal sebagai *put holder* atau *long put*) adalah pihak yang memiliki hak (tetapi tidak kewajiban) untuk menjual sejumlah saham tertentu pada harga dan waktu yang ditentukan dalam kontrak.
- 4) Penjual *put option* (dikenal sebagai *put writer* atau *short put*) adalah pihak yang menerima pembayaran dari pemegang opsi jual dan berkomitmen untuk membeli sejumlah saham tertentu pada harga dan waktu yang tertera pada kontrak jika *put holder* memilih untuk melaksanakan haknya.

Pada kenyataanya, pembeli dan penjual opsi memiliki ekspektasi yang saling bertentangan mengenai kemungkinan harga saham dan opsi di masa depan (Siahaan, 2008):

- 1) Pembeli *call option* mengharapkan bahwa harga saham pada saat jatuh tempo akan tetap stabil atau meningkat dibandingkan dengan harga saham yang ditentukan dalam kontrak.
- 2) Penjual *call option* mengharapkan harga saham pada saat jatuh tempo akan tetap stabil atau bahkan turun dibandingkan dengan harga saham yang diuraikan dalam kontrak.
- 3) Pembeli *put option* mengharapkan bahwa harga saham pada saat jatuh tempo akan turun dibandingkan dengan harga saham yang ditentukan dalam kontrak.
- 4) Penjual *put option* mengharapkan harga saham pada saat jatuh tempo akan tetap stabil atau bahkan meningkat dibandingkan dengan harga saham yang diuraikan dalam kontrak.

7. Beberapa Faktor yang Mempengaruhi Harga Opsi

Faktor-faktor yang mempengaruhi harga opsi adalah sebagai berikut (Tendelilin, 2017):

1) Harga Saham yang Mendasari

Jika harga aset atau saham yang mendasari berubah, harga opsi juga akan terpengaruh. Untuk opsi beli, jika

harga saham naik sementara faktor lain tetap konstan, harga opsi juga akan naik. Sebaliknya, untuk opsi jual, kenaikan harga saham akan mengakibatkan penurunan harga opsi.

2) *Strike Price*

Strike Price atau Harga Kesepakatan adalah harga yang disepakati antara penjual dan pembeli opsi. Harga ini tetap selama masa berlaku opsi. Dengan asumsi semua faktor lain konstan, harga kesepakatan yang lebih tinggi akan menghasilkan harga opsi *put* yang lebih tinggi, sedangkan harga kesepakatan yang lebih rendah akan menghasilkan harga opsi *call* yang lebih tinggi.

3) *Expiration Date* atau Waktu Jatuh Tempo

Setelah tanggal kedaluwarsa berlalu, sebuah opsi tidak memiliki nilai. Dengan asumsi semua faktor lain konstan, tanggal kedaluwarsa yang lebih lama biasanya menghasilkan harga opsi yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa periode kedaluwarsa yang lebih pendek memberikan lebih sedikit waktu bagi investor untuk berspekulasi tentang potensi kenaikan atau penurunan harga saham.

4) *Return* dan Volatilitas Harga Saham

Return atau tingkat pengembalian yang diharapkan, mengacu pada keuntungan atau kerugian yang diantisipasi oleh investor dari investasi mereka di masa depan, yang secara signifikan dipengaruhi oleh prospek perusahaan. *Return* untuk satu periode dirumuskan dengan:

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

Keterangan :

- R_t : Return saham pada periode t
- S_t : Harga saham pada periode t
- S_{t-1} : Harga saham pada periode sebelum t

Volatilitas mencerminkan tingkat ketidakpastian atau risiko yang terkait dengan fluktuasi nilai saham. Volatilitas memainkan peran penting dalam mengestimasi nilai opsi, karena volatilitas merupakan salah satu factor yang mempengaruhi harga opsi.

5) Tingkat Suku Bunga Bebas Risiko Jangka Pendek

Secara umum, ketika suku bunga bebas risiko naik, harga saham cenderung meningkat secara

proporsional. Akibatnya, pada suku bunga bebas risiko jangka pendek yang lebih tinggi, investor lebih cenderung membeli opsi beli daripada saham itu sendiri. Hal inilah yang akan menyebabkan harga opsi call naik.

6) Dividen

Kemungkinan sebuah saham memberikan sebuah dividen akan cenderung membuat harga opsi call dari saham tersebut menurun. Hal ini dikarenakan investor lebih tertarik membeli saham itu sendiri daripada harus membeli opsinya. Sebaliknya pada opsi put adanya dividen akan cenderung membuat harga opsi put tersebut menjadi naik.

B. Metode Trinomial Kamrad Ritchken

1. Pengantar Metode Trinomial

Boyle (1986) adalah orang pertama yang memperkenalkan metode trinomial. Metode Trinomial memodelkan dinamika harga saham dengan tiga kemungkinan pergerakan: kenaikan, penurunan, atau tidak ada perubahan pada harga saham (Nissa, dkk. 2020). Dengan struktur ini, metode trinomial dianggap memberikan estimasi pergerakan harga saham yang lebih realistis dibandingkan metode binomial.

Metode diskret seperti binomial dan trinomial telah digunakan dalam berbagai penelitian untuk menentukan harga opsi. Siswanah, dkk. (2023) membahas penggunaan metode binomial dalam penentuan harga opsi Bermudan dan menunjukkan bagaimana metode ini dapat digunakan untuk memperkirakan harga opsi dengan pendekatan langkah diskret. Dalam metode binomial, harga saham hanya dapat bergerak naik dan turun pada setiap langkah waktu, sedangkan metode trinomial memperluas kemungkinan pergerakan dengan menambahkan satu skenario tambahan, yaitu harga tetap. Dengan demikian, metode trinomial lebih fleksibel dalam menangkap dinamika pasar dan diharapkan dapat meningkatkan akurasi perhitungan harga opsi dibandingkan metode binomial.

2. Metode Trinomial Kamrad Ritchken

Pada tahun 1991 Bardia Kamrad dan Peter Ritchken mengembangkan metode Trinomial Kamrad Ritchken, yang menekankan bahwa stabilitas dan akurasi dalam menentukan harga opsi dengan mempertimbangkan tiga kemungkinan pergerakan harga dalam setiap periode waktu. Jadi, dalam metode Trinomial Kamrad Ritchken perubahan harga saham dihitung secara diskret disetiap interval waktu, dengan tiga kemungkinan hasil pada setiap langkah, yaitu harga naik, turun, dan tetap.

Dalam metode Trinomial Kamrad Ritchken diasumsikan bahwa $\mu = r - \frac{1}{2}\sigma^2$, dimana r adalah suku bunga bebas risiko dan σ adalah volatilitas sesaat. Berikutnya, dengan $S(t)$ yang menggambarkan harga pada waktu t , dapat diperoleh hasil sebagai berikut (Kamrad, dkk. 1991).

$$\ln S(t + \Delta t) = \ln\{S(t)\} + \ln e^{\xi(t)} = \ln\{S(t)\} + \xi(t)$$

dengan $\xi(t)$ merupakan perubahan acak terhadap log-harga saham yang diasumsikan mengikuti distribusi normal dengan rata-rata $\mu\Delta t$ dan variansi $\sigma^2\Delta t$. Misalkan $\xi^a(t)$ adalah pendekatan distribusi untuk $\xi(t)$ selama periode $(t, t + \Delta t)$. $\xi^a(t)$ merupakan variabel acak diskret dengan distribusi berikut:

$$\xi^a(t) = \begin{cases} a & , \text{dengan probabilitas } p_u \\ 0 & , \text{dengan probabilitas } p_m \\ -a & , \text{dengan probabilitas } p_d \end{cases}$$

dengan, $a = \lambda\sigma\sqrt{\Delta t}$ dan $\lambda \geq 1$, sehingga didapatkan sebagai berikut:

$$\xi^a(t) = \begin{cases} \lambda\sigma\sqrt{\Delta t} & , \text{dengan probabilitas } p_u \\ 0 & , \text{dengan probabilitas } p_m \\ -\lambda\sigma\sqrt{\Delta t} & , \text{dengan probabilitas } p_d \end{cases}$$

Maka dari persamaan $\xi^a(t)$, dipunyai rumus untuk parameter harga saham naik (u), parameter harga saham tetap (m) dan

parameter harga saham turun (d) adalah sebagai berikut (Sulastri, dkk. 2019):

$$u = e^{\lambda\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (2.2)$$

$$m = e^0 = 1 \quad (2.3)$$

$$d = e^{-\lambda\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (2.4)$$

Kemudian, rata-rata dan variansi dari distribusi aproksimasi dipilih agar sama dengan rata-rata dan variansi $\xi(t)$. Secara spesifik, akan dipunyai:

$$E(\xi^a(t)) = a(p_u - p_d) = \mu\Delta t \quad (2.5)$$

$$Var(\xi^a(t)) = a^2(p_u + p_d) = \sigma^2\Delta t \quad (2.6)$$

Dengan substitusi $a = \lambda\sigma\sqrt{\Delta t}$ dan mengetahui bahwa *probabilitas* $p_u + p_m + p_d = 1$, maka didapatkan sebagai berikut:

$$p_u = \frac{1}{2\lambda^2} + \frac{\mu\sqrt{\Delta t}}{2\lambda\sigma} \quad (2.7)$$

$$p_m = 1 - \frac{1}{\lambda^2} \quad (2.8)$$

$$p_d = \frac{1}{2\lambda^2} - \frac{\mu\sqrt{\Delta t}}{2\lambda\sigma} \quad (2.9)$$

Keterangan :

- u : Faktor harga saham naik
- m : Faktor harga saham tetap
- d : Faktor harga saham turun
- P_u : Peluang harga saham naik

- P_m : Peluang harga saham konstan
 P_d : Peluang harga saham turun

Selanjutnya, akan dijelaskan langkah-langkah untuk memperoleh persamaan (2.7), (2.8), dan (2.9). berdasarkan persamaan (2.5), diperoleh:

$$\begin{aligned}
 E(\xi^a(t)) &= \mu \Delta t \\
 a(p_u - p_d) &= \mu \Delta t \\
 a p_u + (-a)p_d &= \mu \Delta t \\
 a p_u - a p_d &= \mu \Delta t \\
 a p_u &= \mu \Delta t + a p_d \\
 p_u &= \frac{\mu \Delta t + a p_d}{a} \\
 p_u &= \frac{\mu \Delta t + \lambda \sigma \sqrt{\Delta t} p_d}{\lambda \sigma \sqrt{\Delta t}} \\
 p_u &= \frac{\Delta t (\mu \sqrt{\Delta t} + \lambda \sigma p_d)}{\lambda \sigma \Delta t} \\
 p_u &= \frac{\mu \sqrt{\Delta t} + \lambda \sigma p_d}{\lambda \sigma} \quad (2.10)
 \end{aligned}$$

Setelah memperoleh persamaan (2.10), digunakan persamaan (2.6) untuk langkah berikutnya, sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned}
 Var(\xi^a(t)) &= \sigma^2 \Delta t \\
 a^2(p_u + p_d) &= \sigma^2 \Delta t \\
 a^2 p_u + a^2 p_d &= \sigma^2 \Delta t \\
 a^2 p_d &= \sigma^2 \Delta t - a^2 p_u \\
 p_d &= \frac{\sigma^2 \Delta t - a^2 p_u}{a^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
p_d &= \frac{\sigma^2 \Delta t - (\lambda \sigma \sqrt{\Delta t})^2 p_u}{(\lambda \sigma \sqrt{\Delta t})^2} \\
p_d &= \frac{\sigma^2 \Delta t - \lambda^2 \sigma^2 \Delta t p_u}{\lambda^2 \sigma^2 \Delta t} \\
p_d &= \frac{\sigma^2 \Delta t (1 - \lambda^2 p_u)}{\lambda^2 \sigma^2 \Delta t} \\
p_d &= \frac{1 - \lambda^2 p_u}{\lambda^2} \tag{2.11}
\end{aligned}$$

Untuk memperoleh rumus peluang kenaikan harga saham (p_u) yang dinyatakan dalam persamaan (2.7), substitusikan persamaan (2.11) ke dalam persamaan (2.10).

$$\begin{aligned}
p_u &= \frac{\mu \sqrt{\Delta t} + \lambda \sigma \left(\frac{1 - \lambda^2 p_u}{\lambda^2} \right)}{\lambda \sigma} \\
p_u &= \frac{\mu \sqrt{\Delta t} + \sigma \left(\frac{1 - \lambda^2 p_u}{\lambda} \right)}{\lambda \sigma} \\
p_u &= \frac{\mu \sqrt{\Delta t} + \frac{\sigma - \sigma \lambda^2 p_u}{\lambda}}{\lambda \sigma} \\
p_u &= \frac{\frac{\lambda \mu \sqrt{\Delta t} + \sigma - \sigma \lambda^2 p_u}{\lambda}}{\lambda \sigma} \\
p_u &= \frac{\lambda \mu \sqrt{\Delta t} + \sigma - \sigma \lambda^2 p_u}{\lambda^2 \sigma}
\end{aligned}$$

Kalikan kedua ruas dengan $\lambda^2 \sigma$, sehingga:

$$\lambda^2 \sigma p_u = \lambda^2 \sigma \frac{\lambda \mu \sqrt{\Delta t} + \sigma - \sigma \lambda^2 p_u}{\lambda^2 \sigma}$$

$$\begin{aligned}
\lambda^2 \sigma p_u &= \lambda \mu \sqrt{\Delta t} + \sigma - \sigma \lambda^2 p_u \\
\lambda^2 \sigma p_u + \lambda^2 \sigma p_u &= \lambda \mu \sqrt{\Delta t} + \sigma \\
2\lambda^2 \sigma p_u &= \lambda \mu \sqrt{\Delta t} + \sigma \\
p_u &= \frac{\lambda \mu \sqrt{\Delta t} + \sigma}{2\lambda^2 \sigma} \\
p_u &= \frac{\lambda \mu \sqrt{\Delta t}}{2\lambda^2 \sigma} + \frac{\sigma}{2\lambda^2 \sigma} \\
p_u &= \frac{\mu \sqrt{\Delta t}}{2\lambda \sigma} + \frac{1}{2\lambda^2}
\end{aligned}$$

Dengan demikian, diperoleh rumus peluang kenaikan harga saham (p_u) sebagai berikut:

$$p_u = \frac{1}{2\lambda^2} + \frac{\mu \sqrt{\Delta t}}{2\lambda \sigma}$$

Kemudian untuk memperoleh rumus peluang harga saham turun (p_d) yang dinyatakan dalam persamaan (2.9), substitusikan persamaan di atas ke persamaan (2.11), sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned}
p_d &= \frac{1 - \lambda^2 \left(\frac{\lambda \mu \sqrt{\Delta t} + \sigma}{2\lambda^2 \sigma} \right)}{\lambda^2} \\
p_d &= \frac{\frac{2\sigma - (\lambda \mu \sqrt{\Delta t} + \sigma)}{2\sigma}}{\lambda^2} \\
p_d &= \frac{\frac{2\sigma - \lambda \mu \sqrt{\Delta t} - \sigma}{2\sigma}}{\lambda^2} \\
p_d &= \frac{\frac{\sigma - \lambda \mu \sqrt{\Delta t}}{2\sigma}}{\lambda^2}
\end{aligned}$$

$$p_d = \frac{\sigma - \lambda\mu\sqrt{\Delta t}}{2\sigma\lambda^2}$$

$$p_d = \frac{\sigma}{2\sigma\lambda^2} - \frac{\lambda\mu\sqrt{\Delta t}}{2\sigma\lambda^2}$$

Dengan demikian, diperoleh rumus peluang harga saham turun (p_d) sebagai berikut:

$$p_d = \frac{1}{2\lambda^2} - \frac{\mu\sqrt{\Delta t}}{2\lambda}$$

Selanjutnya, untuk memperoleh rumus peluang harga saham tetap (p_m) yang dinyatakan dalam persamaan (2.8), perhatikan bahwa $p_u + p_m + p_d = 1$, sehingga:

$$p_m = 1 - p_u - p_d$$

Substitusikan persamaan (2.7) dan persamaan (2.9) ke persamaan di atas, maka diperoleh:

$$p_m = 1 - \frac{\lambda\mu\sqrt{\Delta t} + \sigma}{2\lambda^2\sigma} - \frac{\sigma - \lambda\mu\sqrt{\Delta t}}{2\lambda^2\sigma}$$

$$p_m = \frac{2\lambda^2\sigma - \lambda\mu\sqrt{\Delta t} - \sigma - \sigma + \lambda\mu\sqrt{\Delta t}}{2\lambda^2\sigma}$$

$$p_m = \frac{2\lambda^2\sigma - \sigma - \sigma}{2\lambda^2\sigma}$$

$$p_m = \frac{2\lambda^2\sigma - 2\sigma}{2\lambda^2\sigma}$$

$$p_m = \frac{2\sigma(\lambda^2 - 1)}{2\lambda^2\sigma}$$

$$p_m = \frac{\lambda^2 - 1}{\lambda^2}$$

$$p_m = \frac{\lambda^2}{\lambda^2} - \frac{1}{\lambda^2}$$

Dengan demikian, diperoleh rumus peluang harga saham tetap (p_m) sebagai berikut:

$$p_m = 1 - \frac{1}{\lambda^2}$$

Selanjutnya, untuk menentukan nilai λ , Ritchken (1995) menyediakan prosedur untuk menentukan parameter (λ). Untuk menghitung jumlah *down moves* yang mengarah ke lapisan node terendah di atas barrier, b , dimisalkan dengan $\lambda = 1$. Diasumsikan bahwa nilai n_0 merupakan bilangan bulat terbesar yang lebih kecil dari η , dimana nilai η dapat didefinisikan sebagai berikut (Mendes, 2011).

$$\eta = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{b}\right)}{\sigma\sqrt{\Delta t}}$$

dengan $b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{t_i}$ dan $\Delta t = \frac{T}{N}$.

Keterangan :

η	: Banyaknya langkah dari harga saham awal hingga ke barrier
S_0	: Harga saham awal
b	: Barrier
λ	: Parameter kecenderungan harga saham
σ	: Volatilitas
S_{t_i}	: Harga saham pada saat t_i
n	: Banyaknya harga saham

T : Waktu jatuh tempo
 N : Banyaknya langkah

Apabila η merupakan bilangan bulat, maka parameter λ akan tetap bernilai 1. Jika η bukan merupakan bilangan bulat, maka parameter λ dapat didefinisikan kembali menjadi:

$$\eta = n_0 \lambda$$

Kemudian, apabila nilai $n_0 = \eta$ maka parameter λ harus tetap bernilai 1. Jika parameter λ tidak bernilai 1, maka parameter λ dapat didefinisikan sebagai berikut (Mendes, 2011).

$$\lambda = \frac{\eta}{n_0} \quad (2.12)$$

dengan, $n_0 = \lceil \eta \rceil$.

Selanjutnya, jika pada waktu $t_0 = 0$ harga saham awal adalah S_0 , maka menurut metode Trinomial, harga saham pada waktu $t_1 = 1\Delta t$ akan diwakili oleh $S_0 u$, S_0 atau $S_0 d$. Jika proses ini terus berlanjut, maka pada saat $t_i = i\Delta t$ akan ada $2i + 1$ kemungkinan harga saham yang dapat dihitung dari Persamaan berikut (Sholikha, 2023):

$$S_{ji} = S_0 u^j d^{i-j} \quad (2.13)$$

dengan, $j = 0, 1, \dots, 2i$ sehingga terdapat total $2i + 1$ kemungkinan node (harga saham) pada waktu t_i .

S_{ji} adalah harga saham pada waktu t_i . Pada notasi S_{ji} , indeks i menunjukkan periode waktu ke- i yaitu banyaknya langkah waktu dari waktu awal t_0 , sedangkan indkes j menunjukkan urutan node dari bawah ke atas pada waktu t_i .

Dari persamaan di atas, maka untuk nilai *payoff* opsi *call* Eropa diperoleh rumus sebagai berikut:

$$C_{jN} = \max(S_{jN} - K; 0) \quad (2.14)$$

Sementara itu, untuk nilai *payoff* opsi *put* Eropa diperoleh rumus sebagai berikut.

$$P_{jN} = \max(K - S_{jN}; 0) \quad (2.15)$$

Keterangan :

- C_{jN} : Nilai *payoff* opsi call pada node j pada waktu jatuh tempo N
- P_{jN} : Nilai *payoff* opsi put pada node j pada waktu jatuh tempo N
- S_{jN} : Harga saham pada node j pada waktu jatuh tempo N
- K : *Strike price* opsi

Kemudian melakukan iterasi mundur untuk menghitung nilai opsi di node sebelumnya, untuk setiap node pada langkah t dari $N - 1$ hingga 0, maka untuk nilai opsi *call* Eropa diperoleh rumus sebagai berikut (Sulastri, dkk. 2019):

$$C_{ji} = e^{-r\Delta t} [p_u C_{j+2 \ i+1} + p_m C_{j+1 \ i+1} + p_d C_{j \ i+1}] \quad (2.16)$$

Sedangkan untuk nilai opsi *put* Eropa diperoleh rumus sebagai berikut:

$$P_{ji} = e^{-r\Delta t} [p_u P_{j+2i+1} + p_m P_{j+1i+1} + p_d P_{ji+1}] \quad (2.17)$$

Keterangan :

C_{ji}	:	Nilai opsi <i>call</i> Eropa
P_{ji}	:	Nilai opsi <i>put</i> Eropa
$e^{-r\Delta t}$	:	Faktor diskonto yang memperhitungkan nilai waktu uang
P_u	:	Peluang harga saham naik
P_m	:	Peluang harga saham konstan
P_d	:	Peluang harga saham turun
i	:	$N - 1, N - 2, \dots, 1, 0$ yang menunjukkan interval waktu

C. Metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE)

1. Fungsi Kepadatan Distribusi Normal

Fungsi kepadatan distribusi normal adalah salah satu distribusi probabilitas yang sering digunakan untuk menggambarkan data yang tersebar di sekitar suatu nilai rata-rata (*mean*) tertentu. Distribusi ini memiliki bentuk simetris menyerupai lonceng, yang berarti data paling sering berada di sekitar nilai tengah.

Definisi 2.3.1 (Fungsi Kepadatan Distribusi Normal) *Suatu variable acak X dikatakan mempunyai distribusi probabilitas*

normal jika dan hanya jika, untuk $\sigma > 0$ dan $-\infty < \mu < \infty$, fungsi kepadatan X adalah (Wackerly, dkk. 2008)

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(x - \mu)^2\right), \quad -\infty < x < \infty$$

2. Volatilitas dengan *Maximum Likelihood Estimation*

Maximum Likelihood Estimation (MLE) adalah metode yang digunakan untuk memperkirakan parameter dari suatu distribusi data berdasarkan data observasi. Diperkenalkan oleh Ronald Fisher di awal abad ke-20, MLE bekerja dengan cara mencari nilai parameter yang paling mungkin menghasilkan data yang diamati, berdasarkan model distribusi yang diasumsikan. Metode ini memanfaatkan fungsi *likelihood*, setelah fungsi *likelihood* terbentuk, MLE memaksimalkan nilai ini untuk menemukan estimasi terbaik dari parameter (Fisher, 1922).

Maximum Likelihood Estimation memiliki beberapa sifat menarik yang membuatnya menjadi metode standar dalam statistik. Salah satu sifat utama adalah konsistensi asimptotik, yang berarti estimasi yang diperoleh dari MLE akan mendekati nilai sebenarnya seiring bertambahnya ukuran sampel. Selain itu, estimator MLE memiliki distribusi asimptotik normal, memungkinkan analisis

statistik yang lebih mudah ketika data berukuran besar (Casella & Berger, 2002).

Diberikan data pengembalian saham $R_1, R_2, \dots, R_n$ yang diasumsikan berdistribusi normal dengan rata-rata μ dan variansi σ^2 , fungsi densitas probabilitas untuk setiap pengamatan R_t adalah:

$$f(R_t|\mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(R_t - \mu)^2\right)$$

Fungsi *likelihood* untuk seluruh sampel adalah hasil kali dari fungsi densitas masing-masing pengamatan:

$$L(\mu, \sigma^2) = \prod_{t=1}^n \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(R_t - \mu)^2\right) \right)$$

Karena mengalikan banyak eksponensial bisa rumit, ambil logaritma dari fungsi *likelihood* untuk memperoleh *log-likelihood*, misalkan $\ell(\mu, \sigma^2) = \ln(L(\mu, \sigma^2))$ sehingga :

$$\ell(\mu, \sigma^2) = \sum_{t=1}^n \ln\left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(R_t - \mu)^2\right)\right)$$

Logaritma dari hasil kali menjadi jumlah logaritma, dan persamaannya dapat disederhanakan lebih lanjut:

$$\ell(\mu, \sigma^2) = \sum_{t=1}^n \left(-\ln(\sigma\sqrt{2\pi}) - \frac{1}{2\sigma^2}(R_t - \mu)^2 \right)$$

$$\ell(\mu, \sigma^2) = -n \ln(\sigma\sqrt{2\pi}) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{t=1}^n (R_t - \mu)^2$$

$$\ell(\mu, \sigma^2) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi) - n \ln(\sigma) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{t=1}^n (R_t - \mu)^2$$

$$\ell(\mu, \sigma^2) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi) - \frac{n}{2} \ln(\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{t=1}^n (R_t - \mu)^2$$

Untuk memaksimalkan *log-likelihood*, akan di cari nilai parameter μ dan σ^2 yang memaksimalkan fungsi *log-likelihood*, yaitu dengan menyelesaikan turunan parsial dari *log-likelihood* $\ell(\mu, \sigma^2)$ terhadap μ dan σ^2 , lalu menyamakannya dengan nol.

Turunan terhadap μ :

Untuk mencari μ yang memaksimalkan *log-likelihood*, hitung turunan parsial $\ell(\mu, \sigma^2)$ terhadap μ dan menyamakannya dengan nol:

$$\frac{\partial \ell}{\partial \mu} = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial \mu} \left(-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{t=1}^n (R_t - \mu)^2 \right) = 0$$

$$-\frac{1}{2\sigma^2} \cdot \sum_{t=1}^n \left(\frac{\partial}{\partial \mu} (R_t - \mu)^2 \right) = 0$$

$$-\frac{1}{2\sigma^2} \cdot \sum_{t=1}^n (-2(R_t - \hat{\mu})) = 0$$

$$\begin{aligned}
-\frac{1}{2\sigma^2} \cdot \sum_{t=1}^n (-2)(R_t - \hat{\mu}) &= 0 \\
\frac{1}{\sigma^2} \cdot \sum_{t=1}^n (R_t - \hat{\mu}) &= 0 \\
\sigma^2 \left(\frac{1}{\sigma^2} \cdot \sum_{t=1}^n (R_t - \hat{\mu}) \right) &= \sigma^2 \cdot 0 \\
\sum_{t=1}^n (R_t - \hat{\mu}) &= 0 \\
\sum_{t=1}^n R_t - \sum_{t=1}^n \hat{\mu} &= 0 \\
\sum_{t=1}^n R_t - n\hat{\mu} &= 0 \\
n\hat{\mu} &= \sum_{t=1}^n R_t
\end{aligned}$$

Jadi, estimasi MLE untuk μ (yang biasa disebut $\hat{\mu}$) adalah:

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n R_t \quad (2.21)$$

Turunan terhadap σ^2 :

Untuk mencari σ^2 yang memaksimalkan *log-likelihood*, hitung turunan parsial $\ell(\mu, \sigma^2)$ terhadap σ^2 dan menyamakannya dengan nol:

$$\frac{\partial \ell}{\partial \sigma^2} = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial \sigma^2} \left(-\frac{n}{2} \ln(\sigma^2) \right) + \frac{\partial}{\partial \sigma^2} \left(-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{t=1}^n (R_t - \mu)^2 \right) = 0$$

Misalkan $A = \sum_{t=1}^n (R_t - \mu)^2$

$$-\frac{n}{2} \cdot \frac{\partial}{\partial \sigma^2} (\ln(\sigma^2)) + \frac{\partial}{\partial \sigma^2} \left(-\frac{A}{2\sigma^2} \right) = 0$$

$$-\frac{n}{2} \cdot \frac{1}{\hat{\sigma}^2} - \frac{A}{2} \cdot \frac{\partial}{\partial \sigma^2} \left(-\frac{1}{\sigma^2} \right) = 0$$

$$-\frac{n}{2\hat{\sigma}^2} - \frac{A}{2} \cdot \left(-\frac{1}{(\hat{\sigma}^2)^2} \right) = 0$$

$$-\frac{n}{2\hat{\sigma}^2} + \frac{1}{2(\hat{\sigma}^2)^2} \sum_{t=1}^n (R_t - \hat{\mu})^2 = 0$$

$$-\frac{n}{2\hat{\sigma}^2} + \frac{1}{2\hat{\sigma}^4} \sum_{t=1}^n (R_t - \hat{\mu})^2 = 0$$

$$2\hat{\sigma}^4 \cdot \left(-\frac{n}{2\hat{\sigma}^2} + \frac{1}{2\hat{\sigma}^4} \sum_{t=1}^n (R_t - \hat{\mu})^2 \right) = 2\hat{\sigma}^4 \cdot 0$$

$$2\hat{\sigma}^4 \left(-\frac{n}{2\hat{\sigma}^2} \right) + 2\hat{\sigma}^4 \left(\frac{1}{2\hat{\sigma}^4} \sum_{t=1}^n (R_t - \hat{\mu})^2 \right) = 0$$

$$-n\hat{\sigma}^2 + \sum_{t=1}^n (R_t - \hat{\mu})^2 = 0$$

$$\sum_{t=1}^n (R_t - \hat{\mu})^2 = n\hat{\sigma}^2$$

Jadi, estimasi MLE untuk σ^2 (yang biasa disebut $\hat{\sigma}^2$) adalah:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (R_t - \hat{\mu})^2$$

Sehingga, di dapatkan estimasi volatilitas (σ) dengan MLE adalah sebagai berikut:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (R_t - \hat{\mu})^2} \quad (2.22)$$

Dengan menerapkan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE), nilai σ yang memaksimalkan $L(\sigma)$ disebut sebagai volatilitas.

D. Penelitian Terdahulu

1. Larasati (2018) melakukan penelitian yang berjudul "Penentuan Harga Opsi Eropa menggunakan Metode Trinomial dengan Volatilitas menggunakan Metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE)." Penelitian ini memakai data harga penutupan saham Apple Inc (AAPL) selama tahun 2018. Hasilnya menunjukkan nilai opsi sebesar \$0,41863, mengindikasikan bahwa harga opsi *call* Eropa dipengaruhi oleh harga saham, harga kesepakatan, volatilitas, serta jumlah periode. Kesamaan penelitian ini terletak pada penghitungan volatilitas yang dilakukan dengan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) serta penggunaan jenis

opsi Eropa. Namun, perbedaannya terletak pada penggunaan metode Trinomial nya, pada penelitian ini menggunakan metode Trinomial Hull-White, sedangkan pada skripsi ini menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken.

2. Sulastri, dkk (2019) melakukan penelitian yang berjudul "Penentuan Harga Opsi Barrier menggunakan Metode Trinomial Kamrad-Ritchken dengan Volatilitas Model GARCH." Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder, khususnya harga penutupan saham Bank Rakyat Indonesia (Persero) Tbk. Penelitian ini membahas penggunaan metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan model volatilitas GARCH untuk menghitung harga opsi Barrier. Persamaan penelitian ini adalah menggunakan metode trinomial kamrad ritchken. Namun, perbedaannya terletak pada jenis opsi yang dipakai yaitu *Opsi Barrier*, serta model volatilitas yang menggunakan model GARCH.
3. Junarsih (2017) melakukan sebuah studi berjudul "Penggunaan Model Trinomial Kamrad Ritchken dalam Menentukan Harga Opsi Put Amerika." Penelitian ini menggunakan data harga penutupan harian saham Microsoft Corporation (MSFT) dari periode 1 Maret 2016 hingga 1 September 2016. Hasil penelitian

menunjukkan nilai opsi put sebesar \$2,31124. Kesamaan penelitian ini terletak pada penggunaan metode Trinomial Kamrad Ritchken. Namun, perbedaannya terdapat pada jenis opsi yang digunakan, di mana penelitian ini menggunakan opsi tipe Amerika, serta volatilitas yang dihitung dengan rumus standar deviasi.

4. Langat, dkk (2019) melakukan penelitian yang berjudul "*Pricing Options Using Trinomial Lattice Method.*" Penelitian ini menggunakan data simulasi harga opsi *European Put* dengan parameter seperti harga saham awal $S_0 = 100$, *strike price* $K = 110$, tingkat suku bunga bebas risiko $r = 0,05$, volatilitas $\sigma = 0,25$, dan periode waktu 0,5 tahun. Hasilnya menunjukkan bahwa metode *Trinomial Tree* mendekati hasil dari Black-Scholes dengan harga opsi sebesar \$11.50800 untuk 13 langkah. Penelitian ini menyimpulkan bahwa metode *Trinomial Tree* lebih cepat konvergen dan lebih akurat dibandingkan metode Binomial dalam penentuan harga opsi Eropa. Kesamaan penelitian ini terletak pada jenis opsi yang digunakan yaitu opsi tipe Eropa. Sedangkan, perbedaannya terletak pada penggunaan metode Trinomial nya, pada penelitian ini menggunakan metode *Boyle's Trinomial Lattice*, sedangkan pada

skripsi ini menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken.

5. Ismail & Atiya (2003) melakukan penelitian yang berjudul "*A Maximum Likelihood Approach to Volatility Estimation for a Brownian Motion using High, Low, and Close Price Data*". Penelitian ini menggunakan data harga tertinggi, terendah, dan harga penutupan dari instrumen keuangan. Metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) pada penelitian ini digunakan untuk mengestimasi volatilitas dari instrumen keuangan yang mengikuti gerak Brown, dengan memaksimalkan fungsi likelihood berdasarkan data harga tersebut. Estimasi ini penting untuk menentukan volatilitas yang optimal, yang berguna dalam berbagai aplikasi keuangan seperti penentuan harga derivatif, alokasi aset, dan manajemen risiko. Hasilnya menunjukkan bahwa estimasi volatilitas dengan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) memiliki *Root Mean Square* (RMS) error prediksi yang sekitar 2,6 hingga 2,7 kali lebih rendah dibandingkan metode yang hanya menggunakan harga penutupan. Kesimpulannya, metode ini memberikan estimasi volatilitas yang lebih akurat dan stabil, yang sangat bermanfaat dalam manajemen risiko dan pengambilan keputusan investasi. Pada skripsi ini

metode *Maximum Likelihood Estimation* digunakan untuk menentukan nilai volatilitas dalam perhitungan harga opsi.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Tahap Penelitian

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memahami konsep dasar dan teori-teori yang sesuai dengan penentuan harga opsi Eropa. Literatur yang dikaji meliputi: Teori opsi dan derivatif keuangan; Metode penentuan harga opsi; Metode estimasi volatilitas, khususnya metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE); Studi kasus dan penelitian sebelumnya yang menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken.

Studi literatur ini bertujuan untuk memastikan landasan teoritis yang kuat bagi penelitian serta memahami aplikasi praktis dari metode yang digunakan.

2. Pengambilan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari *Yahoo Finance*. Data yang diperlukan adalah penutupan data harian yang berasal dari saham perusahaan yang menjadi subjek penelitian. Berikut adalah langkah-langkah dalam pengambilan data:

- 1) Mengakses situs *Yahoo Finance*.
- 2) Mencari dan memilih saham dari perusahaan yang diinginkan.
- 3) Mengunduh data harga saham historis dalam format CSV atau Excel.
- 4) Menyimpan data untuk keperluan analisis selanjutnya.

3. Menentukan Parameter

Parameter yang diperlukan untuk perhitungan harga opsi Eropa menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken meliputi: harga saham awal (S_0), *strike price* (K), waktu jatuh tempo (T), tingkat suku bunga bebas risiko (r), dan langkah waktu (N). Parameter ini dapat ditentukan dengan mengacu pada data pasar dan asumsi-asumsi yang berlaku.

4. Menentukan Volatilitas Menggunakan Metode *Maximum Likelihood Estimation*

Volatilitas merupakan salah satu parameter penting dalam penentuan harga opsi. Langkah-langkah untuk menentukan volatilitas menggunakan metode MLE yaitu:

- 1) Mengumpulkan data harga saham harian dalam periode tertentu.
- 2) Menghitung *return* logaritmik harian dari harga saham

menggunakan persamaan (2.1).

- 3) Menghitung $\hat{\mu}$ (estimasi rata-rata) dengan persamaan (2.21).
- 4) Menghitung $\hat{\sigma}$ (estimasi volatilitas) dengan persamaan (2.22).

5. Perhitungan Harga opsi Eropa Menggunakan Metode Trinomial Kamrad Ritchken

Setelah menentukan parameter di atas, langkah berikutnya yaitu:

- 1) Menentukan nilai parameter λ (parameter kecenderungan harga saham), u (parameter kenaikan harga saham), d (parameter penurunan harga saham) dengan menggunakan masing-masing persamaan (2.12), persamaan (2.2) dan persamaan (2.4).
- 2) Menentukan peluang harga saham, diantaranya yaitu P_u (peluang harga saham naik), P_m (peluang harga saham tetap), dan P_d (peluang harga saham turun) dengan menggunakan masing-masing persamaan (2.7), persamaan (2.8) dan persamaan (2.9).
- 3) Menentukan nilai perkiraan harga saham pada simpul (j, i) hingga diperoleh (S_{jN}) dengan menggunakan rumus pada Persamaan (2.13).
- 4) Menentukan nilai *payoff* opsi *call* Eropa dan opsi *put*

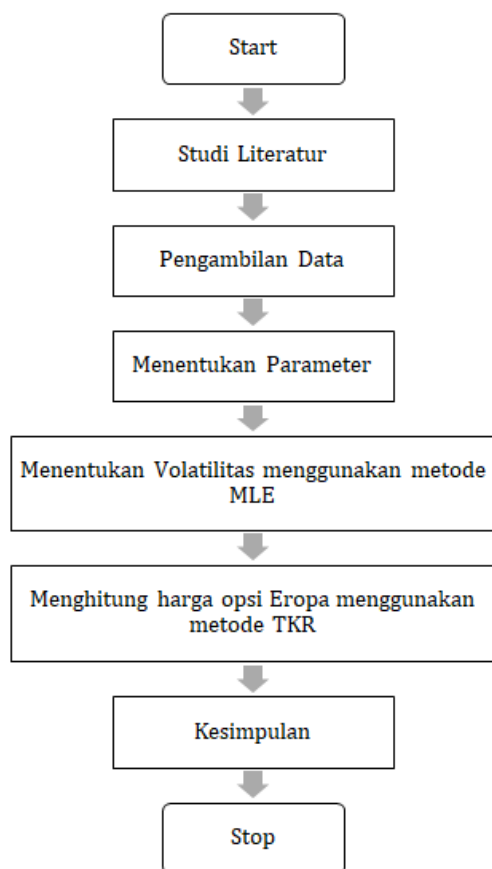
Eropa dengan menggunakan persamaan (2.14) dan (2.15).

- 5) Menentukan harga opsi *call* Eropa dan opsi *put* Eropa dengan menggunakan persamaan (2.16) dan (2.17).

6. Kesimpulan

Setelah melakukan perhitungan, hasil yang diperoleh kemudian dianalisis untuk menarik kesimpulan. Kesimpulan mencakup: hasil perhitungan opsi Eropa menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan volatilitas *Maximum Likelihood Estimation* (MLE), serta keakuratan metode tersebut dalam merepresentasikan harga opsi pasar.

B. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir di atas menggambarkan tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini, dimulai dari studi

literatur untuk memperoleh landasan teori yang kuat, dilanjutkan dengan pengambilan data saham dari *Yahoo Finance*. Setelah itu, ditentukan parameter-parameter penting seperti harga saham awal, *strike price*, suku bunga bebas risiko, waktu jatuh tempo, dan jumlah langkah waktu. Tahap selanjutnya adalah menentukan volatilitas menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) berdasarkan data *return* logaritmik harian. Volatilitas yang telah diperoleh kemudian digunakan dalam perhitungan harga opsi Eropa dengan metode Trinomial Kamrad Ritchken. Terakhir, dilakukan penarikan kesimpulan dari hasil yang diperoleh.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Deskripsi Data

Pada penelitian ini, data yang digunakan diperoleh dari *Yahoo Finance* (<http://www.finance.yahoo.com/>) yang mencakup harga penutupan saham dari lima perusahaan, yaitu: PayPal Holdings, Inc. (PYPL), T-Mobile US, Inc. (TMUS), Cognizant Technology Solutions Corporation (CTSH), Advanced Micro Devices, Inc. (AMD), dan Applied Materials, Inc. (AMAT). Data ini diambil dari tanggal 31 Desember 2021 hingga 31 Desember 2024 sebanyak 754 data untuk masing-masing saham, dengan waktu jatuh tempo opsi adalah tanggal 20 Juni 2025. Suku bunga bebas risiko yang digunakan dalam perhitungan adalah 4,5% yang diambil dari *website* <https://tradingeconomics.com/united-states/interest-rate>.

Harga penutupan saham untuk setiap perusahaan yang digunakan dalam perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 1.

2. Proses Penentuan Harga Opsi

Proses penentuan harga opsi Eropa dilakukan melalui beberapa tahapan, di antaranya yaitu:

1) Menentukan Parameter

Parameter harga saham awal (S_0) dan *strike price* (K)

yang digunakan dalam perhitungan harga opsi Eropa untuk setiap saham yang dianalisis dirangkum dalam Tabel 4.1. Kedua parameter ini diperoleh dari data pasar yang tersedia di *Yahoo Finance*. Waktu jatuh tempo (T) ditentukan pada 20 Juni 2025, dengan tingkat suku bunga bebas risiko (r) sebesar 4,5% yang diambil dari sumber data *Trading Economics*. Selain itu, langkah waktu (N) ditetapkan sebanyak 150 periode.

Tabel 4.1 Parameter S_0 dan K untuk Setiap Saham

Nama Saham	S_0	K ($K < S_0$)	Selisi h (%)	K (K di sekitar S_0)	Selisi h (%)	K ($K > S_0$)	Selisi ih (%)
PYPL	85,35	50	41,42 %	85	0,41 %	110	28,88 %
TMUS	220,73	150	32,04 %	220	0,33 %	250	13,26 %
CTSH	76,90	40	47,98 %	75	2,47 %	87,5	13,78 %
AMD	120,79	70	42,05 %	120	0,65 %	190	57,30 %
AMAT	167,63	100	40,34 %	160	4,55 %	250	49,14 %

Untuk menghitung persentase selisih antara *strike price* (K) dan harga saham awal (S_0), digunakan rumus berikut:

$$\text{Persentase Selisih} = \left(\frac{|K - S_0|}{S_0} \right) \times 100\%$$

2) Menghitung Volatilitas dengan *Maximum Likelihood Estimation* (MLE)

Langkah awal dalam menghitung volatilitas adalah menentukan return logaritmik harian dari harga saham. Return dapat dihitung menggunakan rumus pada persamaan (2.1), perhitungan ini dilakukan untuk setiap saham dalam periode 31 Desember 2021 hingga 31 Desember 2024. Berikut proses perhitungan *return* untuk saham PayPal Holdings, Inc. (PYPL):

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Return Harga Saham PYPL

Harga Penutupan Saham	R_t	Proses	Retun Saham
188,58	R_0	-	-
194,94	R_1	$\ln \frac{194,94}{188,58}$	0,03317
191,14	R_2	$\ln \frac{191,14}{194,94}$	-0,01969
⋮	⋮	⋮	⋮
85,43	R_{752}	$\ln \frac{85,43}{86,86}$	-0,0166
85,35	R_{753}	$\ln \frac{85,35}{85,43}$	-0,00094
Total			-0,79276

Selanjutnya, menghitung rata-rata *return* ($\hat{\mu}$) dengan persamaan (2.21) yang diperoleh dari estimasi *Maximum*

Likelihood Estimation. Nilai rata-rata *return* saham PYPL dihitung sebagai berikut:

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i = \frac{-0,79276}{753} = -0,0010528$$

Proses berikutnya adalah menghitung nilai volatilitas ($\hat{\sigma}$) dengan estimasi *Maximum Likelihood Estimation* menggunakan persamaan (2.22).

Tabel 4.3 Proses Perhitungan Volatilitas Saham PYPL

t	R_t	$(R_t - \hat{\mu})$	$(R_t - \hat{\mu})^2$
1	0,03317	0,034222	0,001171
2	-0,01969	-0,01863	0,000347
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
752	-0,0166	-0,01555	0,000242
753	-0,00094	0,000116	0,0000000134
Total			0,612228

Dari Tabel 4.3 diperoleh estimasi volatilitas ($\hat{\sigma}$) dengan *Maximum Likelihood Estimation* untuk saham PYPL sebagai berikut:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (R_t - \hat{\mu})^2} = \sqrt{\frac{0,612228}{753}} = \sqrt{0,000813} = 0,028514$$

Hasil perhitungan volatilitas untuk beberapa kontrak opsi pada berbagai saham, yang dihitung menggunakan

program Matlab R2013a, ditampilkan dalam Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Volatilitas Masing-masing Saham

Nama Saham	Nilai Volatilitas ($\hat{\sigma}$)
PYPL	0,028514
TMUS	0,014126
CTSH	0,017064
AMD	0,033034
AMAT	0,02707

Berdasarkan Tabel 4.4 diperoleh nilai-nilai volatilitas yang selanjutnya akan digunakan untuk perhitungan harga opsi Eropa menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken. Meskipun dalam penelitian ini tidak dilakukan perbandingan langsung dengan metode estimasi volatilitas lainnya, metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) tetap relevan digunakan karena secara teoritis dikenal sebagai estimator yang efisien dan asimtotik tak bias (Casella & Berger, 2002). Artinya, untuk jumlah data yang besar, seperti yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu 754 data historis per saham, estimasi yang dihasilkan oleh *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) akan mendekati nilai parameter sebenarnya. Hal ini terjadi karena metode ini memaksimalkan fungsi *likelihood* berdasarkan data yang diamati. Oleh karena itu, penggunaan metode *Maximum*

Likelihood Estimation (MLE) dalam penelitian ini dapat dianggap tepat dalam menghasilkan estimasi volatilitas yang akurat dan efisien.

3) Menghitung harag opsi dengan metode Trinomial Kamrad Ritchken

Setelah parameter dan volatilitas ditentukan, langkah berikutnya adalah menghitung harga opsi Eropa dengan menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken. Berikut adalah proses perhitungannya:

a. Menentukan nilai waktu jatuh tempo (T) dan Δt

Pada penelitian ini, waktu jatuh tempo opsi (T) ditetapkan pada tanggal 20 Juni 2025, sementara data diambil pada tanggal 31 desember 2024, sehingga terdapat selisih waktu sebesar 172 hari. Dengan demikian, diperoleh:

$$T = \frac{172}{360} = 0,4777$$

Sehingga nilai Δt yaitu:

$$\Delta t = \frac{T}{N} = \frac{0,4777}{150} = 0,003185$$

b. Menghitung nilai parameter λ, u, d

Untuk menghitung nilai parameter λ, u , dan d pada saham PYPL digunakan persamaan (2.12), (2.2), dan (2.4). Berikut adalah perhitungannya:

- Parameter λ

Lambda (λ) merupakan parameter kecenderungan harga saham yang dapat diperoleh dengan rumus pada persamaan (2.12) sebagai berikut.

$$\lambda = \frac{\eta}{n_0}$$

Dimana,

$$\eta = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{b}\right)}{\sigma\sqrt{\Delta t}}, \text{ dengan } b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{t_i}$$

$$n_0 = \lfloor \eta \rfloor$$

Sehingga, tentukan *Barrier* (b):

$$b = \frac{188,58 + 194,94 + \dots + 85,35}{754} = 77,8004$$

Maka diperoleh nilai η dan n_0 :

$$\eta = \frac{\ln\left(\frac{85,35}{77,8004}\right)}{0,028514\sqrt{0,003185}} = 57,5505$$

$$n_0 = \lfloor 57,5505 \rfloor = 57$$

Dengan demikian, diperoleh nilai λ :

$$\lambda = \frac{57,5505}{57} = 1,0097$$

- Parameter u

Parameter kenaikan harga saham (u) dapat diperoleh dengan menggunakan rumus pada persamaan (2.2) sebagai berikut:

$$u = e^{\lambda\sigma\sqrt{\Delta t}}$$

$$\begin{aligned}
 &= e^{1,0097 \times 0,028514 \times \sqrt{0,003185}} \\
 &= 1,0016
 \end{aligned}$$

- Parameter d

Parameter penurunan harga saham (d) dapat diperoleh dengan menggunakan rumus pada persamaan (2.4) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 d &= e^{-\lambda \sigma \sqrt{\Delta t}} \\
 &= e^{-1,0097 \times 0,028514 \times \sqrt{0,003185}} \\
 &= 0,99838
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan parameter λ , u , dan d untuk beberapa kontrak opsi pada berbagai saham, yang dihitung menggunakan program Matlab R2013a, ditampilkan dalam Tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Parameter λ , u , dan d Pada Masing-masing Saham

Nama Saham	Parameter		
	λ	u	d
PYPL	1,0097	1,0016	0,99838
TMUS	1,0015	1,0008	0,9992
CTSH	1,0063	1,001	0,99903
AMD	1,0479	1,002	0,99805
AMAT	1,0029	1,0015	0,99847

c. Menghitung peluang harga saham p_u, p_m, p_d

Untuk menghitung nilai peluang harga saham p_u, p_m , dan p_d pada saham PYPL digunakan persamaan (2.7), (2.8), dan (2.9). Berikut adalah perhitungannya:

- Peluang harga saham naik p_u

Peluang harga saham naik p_u dapat diperoleh dengan menggunakan rumus pada persamaan (2.7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 p_u &= \frac{1}{2\lambda^2} + \frac{\mu\sqrt{\Delta t}}{2\lambda\sigma} \\
 &= \frac{1}{2\lambda^2} + \frac{\left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)\sqrt{\Delta t}}{2\lambda\sigma} \\
 &= \frac{1}{2 \times (1,0097)^2} \\
 &\quad + \frac{\left(0,045 - \frac{1}{2}(0,028514)^2\right) \times \sqrt{0,003185}}{2 \times 1,0097 \times 0,028514} \\
 &= 0,490439 + \frac{0,00251667}{0,0575811716} \\
 &= 0,490439 + 0,04376 \\
 &= 0,53419
 \end{aligned}$$

- Peluang harga saham tetap p_m

Peluang harga saham tetap p_m dapat diperoleh dengan menggunakan rumus pada persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$p_m = 1 - \frac{1}{\lambda^2}$$

$$\begin{aligned}
&= 1 - \frac{1}{(1,0097)^2} \\
&= 1 - 0,980962 \\
&= 0,019038
\end{aligned}$$

- Peluang harga saham turun p_d

Peluang harga saham turun p_d dapat diperoleh dengan menggunakan rumus pada persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
p_d &= \frac{1}{2\lambda^2} - \frac{\mu\sqrt{\Delta t}}{2\lambda\sigma} \\
&= \frac{1}{2\lambda^2} - \frac{\left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)\sqrt{\Delta t}}{2\lambda\sigma} \\
&= \frac{1}{2 \times (1,0097)^2} \\
&\quad - \frac{\left(0,045 - \frac{1}{2}(0,028514)^2\right) \times \sqrt{0,003185}}{2 \times 1,0097 \times 0,028514} \\
&= 0,490439 - \frac{0,00251667}{0,0575811716} \\
&= 0,490439 - 0,04376 \\
&= 0,44677
\end{aligned}$$

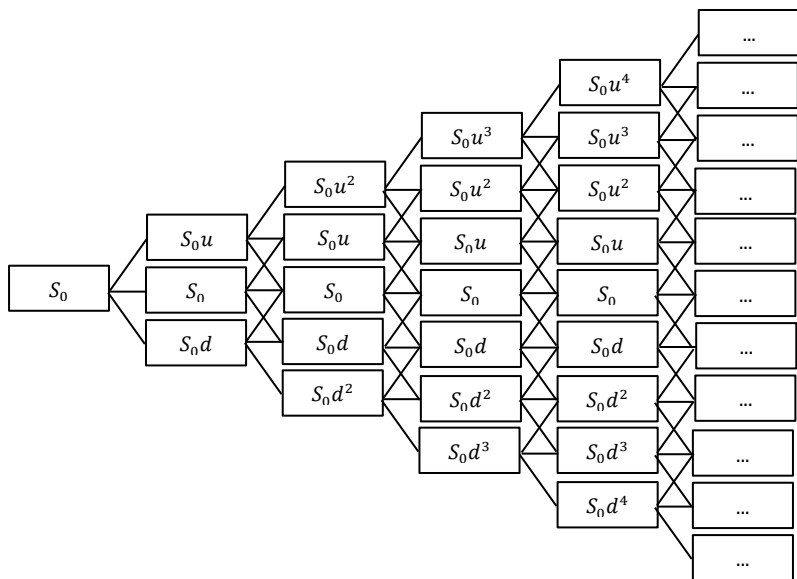
Hasil perhitungan peluang harga saham p_u, p_m, p_d untuk beberapa kontrak opsi pada berbagai saham, yang dihitung menggunakan program Matlab R2013a, ditampilkan dalam Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Peluang Harga Saham p_u , p_m , dan p_d Pada Masing-masing Saham

Nama Saham	Peluang Harga Saham		
	p_u	p_m	p_d
PYPL	0,53419	0,019038	0,44677
TMUS	0.58808	0,0029546	0,40896
CTSH	0,56747	0,012479	0,42005
AMD	0,49159	0,089306	0,41911
AMAT	0,54352	0,0057491	0,45073

d. Menghitung perkiraan harga saham pada setiap periode

Harga saham pada setiap titik dapat diperoleh dengan mensubstitusikan nilai u dan d pada persamaan (2.13). Secara umum, skema pohon Trinomial ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 4.1 Skema Umum Pohon Trinomial

Perhitungan harga saham PYPL menggunakan 150 periode sebagai berikut:

Periode 0

$$S_{0,0} = S_0 = 85,35$$

Periode 1

$$S_{0,1} = S_0 d = 85,35(0,99838) = 85,2114$$

$$S_{1,1} = S_0 = 85,35$$

$$S_{2,1} = S_0 u = 85,35(1,0016) = 85,4888$$

Periode 2

$$S_{0,2} = S_0 d^2 = 85,35(0,99838)^2 = 85,0731$$

$$S_{1,2} = S_0 d = 85,35(0,99838) = 85,2114$$

$$S_{2,2} = S_0 = 85,35$$

$$S_{3,2} = S_0 u = 85,35(1,0016) = 85,4888$$

$$S_{4,2} = S_0 u^2 = 85,35(1,0016)^2 = 85,6278$$

Periode 3

$$S_{0,3} = S_0 d^3 = 85,35(0,99838)^3 = 84,9350$$

$$S_{1,3} = S_0 d^2 = 85,35(0,99838)^2 = 85,0731$$

$$S_{2,3} = S_0 d = 85,35(0,99838) = 85,2114$$

$$S_{3,3} = S_0 = 85,35$$

$$S_{4,3} = S_0 u = 85,35(1,0016) = 85,4888$$

$$S_{5,3} = S_0 u^2 = 85,35(1,0016)^2 = 85,6278$$

$$S_{6,3} = S_0 u^3 = 85,35(1,0016)^3 = 85,7670$$

⋮

Periode 150

$$S_{0,150} = S_0 d^{150} = 85,35(0,99838)^{150} = 66,8894$$

$$S_{1,150} = S_0 d^{149} = 85,35(0,99838)^{149} = 66,9981$$

$$\vdots$$

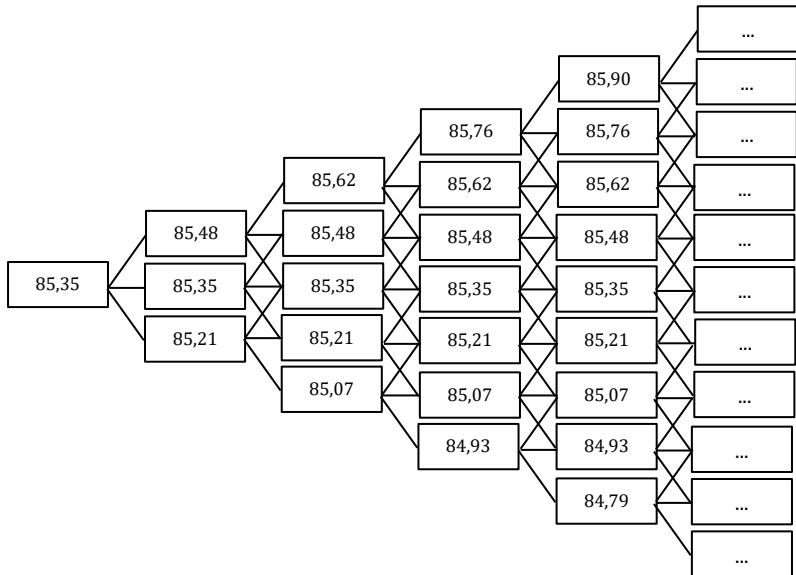
$$S_{150,150} = S_0 = 85,35$$

$$\vdots$$

$$S_{299,150} = S_0 u^{149} = 85,35(1,0016)^{149} = 108,7287$$

$$S_{300,150} = S_0 u^{150} = 85,35(1,0016)^{150} = 108,9055$$

Perhitungan harga saham PYPL menggunakan pohon Trinomial selama 150 periode :



Gambar 4.2 Harga Saham PYPL Pada Node (j, i)

e. Menghitung nilai *payoff* opsi

1) Strike price (K) = 50 ($K < S_0$)

Dengan *strike price* (K) sebesar 50 untuk saham PYPL akan didapat nilai-nilai *payoff* seperti berikut:

1. *Payoff* Opsi *Call* Eropa

Payoff untuk opsi *call* Eropa adalah

$$C_{ji} = \max(S_{ji} - K; 0)$$

Periode 0

$$\begin{aligned} C_{0,0} &= \max(S_{0,0} - K; 0) \\ &= \max(85,35 - 50; 0) \\ &= \max(35,35; 0) \\ &= 35,35 \end{aligned}$$

Periode 1

$$\begin{aligned} C_{0,1} &= \max(S_{0,1} - K; 0) \\ &= \max(85,2114 - 50; 0) \\ &= \max(35,2114; 0) \\ &= 35,2114 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{1,1} &= \max(S_{1,1} - K; 0) \\ &= \max(85,35 - 50; 0) \\ &= \max(35,35; 0) \\ &= 35,35 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{2,1} &= \max(S_{2,1} - K; 0) \\ &= \max(85,4888 - 50; 0) \\ &= \max(35,4888; 0) \\ &= 35,4888 \end{aligned}$$

⋮

Periode 150

$$\begin{aligned}
C_{0,150} &= \max(S_{0,150} - K; 0) \\
&= \max(66,8894 - 50; 0) \\
&= \max(16,8894; 0) \\
&= 16,8894
\end{aligned}$$

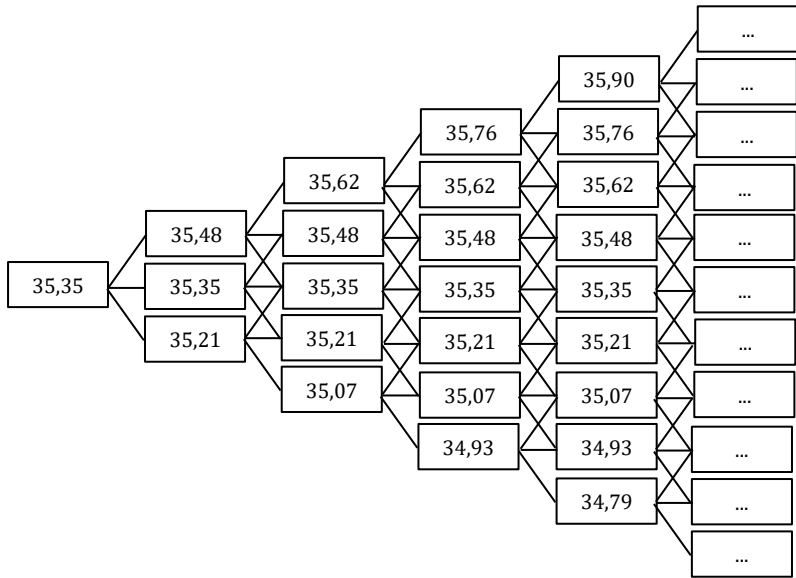
$$\begin{aligned}
C_{1,150} &= \max(S_{1,150} - K; 0) \\
&= \max(66,9981 - 50; 0) \\
&= \max(16,9981; 0) \\
&= 16,9981 \\
&\vdots
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{150,150} &= \max(S_{150,150} - K; 0) \\
&= \max(85,35 - 50; 0) \\
&= \max(35,35; 0) \\
&= 35,35
\end{aligned}$$

$$\vdots$$

$$\begin{aligned}
C_{299,150} &= \max(S_{299,150} - K; 0) \\
&= \max(108,7287 - 50; 0) \\
&= \max(58,7287; 0) \\
&= 58,7287
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{300,150} &= \max(S_{300,150} - K; 0) \\
&= \max(108,9055 - 50; 0) \\
&= \max(58,9055; 0) \\
&= 58,9055
\end{aligned}$$



Gambar 4.3 Nilai *Payoff* Opsi *Call* Saham PYPL Pada Node (j, i) dengan $K = 50$

2. *Payoff* Opsi *Put* Eropa
Payoff untuk opsi *put* Eropa adalah

$$P_{ji} = \max(K - S_{ji}; 0)$$

Periode 0

$$\begin{aligned} P_{0,0} &= \max(K - S_{0,0}; 0) \\ &= \max(50 - 85,35; 0) \\ &= \max(-35,35; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

Periode 1

$$\begin{aligned} P_{0,1} &= \max(K - S_{0,1}; 0) \\ &= \max(50 - 85,2114; 0) \\ &= \max(-35,2114; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
&= \max(50 - 85,35; 0) \\
&= \max(-35,35 ; 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{2,1} &= \max(K - S_{2,1}; 0) \\
&= \max(50 - 85,4888; 0) \\
&= \max(-35,4888 ; 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\vdots$$

Periode 150

$$\begin{aligned}
P_{0,150} &= \max(K - S_{0,150}; 0) \\
&= \max(50 - 66,8894; 0) \\
&= \max(-16,8894 ; 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{1,150} &= \max(K - S_{1,150}; 0) \\
&= \max(50 - 66,9981; 0) \\
&= \max(-16,9981 ; 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

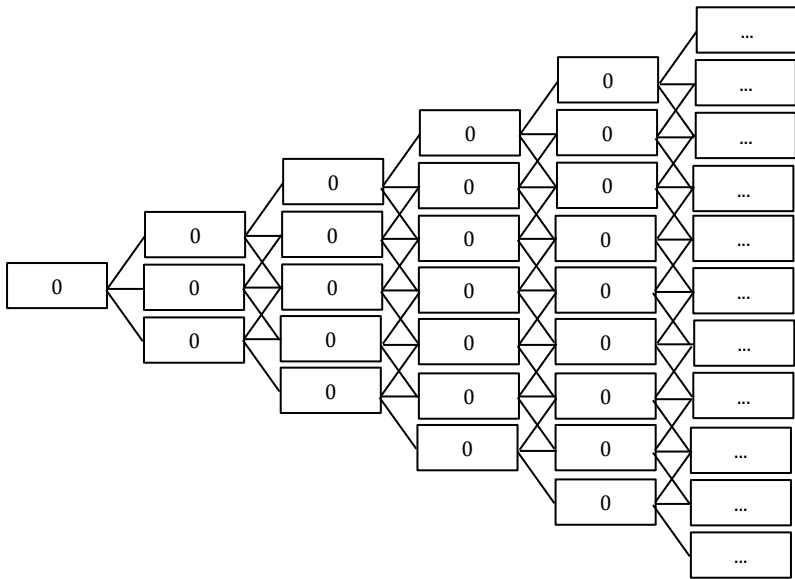
$$\vdots$$

$$\begin{aligned}
P_{150,150} &= \max(K - S_{150,150}; 0) \\
&= \max(50 - 85,35; 0) \\
&= \max(-35,35 ; 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\vdots$$

$$\begin{aligned}
P_{299,150} &= \max(K - S_{299,150}; 0) \\
&= \max(50 - 108,7287; 0) \\
&= \max(-58,728 ; 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{300,150} &= \max(K - S_{300,150}; 0) \\
&= \max(50 - 108,9055; 0) \\
&= \max(-58,9055 ; 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$



Gambar 4.4 Nilai *Payoff* Opsi *Put* Saham PYPL Pada Node (j, i) dengan $K = 50$

2) Strike price $(K) = 85$ (K di sekitar S_0)

Dengan *strike price* (K) sebesar 85 untuk saham PYPL akan didapat nilai-nilai *payoff* seperti berikut:

1. *Payoff* Opsi *Call* Eropa

Payoff untuk opsi *call* Eropa adalah

$$C_{ji} = \max(S_{ji} - K; 0)$$

Periode 0

$$\begin{aligned} C_{0,0} &= \max(S_{0,0} - K; 0) \\ &= \max(85,35 - 85; 0) \\ &= \max(0,35; 0) \\ &= 0,35 \end{aligned}$$

Periode 1

$$\begin{aligned}
C_{0,1} &= \max(S_{0,1} - K; 0) \\
&= \max(85,2114 - 85; 0) \\
&= \max(0,2114; 0) \\
&= 0,2114
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{1,1} &= \max(S_{1,1} - K; 0) \\
&= \max(85,35 - 85; 0) \\
&= \max(0,35; 0) \\
&= 0,35
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{2,1} &= \max(S_{2,1} - K; 0) \\
&= \max(85,4888 - 85; 0) \\
&= \max(0,4888; 0) \\
&= 0,4888
\end{aligned}$$

$$\vdots$$
Periode 150

$$\begin{aligned}
C_{0,150} &= \max(S_{0,150} - K; 0) \\
&= \max(66,8894 - 85; 0) \\
&= \max(-18,1106; 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{1,150} &= \max(S_{1,150} - K; 0) \\
&= \max(66,9981 - 85; 0) \\
&= \max(-18,0019; 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

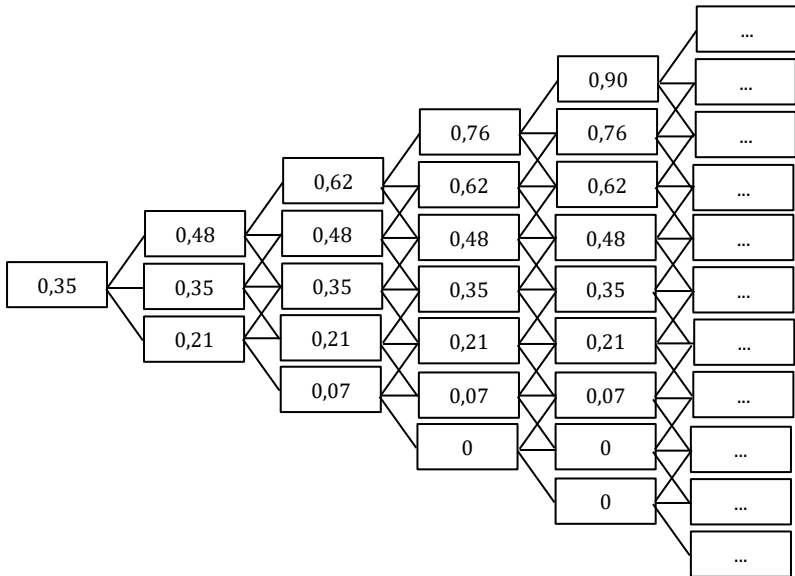
$$\vdots$$

$$\begin{aligned}
C_{150,150} &= \max(S_{150,150} - K; 0) \\
&= \max(85,35 - 85; 0) \\
&= \max(0,35; 0) \\
&= 0,35
\end{aligned}$$

$$\vdots$$

$$\begin{aligned} C_{299,150} &= \max(S_{299,150} - K; 0) \\ &= \max(108,7287 - 85; 0) \\ &= \max(23,7287; 0) \\ &= 23,7287 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{300,150} &= \max(S_{300,150} - K; 0) \\ &= \max(108,9055 - 85; 0) \\ &= \max(23,9055; 0) \\ &= 23,9055 \end{aligned}$$



Gambar 4.5 Nilai *Payoff* Opsi *Call* Saham PYPL Pada Node (j, i) dengan $K = 85$

2. *Payoff* Opsi *Put* Eropa
Payoff untuk opsi *put* Eropa adalah

$$P_{ji} = \max(K - S_{ji}, 0)$$

Periode 0

$$\begin{aligned} P_{0,0} &= \max(K - S_{0,0}; 0) \\ &= \max(85 - 85,35; 0) \\ &= \max(-0,35; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

Periode 1

$$\begin{aligned} P_{0,1} &= \max(K - S_{0,1}; 0) \\ &= \max(85 - 85,2114; 0) \\ &= \max(-0,2114; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{1,1} &= \max(K - S_{1,1}; 0) \\ &= \max(85 - 85,35; 0) \\ &= \max(-0,35; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{2,1} &= \max(K - S_{2,1}; 0) \\ &= \max(85 - 85,4888; 0) \\ &= \max(-0,4888; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

⋮

Periode 150

$$\begin{aligned} P_{0,150} &= \max(K - S_{0,150}; 0) \\ &= \max(85 - 66,8894; 0) \\ &= \max(18,1106; 0) \\ &= 18,1106 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{1,150} &= \max(K - S_{1,150}; 0) \\ &= \max(85 - 66,9981; 0) \\ &= \max(18,0019; 0) \\ &= 18,0019 \end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned} P_{150,150} &= \max(K - S_{150,150}; 0) \\ &= \max(85 - 85,35; 0) \\ &= \max(-0,35; 0) \end{aligned}$$

Dengan *strike price* (K) sebesar 110 untuk saham PYPL akan didapat nilai-nilai *payoff* seperti berikut:

1. *Payoff* Opsi Call Eropa

Payoff untuk opsi *call* Eropa adalah

$$C_{ji} = \max(S_{ji} - K; 0)$$

Periode 0

$$\begin{aligned} C_{0,0} &= \max(S_{0,0} - K; 0) \\ &= \max(85,35 - 110; 0) \\ &= \max(-24,6500; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

Periode 1

$$\begin{aligned} C_{0,1} &= \max(S_{0,1} - K; 0) \\ &= \max(85,2114 - 110; 0) \\ &= \max(-24,7886; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{1,1} &= \max(S_{1,1} - K; 0) \\ &= \max(85,35 - 110; 0) \\ &= \max(-24,6500; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{2,1} &= \max(S_{2,1} - K; 0) \\ &= \max(85,4888 - 110; 0) \\ &= \max(-24,5112; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

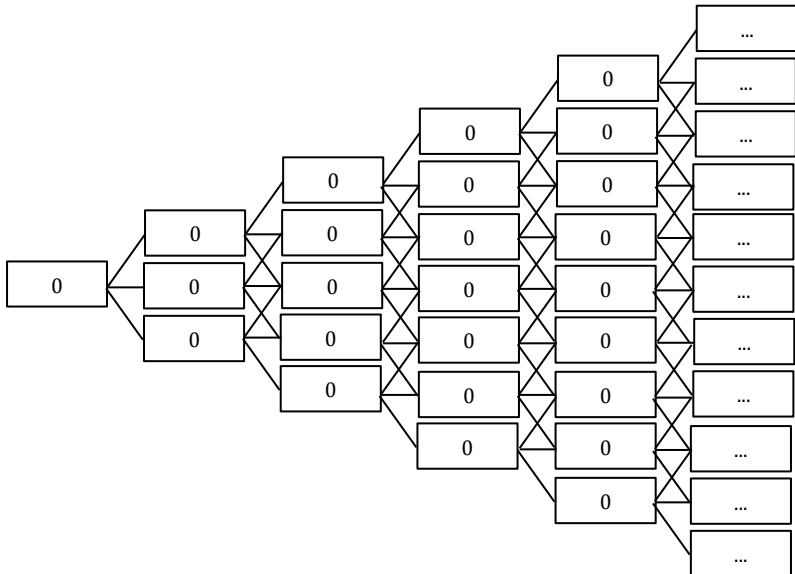
⋮

Periode 150

$$\begin{aligned} C_{0,150} &= \max(S_{0,150} - K; 0) \\ &= \max(66,8894 - 110; 0) \\ &= \max(-43,1106; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{1,150} &= \max(S_{1,150} - K; 0) \\ &= \max(66,9981 - 110; 0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \max(-43,0019; 0) \\
&= 0 \\
&\vdots \\
C_{150,150} &= \max(S_{150,150} - K; 0) \\
&= \max(85,35 - 110; 0) \\
&= \max(-24,6500; 0) \\
&= 0 \\
&\vdots \\
C_{299,150} &= \max(S_{299,150} - K; 0) \\
&= \max(108,7287 - 110; 0) \\
&= \max(-1,2713; 0) \\
&= 0 \\
C_{300,150} &= \max(S_{300,150} - K; 0) \\
&= \max(108,9955 - 110; 0) \\
&= \max(-1,0945; 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$



Gambar 4.7 Nilai *Payoff* Opsi *Call* Saham PYPL pada node (j, i) dengan $K = 110$

2. *Payoff* Opsi Put Eropa
Payoff untuk opsi put Eropa adalah

$$P_{ji} = \max(K - S_{ji}; 0)$$

Periode 0

$$\begin{aligned} P_{0,0} &= \max(K - S_{0,0}; 0) \\ &= \max(110 - 85,35; 0) \\ &= \max(24,6500; 0) \\ &= 24,6500 \end{aligned}$$

Periode 1

$$\begin{aligned} P_{0,1} &= \max(K - S_{0,1}; 0) \\ &= \max(110 - 85,2114; 0) \\ &= \max(24,7886; 0) \\ &= 24,7886 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{1,1} &= \max(K - S_{1,1}; 0) \\ &= \max(110 - 85,35; 0) \\ &= \max(24,6500; 0) \\ &= 24,6500 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{2,1} &= \max(K - S_{2,1}; 0) \\ &= \max(110 - 85,4888; 0) \\ &= \max(24,5112; 0) \\ &= 24,5112 \end{aligned}$$

⋮

Periode 150

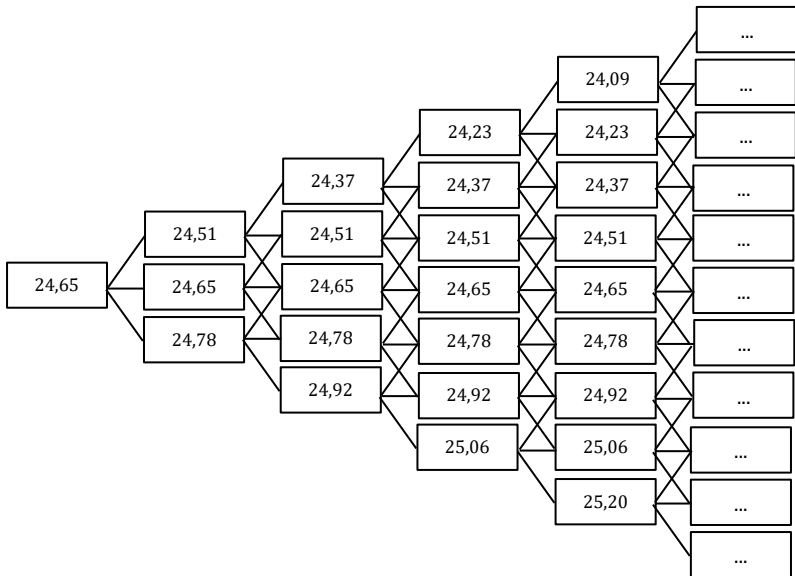
$$\begin{aligned} P_{0,150} &= \max(K - S_{0,150}; 0) \\ &= \max(110 - 66,8894; 0) \\ &= \max(43,1106; 0) \\ &= 43,1106 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{1,150} &= \max(K - S_{1,150}; 0) \\ &= \max(110 - 66,9981; 0) \\ &= \max(43,0019; 0) \\ &= 43,0019 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \vdots \\
 P_{150,150} &= \max(K - S_{150,150}; 0) \\
 &= \max(110 - 85,35; 0) \\
 &= \max(24,6500; 0) \\
 &= 24,6500
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \vdots \\
 P_{299,300} &= \max(K - S_{299,300}; 0) \\
 &= \max(110 - 108,7287; 0) \\
 &= \max(1,2713; 0) \\
 &= 1,2713
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{300,150} &= \max(K - S_{300,150}; 0) \\
 &= \max(110 - 108,9055; 0) \\
 &= \max(1,0945; 0) \\
 &= 1,0945
 \end{aligned}$$



Gambar 4.8 Nilai *Payoff* Opsi *Put* Saham PYPL Pada Node (j, i) dengan $K = 110$

f. Menghitung harga opsi

1) Strike price (K) = 50 ($K > S_0$)

Dengan *strike price* (K) sebesar 50 untuk saham PYPL akan didapat nilai opsi seperti berikut:

1. Harga Opsi *Call* Eropa

Mencari nilai opsi *call* menggunakan nilai *payoff* di waktu jatuh jatuh tempo, sampai ke waktu t_0 dengan rumus berikut:

$$C_{ji} = e^{-r\Delta t} (P_u C_{j+2\ i+1} + P_m C_{j+1\ i+1} + P_d C_{j\ i+1})$$

Sehingga, didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_{298,149} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times C_{300,150}) + (P_m \times C_{299,150}) \right. \\ &\quad \left. + (P_d \times C_{298,150}) \right) \\ &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((0,53419 \times 58,9055) \right. \\ &\quad \left. + (0,019038 \times 58,7287) \right. \\ &\quad \left. + (0,44677 \times 58,5522) \right) \\ &= 58,7359 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{297,149} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times C_{299,150}) + (P_m \times C_{298,150}) \right. \\ &\quad \left. + (P_d \times C_{297,150}) \right) \\ &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((0,53419 \times 58,7287) \right. \\ &\quad \left. + (0,019038 \times 58,5522) \right. \\ &\quad \left. + (0,44677 \times 58,3760) \right) \\ &= 58,5594 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{296,149} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times C_{298,150}) + (P_m \times C_{297,150}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times C_{296,150}) \right) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 58,5522) \\
&\quad + (0,019038 \times 58,3760) \\
&\quad + (0,44677 \times 58,2000)) \\
&= 58,3831
\end{aligned}$$

⋮

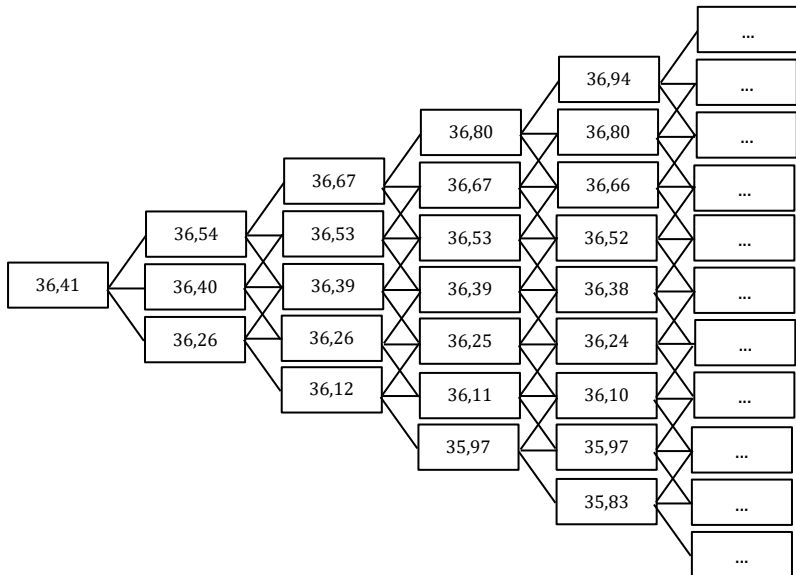
$$\begin{aligned}
C_{2,1} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times C_{4,2}) + (P_m \times C_{3,2}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times C_{2,2}) \right) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 36,6772) \\
&\quad + (0,019038 \times 36,5382) \\
&\quad + (0,44677 \times 36,3994)) \\
&= 36,5452
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{1,1} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times C_{3,2}) + (P_m \times C_{2,2}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times C_{1,2}) \right) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 36,5382) \\
&\quad + (0,019038 \times 36,3994) \\
&\quad + (0,44677 \times 36,2608)) \\
&= 36,4064
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{0,1} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times C_{2,2}) + (P_m \times C_{1,2}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times C_{0,2}) \right) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 36,3994) \\
&\quad + (0,019038 \times 36,2608) \\
&\quad + (0,44677 \times 36,1225))
\end{aligned}$$

$$= 36,2678$$

$$\begin{aligned}
 C_{0,0} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times C_{2,1}) + (P_m \times C_{1,1}) \right. \\
 &\quad \left. + (P_d \times C_{0,1}) \right) \\
 &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((0,53419 \times 36,5452) \right. \\
 &\quad \left. + (0,019038 \times 36,4064) \right. \\
 &\quad \left. + (0,44677 \times 36,2678) \right) \\
 &= 36,4134
 \end{aligned}$$



Gambar 4.9 Skema Pohon Trinomial Harga Opsi *Call* Eropa Saham PYPL dengan $K = 50$

2. Harga Opsi *Put* Eropa

Mencari nilai opsi *put* menggunakan nilai *payoff* di waktu jatuh jatuh tempo, sampai ke waktu t_0 dengan rumus berikut:

$$P_{ji} = e^{-r\Delta t} (P_u P_{j+2\ i+1} + P_m P_{j+1\ i+1} + P_d P_{j\ i+1})$$

Sehingga, didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{298,149} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times P_{300,150}) + (P_m \times P_{299,150}) \right. \\ &\quad \left. + (P_d \times P_{298,150}) \right) \\ &= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 0) + (0,019038 \times 0) \\ &\quad + (0,44677 \times 0)) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{297,149} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times P_{299,150}) + (P_m \times P_{298,150}) \right. \\ &\quad \left. + (P_d \times P_{297,150}) \right) \\ &= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 0) + (0,019038 \times 0) \\ &\quad + (0,44677 \times 0)) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{296,149} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times P_{298,150}) + (P_m \times P_{297,150}) \right. \\ &\quad \left. + (P_d \times P_{296,150}) \right) \\ &= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 0) + (0,019038 \times 0) \\ &\quad + (0,44677 \times 0)) \\ &= 0 \end{aligned}$$

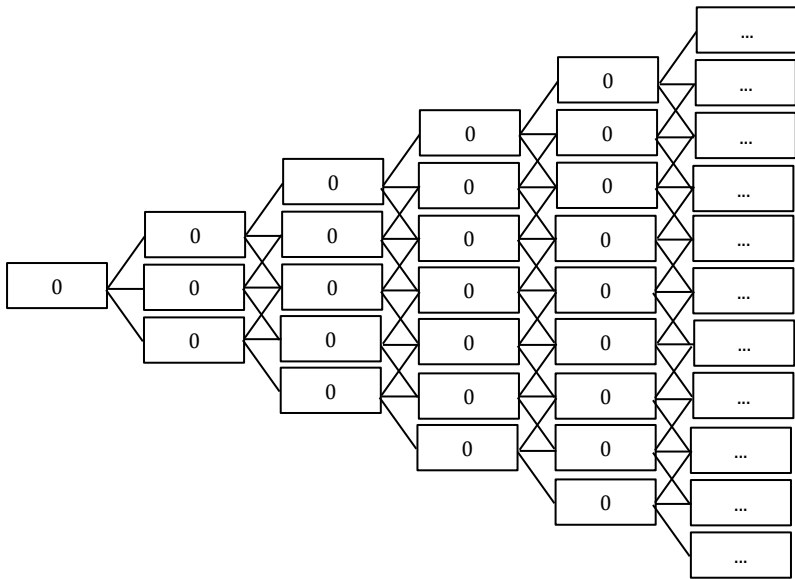
⋮

$$\begin{aligned}
P_{2,1} &= e^{-0,045 \times 0,0031855} \left((P_u \times P_{4,2}) + (P_m \times P_{3,2}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times P_{2,2}) \right) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((0,53419 \times 0) + (0,019038 \times 0) \right. \\
&\quad \left. + (0,44677 \times 0) \right) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{1,1} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times P_{3,2}) + (P_m \times P_{2,2}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times P_{1,2}) \right) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((0,53419 \times 0) + (0,019038 \times 0) \right. \\
&\quad \left. + (0,44677 \times 0) \right) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{0,1} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times P_{2,2}) + (P_m \times P_{1,2}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times P_{0,2}) \right) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((0,53419 \times 0) + (0,019038 \times 0) \right. \\
&\quad \left. + (0,44677 \times 0) \right) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{0,0} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times P_{2,1}) + (P_m \times P_{1,1}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times P_{0,1}) \right) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((0,53419 \times 0) + (0,019038 \times 0) \right. \\
&\quad \left. + (0,44677 \times 0) \right) \\
&= 0
\end{aligned}$$



Gambar 4.10 Skema Pohon Trinomial Harga Opsi *Put* Eropa Saham PYPL dengan $K = 50$

2) Strike price (K) = 85 (K di sekitar S_0)

Dengan *strike price* (K) sebesar 85 untuk saham PYPL akan didapat nilai opsi seperti berikut:

1. Harga Opsi *Call* Eropa

Mencari nilai opsi *call* menggunakan nilai *payoff* di waktu jatuh jatuh tempo, sampai ke waktu t_0 dengan rumus berikut:

$$C_{ji} = e^{-r\Delta t} (P_u C_{j+2i+1} + P_m C_{j+1i+1} + P_d C_{ji+1})$$

Sehingga, didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
C_{298,149} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times C_{300,150}) + (P_m \times C_{299,150}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times C_{298,150}) \right) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 23,9055) \\
&\quad + (0,019038 \times 23,7287) \\
&\quad + (0,44677 \times 23,5522)) \\
&= 23,7409
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{297,149} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times C_{299,150}) + (P_m \times C_{298,150}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times C_{297,150}) \right) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 23,7287) \\
&\quad + (0,019038 \times 23,5522) \\
&\quad + (0,44677 \times 23,3760)) \\
&= 23,5644
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{296,149} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times C_{298,150}) + (P_m \times C_{297,150}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times C_{296,150}) \right) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 23,5522) \\
&\quad + (0,019038 \times 23,3760) \\
&\quad + (0,44677 \times 23,2000)) \\
&= 23,3882
\end{aligned}$$

⋮

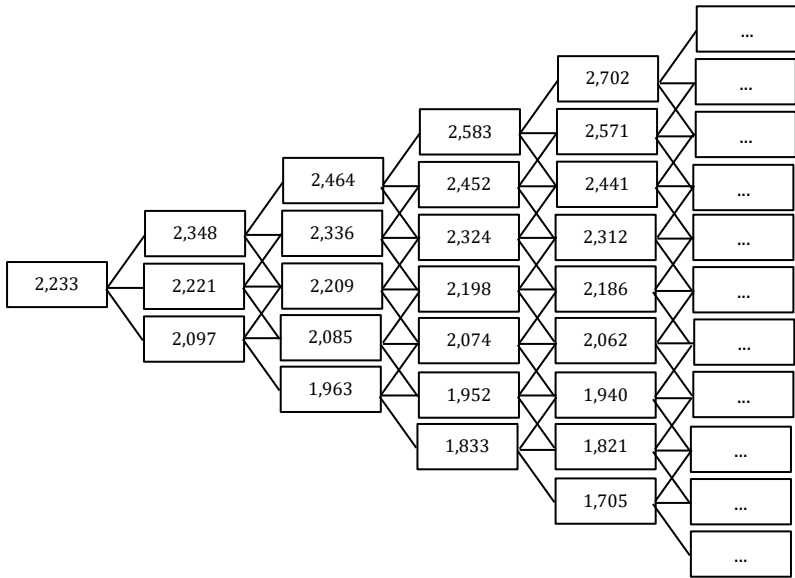
$$\begin{aligned}
C_{2,1} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times C_{4,2}) + (P_m \times C_{3,2}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times C_{2,2}) \right) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 2,4647) \\
&\quad + (0,019038 \times 2,3364) \\
&\quad + (0,44677 \times 2,2099))
\end{aligned}$$

$$= 2,3481$$

$$\begin{aligned} C_{1,1} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times C_{3,2}) + (P_m \times C_{2,2}) \right. \\ &\quad \left. + (P_d \times C_{1,2}) \right) \\ &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((0,53419 \times 2,3364) \right. \\ &\quad \left. + (0,019038 \times 2,2099) \right. \\ &\quad \left. + (0,44677 \times 2,0857) \right) \\ &= 2,2216 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{0,1} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times C_{2,2}) + (P_m \times C_{1,2}) \right. \\ &\quad \left. + (P_d \times C_{0,2}) \right) \\ &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((0,53419 \times 2,2099) \right. \\ &\quad \left. + (0,019038 \times 2,0857) \right. \\ &\quad \left. + (0,44677 \times 1,9638) \right) \\ &= 2,0973 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{0,0} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times C_{2,1}) + (P_m \times C_{1,1}) \right. \\ &\quad \left. + (P_d \times C_{0,1}) \right) \\ &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((0,53419 \times 2,3481) \right. \\ &\quad \left. + (0,019038 \times 2,2216) \right. \\ &\quad \left. + (0,44677 \times 2,0973) \right) \\ &= 2,2333 \end{aligned}$$



Gambar 4.11 Skema Pohon Trinomial Harga Opsi *Call* Eropa Saham PYPL dengan $K = 85$

2. Harga Opsi *Put* Eropa

Mencari nilai opsi *put* menggunakan nilai *payoff* di waktu jatuh tempo, sampai ke waktu t_0 dengan rumus berikut:

$$P_{ji} = e^{-r\Delta t} (P_u P_{j+2i+1} + P_m P_{j+1i+1} + P_d P_{ji+1})$$

Sehingga, didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$P_{298,149} = e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times P_{300,150}) + (P_m \times P_{299,150}) + (P_d \times P_{298,150}) \right)$$

$$\begin{aligned}
&= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 0) + (0,019038 \times 0) \\
&\quad + (0,44677 \times 0)) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{297,149} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times P_{299,150}) + (P_m \times P_{298,150}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times P_{297,150}) \right) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 0) + (0,019038 \times 0) \\
&\quad + (0,44677 \times 0)) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{296,149} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times P_{298,150}) + (P_m \times P_{297,150}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times P_{296,150}) \right) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 0) + (0,019038 \times 0) \\
&\quad + (0,44677 \times 0)) \\
&= 0
\end{aligned}$$

⋮

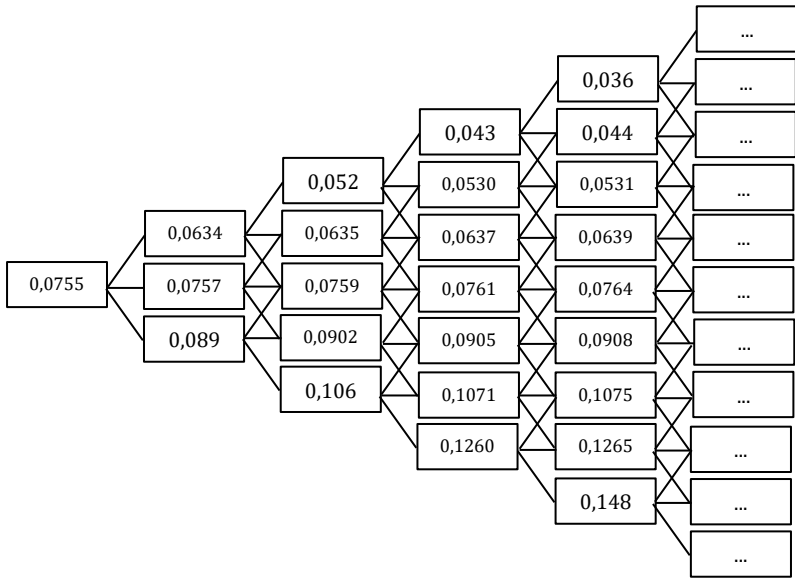
$$\begin{aligned}
P_{2,1} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times P_{4,2}) + (P_m \times P_{3,2}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times P_{2,2}) \right) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 0,0529) \\
&\quad + (0,019038 \times 0,0635) \\
&\quad + (0,44677 \times 0,0759)) \\
&= 0,0634
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{1,1} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times P_{3,2}) + (P_m \times P_{2,2}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times P_{1,2}) \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 0,0635) \\
&\quad + (0,019038 \times 0,0759) \\
&\quad + (0,44677 \times 0,0902)) \\
&= 0,0757
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{0,1} &= e^{-0,045 \times 0,003185} ((P_u \times P_{2,2}) + (P_m \times P_{1,2}) \\
&\quad + (P_d \times P_{0,2})) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 0,0759) \\
&\quad + (0,019038 \times 0,0902) \\
&\quad + (0,44677 \times 0,1067)) \\
&= 0,0899
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{0,0} &= e^{-0,045 \times 0,003185} ((P_u \times P_{2,1}) + (P_m \times P_{1,1}) \\
&\quad + (P_d \times P_{0,1})) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 0,0634) \\
&\quad + (0,019038 \times 0,0757) \\
&\quad + (0,44677 \times 0,0899)) \\
&= 0,0755
\end{aligned}$$



Gambar 4.12 Skema Pohon Trinomial Harga Opsi *Put* Eropa Saham PYPL dengan $K = 85$

3) Strike price (K) = 110 ($K > S_0$)

Dengan *strike price* (K) sebesar 110 untuk saham Tesla, Inc. akan didapat nilai opsi seperti berikut:

1. Harga Opsi *Call* Eropa

Mencari nilai opsi *call* menggunakan nilai *payoff* di waktu jatuh jatuh tempo, sampai ke waktu t_0 dengan rumus berikut:

$$C_{ji} = e^{-r\Delta t} (P_u C_{j+2\ i+1} + P_m C_{j+1\ i+1} + P_d C_{j\ i+1})$$

Sehingga, didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 C_{298,149} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times C_{300,150}) + (P_m \times C_{299,150}) \right. \\
 &\quad \left. + (P_d \times C_{298,150}) \right) \\
 &= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 0) + (0,019038 \times 0) \\
 &\quad + (0,44677 \times 0)) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{297,149} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times C_{299,150}) + (P_m \times C_{298,150}) \right. \\
 &\quad \left. + (P_d \times C_{297,150}) \right) \\
 &= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 0) + (0,019038 \times 0) \\
 &\quad + (0,44677 \times 0)) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{296,149} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times C_{298,150}) + (P_m \times C_{297,150}) \right. \\
 &\quad \left. + (P_d \times C_{296,150}) \right) \\
 &= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 0) + (0,019038 \times 0) \\
 &\quad + (0,44677 \times 0)) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

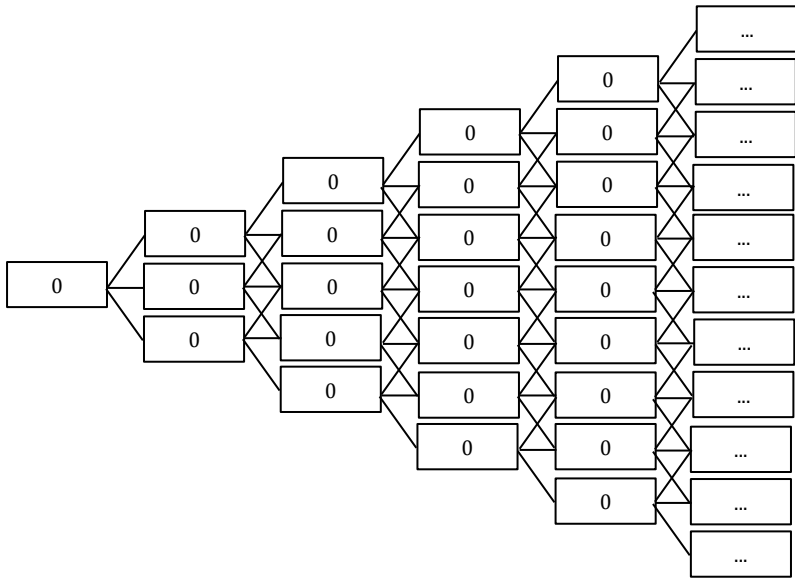
⋮

$$\begin{aligned}
 C_{2,1} &= e^{-0,045 \times 0,0031855} \left((P_u \times C_{4,2}) + (P_m \times C_{3,2}) \right. \\
 &\quad \left. + (P_d \times C_{2,2}) \right) \\
 &= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 0) + (0,019038 \times 0) \\
 &\quad + (0,44677 \times 0)) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{1,1} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times C_{3,2}) + (P_m \times C_{2,2}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times C_{1,2}) \right) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((0,53419 \times 0) + (0,019038 \times 0) \right. \\
&\quad \left. + (0,44677 \times 0) \right) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{0,1} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times C_{2,2}) + (P_m \times C_{1,2}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times C_{0,2}) \right) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((0,53419 \times 0) + (0,019038 \times 0) \right. \\
&\quad \left. + (0,44677 \times 0) \right) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{0,0} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times C_{2,1}) + (P_m \times C_{1,1}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times C_{0,1}) \right) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((0,53419 \times 0) + (0,019038 \times 0) \right. \\
&\quad \left. + (0,44677 \times 0) \right) \\
&= 0
\end{aligned}$$



Gambar 4.13 Skema Pohon Trinomial Harga Opsi *Call* Eropa Saham PYPL dengan $K = 110$

2. Harga Opsi *Put* Eropa

Mencari nilai opsi *put* menggunakan nilai *payoff* di waktu jatuh tempo, sampai ke waktu t_0 dengan rumus berikut:

$$P_{ji} = e^{-r\Delta t} (P_u P_{j+2i+1} + P_m P_{j+1i+1} + P_d P_{ji+1})$$

Sehingga, didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$P_{298,149} = e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times P_{300,150}) + (P_m \times P_{299,150}) + (P_d \times P_{298,150}) \right)$$

$$\begin{aligned}
&= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 1,0945) \\
&\quad + (0,019038 \times 1,2713) \\
&\quad + (0,44677 \times 1,4478)) \\
&= 1,2555
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{297,149} &= e^{-0,045 \times 0,003185} ((P_u \times P_{299,150}) + (P_m \times P_{298,150}) \\
&\quad + (P_d \times P_{297,150})) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 1,2713) \\
&\quad + (0,019038 \times 1,4478) \\
&\quad + (0,44677 \times 1,6240)) \\
&= 1,4320
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{296,149} &= e^{-0,045 \times 0,003185} ((P_u \times P_{298,150}) + (P_m \times P_{297,150}) \\
&\quad + (P_d \times P_{296,150})) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 1,4478) \\
&\quad + (0,019038 \times 1,6240) \\
&\quad + (0,44677 \times 1,8000)) \\
&= 1,6083
\end{aligned}$$

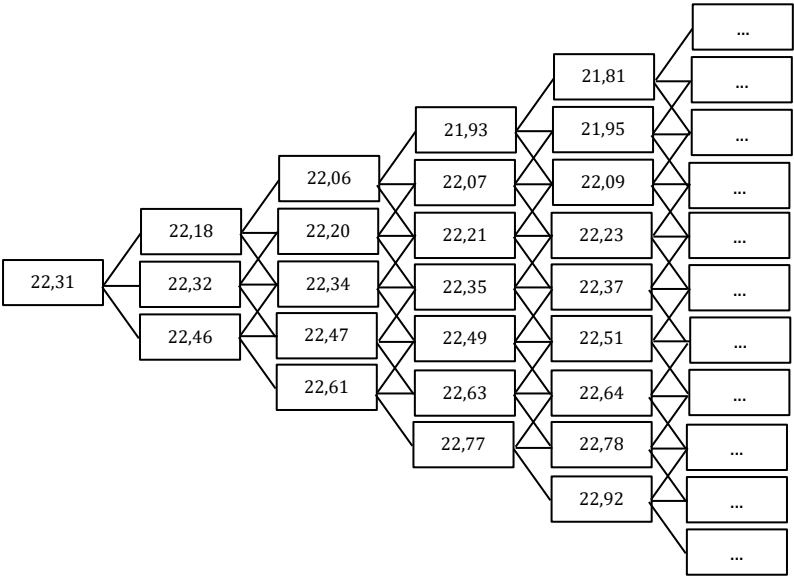
⋮

$$\begin{aligned}
P_{2,1} &= e^{-0,045 \times 0,0031855} ((P_u \times P_{4,2}) + (P_m \times P_{3,2}) \\
&\quad + (P_d \times P_{2,2})) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} ((0,53419 \times 0) \\
&\quad + (0,019038 \times 22,2024) \\
&\quad + (0,44677 \times 22,3412)) \\
&= 22,1870
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{1,1} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times P_{3,2}) + (P_m \times P_{2,2}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times P_{1,2}) \right) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((0,53419 \times 22,2024) \right. \\
&\quad \left. + (0,019038 \times 22,3412) \right. \\
&\quad \left. + (0,44677 \times 22,4644) \right) \\
&= 22,3258
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{0,1} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times P_{2,2}) + (P_m \times P_{1,2}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times P_{0,2}) \right) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((0,53419 \times 22,3412) \right. \\
&\quad \left. + (0,019038 \times 22,4798) \right. \\
&\quad \left. + (0,44677 \times 22,6181) \right) \\
&= 22,4644
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{0,0} &= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((P_u \times P_{2,1}) + (P_m \times P_{1,1}) \right. \\
&\quad \left. + (P_d \times P_{0,1}) \right) \\
&= e^{-0,045 \times 0,003185} \left((0,53419 \times 22,1870) \right. \\
&\quad \left. + (0,019038 \times 22,3258) \right. \\
&\quad \left. + (0,44677 \times 22,4644) \right) \\
&= 22,3104
\end{aligned}$$



Gambar 4.14 Skema Pohon Trinomial Harga Opsi *Put* Eropa Saham PYPL dengan $K = 110$

Hasil perhitungan harga opsi *call* Eropa dan opsi *put* Eropa untuk beberapa kontrak opsi pada berbagai saham, yang dihitung menggunakan program Matlab R2013a, ditampilkan dalam Tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Harga Opsi *Call* Eropa dan Opsi *Put* Eropa Pada Masing-masing Saham

Nama Saham	<i>Strike Price (K)</i>					
	$K < S_0$		K di sekitar S_0		$K > S_0$	
	Opsi <i>Call</i>	Opsi <i>Put</i>	Opsi <i>Call</i>	Opsi <i>Put</i>	Opsi <i>Call</i>	Opsi <i>Put</i>
PYPL	36,4134	0	2,2333	0,0755	0	22,3104
TMUS	73,9202	0	5,4127	0,0035	0	23,9527
CTSH	37,7507	0	3,4952	$7,6364 \times 10^{-6}$	$9,1955 \times 10^{-27}$	8,7389
AMD	52,2788	0	3,4857	0,1435	0	65,1688
AMAT	64,7568	0	6,0569	0,0239	0	82,0526

B. Pembahasan

Berdasarkan Tabel 4.7, diperoleh hasil perhitungan harga opsi Eropa menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan estimasi volatilitas *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) pada masing-masing kondisi nilai *strike price (K)*. Secara umum, terlihat bahwa nilai opsi *call* cenderung lebih tinggi ketika *strike price* berada di bawah harga saham awal ($K < S_0$), sementara nilai opsi *put* cenderung lebih tinggi ketika *strike price* berada di atas harga saham awal ($K > S_0$). Selain itu, nilai opsi pada kondisi *strike price* yang berada di sekitar harga saham awal (K di sekitar S_0) umumnya memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dua kondisi lainnya. Hasil ini selanjutnya akan dibandingkan dengan harga opsi di pasar, guna menilai sejauh mana metode ini akurat dalam merepresentasikan harga opsi pasar. Perbandingan ini

dilakukan berdasarkan tiga kondisi, yaitu ketika $K < S_0$, ketika K di sekitar S_0 dan ketika $K > S_0$. Nilai opsi pasar yang digunakan dalam perbandingan ini diperoleh dari situs *Yahoo Finance* (<http://www.finance.yahoo.com/>).

Untuk membandingkan harga opsi hasil perhitungan dengan harga opsi pasar, digunakan nilai error absolut yang dihitung sebagai selisih mutlak antara harga opsi pasar dan harga opsi hasil perhitungan, yaitu (Anggara, dkk. 2017):

$$\text{Error} = |\text{Harga Opsi Pasar} - \text{Harga Opsi Hasil Perhitungan}|$$

Selanjutnya, untuk mendapatkan gambaran keseluruhan perbedaan antara harga opsi hasil perhitungan dan harga pasar, dihitung nilai *Mean Absolute Deviation* (MAD) sebagai rata-rata dari nilai error absolut, yaitu (Montgomery, dkk. 2015):

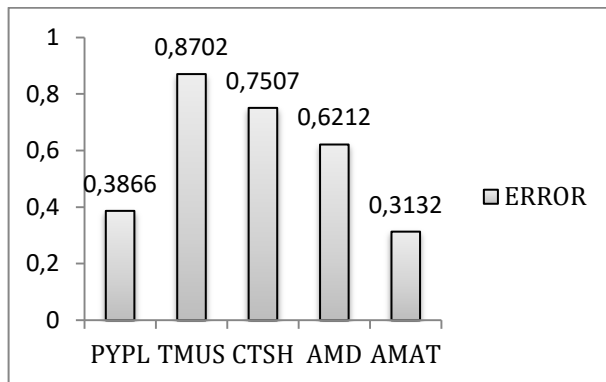
$$\text{MAD} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\text{Harga Opsi Pasar}_i - \text{Harga Opsi Hasil Perhitungan}_i|$$

di mana n adalah jumlah data opsi pada masing-masing kategori *strike price*. Untuk memberikan gambaran seberapa besar nilai error tersebut secara keseluruhan terhadap harga pasar, dihitung juga persentase MAD dengan rumus:

$$\text{Persentase MAD} = \frac{\text{MAD}}{\text{Rata - rata Harga Pasar}} \times 100\%$$

Tabel 4.8 Perbandingan Harga Opsi *Call* di Pasar dengan Harga Opsi *Call* Eropa Pada Masing-masing Saham untuk $K < S_0$

Nama Saham	Opsi <i>Call</i> Pasar	Opsi <i>Call</i> TKR MLE	Error
PYPL	36,80	36,4134	0,3866
TMUS	73,05	73,9202	0,8702
CTSH	37	37,7507	0,7507
AMD	52,90	52,2788	0,6212
AMAT	65,07	64,7568	0,3132



Gambar 4.15 Diagram Batang Error Opsi *Call* dengan $K < S_0$ untuk Masing-masing Saham

Perhitungan *Mean Absolute Deviation* (MAD):

- MAD

$$\frac{0,3866 + 0,8702 + 0,7507 + 0,6212 + 0,3132}{5} = 0,5884$$

- Rata-rata Harga Opsi Pasar

$$\frac{36,80 + 73,05 + 37,00 + 52,90 + 65,07}{5} = 52,964$$

- Persentase MAD

$$\frac{0,5884}{52,964} \times 100\% \approx 1,11\%$$

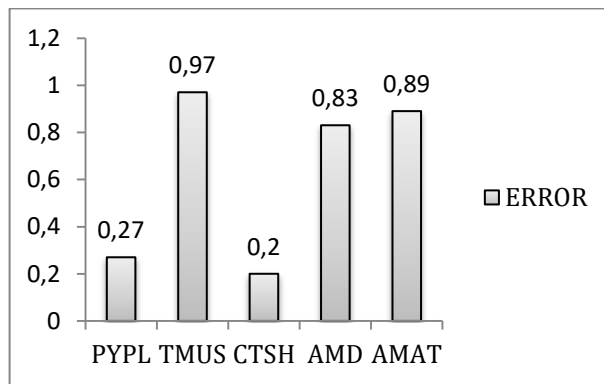
Berdasarkan Tabel 4.8, diperoleh hasil perbandingan antara harga opsi *call* pasar dan harga opsi *call* hasil perhitungan menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan estimasi volatilitas *Maximum Likelihood Estimation* pada kondisi $K < S_0$. Error tertinggi terdapat pada saham TMUS sebesar 0,8702, sedangkan error terendah terdapat pada saham AMAT sebesar 0,3132.

Untuk menggambarkan perbedaan hasil perhitungan secara keseluruhan, dihitung nilai *Mean Absolute Deviation* (MAD) sebesar 0,5884. Jika dibandingkan dengan rata-rata harga opsi *call* pasar sebesar 52,964, nilai MAD ini hanya sekitar 1,11% sehingga dapat dikatakan bahwa hasil

perhitungan pada kondisi $K < S_0$ relatif mendekati harga pasar.

Tabel 4.9 Perbandingan Harga Opsi *Put* di Pasar dengan Harga Opsi *Put* Eropa Pada Masing-masing Saham untuk $K < S_0$

Nama Saham	Opsi <i>Put</i> Pasar	Opsi <i>Put</i> TKR MLE	Error
PYPL	0,27	0	0,27
TMUS	0,97	0	0,97
CTSH	0,20	0	0,20
AMD	0,83	0	0,83
AMAT	0,89	0	0,89



Gambar 4.16 Diagram Batang Error Opsi *Put* dengan $K < S_0$ untuk Masing-masing Saham

Perhitungan *Mean Absolute Deviation* (MAD):

- MAD

$$\frac{0,27 + 0,97 + 0,20 + 0,83 + 0,89}{5} = 0,632$$

- Rata-rata Harga Opsi Pasar

$$\frac{0,27 + 0,97 + 0,20 + 0,83 + 0,89}{5} = 0,632$$

- Persentase MAD

$$\frac{0,632}{0,632} \times 100\% = 100\%$$

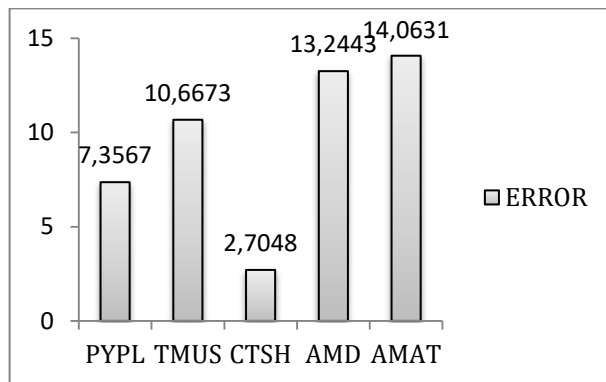
Berdasarkan Tabel 4.9, diperoleh hasil perbandingan antara harga opsi *put* di pasar dan harga opsi *put* hasil perhitungan menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan estimasi volatilitas *Maximum Likelihood Estimation* pada kondisi $K < S_0$. Terlihat bahwa seluruh hasil perhitungan menghasilkan nilai opsi *put* sebesar nol, sedangkan harga opsi *put* di pasar tetap memiliki nilai tertentu. Hal ini menyebabkan nilai error pada setiap saham sama dengan harga pasar masing-masing.

Nilai *Mean Absolute Deviation* (MAD) untuk kondisi ini sebesar 0,632, yang juga merupakan rata-rata dari harga pasar karena seluruh hasil perhitungan bernilai nol. Dengan demikian, persentase MAD mencapai 100%, yang

menunjukkan bahwa hasil perhitungan pada kondisi $K < S_0$ jauh dari harga pasar untuk opsi *put*.

Tabel 4.10 Perbandingan Harga Opsi *Call* di Pasar dengan Harga Opsi *Call* Eropa Pada Masing-masing Saham untuk K di sekitar S_0

Nama Saham	Opsi <i>Call</i> Pasar	Opsi <i>Call</i> TKR MLE	Error
PYPL	9,59	2,2333	7,3567
TMUS	16,08	5,4127	10,6673
CTSH	6,20	3,4952	2,7048
AMD	16,73	3,4857	13,2443
AMAT	20,12	6,0569	14,0631



Gambar 4.17 Diagram Batang Error Opsi *Call* dengan K di sekitar S_0 untuk Masing-masing Saham

Perhitungan *Mean Absolute Deviation* (MAD):

- MAD

$$\frac{7,356 + 10,673 + 2,7048 + 13,243 + 14,0631}{5} = 9,60724$$

- Rata-rata Harga Opsi Pasar

$$\frac{9,59 + 16,08 + 6,20 + 16,73 + 20,12}{5} = 13,344$$

- Persentase MAD

$$\frac{9,60724}{13,344} \times 100\% \approx 72,01\%$$

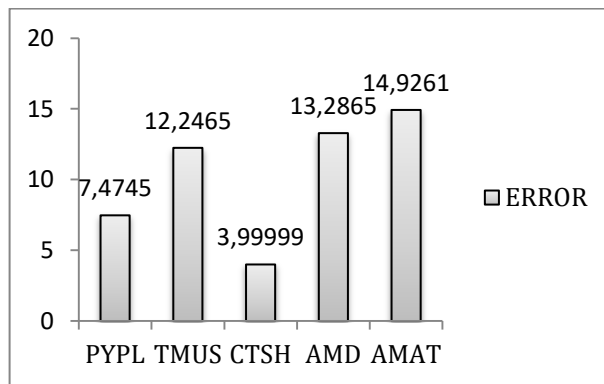
Berdasarkan Tabel 4.10, diperoleh hasil perbandingan antara harga opsi *call* di pasar dan harga opsi *call* hasil perhitungan menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan estimasi volatilitas *Maximum Likelihood Estimation* pada kondisi K di sekitar S_0 . Terlihat bahwa hasil perhitungan lebih rendah dibandingkan harga pasar untuk semua saham. Nilai error yang cukup besar menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara harga pasar dan harga hasil perhitungan.

Rata-rata error absolut (MAD) yang diperoleh dari kelima saham adalah sebesar 9,6072, sedangkan rata-rata harga opsi pasar adalah 13,344. Dengan demikian, nilai MAD mencapai sekitar 72,01% dari harga pasar, yang

mengindikasikan bahwa hasil perhitungan untuk opsi *call* pada kondisi K di sekitar S_0 jauh dari harga pasar.

Tabel 4.11 Perbandingan Harga Opsi *Put* di Pasar dengan Harga Opsi *Put* Eropa Pada Masing-masing Saham untuk K di sekitar S_0

Nama Saham	Opsi <i>Put</i> Pasar	Opsi <i>Put</i> TKR MLE	Error
PYPL	7,55	0,0755	7,4745
TMUS	12,25	0,0035	12,2465
CTSH	4	$7,6364 \times 10^{-6}$	3,99999
AMD	13,43	0,1435	13,2865
AMAT	14,95	0,0239	14,9261



Gambar 4.18 Diagram Batang Error Opsi *Put* dengan K di sekitar S_0 untuk Masing-masing Saham

Perhitungan *Mean Absolute Deviation* (MAD):

- MAD

$$\frac{7,4745 + 12,246 + 3,999 + 13,286 + 14,926}{5} = 10,3861$$

- Rata-rata Harga Opsi Pasar

$$\frac{7,55 + 12,25 + 4,00 + 13,43 + 14,95}{5} = 10,846$$

- Persentase MAD

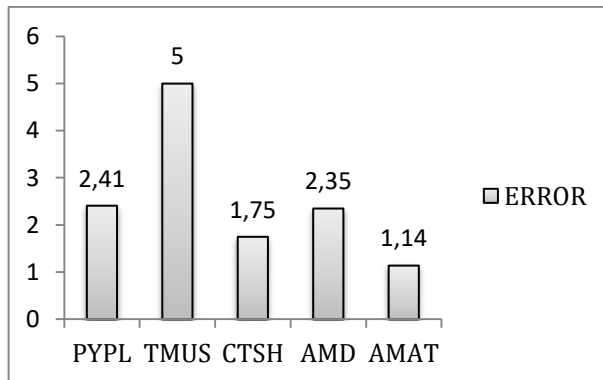
$$\frac{10,3861}{10,846} \times 100\% \approx 95,73\%$$

Berdasarkan Tabel 4.11, diperoleh hasil perbandingan antara harga opsi *put* di pasar dan harga opsi *put* hasil perhitungan menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan estimasi volatilitas *Maximum Likelihood Estimation* pada kondisi K di sekitar S_0 . Hasil perhitungan menunjukkan nilai opsi *put* yang sangat kecil mendekati nol, sementara harga pasar menunjukkan nilai yang jauh lebih besar.

Nilai *Mean Absolute Deviation* (MAD) sebesar 10,3861, yang jika dibandingkan dengan rata-rata harga opsi pasar sebesar 10,846, menghasilkan persentase MAD sekitar 95,73%. Hal ini mengindikasikan bahwa hasil perhitungan opsi *put* pada kondisi K di sekitar S_0 jauh dari harga pasar.

Tabel 4.12 Perbandingan Harga Opsi *Call* di Pasar dengan Harga Opsi *Call* Eropa Pada Masing-masing Saham untuk $K > S_0$

Nama Saham	Opsi <i>Call</i> Pasar	Opsi <i>Call</i> TKR MLE	Error
PYPL	2,41	0	2,41
TMUS	5	0	5
CTSH	1,75	$9,1955 \times 10^{-27}$	1,75
AMD	2,35	0	2,35
AMAT	1,14	0	1,14



Gambar 4.19 Diagram Batang Error Opsi *Call* dengan $K > S_0$ untuk Masing-masing Saham

Perhitungan *Mean Absolute Deviation* (MAD):

- MAD

$$\frac{2,41 + 5,00 + 1,75 + 2,35 + 1,14}{5} = 2,53$$

- Rata-rata Harga Opsi Pasar

$$\frac{2,41 + 5,00 + 1,75 + 2,35 + 1,14}{5} = 2,53$$

- Persentase MAD

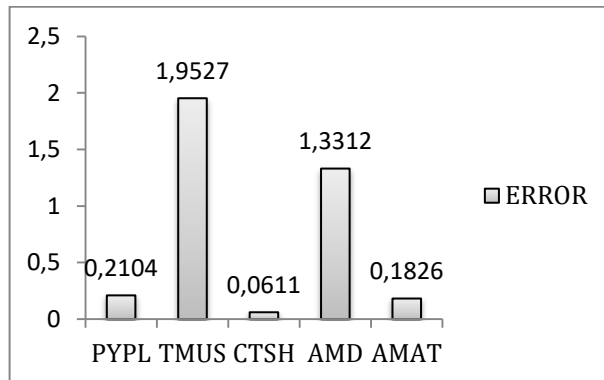
$$\frac{2,53}{2,53} \times 100\% = 100\%$$

Berdasarkan Tabel 4.12, diperoleh hasil perbandingan antara harga opsi *call* di pasar dan harga opsi *call* hasil perhitungan menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan estimasi volatilitas *Maximum Likelihood Estimation* pada kondisi $K > S_0$. Hasil perhitungan menunjukkan nilai opsi *call* yang mendekati nol untuk semua saham, sementara harga pasar memiliki nilai yang bervariasi.

Nilai *Mean Absolute Deviation* (MAD) sebesar 2,53, yang sama dengan rata-rata harga pasar. Hal ini mengindikasikan bahwa hasil perhitungan opsi *call* pada kondisi $K > S_0$ jauh dari harga pasar karena perbedaan nilai yang signifikan antara keduanya.

Tabel 4.13 Perbandingan Harga Opsi *Put* di Pasar dengan Harga Opsi *Put* Eropa Pada Masing-masing Saham untuk $K > S_0$

Nama Saham	Opsi <i>Put</i> Pasar	Opsi <i>Put</i> TKR MLE	Error
PYPL	22,10	22,3104	0,2104
TMUS	22	23,9527	1,9527
CTSH	8,80	8,7389	0,0611
AMD	66,50	65,1688	1,3312
AMAT	81,87	82,0526	0,1826



Gambar 4.20 Diagram Batang Error Opsi *Put* dengan $K > S_0$ untuk Masing-masing Saham

Perhitungan *Mean Absolute Deviation* (MAD):

- MAD

$$\frac{0,2104 + 1,9527 + 0,0611 + 1,3312 + 0,1826}{5} = 0,7476$$

- Rata-rata Harga Opsi Pasar

$$\frac{22,10 + 22,00 + 8,80 + 66,50 + 81,87}{5} = 40,254$$

- Persentase MAD

$$\frac{0,7476}{40,254} \times 100\% \approx 1,86\%$$

Berdasarkan Tabel 4.13, diperoleh hasil perbandingan antara harga opsi *put* pasar dan harga opsi *put* hasil perhitungan menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan estimasi volatilitas *Maximum Likelihood Estimation* pada kondisi $K > S_0$. Nilai error antara hasil perhitungan dan harga pasar relatif kecil, dengan nilai *Mean Absolute Deviation* (MAD) sebesar 0,7476. Jika dibandingkan dengan rata-rata harga pasar sebesar 40,254, persentase MAD hanya sekitar 1,86%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil opsi *put* pada kondisi $K > S_0$ mendekati harga pasar.

Secara umum, hasil perhitungan harga opsi menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan volatilitas *Maximum Likelihood Estimation* menunjukkan kedekatan hasil dengan harga pasar pada kondisi tertentu. Metode ini memberikan hasil yang relatif mendekati harga pasar untuk opsi *call* dengan *strike price* lebih kecil dari harga saham awal ($K < S_0$) dan opsi *put* dengan *strike price* lebih besar dari harga saham awal ($K > S_0$). Sementara itu, pada

kondisi *strike price* yang berada di sekitar harga saham awal, hasil perhitungan justru jauh dari harga pasar.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penentuan harga opsi Eropa dalam penelitian ini dilakukan menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan estimasi volatilitas *Maximum Likelihood Estimation* (MLE). Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.7, metode ini menghasilkan harga opsi *call* Eropa dan harga opsi *put* Eropa yang bervariasi tergantung pada kondisi *strike price* (K).
2. Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.8 sampai Tabel 4.13, metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan volatilitas *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) menghasilkan nilai opsi yang mendekati harga pasar untuk opsi *call* dengan *strike price* lebih kecil dari harga saham awal ($K < S_0$) dan opsi *put* dengan *strike price* lebih besar dari harga saham awal ($K > S_0$). Sementara itu, pada saat *strike price* berada di sekitar harga saham awal, hasil perhitungan cenderung jauh dari harga pasar.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan metode perhitungan harga opsi yang lebih kompleks atau menggabungkan beberapa metode lain, agar dapat menghasilkan estimasi harga opsi yang lebih mendekati kondisi pasar dan mengatasi keterbatasan metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan volatilitas *Maximum Likelihood Estimation*.
2. Penelitian ini menggunakan *historical volatility* melalui *Maximum Likelihood Estimation*. Penelitian selanjutnya disarankan untuk membandingkan volatilitas dengan metode lain, seperti *implied volatility*, untuk melihat pengaruh perbedaannya terhadap harga opsi yang dihitung.
3. Selain opsi Eropa, penelitian selanjutnya dapat mengaplikasikan metode ini pada instrumen keuangan lainnya, seperti opsi Amerika atau opsi eksotis, untuk mengevaluasi efektivitas metode ini dalam konteks yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurakhman. (2023). Accelerating Convergence in Trinomial Option Pricing: Recursive Incremental Value Ordering with Repeated Richardson Extrapolation. . *Mathematical Modelling of Engineering Problems*.
- Brigham, E. F., & Houston, J. F. (2007). *Fundamentals of Financial Management*. USA: Thomson Higher Education.
- Casella, G., & Berger, R. L. (2002). *Statistical Inference*. United State of Amerika: Duxbury.
- Chen, C.-J. (2002). Pricing European and American Options with Extrapolation.
- Douglas C. Montgomery, C. L. (2015). *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*. Canada: John Wiley and Sons Inc.
- Eki Anggara, R. L. (2017). Perhitungan Harga Opsi Call Power Asia dengan Payoff Nonlinier Pada Saham Intel Corporation. *Jurnal matematika UNAND*, 22.
- Elst, H. V. (2015). *FloGARCH: Realizing Long Memory and Asymmetries in Returns Volatility*. Brussels: NBB Working Paper.
- Fisher, R. A. (1922). On the mathematical foundations of theoretical statistics. *CP18 in Bennett*.

- Hull, J. (2015). *Option, Future, and Other Derivatif*. New Jersey (US): Pearson Education, Inc.
- Ismail, M., & Atiya, A. (2003). A maximum likelihood approach to volatility estimation for a Brownian motion using high, low and close price data. *Quantitative Finance*.
- Jiang, L. (2005). *Mathematical Modelling and Methods of Option Pricing*. China: Higher Education Press.
- Junarsih. (2017). Penggunaan Model Trinomial Kamrad Ritchken dalam Menentukan Harga Opsi Put Amerika. *Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar*.
- Kamrad, B., & Ritchken, P. (1991). Multinomial Approximating Models for Options with k state Variables. *Management Science*, 1640-1652.
- Khuriyanti. (2009). Penentuan Harga Opsi Asia. *Universitas Indonesia*.
- Langat, d. (2019). Pricing Options Using Trinomial Lattice Method. *Journal of Finance and Economics*.
- Larasati, D. R. (2018). Penentuan Harga Opsi Eropa Menggunakan Metode Trinomial dengan Volatilitas Menggunakan Metode Maximum Likelihood Estimation (MLE). *Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar*.
- Martalena, & Malinda. (2011). *Pengantar Pasar Modal. Edisi Pertama*. Yogyakarta: Andi.

- Mendes, G. N. (2011). Valuation of Barrier Options Through Trinomial Trees. (*Doctoral dissertation*).
- Mika, & Riri. (2012). Menentukan Harga Opsi Call Tipe Eropa Menggunakan Metode Trinomial. *UNAND*.
- Nissa, Q., Satyahadewi, N., & Perdana, h. (2020). Penentuan Harga Opsi Beli Tipe Eropa Menggunakan Metode Trinomial. *Buletin Ilmiah Math. Stat. dan Terapannya (Bimaster)*, 379-386.
- Prihandoko, D. (2016). *Penentuan Nilai Opsi Bermuda menggunakan Metode Binomial (Studi Kasus Saham Pada Bursa Efek Indonesia)*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Ritchken, P. H. (1995). On Pricing Barrier Options. *The Journal of Derivatives*.
- Sholikha, P. A. (2023). Pemodelan Matematika Opsi Saham Karyawan Menggunakan Metode Trinomial Boyle. *Mathunesa Jurnal Ilmiah Matematika*.
- Siahaan, H. (2008). *Seluk-Beluk Perdagangan Instrumen Derivatif*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo Kompas Gramedia.
- Siswanah, E. (2023). American Call Option Pricing with Variable Maturity Dates and The Binomial Method Implementation. *Journal of Engineering Science and Technology*.

- Siswanah, E., Idrus, A. M., & Hakim, M. M. (2023). Binomial Method in Bermuda Option. *Jurnal of Multidisciplinary Applied Natural Science*.
- Sulastrri, Novieyanti, S., L., & Sukono, S. (2019). Penentuan Harga Opsi Barrier Menggunakan Metode Trinomial Kamrad-Ritchken dengan Volatilitas Model GARCH. *Jurnal Ilmu Manajemen dan Bisnis*, 83-92.
- Sunariyah. (2011). *Pengantar Pengetahuan Pasar Modal*. Yogyakarta: Unit Penerbit dan Percetakan Sekolah Tinggi Ilmu Manajemen YKPN.
- Suprpto, H., Marsoem, S. :, & Bambang. (2010). Single Index Model Untuk Menetapkan Portofolio Optimal. *Jurnal SWOT*, 60-66.
- Tendelilin, E. (2017). *Pasar Modal : Manajemen Portofolio & Investasi*. Yogyakarta: Kanisius.
- Wackerly, Mendenhall, & Scheaffer. (2008). *Mathematical Statistics With Applications*. United States of America: Thomson.
- Zivot, E. (2016). *Introduction to Computational Finance and Financial Econometrics with R*. Washington.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1. Harga Penutupan Saham Pada Masing-masing Saham

Tanggal	Nama Saham				
	PYPL	TMUS	CTSH	AMD	AMAT
2021-12-31	188,58	115,98	88,72	143,9	157,36
2022-01-03	194,94	114,43	89,57	150,24	159,93
2022-01-04	191,14	114,06	91,42	144,42	158,36
2022-01-05	187,16	115,36	90,02	136,15	153,74
2022-01-06	192,27	115,57	88,23	136,23	156,34
2022-01-07	187,6	109,74	87,42	132	150,81
2022-01-10	182,95	105,74	86,68	132	149,59
2022-01-11	191,52	110,97	87,97	137,31	152,45
2022-01-12	187,2	110,85	88,07	137,47	159,55
2022-01-13	181,01	110,12	87,2	132,74	157,18
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2024-12-17	90,86	220,71	81,03	125,02	170,34
2024-12-18	85,45	220,69	78,26	121,41	165,45
2024-12-19	86,78	218	79,49	118,88	161,44
2024-12-20	87,13	220,31	79,23	119,21	163,59
2024-12-23	86,9	221,66	79	124,6	167,46
2024-12-24	88,25	223,01	79,49	126,29	168,37
2024-12-26	88,14	223,68	79,89	125,06	167,55
2024-12-27	86,86	223,02	79,2	125,19	166,83
2024-12-30	85,43	220,66	76,75	122,44	163,64
2024-12-31	85,35	220,73	76,9	120,79	162,63

Lampiran 2. Script Program Matlab R2013a Perhitungan Opsi Eropa Menggunakan Metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan Volatilitas *Maximum Likelihood Estimation*

```
%PROGRAM FIFI
disp('  PENENTUAN HARGA OPSI EROPA MENGGUNAKAN ');
disp(' METODE TRINOMIAL KAMRAD RITCHKEN DENGAN ');
disp('VOLATILITAS MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION ');
disp('          Oleh : Ainur Rofiah (2108046029)');
disp('_____');
%

% Langkah 1: Mengimpor data dari file Excel
namafile = input('Masukkan data harga saham
(namafile.xlsx): ', 's');
data = xlsread(namafile); % Membaca data langsung
sebagai array numerik

% Validasi data (pastikan semua nilai positif dan
tidak nol)
if any(data <= 0)
    error('Data harga penutupan mengandung nilai nol
atau negatif. Periksa file Excel!');
end

% Langkah 2: Mamasukkan nilai parameter yang
dibutuhkan
disp(' ');
disp('Masukkan Nilai Parameter yang dibutuhkan :')
S_0=input('Masukkan Harga Saham Awal (S0) : ');
K=input('Masukkan Harga Kesepakatan (K) : ');
r=input('Masukkan Suku Bunga Bebas Risiko (r) : ');
T=input('Masukkan Waktu Jatuh Tempo (T-dalam hari) :
');
N=input('Masukkan Banyak Langkah (N) : ');

% Langkah 3: Mengolah data
% 3.1 Menghitung rata-rata harga saham (untuk
mengetahui nilai Barrier)
b=mean(data);

% 3.2 Menghitung Volatilitas
% 3.2.1 Menghitung return saham
return_saham = log(data(1:end-1) ./ data(2:end));
```

```

% 3.2.2 Menghitung rata-rata return (mu)
R = mean(return_saham);

% 3.2.3 Menghitung (return-mu)^2
a=(return_saham(1:end) - R).^2;

% 3.2.4 Menghitung rata-rata (return-mu)^2
c=mean(a);

% 3.2.5 Menghitung Volatilitas dengan MLE
V=sqrt(c);

% 3.3 Menghitung t
% 3.3.1 Menghitung delta t
tempo=T/360;
delta_t=tempo/N;

% 3.3.2 Menghitung akar delta t
t=sqrt(delta_t);

% 3.4 Menghitung Lambda
% 3.4.1 Menghitung eta
eta=(log(S_0/b))./(V*t);

%3.4.2 Menghitung |eta| / n_0
etata=floor(eta);

%3.4.3 Menghitung lamda (kecenderungan harga saham)
lambda=eta./etata;

% 3.5 Menghitung Faktor saham
% 3.5.1 Faktor Kenaikan Harga Saham
u=exp(lambda*V*t);

% 3.5.2 Faktor tetap Harga Saham
m=exp(0);

% 3.5.3 Faktor penurunan Harga Saham
d=1./u;

% 3.6 Menghitung Probabilitas Harga saham
% 3.6.1 Menghitung Peluang harga saham naik
pu=(1./(2*(lambda).^2))+(((r-
(0.5*(V).^2))*t))./(2*lambda*V));

```

```

% 3.6.2 Menghitung Peluang harga saham tetap
pm=1-(1./(lambda).^2);

% 3.6.3 Menghitung Peluang harga saham turun
pd=(1./(2*(lambda).^2))-((r-
(0.5*(V).^2))* (t))./(2*lambda*V));

% 3.6.4 Menghitung Harga Saham & Payoff masing-masing
opsi

for j=1:N+1
    for i=1:2*j-1
        S(i,j)=S_0*(u^(j-1))*(d^(i-1));
        CE(i,j)=max(S(i,j)-K,0);
        PE(i,j)=max(K-S(i,j),0);
    end
end

% 3.6.5 Menghitung Harga Opsi Call
C_E(1:2*N+1,N+1)=max(S(1:2*N+1,N+1)-K,0);
for j=N:-1:1
    for i=1:(2*j-1)
        C_E(i,j)=(exp((-
r)*delta_t))*((pu*C_E(i,j+1))+(pm*C_E(i+1,j+1))+(pd*C
_E(i+2,j+1)));
    end
end

% 3.6.6 Menghitung Harga Opsi Put
P_E(1:2*N+1,N+1)=max(K-S(1:2*N+1,N+1),0);
for j=N:-1:1
    for i=1:(2*j-1)
        P_E(i,j)=(exp((-
r)*delta_t))*((pu*P_E(i,j+1))+(pm*P_E(i+1,j+1))+(pd*P
_E(i+2,j+1)));
    end
end

%outputnya
disp(' ');
disp('~~~~~');
disp('Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut:');
%
disp(['Barrier (b): ',num2str(b)]);
disp(['Rata-rata Return (mu): ',num2str(R)]);
disp(['Volatilitas MLE: ',num2str(V)]);

```

```

disp(['Lambda: ', num2str(lambda)]);
disp(['Harga saham naik (u): ', num2str(u)]);
disp(['Harga saham tetap (m): ', num2str(m)]);
disp(['Harga saham turun (d): ', num2str(d)]);
disp(['Peluang harga saham naik (Pu): ', num2str(pu)]);
disp(['Peluang harga saham tetap (Pm): ', num2str(pm)]);
disp(['Peluang harga saham turun (Pd): ', num2str(pd)]);
disp('_____');
disp('Hasil Opsi Call nya adalah: ');
disp(C_E(1,1));
disp('_____');
disp('Hasil Opsi Put nya adalah: ');
disp(P_E(1,1));

```

RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama Lengkap : Ainur Rofiah
2. Tempat & Tgl Lahir : Pati, 27 September 2003
3. Alamat Rumah : Desa Langgenharjo Rt. 03 Rw.
03, Kec. Margoyoso, Kab. Pati,
59154
4. HP : 085291719725
5. E-mail : ainurrfh98@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal:

- a. SDN Langgenharjo
- b. SMPN 1 Margoyoso
- c. SMAN 1 Tayu

2. Pendidikan Non-Formal:

- a. TK Pertiwi
- b. TPQ Al-Istiqomah
- c. Ma'had Al-Jami'ah UIN Walisongo Semarang

Semarang, 15 Desember 2024



Ainur Rofiah

NIM : 2108046029