

PENETUAN HARGA OPSI TIPE EROPA MENGGUNAKAN METODE TRINOMIAL DENGAN PEMBAGIAN DIVIDEN

SKRIPSI

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



Oleh : ANDI KARINA DWI MAHARANI

NIM : 2108046015

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



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

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini :

Judul : **PENETUAN HARGA OPSI TIPE EROPA
MENGUNAKAN METODE TRINOMIAL DENGAN
PEMBAGIAN DIVIDEN**

Penulis : Andi Karina Dwi Maharani

NIM : 2108046015

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, 16 Juni 2025

DEWAN PENGUJI

Penguji I,

Eva Khoirun Nisa, M.Si.

NIP : 198701022019032010

Penguji II,

Emy Siswanah, M.Sc.

NIP : 198702022011012014

Penguji III,

Dinni Rahma Oktaviani, M.Si.

NIP : 199410092019032017

Penguji IV,

Seftina Diah Miasari, M.Sc.

NIP : 198709212019032

Pembimbing,

Hj. Emy Siswanah, M.Sc.

NIP : 198702022011012014

NOTA DINAS

Semarang, 10 Juni 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 : PENETUAN HARGA OPSI TIPE EROPA
MENGGUNAKAN METODE TRINOMIAL DENGAN
PEMBAGIAN DIVIDEN
Nama : Andi Karina Dwi Maharani
NIM : 2108046015
Jurusan : Matematika

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

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Pembimbing,



Hj. Emy Siswanah, M.Sc.
NIP : 198702022011012014

ABSTRAK

Penelitian ini menggunakan metode trinomial untuk menilai opsi Eropa dengan mempertimbangkan dividen. Tujuan penelitian ini untuk menentukan hasil opsi tipe Eropa menggunakan metode trinomial dengan pembagian dividen. Metode trinomial yaitu perluasan dari metode binomial yang memungkinkan adanya opsi ketiga untuk pergerakan harga saham, yaitu harga naik, harga tetap, atau harga turun. Pada penelitian ini metode trinomial dengan pembagian dividen diterapkan kepada lima saham dengan periode dan jatuh tempo yang sama. Berdasarkan perhitungan MAPE dapat disimpulkan bahwa model yang digunakan untuk memprediksi harga opsi memiliki tingkat akurasi yang berbeda-beda. Secara keseluruhan hasil perhitungan menunjukkan nilai MAPE yang kecil yaitu 17,42% pada opsi *call* dan 16,15% pada opsi *put*. Hal ini menunjukkan bahwa model trinomial dengan mempertimbangkan pembagian dividen mendekati harga opsi aktual.

Kata kunci : Opsi Tipe Eropa, Metode Trinomial, Pembagian Dividen

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. Atas rahmatnya, kasih sayang dan kesehatan yang telah diberikan. Salam Sejahtera kepada junjungan nabi Muhammad Saw. beserta keluarganya dan para sahabat-sahabatnya hingga akhir zaman. Penulis sangat bersyukur sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Penentuan Harga Opsi Tipe Eropa Menggunakan Metode Trinomial Dengan Pembagian Dividen** sebagai salah satu syarat penyelesaian pendidikan Sarjana - 1 Program Studi Matematika.

Penulis menyadari bahwa selama berlangsungnya penelitian, penyusunan sampai tahap penyelesaian penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak terutama Ayah dan Bunda tercinta, terimakasih atas kasih sayang serta dukungan yang tulus yang telah diberikan kepada anaknya ini, berkat doa dan dukungan orangtua sehingga dapat mengerjakan skripsi ini dengan lancar dan sukses.

Proses penyusunan skripsi ini tidak lepas dari doa, bantuan, bimbingan, motivasi dan peran dari banyak pihak. Oleh karena itu, iringan doa dan ucapan terimakasih juga penulis sampaikan kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Nizar Ali, M. Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Walisongo Semarang.
2. Bapak Prof. Dr. H. Musahadi, M. Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknoligi.
3. Ibu Any Muanalifah, M.Si, Ph.D selaku Ketua Program Studi Matematika.

4. Ibu Emy Siswanah, M. Sc. selaku dosen wali dan dosen pembimbing yang telah membantu membimbing penulis dengan penuh kesabaran dan cinta yang tulus.
5. Seluruh Dosen Matematika Universitas Islam Negeri (UIN) Walisongo Semarang yang telah membagi ilmunya melalui pembelajaran dengan penuh kesabaran.
6. Seluruh staf karyawan Fakultas Sains dan teknologi yang telah membantu penulis dalam pengurusan berkas hingga selesai.
7. Orangtua yaitu Ayah Alif Wijaya dan Bunda Tuti Mardiani yang telah banyak membantu baik secara materi maupun dukungan motivasi yang sangat membangun semangat dan sangat bermanfaat.
8. Kakak penulis tercinta Andi Denisa Ayu Mahardika yang telah siap sedia mendengar keluh kesah penulis dalam pengerjaan skripsi ini serta memberikan dukungan yang amat sangat berharga dan bermanfaat .
9. Teman-teman setia Amalia Arkana, Yanti Herawati, Indras Khoeruna, Salma Fauzia, Alisa Rahmawati dan semua pihak yang telah berjasa dalam memberikan dukungan secara langsung dan tidak langsung yang tidak saya bisa sebutkan namanya satu persatu.
10. Kepada BTS idol yang penulis sukai dan cintai. Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam. Musik dan pesan-pesan positif yang mereka sampaikan telah menjadi sumber inspirasi dan dukungan emosional selama proses

penyusunan skripsi ini. Kehadiran BTS, dengan nilai-nilai yang mereka bawa tentang kerja keras, ketekunan, dan cinta diri, sangat membantu penulis untuk tetap bersemangat dan percaya pada diri sendiri dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih untuk semua karya yang memberi kekuatan dan motivasi di setiap langkah perjalanan ini.

11. Kepada WayV, grup idol yang penulis sukai dan cintai. Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya karena telah memberikan inspirasi dan semangat bagi penulis selama menjalani proses penyusunan skripsi ini. Melalui musik, karya, dan dedikasi mereka, penulis menemukan motivasi yang besar untuk terus maju dan menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih atas karya-karya yang penuh makna dan energi positif yang selalu menemani perjalanan akademik penulis.
12. Semua Pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan kontribusi hingga selesainya skripsi ini.

Semoga kebaikan semuanya menjadi amal ibadah yang diterima dan mendapat pahala yang berlimpah dari Allah SWT. Aamiin.

Atas segala kekurangan dan kelemahan dalam skripsi ini penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun. Semoga karya tulis yang sederhana ini dapat menjadi bacaan yang bermanfaat dan dapat dikembangkan bagi peneliti-peneliti selanjutnya.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PENGESAHAN	iii
NOTA PEMBIMBING I	iv
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	7
C. Tujuan Penelitian.....	7
D. Manfaat Penelitian.....	7
E. Batasan Masalah.....	7
BAB II LANDASAN PUSTAKA	8
A. Opsi.....	8
1. Macam-macam Opsi.....	9
2. Fakto-faktor yang mempengaruhi harga opsi	12
B. Saham.....	14
1. <i>Return Saham</i>	14
2. Volatilitas.....	16
C. Metode Trinomial.....	18
D. Dividen.....	30
E. Model trinomial dalam menentukan opsi Eropa dengan pembagian dividen.....	33
F. <i>Means Absolute Percentage Error (MAPE)</i>	36
G. Kajian Penelitian Terdahulu	37
BAB III METODE PENELITIAN	41
A. Jenis Penelitian	41
B. Jenis dan Sumber Data	41
C. Prosedur penelitian.....	41

D.	Diagram Alir Penelitian	43
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		44
A.	Hasil Penelitian.....	44
1.	Data Harga Saham	44
2.	<i>Return</i> Harga Saham (R_t)	44
3.	Variansi <i>Return</i> Harga Saham	46
4.	Standar Deviasi <i>Return</i> Harga Saham	47
5.	Menghitung Volatilitas <i>Return</i> Harga Saham	47
6.	Parameter yang digunakan untuk menghitung opsi tipe Eropa	48
7.	Menentukan besar dividen	51
8.	Menentukan Harga Saham Pada Setiap Node Pohon Trinomial	52
B.	Pembahasan	87
BAB V PENUTUPAN		93
A.	Kesimpulan	93
B.	Saran	94
DAFTAR PUSTAKA		95
Lampiran-lampiran		99

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Tabel Kriteria Nilai MAPE	37
Tabel 4.1	Data Penutupan Harian Saham Apple Inc (AAPL)	44
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan <i>Return</i> Harga Saham	45
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan Standar Deviasi <i>Return</i>	46
Tabel 4.4	Perhitungan Opsi <i>Call</i> dengan Dividen 2,25 bulan	74
Tabel 4.5	Perhitungan Opsi <i>Put</i> dengan Dividen 2,25 bulan	78
Tabel 4.6	Perhitungan Opsi <i>Call</i> Eropa dengan Dividen 3 bulan	83
Tabel 4.7	Perhitungan Opsi <i>Put</i> dengan Dividen 3 bulan	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Pergerakan harga saham dengan trinomial satu periode	20
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	42
Gambar 4.1	Skema Pohon Trinomial 6 Periode	53
Gambar 4.2	Harga Saham Tanpa Dividen	56
Gambar 4.3	Skema Harga Saham dengan Dividen 2,25 bulan	57
Gambar 4.4	Harga Saham dengan Dividen Pada Saat 2,25 bulan	58
Gambar 4.5	Skema Harga Saham dengan Dividen 3 bulan	59
Gambar 4.6	Harga Saham dengan Dividen Pada Saat 3 bulan	61
Gambar 4.7	Nilai Opsi <i>Call</i> Eropa Tanpa Pembagian Dividen	65
Gambar 4.8	Nilai Opsi <i>Put</i> Eropa Tanpa Pembagian Dividen	69
Gambar 4.9	Nilai Opsi <i>Call</i> Eropa dengan Dividen 2,25 bulan	73
Gambar 4.10	Nilai Opsi <i>Put</i> Eropa dengan Dividen 2,25 bulan	77
Gambar 4.11	Nilai Opsi <i>Call</i> Eropa dengan Dividen 3 bulan	82
Gambar 4.12	Nilai Opsi <i>Put</i> Eropa dengan Dividen 3 bulan	86

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Matematika Keuangan adalah salah satu cabang ilmu matematika yang mempelajari tentang penerapan teori matematika untuk memecahkan masalah keuangan (Joshi, 2008). Matematika keuangan juga dikenal sebagai keuangan kuantitatif, yaitu suatu cabang matematika terapan yang berkaitan dengan pemodelan matematika pasar keuangan, terutama setelah krisis finansial 2008 yang menuntut pendekatan lebih rigor dalam analisis pasar (Hull, 2015).

Permasalahan keuangan dalam masyarakat, seperti volatilitas harga saham atau ketidakpastian arus kas, seringkali memerlukan solusi berbasis matematika. Salah satu instrumen yang semakin vital adalah derivatif, khususnya opsi, yang mengalami peningkatan signifikan dalam perdagangan global selama tiga dekade terakhir (Neftci, 2000). Aktivitas perdagangan opsi yang masif di bursa seperti *Chicago Mercantile Exchange* (CME) dan Bursa Efek Indonesia (BEI) menunjukkan betapa instrumen ini menjadi tulang punggung lindung nilai dan spekulasi di era modern (Wilmott, 2006).

Secara definisi, opsi saham adalah kontrak keuangan yang memberikan hak kepada pemegangnya, namun bukan kewajiban, untuk membeli sejumlah saham tertentu dengan harga eksklusif selama jangka waktu yang telah ditentukan atau pada waktu tertentu di masa yang akan datang (Bodie, 2002). Berdasarkan jenis hak yang dimilikinya, opsi dibedakan menjadi dua kategori, yaitu opsi beli (*call option*) dan opsi jual (*put option*). Opsi *call* merupakan suatu hak (bukan kewajiban) yang dimiliki oleh pemegang sahamnya untuk membeli sejumlah saham pada harga dan waktu yang telah ditetapkan sebelumnya. Hak ini

memungkinkan investor untuk memperoleh keuntungan jika harga saham di pasar melebihi harga kesepakatan (*strike price*) pada masa berlaku opsi. Di sisi lain, opsi *put* memberikan hak kepada pemilikinya (juga bukan kewajiban) untuk menjual saham tertentu dalam jumlah, harga, dan periode yang telah disepakati. Dengan demikian, pemegang opsi *put* dapat melindungi nilai portofolio atau mengambil keuntungan jika harga saham di pasar turun di bawah *strike price* sebelum opsi kedaluwarsa. Kedua instrumen ini merupakan bagian dari derivatif yang umum digunakan dalam strategi investasi dan lindung nilai (*hedging*).

Opsi saham dibagi menjadi dua jenis berdasarkan waktu pelaksanaannya. Salah satunya yaitu opsi Eropa (Iqrami, 2021). Opsi tipe Eropa hanya dapat dilaksanakan pada saat tanggal kedaluwarsa opsi. Dengan kata lain, pemegang opsi Eropa hanya dapat menggunakan haknya pada tanggal kedaluwarsa. Sedangkan opsi tipe Amerika dapat dilakukan kapan saja selama masa berlaku kontrak termasuk pada tanggal jatuh tempo. Opsi Eropa umumnya lebih mudah dianalisis daripada opsi Amerika, dan beberapa sifat opsi Amerika sering kali diturunkan dari opsi Eropa yang sebanding (Hull, 2012). Hal ini lebih mempermudah perhitungan karena tidak perlu mempertimbangkan kemungkinan eksekusi di waktu yang lain selama masa kontrak. Opsi *call* tipe Eropa memberikan hak kepada pemegangnya untuk membeli saham tertentu hanya pada saat jatuh tempo. Berdasarkan definisi opsi *call*, harga opsi *call* tipe Eropa dihitung sebagai selisih antara harga saham saat ini dan harga *strike*. Opsi Eropa biasanya memiliki biaya premi yang lebih rendah dibandingkan dengan opsi Amerika karena keterbatasan dalam waktu (Hull, 2018). Faktor ini menjadikan alternatif yang lebih ekonomis bagi investor, terutama bagi mereka yang memiliki strategi jangka panjang atau tidak memerlukan fleksibilitas eksekusi sebelum jatuh tempo. Namun, selain mempertimbangkan harga premi, investor juga perlu memperhatikan faktor fundamental perusahaan, salah satunya

adalah kebijakan dividen.

Dividen merupakan salah satu faktor krusial yang menjadi pertimbangan investor dalam memilih perusahaan untuk berinvestasi. Sebagai bentuk imbal hasil kepada pemegang saham, banyak perusahaan memilih untuk membagikan dividen, sehingga kebijakan dividen sering kali menjadi komponen dalam perencanaan strategi investasi. Secara umum, perusahaan akan mengumumkan besaran dividen beserta jadwal pembagiannya sebelum proses distribusi dilaksanakan.

Selain berperan sebagai insentif bagi investor, Hull (2022) mengatakan dividen juga memiliki pengaruh signifikan terhadap penetapan harga opsi. Hal ini disebabkan oleh dampak tidak langsung pembagian dividen terhadap harga saham, yang menjadi *underlying asset* dalam perhitungan nilai opsi. Pembagian dividen cenderung menurunkan harga opsi *call* karena adanya penyesuaian harga saham *ex-dividen*, sementara harga opsi *put* justru mengalami kenaikan. Apabila tanggal pembagian dividen telah diketahui sebelumnya, dapat diprediksi bahwa penurunan nilai opsi akan terjadi bersamaan dengan penurunan harga saham pada saat dividen dibagikan (Rahman, 2010). Dengan demikian, kebijakan dividen tidak hanya memengaruhi keputusan investasi langsung, tetapi juga berdampak pada instrumen derivatif seperti opsi.

Opsi Eropa dapat dianalisis dengan mengasumsikan bahwa harga saham terdiri dari dua komponen, yaitu komponen bebas risiko yang berkaitan dengan dividen yang diketahui selama masa opsi, dan komponen berisiko. Komponen bebas risiko pada suatu waktu merupakan nilai sekarang dari seluruh dividen yang akan dibayarkan selama masa opsi, yang telah didiskontokan dari tanggal *ex-dividen* hingga saat ini menggunakan suku bunga bebas risiko, sedangkan komponen berisiko dalam opsi Eropa merujuk pada bagian harga aset dasar (*underlying asset*) yang tidak dipengaruhi oleh dividen yang diketahui selama masa opsi.

Komponen ini mencerminkan ketidakpastian (volatilitas) harga aset di pasar dan bergantung pada faktor-faktor seperti perseragan harga aset, suku bunga, dan waktu hingga jatuh tempo opsi (Hull, 2012). Ketika opsi mencapai jatuh tempo, dividen tersebut sudah dibayarkan sehingga komponen bebas risiko tidak ada lagi.

Ada beberapa metode yang digunakan untuk menghitung nilai opsi, dan salah satu di antaranya adalah metode trinomial. Metode trinomial adalah salah satu teknik yang digunakan dalam penilaian opsi dalam keuangan. Metode ini memperluas metode binomial dengan memperkenalkan lebih banyak langkah atau tahap di antara saat ini dan waktu kedaluwarsa opsi. Metode Binomial adalah teknik untuk menentukan harga opsi dengan memodelkan pergerakan harga aset dasar diskrit selama periode waktu tertentu hingga tanggal jatuh tempo dengan memperkirakan dua pergerakan harga aset dasar yaitu naik dan turun (Maulida, 2019). Dalam metode trinomial, pergerakan harga aset dasar di antara setiap tahap ditentukan oleh tiga skenario kemungkinan, yaitu naik, tetap, atau turun. Ini memberikan fleksibilitas yang lebih besar daripada metode binomial karena memungkinkan penyesuaian yang lebih halus terhadap kondisi pasar yang berubah (Nissa, 2020).

Menurut Langat (2019), metode trinomial mempertimbangkan tiga skenario pergerakan harga saham yaitu naik, turun, atau tetap pada setiap tahap waktu. Pendekatan ini memberikan gambaran yang lebih akurat tentang dinamika pasar, membuatnya lebih tepat dalam menilai harga opsi, terutama dalam situasi pasar yang rumit atau saat ada faktor dividen yang harus diperhitungkan. Metode trinomial digunakan pada penelitian ini untuk mengimplementasikan metode trinomial dalam penentuan harga opsi Eropa, baik opsi *call* maupun opsi *put*. Dalam konteks opsi Eropa, metode trinomial digunakan untuk memodelkan harga opsi secara bertahap hingga mencapai akhir, di mana opsi tersebut

dievaluasi berdasarkan harga finalnya. Selain itu, metode trinomial digunakan pada penelitian ini untuk mengetahui apakah metode trinomial merupakan pendekatan yang cukup efisien atau tidak untuk menilai opsi Eropa.

Nissa (2020) menyatakan bahwa model trinomial memberikan pendekatan yang lebih realistis daripada model binomial dalam memperkirakan harga opsi saham. Argumentasi ini didasarkan pada karakteristik pasar saham yang tidak hanya bergerak dalam dua arah (naik atau turun), tetapi juga dapat mengalami kondisi stabil (tetap). Oleh karena itu, model trinomial yang mengakomodasikan tiga kemungkinan skenario pergerakan harga, yaitu naik, turun, dan tetap, menawarkan kerangka analisis yang lebih komprehensif dan akurat dalam penilaian opsi. Keunggulan ini menjadikan model trinomial sebagai alat yang lebih representatif untuk mencerminkan dinamika harga saham di pasar keuangan yang sesungguhnya.

Penelitian yang dilakukan oleh Lestari (2016) menerapkan model trinomial untuk mengevaluasi harga opsi call tipe Eropa. Hasil studi menunjukkan bahwa model ini mengintegrasikan tiga skenario perubahan harga saham, yaitu kenaikan, penurunan, atau kondisi stabil (tetap), sebagai elemen fundamental dalam proses perhitungan. Dalam model tersebut, fluktuasi harga saham ditentukan oleh koefisien kenaikan (*up factor*) dan koefisien penurunan (*down factor*), yang nilai-nilainya berkorelasi dengan tingkat bunga bebas risiko. Temuan ini mengindikasikan bahwa pendekatan trinomial tidak sekedar memperluas cakupan analisis dibandingkan model binomial tradisional, tetapi juga mampu mengakomodasi kompleksitas dinamika pasar finansial secara lebih komprehensif dan realistis.

Adapun penelitian Purwandari (2016) menentukan nilai opsi *call* Eropa dengan pembayaran dividen mengatakan bahwa nilai opsi Eropa akan menurun dengan adanya perubahan waktu jatuh tempo pada pembagian dividen.

Pada penelitian ini, metode trinomial memungkinkan pemodelan yang lebih detail mengenai pergerakan harga saham termasuk dampak dari pembagian dividen. Hal ini terjadi karena metode ini mempertimbangkan tiga kemungkinan pergerakan harga pada setiap periode waktu yaitu naik, tetap, dan turun. Pendekatan ini lebih lentur dibanding dengan metode binomial yang hanya mempertimbangkan dua arah pergerakan (Cox, 1979). Dalam pembagian dividen, metode trinomial mampu menyesuaikan harga saham secara langsung berdasarkan struktur pohon (Shreve, 2004). Dividen biasanya menyebabkan penurunan harga saham pada saat pembagiannya. Selain itu, pada saat saham membayar dividen, harga opsi beli cenderung menurun karena nilai saham menurun setelah pembayaran dividen. Sebaliknya, opsi jual menjadi lebih bernilai. Metode trinomial memahami kompleksitas dinamika harga saham dengan baik dan bersifat mendukung dalam pemodelan opsi Eropa, termasuk aspek eksekusi opsi sebelum jatuh tempo karena pembayaran dividen (Hull, 2018). Dengan memecah periode waktu menjadi langkah-langkah kecil, metode trinomial memberikan estimasi yang lebih realistis dan sesuai dengan kondisi pasar.

Menurut Nissa (2020) metode trinomial ini memungkinkan perhitungan diperhitungkan pada setiap langkah waktu. Karena metode trinomial memperhitungkan pergerakan harga saham dengan lebih realistis, baik naik, turun, ataupun tetap, serta dampak dari pembagian dividen, hasil penilaian harga opsi menjadi lebih tepat dibandingkan metode yang mengabaikan dividen atau hanya menggunakan model binomial yang lebih sederhana. Hal ini memberikan kesempatan bagi investor untuk memperoleh estimasi harga opsi yang lebih akurat baik untuk keperluan investasi maupun pengelolaan risiko. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk menghitung harga opsi tipe Eropa menggunakan metode trinomial dengan pembagian dividen.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana hasil perhitungan harga opsi tipe Eropa menggunakan metode trinomial dengan pembagian dividen?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil perhitungan harga opsi tipe Eropa menggunakan metode trinomial dengan pembagian dividen.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Bagi peneliti Sebagai bahan pembelajaran dan penambahan wawasan dibidang matematika keuangan.
2. Bagi pembaca Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi semua pembaca, baik sebagai sumber pengetahuan tambahan maupun sebagai referensi yang bisa dibandingkan dengan metode lainnya dalam tulisan-tulisan selanjutnya.

E. Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan untuk menjaga agar topik yang dibahas tetap berada dalam tema. Pembahasan dalam penulisan penelitian ini dibatasi pada opsi yang dibahas yaitu penelitian hanya membahas opsi Eropa.

BAB II

LANDASAN PUSTAKA

A. Opsi

Opsi merupakan instrumen derivatif yang berfungsi sebagai kontrak finansial antara dua pihak, dimana pembeli opsi memperoleh hak (bukan kewajiban) untuk membeli atau menjual suatu *underlying asset* (saham, obligasi, mata uang, atau komoditas) pada harga *strike price* yang telah disepakati selama periode kontrak yang berlaku (bjorefeldt, 2016). Secara lebih spesifik, Hidayat (2010) mendefinisikan opsi saham sebagai kontrak derivatif yang memberikan hak prerogatif kepada pemegangnya untuk melakukan transaksi saham pada harga yang telah ditentukan, dengan masa berlaku kontrak hingga *expiration date* telah ditetapkan.

Dalam mekanisme ini, pembeli opsi berkewajiban membayar sejumlah premis kepada penjual opsi sebagai kompensasi atas hak yang diperoleh. Namun perlu ditekankan bahwa pembeli memiliki fleksibilitas penuh untuk menggunakan atau tidak menggunakan hak opsi tersebut, sementara penjual opsi berkewajiban memenuhi transaksi jika pembeli memutuskan untuk menggunakan haknya (Hull, 2018).

Secara teoretis, nilai suatu opsi terdiri dari dua komponen fundamental, yaitu nilai intrinsik dan nilai waktu. Nilai intrinsik mempresentasikan keuntungan finansial yang dapat direalisasikan apabila opsi tersebut dieksekusi pada saat tertentu, yang secara matematis merupakan selisih antara harga pasar aset dasar dengan harga pelaksanaan (*exercise price*). Sebagaimana dikemukakan oleh Bodie, Kane, dan Marcus (2019), dalam kondisi dimana harga pasar lebih rendah daripada harga pelaksanaan, nilai intrinsik opsi call akan bernilai nol, suatu keadaan yang dikenal sebagai *out of the money*.

Komponen kedua, yaitu nilai waktu, mencerminkan premi tambahan yang melekat pada harga opsi diatas nilai intrinsiknya. Faktor ini muncul sebagai konsekuensi dari tiga aspek utama: (1) probabilitas perubahan harga aset dasar sebelum tanggal kedaluarsa, (2) tingkat volatilitas pasar yang memengaruhi potensi apresiasi nilai opsi, dan (3) durasi waktu tersisa sebelum kedaluarsa. Karakteristik unik dari nilai waktu adalah sifatnya yang mengalami penyusutan secara progresif seiring dengan mendekatnya tanggal kedaluarsa, suatu fenomena dalam teori keuangan yang disebut sebagai *time delay*.

Pemahaman menyeluruh terhadap interaksi antara nilai intrinsik dan nilai waktu merupakan elemen esensial dalam penetapan harga opsi yang akurat. Kedua komponen ini tidak hanya memberikan kerangka analisis yang komprehensif, tetapi juga memungkinkan investor untuk mengestimasi potensi nilai opsi di masa depan berdasarkan dinamika pasar yang berubah-ubah.

1. Macam-macam Opsi

a. Opsi *Call*

Opsi *call* (Opsi Beli) merupakan kontrak derivative yang memberikan hak prerogative kepada pemegangnya untuk mengakuisisi aset dasar pada harga yang telah ditentukan dalam periode waktu tertentu, tanpa diikuti kewajiban pelaksanaan (Bodie, 2019). Mekanisme dan karakteristik opsi call dapat dipahami melalui beberapa aspek fundamental yang saling terkait.

Pada saat jatuh tempo, nilai opsi call ditentukan oleh hubungan antara harga pasar saham dengan *strike price* yang telah disepakati. Ketika harga saham di pasar melebihi *strike price*, opsi berada dalam kondisi *in the money*, dimana nilai instrinsiknya merupakan selisih positif antara kedua harga

tersebut. Sebaliknya, jika harga saham berada pada level yang sama dengan *strike price*, opsi dikategorikan *at the money*. Sementara itu, posisi *out of the money* terjadi ketika harga saham berada di bawah *strike price*, mengakibatkan opsi tersebut kehilangan nilai ekonomisnya (Hull, 2023).

Dari perspektif investor, analisis profitabilitas opsi *call* harus mempertimbangkan premi awal yang telah dibayarkan sebagai kompensasi atas hak yang diperoleh. Struktur *payoff* opsi *call* menunjukkan karakteristik untuk dimana potensi keuntungan tidak terbatas seiring dengan kenaikan harga saham, sementara kerugian maksimum dibatasi pada jumlah premi yang telah dikeluarkan (Bodie, 2014).

Nilai opsi *call* pada saat jatuh tempo adalah sama dengan imbalan yang diterima oleh pemegang opsi *call* pada tanggal jatuh tempo, yaitu:

$$\max(S_t - K, 0) = \begin{cases} (S_t - K, 0), & \text{jika } S_t > K \\ 0, & \text{jika } S_t \leq K \end{cases}$$

dimana S_t adalah nilai saham pada tanggal jatuh tempo dan K adalah harga kesepakatan. Opsi ini hanya dieksekusi jika S_t melebihi K . Jika S_t kurang dari K , opsi akan berakhir dengan nilai nol (Bodie, 2019). Kerugian bagi pemegang opsi dalam kasus ini sama dengan harga yang dibayarkan pada awalnya. Secara umum, keuntungan bagi pemegang opsi adalah imbalan opsi dikurangi harga pembelian awal:

$$\text{keuntungan} = \max(S_t - K, 0) - \text{harga pembelian}$$

Sebaliknya, penjual opsi *call* mengalami kerugian ketika harga saham tinggi. Penjual akan menerima opsi *call* dan harus menyediakan saham dengan nilai S_T hanya untuk K dolar. Imbalan untuk penjual opsi *call* adalah:

$$-\max(S_t - K, 0) = \begin{cases} -(S_t - K, 0), & \text{jika } S_t > K \\ 0, & \text{jika } S_t \leq K \end{cases}$$

Penjual opsi *call*, yang menderita kerugian ketika harga saham naik, bersedia menanggung risiko ini sebagai imbalan atas premi opsi.

b. Opsi Put

Opsi *put* (opsi jual) merupakan instrument derivatif yang memberika hak eksklusif (tanpa kewajibah eksekusi) kepada pemegangnya untuk menjual aset pada harga kesepakatan yang telah ditentukan, baik pada tanggal jatuh tempo (*Euriopcan style*) maupun sebelum waktu tersebut (*American style*) (Bodie, 2019). Mekanisme opsi *put* menunjukkan karakteristik untuk yang berbanding terbalik dengan opsi *put*, dimana nilai kontak ini justru mengalami aprediasi seiring dengan depresiasi harga aset dasar di pasar.

Dalam konteks eksekusi, opsi *put* hanya akan dilaksanakan ketika terjadi kondisi *in he money*, yaitu saat *strike price* melebihi harga pasar aset dasar pada saat jatuh tempo. Mekanisme ini memungkinkan pemegang opsi mengunci keuntungan sebesar selisih antara *strike price* dengan *spot price*, setelah dikurangi premi yang telah dibayarkan. Aspek fundamental yang membedakan opsi *put* dengan instrumen lain terletak pada *payoff* strukturnya yang bersifat asimetris, dimana potensi kerugian maksimum terbatas pada jumlah premi, sementara potensi keuntungan secara teoritis dapat mencapai nilai *strike price* penuh.

Nilai opsi put pada saat jatuh tempo adalah:

$$\max(K - S_t, 0) = \begin{cases} 0 & , \quad \text{jika } S_t \geq K \\ (K - S_t, 0) & , \quad \text{jika } S_t < K \end{cases}$$

Dimana K merupakan *strike price* dan S_t merepresentasikan *spot price* aset dasar. Formula ini sekaligus menggarisbawahi fungsi pritektif opsi jual sebagai intrumen

nilai yang efektif terhadap risiko penurunan harga aset.

2. **Fakto-faktor yang mempengaruhi harga opsi**

Faktor-faktor yang mempengaruhi harga opsi meliputi:

a. Harga Saham dan *Strike Price*

Pergerakan harga saham mempengaruhi nilai opsi secara sistematis dengan pola yang berbeda antara opsi *call* dan opsi *put*. Opsi *call* menunjukkan korelasi positif dengan harga saham, kenaikan harga meningkatkan nilai opsi *call* karena memperbesar nilai intrinsiknya. Sebaliknya, opsi *put* memiliki hubungan negatif dimana penurunan harga saham justru meningkatkan nilainya. *Strike price* berperan penting dalam menentukan nilai opsi. Pada opsi *call*, *strike price* yang lebih tinggi mengurangi nilai opsi karena mempersulit pencapaian kondisi *in the money*. Sedangkan pada opsi *put*, *strike price* yang lebih tinggi justru meningkatkan nilai opsi (Astutik, 2012).

b. Waktu Kedaluwarsa atau *Time to Expiry*

Waktu hingga kedaluwarsa berbanding lurus dengan nilai opsi, baik untuk opsi *call* maupun opsi *put*. Periode yang lebih panjang memberikan peluang lebih besar bagi aset dasar untuk bergerak menguntungkan, sehingga meningkatkan probabilitas opsi mencapai *in the money*. Komponen *time value* menjadi lebih signifikan ketika waktu kedaluwarsa masih lama, mencerminkan premi untuk potensi keuntungan di masa depan. Namun nilai ini menyusut secara progresif seiring mendekatnya tanggal kedaluwarsa, hingga akhirnya menyisakan nilai intrinsik saja.

c. Volatilitas Saham

Volatilitas saham berpengaruh signifikan terhadap nilai opsi, baik opsi *call* maupun opsi *put*. Semakin tinggi volatilitas,

semakin besar nilai opsi karena potensi pergerakan harga aset dasar yang lebih ekstrim meningkatkan peluang opsi mencapai posisi *in the money*. Seperti dijelaskan Larasati (2018), volatilitas tinggi membuat investor bersedia membayar premi lebih mahal untuk kemungkinan keuntungan yang lebih besar. Hal ini menjadikan volatilitas sebagai faktor kunci dalam model penentuan harga opsi dan strategi perdagangan derivatif.

d. Tingkat Suku Bunga Bebas Risiko (*Risk-Free Interest Rate*)

Tingkat suku bunga bebas risiko memengaruhi nilai opsi secara berbeda antara opsi *call* dan opsi *put*. Pada opsi *call*, kenaikan suku bunga meningkatkan nilainya karena mengurangi nilai sekarang (*present value*) dari *strike price* yang harus dibayarkan di masa depan. Sebaliknya opsi *put* mengalami penurunan nilai ketika suku bunga naik, karena meningkatnya biaya oportunitas strategi defensif. Mekanisme ini menunjukkan bagaimana perubahan kebijakan moneter dapat mempengaruhi pasar derivatif melalui efek nilai waktu uang (*time value of money*). Dalam valuasi opsi, suku bunga menjadi salah satu faktor kunci yang berinteraksi dengan variabel lain seperti harga saham dan volatilitas, membentuk dinamika harga yang kompleks di pasar derivatif.

e. Dividen

Dividen berbanding lurus dengan nilai opsi *put* dan berbanding terbalik dengan nilai opsi *call*. Pembayaran dividen memiliki dampak yang berbeda terhadap harga opsi *put* dan opsi *call*. Ketika dividen dibagiakan, harga opsi *put* cenderung naik karena dividen menyebabkan penurunan harga saham.

Opsi *put* memberikan hak kepada pemegangnya untuk

menjual saham pada harga tertentu, sehingga ketika harga saham turun akibat pembagian dividen, maka opsi *put* menjadi lebih bernilai. Opsi *call* memberikan hak untuk membeli saham pada harga tertentu, namun penurunan harga saham setelah pembagian dividen membuat opsi *call* menjadi kurang menarik, karena harga saham yang lebih rendah mengurangi kemungkinan harga saham akan melampaui harga *strike* opsi. Dengan demikian, dividen barbanding lurus dengan nilai opsi *put* dan berbanding terbalik dengan nilai opsi *call* (Hull, 2017).

B. Saham

Saham adalah salah satu komoditas keuangan yang paling populer diperdagangkan di pasar modal. Investor melakukan investasi saham dengan harapan memperoleh keuntungan (Hadi, 2015). Dalam lingkup pasar modal, saham sering diperdagangkan di bursa saham dan tersedia untuk pembelian dan penjualan oleh para investor. Ketika perusahaan mengalami keuntungan, nilai saham cenderung meningkat karena pendapatan yang lebih tinggi dapat menghasilkan laba bagi pemegang saham. Namun, nilai perusahaan sebagai entitas tersendiri tidak selalu berubah karena keuntungan. Sebaliknya, jika perusahaan mengalami kerugian, hak perusahaan untuk menutupi kewajiban dan utangnya biasanya didahulukan daripada nilai saham. Dalam situasi kerugian, perusahaan mungkin perlu menggunakan aset atau cadangan keuangan untuk menutupi kewajiban, yang bisa mempengaruhi nilai saham.

1. Return Saham

Return saham merupakan ukuran fundamental yang mempresentasikan imbal hasil investasi, dihitung berdasarkan selisih antara harga jual dan harga beli suatu instrumen saham (Simorangkir, 2019). Secara esensial, besaran *return* ini ditentukan oleh dinamika fluktuasi harga di pasar sekunder, dengan

prasyarat bahwa sekuritas tersebut harus aktif diperdagangkan di pasar modal untuk memungkinkan realisasi *return* (Devaki, 2017). Karakteristik *return* saham bersifat dinamis, dimana nilainya dapat fluktuatif antara positif maupun negatif, mencerminkan realisasi keuntungan atau kerugian yang sesungguhnya sesuai dengan kinerja aset investasi pada periode tertentu.

Dalam praktik investasi, dikenal beberapa metode perhitungan *return* yang memiliki karakteristik berbeda. *Net return* mempresentasikan laba bersih investasi setelah memperhitungkan berbagai biaya transaksi. Sementara *gross return* menunjukkan total pengembalian investasi sebelum dikurangi dengan biaya-biaya terkait. Adapun log return atau *continuously compounded return*, menurut Nissa (2020) merupakan bentuk *return* yang dihitung secara logaritmik dan nilainya akan mendekati *net return* ketika persentasi *return* tersebut relatif kecil. Berbagai jenis perhitungan *return* ini memberikan perspektif yang berbeda dalam mengevaluasi kinerja suatu investasi di pasar modal.

Return saham dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

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

Keterangan:

R_t = return total

S_t = harga saham pada waktu t

S_{t-1} = harga saham sebelum waktu t

2. Volatilitas

Volatilitas saham merupakan indikator statistik yang mengukur besarnya fluktuasi harga saham dalam periode tertentu, mencerminkan tingkat penyimpangan harga dari nilai rata-ratanya. Secara fundamental, volatilitas yang tinggi menandakan gejolak harga yang tajam, sementara volatilitas rendah menunjukkan stabilitas harga yang relatif terjaga. Dalam konteks keuangan, volatilitas (σ) didefinisikan sebagai standar deviasi dari *log return* saham yang dihitung secara tahunan (Nissa, 2020).

Volatilitas tidak hanya menggambarkan dinamika harga, tetapi juga berfungsi sebagai *proxy* untuk mengukur risiko suatu saham. Nilainya selalu berada dalam rentang positif, mulai dari nol hingga tak hingga ($0 \leq \sigma \leq \infty$). Saham dengan volatilitas tinggi dicirikan oleh pergerakan harga yang fluktuatif dalam kisaran lebar, sedangkan volatilitas rendah menunjukkan harga yang cenderung stabil dengan perubahan minimal (Sutarno, 2014).

Salah satu pendekatan untuk mengestimasi volatilitas adalah melalui *volatilitas histori*, yaitu perhitungan yang didasarkan pada data harga masa lalu (Nissa, 2020). Metode ini berasumsi bahwa pola pergerakan harga histori dapat menjadi acuan untuk memprediksi perilaku harga di masa depan. Proses perhitungannya dimulai dengan mengevaluasi *return* saham harian, kemudian mengestimasi *mean* dan variansinya menggunakan formula statistik yang telah distandarisasi (Hull, 2012). Sehingga nilai volatilitas dapat dihitung sebagai berikut:

- a) Nilai rata-rata *return* saham dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\bar{R}_t = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n R_t \quad (2.2)$$

Dimana:

$\overline{R}_t$ = rata-rata return saham

R_t = harga return saham pada waktu t

n = banyaknya return saham

- b) Nilai standar deviasi nilai saham dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$S_{r_t} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (R_t - \overline{R}_t)^2} \quad (2.3)$$

Dimana:

$\overline{R}_t$ = rata-rata return saham

R_t = harga return saham pada waktu t

S_{r_t} = variansi return saham

n = banyaknya return saham

- c) Volatilitas saham dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{v}} S_{r_t} ; v = \frac{1}{n} \quad (2.4)$$

Keterangan:

σ = volatilitas saham

S_{r_t} = variansi return saham

$\frac{1}{\sqrt{v}}$ = faktor normalisasi yang digunakan untuk

memperhitungkan rata-rata distribusi volatilitas berdasarkan data sampel, dimana:

v = bobot atau proporsi untuk setiap data return saham

n = jumlah periode waktu yang digunakan untuk menghitung return saham

C. Metode Trinomial

Metode trinomial merupakan suatu pendekatan riset yang memfokuskan pada analisis tiga variabel atau faktor yang berinteraksi untuk memahami fenomena atau masalah yang sedang diteliti. Metode trinomial memungkinkan adanya opsi ketiga untuk pergerakan saham, yaitu saham naik, saham turun, atau saham tengah dimana harga saham tetap konstan selama interval waktu. Metode trinomial terbagi atas dua yaitu Metode Trinomial Boyle dan Metode Trinomial Hull-White.

Metode trinomial satu periode menyederhanakan dinamika pasar saham dengan membatasi aktivitas perdagangan hanya pada dua titik waktu, yaitu pada saat $t = 0$ dan $t = 1$. Pada awal periode ($t = 0$), harga saham dipresentasikan sebagai S_0 . Menjelang akhir periode ($t = 1$), harga saham dapat mengalami tiga kemungkinan perubahan nilai, yaitu menjadi S_1 dengan probabilitas p_1 , S_2 dengan probabilitas p_2 , atau S_3 dengan probabilitas p_3 , mencerminkan sifat stokastik dari pergerakan harga saham.

Dalam kerangka model, pasar diasumsikan terdiri dari dua instrumen utama, yaitu saham sebagai aset berisiko dan tabungan deposito bank sebagai aset bebas risiko. Notasi B_t menggambarkan nilai tabungan deposito pada waktu t , sementara S_t mempresentasikan harga saham pada waktu yang sama (Puspita, 2013). Karakteristik unik dari model ini terletak pada pergerakan nilai deposito yang bersifat deterministi, artinya

perkembangannya dapat diprediksi secara pasti tanpa unsur ketidakpastian, biasanya mengikuti suku bunga tetap. Asumsi ini memungkinkan pemisah yang jelas antara komponen risiko dan non-risiko dalam analisis harga derivatif atau strategi investasi. Dalam model ini, pergerakan deposito ditentukan secara deterministik, dan dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$B_t = (1 + r)^t \quad (2.5)$$

dimana r adalah tingkat suku bunga bebas risiko. Selain itu, penting untuk diketahui bahwa dalam pasar uang, tingkat suku bunga yang berlaku untuk setiap periode pada deposito bank diasumsikan sesuai dengan hubungan berikut:

$$d < 1 + r < u \quad (2.6)$$

dimana d adalah faktor penurunan harga saham dalam satu periode waktu (Δt), $1 + r$ adalah tingkat suku bunga bebas resiko dalam satu periode, dan u adalah faktor kenaikan harga saham dalam satu periode waktu (Δt).

Persamaan (2.6) dapat dinyatakan dengan:

$$d < e^r < u \quad (2.7)$$

Selain dari asumsi-asumsi sebelumnya, pada model-model trinomial terdapat asumsi-asumsi lain, yaitu:

$$d < m < u \quad (2.8)$$

Metode trinomial didasarkan pada diskretisasi pergerakan harga saham dalam tiga kemungkinan hasil dalam satu langkah waktu, yaitu S_u yaitu harga saham naik dengan faktor u , S_m yaitu harga saham tetap sama, dan S_d yaitu harga saham turun

dengan faktor d . Karena opsi dievaluasi berdasarkan nilai masa depan, dapat digunakan diskon bebas resiko untuk mengkonversi nilai masa depan menjadi nilai sekarang. Diskon ini dihitung menggunakan faktor:

$$d = e^{-r\Delta t}$$

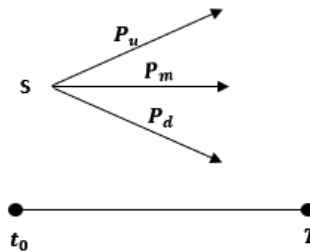
dimana:

r adalah suku bunga bebas resiko

Δt adalah interval waktu antar langkah

Sebagai pengembangan dari model binomial, metode trinomial menawarkan kerangka kerja yang lebih komprehensif untuk menilai harga opsi dengan mempertimbangkan tiga skenario pergerakan harga saham, yaitu kenaikan, penurunan, dan harga tetap dalam setiap interval waktu (Wahyuni, 2024).

Metode trinomial memiliki tiga parameter pergerakan harga saham yaitu faktor kenaikan (u), faktor tetap (m), dan faktor penurunan (d), yang masing-masing memiliki probabilitas terkait (p_u), (p_m), dan (p_d).



Gambar 2.1. Pergerakan harga saham dengan trinomial satu periode

Pada gambar 2.1 menunjukkan bahwa memisalkan suatu opsi memiliki waktu hidup $[0, T]$. Metode ini merupakan representasi

dari pasar saham dengan satu periode perdagangan. Dengan kata lain, hanya terdapat dua waktu perdagangan, yaitu saat $t = 0$ dan $t = 1$. Jika S_0 merupakan harga saham pada saat $t = 0$, maka pada waktu jatuh tempo, S_0 dapat berubah menjadi S_u dengan probabilitas p_u , harga saham tetap menjadi S_m dengan probabilitas p_m , dan harga saham turun menjadi S_d dengan probabilitas p_d .

Misalkan interval waktu $[0, T]$ dibagi menjadi N sub interval yang sama panjang dengan titik bagi $0 = t_0 < t_1 < \dots < t_n = T$ dengan $t_j = j\Delta t$ dimana $\Delta t = \frac{T}{N}$ dan $j = 0, 1, 2, \dots, N$ (Jalaludin, 2014). Metode trinomial mengubah interval waktu kontinu $[0, T]$ menjadi interval waktu diskrit T dengan interval waktu yang sama. Pendekatan ini melibatkan pembagian interval waktu $[0, T]$ menjadi M subinterval yang identik, masing-masing dengan panjang Δt . Dalam konstruksi model ini, setiap partisi akan menghasilkan $2M + 1$ kemungkinan nilai harga saham yang berbeda. Fenomena konvergensi numerik terjadi ketika jumlah partisi diperbanyak secara signifikan, dengan kata lain saat M semakin besar maka Δt akan mendekati nol.

Proses refinemen partisi ini menghasilkan aproksimasi yang semakin presisi terhadap perilaku harga aktual, dimana ketelitian solusi numerik yang diperoleh akan meningkat seiring dengan penambahan jumlah partisi. Prinsip matematis ini didasarkan pada konsep limit dalam kalkulus, dimana partisi yang semakin rapat $\Delta t \rightarrow 0$ akan menghasilkan konvergensi nilai aproksimasi menuju solusi eksak, sehingga hasil pendekatan yang didapat akan semakin baik.

Pada model trinomial terdapat lima parameter yang berpengaruh yaitu u , m , d , p_u , p_m , p_d . Clewlow & Strickland (1998) mengasumsikan bahwa ekspektasi dan variansi dari model harga saham diskrit harus sama dengan ekspektasi dan variansi model harga saham kontinu, sehingga metode trinomial dapat mengaproksimasi perilaku pasar secara akurat. Kamrad &

Richken (1991) juga mengasumsikan kondisi simetri untuk memastikan pohon trinomial bersifat rekombinasi (*recombining tree*) yang menyederhanakan perhitungan dan meningkatkan efisiensi komputasi. Selain itu, Boyle (1986) mengasumsikan probabilitas transisi p_u, p_m , dan p_d harus memenuhi $p_u + p_m + p_d = 1$ dengan p_m seringa ditetapkan sebesar $\frac{2}{3}$ untuk menjaga kestabilan numerik dan mempertahankan momen statistik yang sesuai dengan proses kontinu. Untuk menentukan parameter-parameter tersebut, diasumsikan bahwa:

1. Ekspektasi model harga saham diskrit sama dengan ekspektasi harga saham kontinu
2. Variansi model harga saham diskrit sama dengan variansi model harga saham kontinu
3. $ud = 1$
4. $p_u + p_m + p_d = 1$
5. $p_m = \frac{2}{3}$

Dalam kerangka pemodelan, jika harga saham pada saat $t = t_0$ dinyatakan sebagai $S = S_0 = S_{00}$, maka pada waktu berikutnya $t = t_1$, harga saham dapat mengalami tiga kemungkinan nilai, yaitu $S_{01} = S_d$ (harga turun), $S_{11} = S_m$ (harga tetap), dan $S_{11} = S_u$ (harga naik). Secara umum, pada setiap waktu $t = t_i$ terdapat $i + 1$ kemungkinan nilai harga saham yang berbeda. Sehingga secara umum harga saham pada saat $t = t_i$ dapat ditulis:

$$S_{ji} = S_0 u^k d^l, i = 0, 1, 2, \dots, M \text{ dan } j = 0, 1, 2, \dots, i \quad (2.9)$$

Dimana:

$$k = \frac{i - (N - j + 2)}{2} \text{ adalah jumlah pergerakan harga saham naik}$$

$l = j - 1 - k$ adalah jumlah pergerakan harga saham turun

Dalam bentuk matematis, nilai opsi beli dapat dinyatakan dalam bentuk sebagai berikut:

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

Sedangkan nilai opsi jual dapat dinyatakan dalam bentuk sebagai berikut:

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

Dengan S_t sebagai harga saham saat jatuh tempo dan K sebagai harga kesepakatan. Harga opsi call dan opsi put dalam metode trinomial dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$C = e^{-r\Delta t} [p_u C_u + p_m C_m + p_d C_d]$$

$$P = e^{-r\Delta t} [p_u P_u + p_m P_m + p_d P_d]$$

dengan p_u sebagai probabilitas naik, p_m sebagai probabilitas tetap, p_d sebagai probabilitas turun, C_u dan P_u sebagai nilai opsi naik, C_m dan P_m sebagai nilai opsi tetap, dan C_d dan P_d sebagai nilai opsi turun.

Parameter yang digunakan dalam metode trinomial untuk penentuan harga opsi saham meliputi harga saham awal (S_0), suku bunga bebas risiko (r), volatilitas (σ), waktu jatuh tempo (T), jumlah langkah pada pohon trinomial (N), dividen (D) jika ada, serta peluang untuk masing-masing pergerakan harga saham, yaitu peluang naik (p_u), tengah (p_m), dan turun (p_d) (Larasati, 2018).

Diketahui ekspektasi model harga saham diskrit sebagai berikut

$$E(x) = \sum_{i=0}^n x f(x_i)$$

atau

$$E(S_i) = p_u u(S_i) + p_m(S_i) + p_d d(S_i) \quad (2.10)$$

$$E(S_i) = S_i(p_u u + p_m + p_d d)$$

Asumsikan bahwa ekspektasi pertumbuhan harga saham harus setara dengan pertumbuhan yang diharapkan berdasarkan suku bunga bebas risiko. Harga saham yang diharapkan pada waktu t adalah:

$$E(S_i) = e^{r\Delta t} S_i \quad (2.11)$$

dimana $E(S_i)$ adalah ekspektasi harga saham S_i pada waktu Δt , S_i harga saham pada waktu t , $e^{r\Delta t}$ adalah faktor pertumbuhan eksponensial berdasarkan tingkat pengembalian bebas resiko r dalam periode waktu (Δt) dengan keterangan:

r = tingkat suku bunga bebas resiko

Δt = selang waktu

Dengan menyamakan ekspektasi dari rumus di atas, diperoleh:

$$S_i(p_u u + p_m + p_d d) = e^{r\Delta t} S_i$$

Dengan menghilangkan S_i dan mengasumsikan bahwa $S_i \neq 0$, berdasarkan persamaan (2.10) diperoleh:

$$(p_u u + p_m + p_d d) = e^{r\Delta t} \quad (2.12)$$

Diketahui variansi harga saham diskrit adalah sebagai berikut:

$$\text{Var}(S_{i+1}) = [p_u (uS_i)^2 + p_m (S_i)^2 + p_d (dS_i)^2] - [(p_u u + p_m + p_d d) S_i]^2 \quad (2.13)$$

Substitusikan persamaan (2.11) kedalam persamaan (2.13) diperoleh:

$$\begin{aligned} \text{Var}(S_{i+1}) &= p_u (uS_i)^2 + p_m (S_i)^2 + p_d (dS_i)^2 - (e^{r\Delta t} S_i)^2 \\ \text{Var}(S_{i+1}) &= p_u (uS_i)^2 + p_m (S_i)^2 + p_d (dS_i)^2 - e^{2r\Delta t} S_i^2 \end{aligned} \quad (2.14)$$

Berdasarkan variansi model harga saham diskrit, dengan menggunakan persamaan (2.12) diperoleh:

$$S_i^2 e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} - e^{2r\Delta t} S_i^2 = p_u (uS_i)^2 + p_m (S_i)^2 + p_d (dS_i)^2 - e^{2r\Delta t} S_i^2$$

$$S_i^2 e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} = p_u (uS_i)^2 + p_m (S_i)^2 + p_d (dS_i)^2$$

Karena S_i^2 adalah faktor umum di kedua sisi persamaan, maka dapat dibagi kedua sisi dengan S_i^2 , sehingga menghasilkan:

$$e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} = p_u (u)^2 + p_m + p_d (d)^2 \quad (2.15)$$

Maka diperoleh parameter u , d , p_u , p_m , p_d pada metode trinomial ditentukan:

Metode trinomial mengasumsikan bahwa:

$$p_m = \frac{2}{3} \quad (2.16)$$

$$p_u + p_m + p_d = 1$$

$$p_u + \frac{2}{3} + p_d = 1$$

$$p_u + p_d = 1 - \frac{2}{3}$$

$$p_u + p_d = \frac{1}{3} \quad (2.17)$$

$$ud = 1 \quad (2.18)$$

Dengan menggunakan persamaan (2.12) dan persamaan (2.17) maka persamaan (2.19) diperoleh:

$$p_u u + p_m + p_d d = e^{r\Delta t}$$

$$p_u u + \frac{2}{3} + \left(\frac{1}{3} - p_u\right) d = e^{r\Delta t}$$

$$p_u = \frac{e^{r\Delta t} - \frac{1}{3}d - \frac{2}{3}}{(u - d)} \quad (2.19)$$

Berdasarkan persamaan (2.15) dan persamaan (2.16) maka persamaan (2.18) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 p_u u^2 + p_m + p_d d^2 &= e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} \\
 p_u u^2 + \frac{2}{3} + \left(\frac{1}{3} - p_u\right) + d^2 &= e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} \\
 p_u &= \frac{e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} - \frac{1}{3}d^2 - \frac{2}{3}}{(u-d)(u+d)} \quad (2.20)
 \end{aligned}$$

Dengan batasan $0 < d < u$ dan dengan menyamakan persamaan (2.19) dan persamaan (2.20), maka diperoleh:

$$\begin{aligned}
 \frac{e^{r\Delta t} - \frac{1}{3}d - \frac{2}{3}}{(u-d)} &= \frac{e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} - \frac{1}{3}d^2 - \frac{2}{3}}{(u-d)(u+d)} \\
 e^{r\Delta t} - \frac{1}{3}d - \frac{2}{3} &= \frac{e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} - \frac{1}{3}d^2 - \frac{2}{3}}{(u+d)} \\
 \left(e^{r\Delta t} - \frac{1}{3}d - \frac{2}{3}\right)(u+d) &= e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} - \frac{1}{3}d^2 - \frac{2}{3} \\
 e^{r\Delta t}(u+d) - \frac{1}{3}d(u+d) - \frac{2}{3}(u+d) &= e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} - \frac{1}{3}d^2 - \frac{2}{3} \quad (2.21)
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.18), maka:

$$\begin{aligned}
 \left(e^{r\Delta t} - \frac{2}{3}\right)(u+d) &= e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} - \frac{1}{3} \\
 \left(e^{r\Delta t} - \frac{2}{3}\right)\left(u + \frac{1}{u}\right) &= e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} - \frac{1}{3} \\
 \left(e^{r\Delta t} - \frac{2}{3}\right)(u^2 + 1) &= \left(e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} - \frac{1}{3}\right)u \\
 \left(e^{r\Delta t} - \frac{2}{3}\right)u^2 - \left(e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} - \frac{1}{3}\right)u + \left(e^{r\Delta t} - \frac{2}{3}\right) &= 0 \quad (2.22)
 \end{aligned}$$

Dengan membagi persamaan (2.22) dengan $\left(e^{r\Delta t} - \frac{2}{3}\right)$ maka diperoleh:

$$u^2 - \frac{\left(e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} - \frac{1}{3}\right)}{\left(e^{r\Delta t} - \frac{2}{3}\right)}u + 1 = 0 \quad (2.23)$$

Dengan memisalkan $2\beta = \frac{(e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} - \frac{1}{3})}{(e^{r\Delta t} - \frac{2}{3})}$, maka persamaan

(2.23) menjadi persamaan kuadrat dalam bentuk:

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

Sehingga diperoleh akar persamaan yaitu $u = \beta \pm \sqrt{\beta^2 - 1}$.

Hull (2021) mengatakan bahwa $u > 1$ dan untuk menghindari keuntungan tanpa resiko, u harus lebih besar dari faktor pertumbuhan bebas resiko $e^{r\Delta t}$, maka diperoleh akar terbesar:

$$u = \beta + \sqrt{\beta^2 - 1}$$

Dengan menggunakan pendekatan suku pertama dengan deret taylor $e^x \approx 1 + x$ maka nilai β di dapat:

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{1}{2} \frac{(e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} - \frac{1}{3})}{(e^{r\Delta t} - \frac{2}{3})} \\ &\approx \frac{1}{2} \frac{(1 + (2r + \sigma^2)\Delta t - \frac{1}{3})}{(1 + r\Delta t - \frac{2}{3})} \\ &= \frac{\frac{2}{3} + (2r + \sigma^2)\Delta t}{\frac{2}{3} + 2r\Delta t} \\ &= \frac{2}{3} \left(\frac{1 + \frac{3}{2}(2r + \sigma^2)\Delta t}{1 + 3r\Delta t} \right) \\ &\approx \frac{e^{\frac{3}{2}(2r+\sigma^2)\Delta t}}{e^{3r\Delta t}} \\ &= e^{\frac{3}{2}(2r+\sigma^2)\Delta t - 3r\Delta t} \\ &= e^{\frac{3}{2}\sigma^2\Delta t} \end{aligned}$$

Kemudian $\beta = e^{\frac{3}{2}\sigma^2\Delta t}$ disubstitusikan kedalam persamaan

$u = \beta + \sqrt{\beta^2 - 1}$ sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned}
 u &= e^{\frac{3}{2}\sigma^2\Delta t} + \sqrt{\left(e^{\frac{3}{2}\sigma^2\Delta t}\right)^2 - 1} \\
 &= e^{\frac{3}{2}\sigma^2\Delta t} + \sqrt{e^{3\sigma^2\Delta t} - 1} \\
 &\approx \left(1 + \frac{3}{2}\sigma^2\Delta t\right) + \sqrt{3\sigma^2\Delta t - 1} \\
 &= 1 + \sqrt{3\sigma^2\Delta t} + \frac{3}{2}\sigma^2\Delta t
 \end{aligned} \tag{2.24}$$

Dengan menggunakan pendekatan dua suku pertama deret taylor $e^x \approx 1 + x + \frac{x^2}{2}$ pada persamaan (2.24), maka diperoleh:

$$u = e^{\sigma\sqrt{3\Delta t}}$$

Berdasarkan persamaan (2.18) maka diperoleh :

$$\begin{aligned}
 ud &= 1 \\
 d &= \frac{1}{u} \\
 &= \frac{1}{e^{\sigma\sqrt{3\Delta t}}}
 \end{aligned} \tag{2.25}$$

Sehingga dari persamaan (2.25) diperoleh:

$$d = e^{-\sigma\sqrt{3\Delta t}}$$

Dengan melakukan pendekatan deret taylor pada persamaan (2.19) sehingga diperoleh nilai p_u adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 p_u &= \frac{e^{r\Delta t} - \frac{1}{3}d - \frac{2}{3}}{(u - d)} \\
 &= \frac{e^{r\Delta t} - \frac{1}{3}d - \frac{2}{3}}{(e^{\sigma\sqrt{3\Delta t}} - e^{-\sigma\sqrt{3\Delta t}})} \\
 &\approx \frac{(1 + r\Delta t) - \frac{1}{3}(1 - \sigma\sqrt{3\Delta t}) - \frac{2}{3}}{\left(1 + \sqrt{e^{3\sigma^2\Delta t}} + \frac{3}{2}\sigma^2\Delta t\right) - \left(1 - \sqrt{e^{3\sigma^2\Delta t}} + \frac{3}{2}\sigma^2\Delta t\right)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{\left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)\Delta t + \frac{1}{3}\sigma\sqrt{3\Delta t}}{2\sigma\sqrt{3\Delta t}} \\
&= \frac{\left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)\sqrt{\Delta t^2}}{\sqrt{12\sigma^2\Delta t}} + \frac{1}{6} \\
&= \left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)\sqrt{\frac{\Delta t^2}{12\sigma^2\Delta t}} + \frac{1}{6} \\
&= \frac{1}{6} + \left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)\sqrt{\frac{\Delta t^2}{12\sigma^2\Delta t}}
\end{aligned}$$

Dengan mengasumsikan $p_u + p_d = \frac{1}{3}$ sehingga diperoleh nilai p_d yaitu:

$$\begin{aligned}
p_d &= \frac{1}{3} - p_u \\
&= \frac{1}{3} - \left(\frac{1}{6} + \left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)\sqrt{\frac{\Delta t^2}{12\sigma^2\Delta t}}\right) \\
&= \frac{1}{6} - \left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)\sqrt{\frac{\Delta t^2}{12\sigma^2\Delta t}}
\end{aligned}$$

Dengan demikian, untuk metode trinomial dengan asumsi (2.16), (2.17), dan (2.18) maka diperoleh parameter u , d , p_u , p_m , p_d sebagai berikut:

$$u = e^{\sigma\sqrt{3\Delta t}}$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{3\Delta t}}$$

$$p_u = \frac{1}{6} + \left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)\sqrt{\frac{\Delta t^2}{12\sigma^2\Delta t}} \quad (2.26)$$

$$p_d = \frac{1}{6} - \left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)\sqrt{\frac{\Delta t^2}{12\sigma^2\Delta t}} \quad (2.27)$$

$$p_m = \frac{2}{3} \quad (2.28)$$

D. Dividen

Dividen adalah proses di mana perusahaan membagikan sebagian keuntungan kepada para pemegang saham sebagai imbalan atas kepemilikan saham mereka. pembagian ini biasanya dilakukan secara berkala, seperti setiap triwulan atau tahunan, dengan jumlah yang bervariasi tergantung pada laba yang diperoleh oleh perusahaan (Lestari, 2016).

Praktik pembagian dividen ini berasal dari abad ke-16 di Eropa, ketika perusahaan-perusahaan seperti perusahaan Hindia Timur Belanda dan Perusahaan Hindia Timur Britania mulai membagikan sebagian keuntungan kepada para pemegang saham. Awalnya, pembagian dividen lebih merupakan cerminan dari laba yang diperoleh oleh perusahaan, dengan jumlahnya ditentukan oleh manajemen perusahaan. Namun, seiring berjalannya waktu, pembagian dividen juga menjadi strategi penting untuk menarik investor dan mempertahankan modal mereka. Perusahaan yang konsisten dalam pembagian dividen yang stabil sering kali dianggap lebih menarik bagi investor yang mencari pendapatan pasif dari investasi mereka.

Ketika perusahaan merencanakan pembagian dividen kepada para pemegang saham, ada beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan oleh perusahaan. Faktor-faktor yang dipertimbangkan oleh perusahaan sebagai berikut.

1. Kondisi Likuiditas

Jumlah laba yang tercatat dalam laporan keuangan tidak serta-merta menggambarkan ketersediaan kas aktual yang dapat dialokasikan untuk dividen, mengingat dividen umumnya dibayarkan secara tunai. Oleh karena itu, perusahaan perlu mempertimbangkan posisi likuiditasnya secara cermat untuk memastikan kecukupan dana tunai sebelum menetapkan

pembagian dividen. Kondisi likuiditas menjadi indikator krusial yang secara langsung menentukan kapasitas perusahaan dalam memenuhi kewajiban pembayaran dividen kepada pemegang saham.

2. Keterbatasan Sumber Pembiayaan

Bagi perusahaan yang telah menjadi perusahaan publik, masalah ini mungkin tidak terlalu signifikan. Namun, bagi perusahaan kecil atau baru, mereka mungkin bergantung pada pembiayaan internal untuk mendukung peluang investasi, sehingga mereka mungkin memiliki rasio pembayaran dividen yang rendah.

3. Prediktabilitas Laba

Tingkat fluktuasi laba yang tinggi menciptakan ketidakpastiaan bagi manajemen dalam mengalokasikan dana internal untuk kebutuhan pendanaan masa depan. Kondisi ini memaksa perusahaan untuk mengadopsi kebijakan konservatif dengan mempertahankan cadangan kas yang signifikan guna mengantisipasi kebutuhan likuiditas mendesak. Sebaliknya, perusahaan dengan arus laba stabil cenderung mampu mengalokasikan porsi lebih besar dari labanya untuk pembayaran dividen, karena keyakinan akan kemampuan menghasilkan laba secara berkelanjutan mengurangi kekhawatiran mengenai ketersediaan modal di periode mendatang.

Nilai present value dividen $PV(D)$ adalah:

$$PV(D) = De^{-r(\tau-i\Delta t)}$$

dimana:

D = dividen

$e^{-r(\tau-i\Delta t)}$ = faktor diskonto yang digunakan untuk

menghitung nilai dari sekarang dari dividen yang dibayarkan

r = suku bunga bebas resiko

τ = waktu pembayaran dividen

$i\Delta t$ = waktu saat ini dalam perhitungan pohon trinomial, dimana i adalah indeks waktu dan Δt adalah interval waktu

Keadaan pasar konstan adalah situasi di mana kontrak opsi saham mengasumsikan bahwa tingkat bunga bebas risiko r dan pembayaran dividen d tetap konstan (Tripena, 2024). Jika perusahaan membagikan dividen, misalnya dividen pada waktu τ adalah D , maka nilai dividen tersebut perlu didiskontokan untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap harga saham saat ini. Maka harga saham setelah pembagian dividen adalah:

$$S_0 = [S(\tau) + D]e^{-r(\tau-i\Delta t)}$$

Dengan persamaan tersebut, memisalkan t adalah waktu jatuh tempo maka akan diperoleh:

$$S_0 = E(S_t) + E(De^{-r(\tau-i\Delta t)})$$

Dengan menggunakan persamaan $De^{-r(\tau-i\Delta t)}$, dapat dihitung nilai sekarang dari dividen yang dibayarkan pada waktu τ menuju waktu saat ini $i\Delta t$ di dalam struktur pohon trinomial.

Persamaan tersebut menunjukkan bagaimana dividen yang dibagikan mempengaruhi harga saham dengan mempertimbangkan waktu pembayaran dan suku bunga yang berlaku. Jika menganalisis kondisi dimana dividen dibayarkan sebelum jatuh tempo, maka harga saham yang disesuaikan akan menunjukkan penurunan nilai sebanding dengan *present value* dari dividen yang dibayarkan. Dengan demikian, sesuai dengan sifat harga *ex-dividen* yang diharapkan maka harga saham pada saat jatuh tempo akan mengalami penurunan harga sebesar *presentvalue* dari dividen yang dibagikan, yaitu:

$$S_t = S_0 - De^{-r(\tau-i\Delta t)} \quad (2.29)$$

di mana:

S_t = harga saham pada saat jatuh tempo

S_0 = harga saham saat ini

D = jumlah dividen yang dibayarkan pada waktu τ

$e^{-r(\tau-i\Delta t)}$ = faktor diskonto yang digunakan untuk menghitung nilai sekarang dari dividen yang di bayarkan dengan:

r = suku bunga bebas resiko

τ = waktu pembayaran dividen

$i\Delta t$ = waktu saat ini dalam perhitungan pohon trinomial, dimana i adalah indeks waktu dan Δt adalah interval waktu

E. Model trinomial dalam menentukan opsi Eropa dengan pembagian dividen

Berdasarkan uraian diatas yang diasumsikan, pada persamaan (2.10) adalah bentuk persamaan yang tidak rekursif karena masih membutuhkan waktu yang lama untuk melakukan perhitungan, sehingga perlu adanya persamaan rekursif dengan bantuan persamaan (2.11)

$$E(S_i) = e^{r\Delta t} S_i$$

atau dapat ditulis dalam bentuk lain:

$$S_{00}e^{r\Delta t} = E(S_{i+1})$$

$$S_{ji}e^{r\Delta t} = E(S_{j,i+1})$$

$$S_{ji}e^{r\Delta t} = p_u u(S_{ji}) + p_m(S_{ji}) + p_d d(S_{ji})$$

$$S_{ji}e^{r\Delta t} = p_u(S_{j+1,i+1}) + p_m(S_{j+1,i}) + p_d(S_{j+1,i-1})$$

$$S_{ji} = e^{-r\Delta t} [p_u(S_{j+1,i+1}) + p_m(S_{j+1,i}) + p_d(S_{j+1,i-1})] \quad (2.30)$$

Persamaan (2.30) membentuk dasar rekursif untuk penentuan harga saham, yang kemudian dikembangkan menjadi formulasi serupa untuk penilaian opsi. Dengan cara serupa dapat dicari bentuk rekursif untuk menentukan harga opsi. Diperoleh bentuk rekursif harga opsi adalah sebagai berikut:

$$V_{ji} = e^{-r\Delta t} [p_u(V_{j+1,i+1}) + p_m(V_{j+1,i}) + p_d(V_{j+1,i-1})] \quad (2.31)$$

Untuk mengakomodasikan pembayaran dividen diskrit D pada masa hidup pada waktu *ex-dividen* τ dilakukan penyesuaian terhadap harga saham awal melalui transformasi dari S_0 menjadi S_0^* .

$$\begin{aligned} S_0^* &= S_0 && \text{ketika } \tau > i\Delta t \\ S_0^* &= S_0 - De^{-r(\tau-i\Delta t)} && \text{ketika } \tau \leq i\Delta t \end{aligned}$$

Dengan perubahan harga saham pada node pohon trinomial S_0 menjadi S_0^* dan present value dari dividen pada masa yang akan datang dapat membuat pohon trinomial baru dengan S_0^* adalah nilai S^* pada saat $\Delta t = 0$. Pada saat $i\Delta t$, maka node atau percabangan harga saham akan bersesuaian dengan:

$$S_0^* u^k d^l \text{ dengan } j = 0, 1, 2, \dots, i \quad \text{ketika } \tau \leq i\Delta t$$

dan

$$S_0^* u^k d^l \text{ dengan } j = 0, 1, 2, \dots, i \quad \text{ketika } \tau > i\Delta t$$

Oleh karena terdapat pembagian dividen D , maka persamaan (2.30) akan diubah dalam nilai S_0^* . Sehingga bentuk persamaan untuk menentukan harga saham dengan pembagian dividen adalah sebagai berikut:

$$S_{ji}^* = e^{-r\Delta t} [p_u(S_{j+1,i+1}^*) + p_m(S_{j+1,i}^*) + p_d(S_{j+1,i-1}^*)] \quad (2.32)$$

Secara teoritis, transformasi harga saham dari S menjadi S^* akibat pembayaran dividen seharusnya mengakibatkan penyesuaian terhadap parameter volatilitas (σ) menjadi (σ^*)

dengan $\left(\sigma^* = \frac{\sigma \cdot S_0}{S_0 - D e^{-r(\tau - i\Delta t)}}\right)$. Perubahan ini secara konseptual memerlukan kalkulasi ulang terhadap seluruh parameter model, termasuk faktor kenaikan u , faktor penurunan d , dan probabilitas transisi p^* . Namun dalam implementasi praktisnya, sering kali mengabaikan penyesuaian volatilitas ini dengan beberapa pertimbangan mendasar.

Selisih antara σ^* dengan σ yang relatif kecil membuat dampak penyesuaian menjadi tidak signifikan secara material. Selain itu, proses kalkulasi tambahan untuk menentukan σ^* tidak serta merta menghasilkan estimasi yang diperkenalkan. Dalam banyak kasus empiris, pendekatan sederhana dengan mempertahankan parameter volatilitas asli (σ) justru memberikan hasil yang cukup robust tanpa perlu menghitung efek dividen terhadap volatilitas.

Oleh karena ini, penelitian ini memilih untuk mempertahankan parameter awal volatilitas (σ), faktor kenaikan (u), faktor perubahan turun (d), dan peluang perubahan (p) tanpa adanya perubahan. Keputusan metodologis ini didasarkan pada pertimbangan praktis bahwa manfaat yang diperoleh dari penyesuaian teoritis tidak sebanding dengan kompleksitas tambahan yang harus ditanggung, sementara tingkat akurasi yang dihasilkan oleh pendekatan sederhana ini tetap memadai untuk tujuan analisis.

Pada uraian sebelumnya, terdapat pembagian dividen diskrit (D) yang mengakibatkan adanya perubahan terhadap harga saham awal S_0 menjadi S_0^* , maka harga saham pada S_{ji} menjadi S_{ji}^* yaitu $S_0^* u^j d^{i-j}$. Dengan demikian, untuk menentukan nilai *call* dan *put* Eropa dapat dilakukan sebagai berikut:

$$C_{ji} = \max(S_0^* u^k d^l - K, 0) \quad (2.33)$$

$$P_{ji} = \max(K - S_0^* u^k d^l, 0) \quad (2.34)$$

Dengan C_{ji} dan P_{ji} masing-masing adalah *call* dan *put*. Estimasi

harga opsi dengan resiko netral untuk opsi Eropa adalah persamaan (2.31) sedikit perubahan dengan simbol V_{ji}^* yaitu:

$$V_{ji}^* = e^{-r\Delta t} [p_u(V_{j+1,i+1}^*) + p_m(V_{j+1,i}^*) + p_d(V_{j+1,i-1}^*)] \quad (2.35)$$

Diketahui bahwa opsi Eropa hanya dapat dieksekusi pada tanggal jatuh tempo. Dengan demikian, tidak harus mempertimbangkan *exercise* opsi sehingga nilai V_{ji} tidak harus sebanding dengan nilai instrinsiknya. Sehingga persamaan (2.33) dan (2.34) berturut-turut adalah nilai opsi beli (*call*) dan opsi jual (*put*) Eropa.

F. *Means Absolute Percentage Error (MAPE)*

Means Absolute Percentage error (MAPE) merupakan salah satu metrik evaluasi yang paling umum digunakan untuk mengukur tingkat akurasi dalam berbagai model peramalan. Sebagai indikator yang diukur dalam bentuk persentase, MAPE menghitung rata-rata selisih mutlak antara nilai prediksi dengan nilai aktual yang kemudian dinormalisasi terhadap nilai aktual itu sendiri (Nabillah dan Ranggadara, 2020). Dengan menyatakan kesalahan dalam bentuk persentase, MAPE memungkinkan perbandingan yang lebih intuitif dan terstandarisasi antar berbagai skenario peramalan, terlepas dari besaran *absolut* data yang dianalisis. Secara sistematis, MAPE dihitung dengan cara mengambil rata-rata dari selisih nilai absolut antara nilai yang di prediksi dan nilai aktual. Hasil tersebut dibagi dengan nilai sebenarnya, lalu dikalikan dengan 100%. Dalam menghitung MAPE dapat digunakan rumus persamaan sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \times 100\%$$

Dimana:

A_t = data nilai aktual

F_t = data nilai prediksi

n = jumlah data

Hasil peramalan dikatakan baik jika semakin kecil nilai MAPE, semakin tinggi tingkat akurasi dari model yang digunakan untuk prediksi (Vivas, 2020). Adapun Kriteria dari nilai MAPE adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1. Tabel Kriteria Nilai MAPE

Nilai MAPE	Kriteria
< 10%	Peramalan sangat baik
10 - 20%	Peramalan baik
20 - 50%	Peramalan cukup baik
> 50%	Peramalan buruk

Dalam konteks peramalan harga, termasuk harga opsi saham. MAPE digunakan untuk mengevaluasi seberapa akurat hasil dari perhitungan model dibandingkan dengan harga opsi di pasar sebenarnya. Dalam menentukan harga opsi saham, MAPE memiliki peran penting karena berguna untuk membandingkan berbagai pendekatan atau model perhitungan.

G. Kajian Penelitian Terdahulu

Kajian penelitian terdahulu ini menjadi pijakan akademis yang signifikan dalam penyusunan penelitian ini, memungkinkan penulis untuk memperdalam dan memperkaya kerangka teoritis yang digunakan. Meskipun belum ditemukan penelitian sebelumnya yang secara spesifik mengangkat judul identik dengan kajian ini, penulis telah melakukan sintesis terhadap beberapa studi relevan sebagai bahan referensi untuk memperkuat landasan

penelitian. Terdapat sejumlah karya akademis sebelumnya yang memiliki keterkaitan tematik dengan fokus penelitian yang sedang dikembangkan, meskipun dengan pendekatan dan lingkup yang berbeda.

Ada beberapa kajian penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan penulis, yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian Langat (2019) dengan judul *Pricing Options Using Trinomial Lattice Methode*, Penelitian ini memberikan hasil bahwa metode trinomial menunjukkan konvergensi ke jawaban dua kali lebih cepat dibandingkan metode binomial dan *Black-Scholes*. Penelitian ini menyajikan pohon trinomial yang menggabungkan kembali untuk evaluasi opsi Eropa dengan volatilitas yang tidak berubah. Pohon trinomial pada hasil penelitian ini lebih fleksibel dan mudah digunakan dibandingkan dengan pohon banyak simpul yang cenderung serupa. Pada penelitian ini yang membedakan dengan penelitian yang dilakukan oleh peneliti yaitu hanya menggunakan metode trinomial saja namun memiliki jenis opsi yang serupa yaitu opsi tipe Eropa.
2. Penelitian Lestari (2012) dengan judul *Penentuan Harga Opsi Call Tipe Eropa Menggunakan Metode Trinomial*. Hasil penelitian menunjukkan kemungkinan perubahan saham menjadi fokus pembahasan. setiap perubahan atau fluktuasi harga saham dipengaruhi oleh koefisien kenaikan atau penurunan harga saham. Koefisien ini memiliki kesamaan relatif dengan tingkat suku bunga. Penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian peneliti yaitu sama-sama menggunakan metode trinomial dan jenis saham tipe Eropa dalam penelitian, tetapi yang membedakan penelitian ini dengan penelitian peneliti yaitu penelitian ini hanya menghitung nilai opsi *call* saja, dan peneliti menghitung nilai opsi *call* dan opsi *put*.

3. Penelitian Purwandari (2016) dengan judul penelitian Penentuan Nilai Opsi *Call* Eropa Dengan Pembayaran Dividen. Hasil penelitian menentukan nilai opsi *call* Eropa dengan pembayaran dividen mengatakan bahwa nilai opsi Eropa akan menurun dengan adanya perubahan waktu jatuh tempo pada pembagian dividen. Penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian peneliti yaitu penentuan opsi tipe Eropa dengan pembayaran dividen. Tetapi yang membedakan penelitian ini dengan penelitian peneliti yaitu pada penelitian ini metode yang digunakan yaitu metode *Black-Sholes*.
4. Penelitian Qisti Nissa (2020) dengan penelitian Penentuan Harga Opsi Tipe Eropa Menggunakan Metode Trinomial. Hasil penelitian yaitu metode trinomial memperhitungkan pergerakan harga saham dengan nilai lebih realistis, baik naik, turun, ataupun tetap, serta dampak dari pembagian dividen, hasil penilaian harga opsi menjadi lebih tepat dibandingkan metode yang mengabaikan dividen atau hanya menggunakan model binomial yang lebih sederhana. Pada penelitian ini memiliki kesamaan pada metode dan jenis opsinya yaitu metode trinomial dengan jenis opsi tipe Eropa. Akan tetapi yang membedakan penelitian ini dengan penelitian peneliti yaitu dengan memperhitungkan dividen dalam penentuan harga opsi tipe Eropa menggunakan metode Trinomial.
5. Penelitian Salaman (2019) dengan judul penelitian yaitu Penentuan Harga Opsi Tipe Amerika Menggunakan Metode Binomial *Tree* Dengan Pembagian Dividen. Hasil dari penelitian ini yaitu hasil simulasi dengan dua waktu pembagian dividen yang berbeda memberikan gambaran bahwa semakin jauh *ex-dividen* dari periode ke-nol, maka

nilai opsi semakin kecil. Penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian peneliti yaitu penentuan harga opsi dengan pembagian dividen. Akan tetapi, yang membedakan penelitian ini dengan penelitian peneliti yaitu menggunakan metode Trinomial dengan jenis opsi yaitu opsi tipe Eropa.

BAB III

Metode Penelitian

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan terapan yang memanfaatkan kerangka teoritis dan metodologi matematika untuk menyelesaikan permasalahan praktis di bidang keuangan, khususnya dalam valuasi instrumen derivatif (Hull, 2018; Shreve, 2004). Penelitian terapan mengacu pada penggunaan konsep, metode, dan teknik matematika untuk memecahkan masalah nyata dalam kehidupan sehari-hari, industri, sains, dan teknologi. Fokus utama penelitian ini adalah menciptakan model trinomial yang mampu memprediksi harga opsi secara akurat dalam kondisi harga pasar, termasuk faktor pembayaran dividen.

B. Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang mencakup empat variabel utama, yaitu harga historis saham, *strike price*, K , waktu jatuh tempo T , dan suku bunga r . Data sekunder tersebut diperoleh melalui sumber eksternal terpercaya, yaitu platform keuangan <https://finance.yahoo.com>, yang menyediakan informasi pasar secara komprehensif dan *real-time*. Data yang diambil yaitu data saham Apple Inc (AAPL) dengan suku bunga yang diambil yaitu suku bunga acuan Amerika Serikat sebesar 4,58%. Data tersebut diambil dari situs: <https://www.ceicdata.com/id/indicator/united-states/policy-rate>.

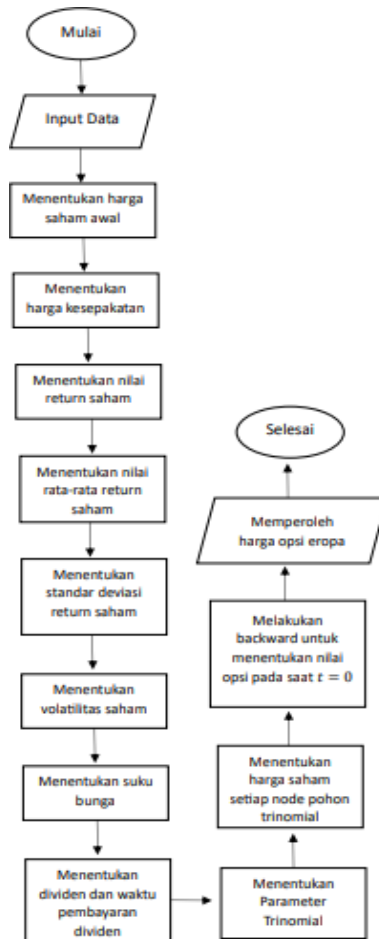
C. Prosedur penelitian

Adapun proses yang akan dilakukan dalam menentukan nilai

opsi saham tipe Eropa menggunakan metode Trinomial sebagai berikut :

1. Mengambil data dari <https://finance.yahoo.com>. Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu data harga saham Apple Inc (AAPL) periode 10 Desember 2020 hingga 9 Desember 2024.
2. Menentukan harga saham awal (S_0)
3. Menentukan harga kesepakatan (K)
4. Menghitung nilai return (R_t) dengan persamaan (2.1)
5. Menghitung rata-rata $\overline{R_t}$ dengan persamaan (2.2)
6. Menentukan nilai variansi return saham
7. Menghitung standar deviasi return (S_{r_t}) menggunakan persamaan (2.3)
8. Menghitung volatilitas σ menggunakan persamaan (2.4)
9. Menentukan Suku Bunga r
10. Menentukan besar dividen dan waktu pembayaran dividen
11. Menghitung parameter trinomial masing-masing menggunakan persamaan (2.25), (2.26), dan (2.27)
12. Menentukan Harga saham pada setiap node pohon trinomial menggunakan persamaan (2.9)
13. Melakukan *backward* untuk menentukan nilai opsi pada saat $t = 0$ menggunakan persamaan (2.35)
14. Memperoleh harga opsi tipe Eropa menggunakan metode trinomial dengan pembagian dividen

D. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Data Harga Saham

Penelitian ini menganalisis deret waktu harga saham Apple Inc (AAPL) mencakup 1006 observasi data harian dari periode 10 Desember 2020 hingga 9 Desember 2024. Data sekunder berupa harga penutupan (*closing price*) harian diperoleh melalui situs <https://finance.yahoo.com>. Pemilihan harga penutupan harian sebagai variabel penelitian didasarkan pada pertimbangan bahwa indikator ini merefleksikan konsensus pasar di akhir sesi perdagangan, yang telah mengakomodasikan seluruh informasi dan transaksi selama hari perdagangan tersebut. Adapun data harga saham penutupan harian lebih dapat dilihat pada :

Tabel 4.1. Data Penutupan Harian Saham Apple Inc (AAPL)

t	Tanggal	Harga Penutupan
0	December 10, 2020	123,24
1	December 11, 2020	122,41
2	December 12, 2020	121,78
⋮	⋮	⋮
1005	December 6, 2024	242,84
1006	December 9, 2024	246,75

Sumber: <https://finance.yahoo.com/>

2. Return Harga Saham ($\overline{R_t}$)

Jika t sebagai interval waktu pengamatan, S_t sebagai harga saham, pada waktu t dan R_t sebagai return harga saham ke- t , maka nilai return harga saham R_t dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

berdasarkan harga saham pada tabel 4.1 dilakukan perhitungan R_t sebagai berikut:

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

Untuk $t = 1$, maka diperoleh:

$$R_1 = \frac{(122,41 - 123,24)}{123,24} = -0,006734826$$

Untuk $t = 2$, maka diperoleh:

$$R_2 = \frac{(121,78 - 122,41)}{122,41} = -0,005146638$$

Untuk $t = 3$, maka diperoleh:

$$R_3 = \frac{(127,88 - 121,78)}{121,78} = 0,050090327$$

⋮

Untuk $t = 1005$, maka diperoleh:

$$R_{1005} = \frac{(242,84 - 243,04)}{243,04} = -0,00082291$$

Untuk $t = 3$, maka diperoleh:

$$R_{1006} = \frac{(246,75 - 242,84)}{242,84} = 0,016101137$$

Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Return Harga Saham

t	Harga Penutupan	Return (R_t)
0	195,71	0
1	193,18	-0,01292729
2	194,71	0,007920075
⋮	⋮	⋮
1005	242,84	-0,00082291
1006	246,75	0,016101137

3. Variansi Return Harga Saham

Jika diketahui R_t adalah return saha dan var adalah variansi dari R_t sehingga variansi retun saham tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$var = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (R_t - \overline{R_t})^2$$

Dimana:

$$\overline{R_t} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n R_t$$

$$\overline{R_t} = \frac{(0 + (-0,006734826 + \dots + (0,016101137))}{1006}$$

$$\overline{R_t} = 0,000832139$$

Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Standar Deviasi Return

t	S_t	R_t	$R_t - \overline{R_t}$	$(R_t - \overline{R_t})^2$
0	123,24	0	-0,0008321391	0,0000006925
1	1122,41	-0,006734826	-0,0075669655	0,0000572590
2	121,78	-0,005146638	-0,0059787775	0,0000357458
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
1005	242,84	-0,00082291	-0,001842705	0,0000027392
1006	246,75	0,016101137	0,015081341	0,0002331423
Jumlah		0,837131949	0,0008321391	0,2859223902

Berdasarkan tabel 4.3 diketahui bahwa jumlah data penelitian (n) adalah sebanyak 1006 data, sehingga S_t menggunakan interval $t = 0 - 1006$ sehingga variansi return saham dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 var &= \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (R_t - \overline{R_t})^2 \\
 var &= \frac{1}{1006-1} \sum_{t=1}^{1006} (R_t - \overline{R_t})^2 \\
 var &= \frac{0,2959223902}{1005} = 0,0002844999
 \end{aligned}$$

Jadi, variansi return saham adalah 0,0002844999

4. Standar Deviasi Return Harga Saham

Apabila n adalah banyaknya data yang diamati, R_t adalah return saham, dan $\overline{R_t}$ adalah rata-rata return, maka S_{r_t} adalah standar deviasi return dan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 S_{r_t} &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (R_t - \overline{R_t})^2} \\
 S_{r_t} &= \sqrt{0,0002844999} \\
 S_{r_t} &= 0,0168671246
 \end{aligned}$$

5. Menghitung Volatilitas Return Harga Saham

Jika σ adalah volatilitas return harga saham, S_{r_t} adalah standar deviasi return, π di dapat dengan rumus $\frac{1}{n}$, dimana n adalah jumlah pengamatan yaitu 1006, maka untuk menghitung volatilitas return harga saham dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{S_{r_t}}{\sqrt{v}}$$

$$\sigma = \frac{0,0168671246}{\sqrt{\frac{1}{1006}}}$$

$$\sigma = 0,5349830746$$

jadi, nilai volatilitas saham tahunannya adalah 0,5349830746

6. Parameter yang digunakan untuk menghitung opsi tipe Eropa

Diketahui:

a) Harga saham awal (S_0)

Sebagai langkah awal dalam proses analisis, penelitian ini menetapkan harga acuan yang berfungsi sebagai basis perhitungan. Harga pembukaan S_0 ditetapkan sebesar \$246,75, yang merupakan nilai penutupan saham terkini yang diperoleh dari sumber data *Yahoo Finance*. Penetapan harga acuan ini dilakukan dengan notasi $S_t = (S_0) = 246,75$ dimana nilai tersebut merepresentasikan titik awal untuk seluruh perhitungan model yang akan dilakukan.

b) Suku bunga bebas resiko (r)

Suku bunga yang digunakan pada penelitian ini adalah suku bunga acuan Amerika Serikat. Suku bunga ini diperbaharui setiap bulan. Suku bunga acuan Amerika Serikat dilaporkan sebesar 4,58% pada bulan November tahun 2024. Data bersumber dari situs:

<https://www.ceicdata.com/id/indicator/united-states/policy-rate>.

c) Menentukan strike price (K)

Dalam studi ini, harga kesepakatan opsi ditetapkan pada dua level, yaitu \$185 dan \$265. Nilai-nilai ini diperoleh dari data historis kontrak opsi Apple Inc. (AAPL) yang tercatat di situs <https://finance.yahoo.com> merepresentasikan kesepakatan

aktual antara pembeli dan penjual opsi pada tanggal 9 Desember 2024.

d) Menentukan nilai Δt

Jika T adalah lamanya periode perdagangan dalam hal ini 162 hari maka $\frac{162}{365} = 0,444$ dan N adalah jumlah langkah atau subperiode. Dalam penelitian ini digunakan $N = 100$ subperiode, maka dapat ditentukan nilai Δt dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}\Delta t &= \frac{T}{N} \\ \Delta t &= \frac{0,444}{100} \\ \Delta t &= 0,00444\end{aligned}$$

e) Menentukan parameter u

u merupakan faktor kenaikan harga saham. Dengan menggunakan nilai σ dan Δt yang telah diperoleh sebelumnya yaitu $\sigma = 0,5349830746$ dan $\Delta t = 0,00444$, maka parameter u dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}u &= e^{\sigma\sqrt{3\Delta t}} \\ u &= e^{(0,5349830746)\sqrt{3(0,00444)}} \\ u &= 1,063690\end{aligned}$$

f) Menentukan parameter d

d merupakan faktor kenaikan harga saham. Dengan menggunakan nilai σ dan Δt yang telah diperoleh sebelumnya yaitu $\sigma = 0,5349830746$ dan $\Delta t = 0,00444$, maka parameter d dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$d = e^{-\sigma\sqrt{3\Delta t}}$$

$$d = e^{(-0,5349830746)\sqrt{3(0,00444)}}$$

$$d = 0,940124$$

g) Menentukan probabilitas saham p

untuk menghitung probabilitas saham (p) dengan interval waktu $\Delta t = \frac{0,444}{100}$ dapat menggunakan persamaan (2.25), (2.26), dan (2.27) sebagai berikut:

1) Probabilitas naik (p_u)

$$\begin{aligned} p_u &= \frac{1}{6} + \left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right) \sqrt{\frac{\Delta t}{12\sigma^2}} \\ &= \frac{1}{6} + \left(0,0458 - \frac{1}{2}(0,5349830746)^2\right) \sqrt{\frac{0,00444}{12(0,5349830746)^2}} \\ &= \frac{1}{6} + \left(0,0458 - \frac{1}{2}(0,286196191)\right) \sqrt{\frac{0,00444}{12(0,286196191)}} \\ &= \frac{1}{6} + (-0,097298095)(0,0194019951) \\ &= 0,16477889 \end{aligned}$$

2) Probabilitas turun (p_d)

$$\begin{aligned} p_d &= \frac{1}{6} - \left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right) \sqrt{\frac{\Delta t}{12\sigma^2}} \\ &= \frac{1}{6} - \left(0,0458 - \frac{1}{2}(0,5349830746)^2\right) \sqrt{\frac{0,00444}{12(0,5349830746)^2}} \\ &= \frac{1}{6} - \left(0,0458 - \frac{1}{2}(0,286196191)\right) \sqrt{\frac{0,00444}{12(0,286196191)}} \\ &= \frac{1}{6} - (-0,097298095)(0,0194019951) \\ &= 0,16855444 \end{aligned}$$

3) Probabilitas tetap (p_m)

$$p_m = \frac{2}{6}$$

$$= 0,66667$$

7. Menentukan besar dividen

Berdasarkan data historis yang dihimpun dari situs Yahoo Finance (<https://finance.yahoo.com>

), perusahaan membagikan dividen tunai sebesar \$0,23 perlembar saham sebagai nilai rata-rata selama periode observasi dari 10 Desember 2020 hingga 9 Desember 2024. Angka ini merupakan hasil kompilasi dari seluruh pembayaran dividen kuartalan yang dilakukan perusahaan dalam rentang waktu empat tahun tersebut, yang kemudian dihitung sebagai nilai tengah untuk keperluan analisis dalam penelitian ini. Untuk data lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

a) Waktu pembayaran dividen

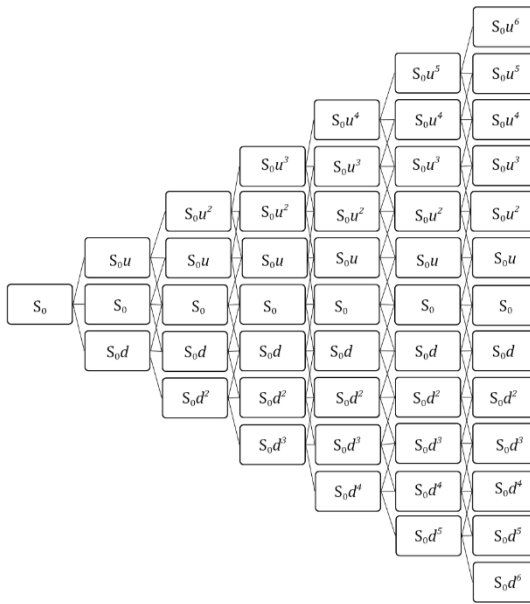
Penelitian ini melakukan simulasi komputasional untuk menganalisis pengaruh pembayaran dividen terhadap keputusan eksekusi opsi dengan mempertimbangkan dua skenario waktu pembayaran berbeda, yaitu pada 2,25 bulan dan 3 bulan. Periode-periode kritis ini ditentukan berdasarkan mekanisme *corporat action* dimana pemegang saham harus memenuhi persyaratan kepemilikan yang ditetapkan dalam rapat Umum Pemegang Saham (RSUP) untuk berhak menerima distribusi dividen.

Proses pembagian dividen dipandang sebagai peristiwa korporasi penting yang melibatkan serangkaian keputusan strategis, mulai dari penentuan besaran dividen per lembar saham hingga penetapan *timeline* distribusi yang berdampak signifikan terhadap valuasi derivatif. Simulasi dilakukan dengan membandingkan node pohon trinomial sebelum dan

sesudah *ex-dividen date* untuk mengidentifikasi waktu optimal eksekusi opsi, sekaligus mengkuantifikasi dampak pembayaran dividen terhadap nilai intrinsik opsi *call* dan opsi *put*.

8. Menentukan Harga Saham Pada Setiap Node Pohon Trinomial

Penelitian ini menggunakan pendekatan pohon multinomial untuk memodelkan pergerakan harga saham S_{ij} . Pada setiap periode i dengan berbagai skenario perubahan j . Model ini merupakan pengembangan dari pohon binomial yang memungkinkan lebih banyak kemungkinan pergerakan harga, sehingga lebih akurat dalam merepresentasikan dinamika pasar. Untuk menghitung premi opsi call Eropa, seluruh kemungkinan harga saham pada tanggal jatuh tempo dipetakan terlebih dahulu, kemudian dihitung *payoff*-nya. Proses valuasi dilakukan secara rekursif dari akhir pohon ke awal, dengan mempertimbangkan probabilitas setiap skenario pergerakan harga. Struktur pohon multinomial ini tidak hanya meningkatkan presisi perhitungan, tetapi juga mempertahankan efisiensi komputasi. Adapun skema secara umum untuk pohon multinomial yang merupakan transformasi dari pohon binomial yaitu seperti gambar berikut:



Gambar 4.1. Skema Pohon Trinomial 6 Periode

a. Menentukan Harga Saham Pada Setiap Node Pohon Trinomial

Berdasarkan parameter awal yang telah ditetapkan, yaitu harga saham awal $S_0 = 246,75$ dengan faktor kenaikan $u = 1,063690$ dan faktor perubahan $d = 0,940124$, konstruksi pohon trinomial dilakukan menggunakan persamaan (2.9) yaitu $S_0 u^k d^l$. Notasi S_{ji} merepresentasikan harga saham pada periode ke- i dengan perubahan harga sebanyak j , dimana indeks i menunjukkan urutan periode dan j menunjukkan jumlah kenaikan harga yang terjadi. Sebagai contoh ilustratif, notasi S_{34} mengindikasikan harga saham pada periode ke-4 ($i = 4$) Dalam skema perhitungan, posisi ini dapat juga direpresentasikan sebagai $S_0 u^0 d^1$ yang menunjukkan bahwa periode awal hingga periode ke-4 telah terjadi satu kali penurunan harga tanpa kenaikan pada node tersebut.

Perhitungan harga saham menggunakan 100 periode sebagai berikut:

$$S_{00} = S_0 u^0 d^0 = 246,75(1,063690)^0(0,940124)^0 = 246,75$$

$$S_{21} = S_0 u^2 d^1 = 246,75(1,063690)^2(0,940124) = 262,47$$

$$S_{11} = S_0 u^0 d^0 = 246,75(1,063690)^0(0,940124)^0 = 246,75$$

$$S_{01} = S_0 u^0 d^1 = 246,75(1,063690)^0(0,940124)^1 = 231,98$$

$$S_{42} = S_0 u^2 d^0 = 246,75(1,063690)^2(0,940124)^0 = 279,18$$

$$S_{32} = S_0 u^1 d^0 = 246,75(1,063690)^1(0,940124)^0 = 262,47$$

$$S_{33} = S_0 u^0 d^0 = 246,75(1,063690)^0(0,940124)^0 = 246,75$$

$$S_{23} = S_0 u^0 d^1 = 246,75(1,063690)^0(0,940124)^1 = 231,98$$

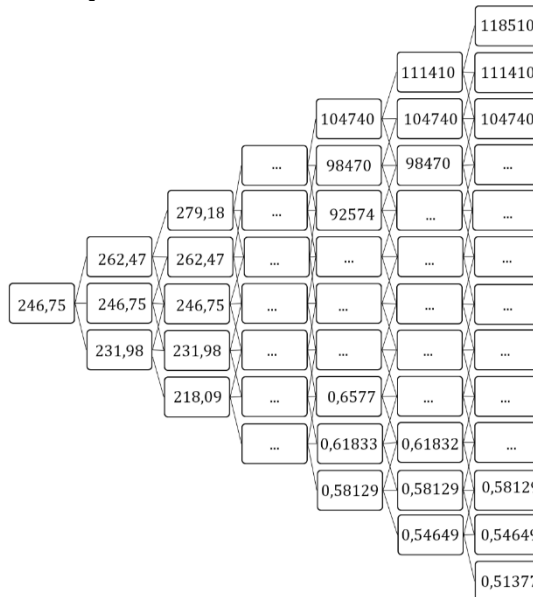
$$S_{13} = S_0 u^0 d^2 = 246,75(1,063690)^0(0,940124)^2 = 218,09$$

$$S_{03} = S_0 u^0 d^3 = 246,75(1,063690)^0(0,940124)^3 = 205,03$$

•
•
•

$$S_{ij} = S_0 u^k d^l = 246,75(1,063690)^k(0,940124)^l$$

Dari hasil tersebut, diperoleh:



Gambar 4.2. Harga Saham Tanpa Dividen

Untuk perhitungan nilai saham secara lengkap pada setiap periode dapat dilihat pada lampiran. Hasil perhitungan diatas merupakan hasil perhitungan harga saham menggunakan metode trinomial tanpa pembagian dividen dengan periode $N = 100$.

b. Harga Saham Pada Setiap Node Pohon Trinomial Dengan Dividen

Dalam metode trinomial yang memperhitungkan pembagian dividen, harga saham awal S_0 mengalami penyesuaian menjadi S_0^* dimana nilai ini akan berbeda tergantung pada posisi node terhadap waktu *ex-dividen*. Pada node awal saat $i\Delta t = 0$, S_0^* mempertahankan nilai asli S_0 tanpa perubahan. Namun, untuk node-node sebelum tanggal *ex-dividen*, S_0^* diperoleh dengan menambahkan present value dividen ke harga saham awal, mencerminkan ekspektasi pasar terhadap pembayaran dividen yang akan datang. Sementara itu, node-node setelah *ex-dividen date* S_0^* dalam bentuk aslinya tanpa penyesuaian, karena dividen telah terealisasi dan tercermin dalam harga saham.

Transformasi ini secara sistematis dapat dirumuskan melalui persamaan khusus yang mengkuantifikasikan penyesuaian harga saham berdasarkan jarak temporal terhadap tanggal pembagian dividen. Pendekatan tersebut memungkinkan model trinomial untuk secara dinamis menangkap dampak dividen terhadap pergerakan harga saham, sekaligus mempertahankan konsistensi dalam perhitungan nilai opsi. Dengan demikian, model tidak hanya akurat dalam merepresentasikan kondisi pasar sebelum dan setelah pembagian dividen, tetapi juga mampu memberikan estimasi yang lebih presisi untuk strategi eksekusi opsi yang optimal. Secara matematis perubahan harga saham dengan pembagian dividen dapat dituliskan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} S_0^* &= S_0 && \text{ketika } \tau > i\Delta t \\ S_0^* &= S_0 - De^{-r(\tau - i\Delta t)} && \text{ketika } \tau \leq i\Delta t \end{aligned}$$

Pada saat $i\Delta t$ percabangan pohon trinomial dengan pembagian dividen akan sesuai dengan:

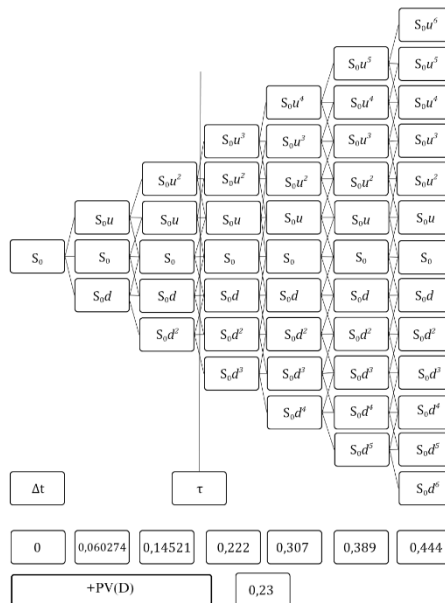
$$\begin{aligned}
 S_0^* u^k d^l & \quad \text{ketika } \tau > i\Delta t \\
 S_0^* u^k d^l + De^{-r(\tau-i\Delta t)} & \quad \text{ketika } \tau \leq i\Delta t
 \end{aligned}$$

1) Dividen dibagikan pada saat 2,25 bulan

Dapat ditentukan nilai saham yang didistribusikan dividen dalam node yang sesuai dengan cara mengganti parameter u dan d dengan nilai yang sudah diketahui, dapat dilihat pada gambar 4.3.

Sebelum menentukan harga saham dalam setiap periode, hitung nilai *present value* terlebih dahulu dengan persamaan berikut:

$$PV(D) = De^{-r(\tau-i\Delta t)}$$



Gambar 4.3. Skema Harga Saham dengan Dividen 2,25 bulan

sehingga pada saat $i\Delta t = 0$, maka:

$$PV(D) = De^{-r(\tau)}$$

$$PV(0,23) = 0,23e^{-0,0458(0,1875)}$$

$$PV(0,23) = 0,228033$$

Karena nilai $\tau \leq i\Delta$ maka harga saham awal dapat ditentukan dengan persamaan $S_0^* = S_0 - De^{-r(\tau-i\Delta t)}$ dengan demikian diperoleh nilai harga saham awal yaitu $S_0^* = 246,75 - 0,228033 = 246,522$. Pada saat $i\Delta t = 0$, $S_0^* = S_0$ yaitu 246,75. Nilai S_0^* berperan sebagai dasar perhitungan untuk menurunkan harga saham pada setiap node berikutnya dalam struktur pohon trinomial. Khusus untuk node-node yang terletak sebelum tanggal *ex-dividen*, dilakukan terlebih dahulu perhitungan *present value* dividen menggunakan persamaan (*) yang telah ditetapkan. Nilai *present value* ini kemudian dijumlahkan dengan mekanisme perhitungan standar model trinomial untuk menghasilkan harga saham yang telah disesuaikan di setiap percabangan, dapat dilihat sebagai berikut:

Untuk $i\Delta t = 1$, maka:

$$PV(0,23) = 0,23e^{-0,0458(0,1875-0,060274)}$$

$$PV(0,23) = 0,228664$$

Sehingga harga saham pada setiap periode pertama dapat dihitung sebagai berikut:

$$S_{21}^* + PV(D) = 246,522(1,063690)^1(0,940124)^0 + 0,228664 = 262,45$$

$$S_{11}^* + PV(D) = 246,522(1,063690)^0(0,940124)^0 + 0,228664 = 246,75$$

$$S_{01}^* + PV(D) = 246,522(1,063690)^0(0,940124)^1 + 0,228664 = 231,99$$

Untuk $i\Delta t = 2$, maka:

$$PV(0,23) = 0,23e^{-0,0458(0,1875-0,14521)}$$

$$PV(0,23) = 0,229555$$

Sehingga harga saham pada setiap periode pertama dapat dihitung sebagai berikut:

$$S_{42}^* + PV(D) = 246,522(1,063690)^2(0,940124)^0 + 0,229555 = 279,15$$

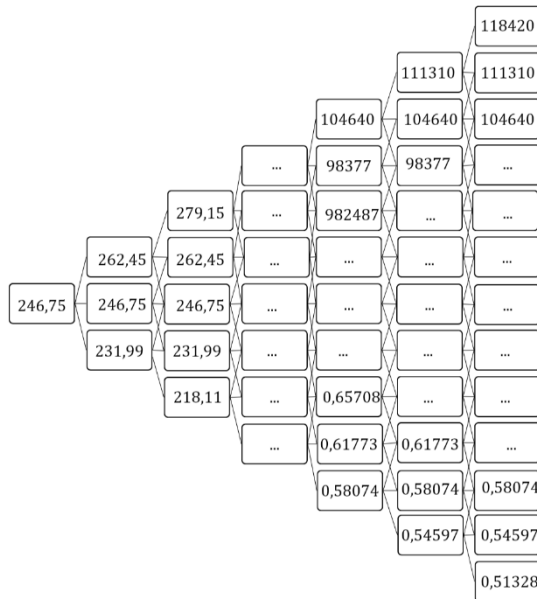
$$S_{11}^* + PV(D) = 246,522(1,063690)^0(0,940124)^0 + 0,229555 = 262,45$$

$$S_{22}^* + PV(D) = 246,522(1,063690)^0(0,940124)^0 + 0,229555 = 246,75$$

$$S_{12}^* + PV(D) = 246,522(1,063690)^0(0,940124)^1 + 0,229555 = 231,99$$

$$S_{02}^* + PV(D) = 246,522(1,063690)^0(0,940124)^2 + 0,229555 = 218,11$$

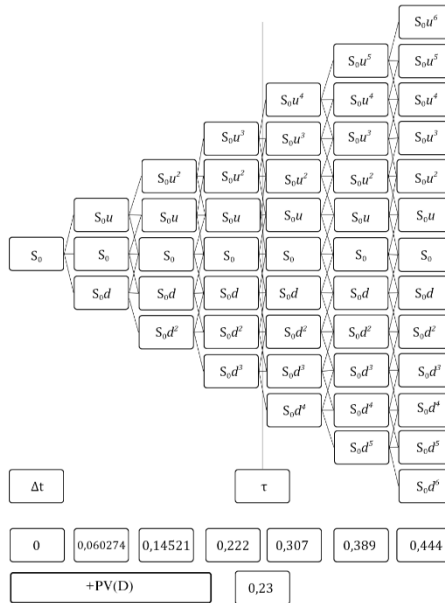
Adapun harga masing-masing periode yang telah diperoleh dengan cara di atas dapat ditampilkan dalam bentuk pohon trinomial sebagai berikut:



Gambar 4.4. Harga Saham dengan Dividen Pada Saat 2,25 bulan

Untuk perhitungan nilai saham secara lengkap pada setiap periode dapat dilihat pada lampiran. Hasil perhitungan diatas merupakan hasil perhitungan harga saham menggunakan metode trinomial dengan pembagian dividen 2,25 bulan dengan periode $N = 100$.

2) Dividen dibagikan pada saat 3 bulan



Gambar 4.5. Skema Harga Saham dengan Dividen 3 bulan

Sebelum menentukan harga saham pada setiap periode, hitung dahulu present value untuk mencari nilai S_0^* dengan cara mengkurangkan dari S_0 dengan persamaan:

$$PV(D) = De^{-r(\tau-i\Delta t)}$$

sehingga pada saat $i\Delta t = 0$, maka:

$$PV(D) = De^{-r(\tau)}$$

$$PV(0,23) = 0,23e^{-0,0458(0,25)}$$

$$PV(0,23) = 0,227382$$

Karena nilai $\tau \leq i\Delta$ maka harga saham awal dapat ditentukan dengan persamaan $S_0^* = S_0 - De^{-r(\tau-i\Delta t)}$ dengan demikian diperoleh nilai harga saham awal yaitu $S_0^* = 246,75 - 0,227382 = 246,523$. Pada saat $i\Delta t = 0$, $S_0^* = S_0$ yaitu 246,75.

Nilai S_0^* berperan sebagai dasar perhitungan untuk menurunkan harga saham pada setiap node berikutnya dalam struktur pohon trinomial. Khusus untuk node-node yang terletak sebelum tanggal *ex-dividen*, dilakukan terlebih dahulu perhitungan *present value* dividen menggunakan persamaan (*) yang telah ditetapkan. Nilai *present value* ini kemudian dijumlahkan dengan mekanisme perhitungan standar model trinomial untuk menghasilkan harga saham yang telah disesuaikan di setiap percabangan, dapat dilihat sebagai berikut:

Untuk $i\Delta t = 1$, maka:

$$PV(0,23) = 0,23e^{-0,0458(0,25-0,060274)}$$

$$PV(0,23) = 0,22801$$

Sehingga harga saham pada setiap periode pertama dapat dihitung sebagai berikut:

$$S_{21}^* + PV(D) = 246,523(1,063690)^1(0,940124)^0 + 0,22801 = 262,45$$

$$S_{11}^* + PV(D) = 246,523(1,063690)^0(0,940124)^0 + 0,22801 = 246,75$$

$$S_{01}^* + PV(D) = 246,523(1,063690)^0(0,940124)^1 + 0,22801 = 231,99$$

Untuk $i\Delta t = 2$, maka:

$$PV(0,23) = 0,23e^{-0,0458(0,25-0,14521)}$$

$$PV(0,23) = 0,228899$$

Sehingga harga saham pada setiap periode pertama dapat dihitung sebagai berikut:

$$S_{42}^* + PV(D) = 246,523(1,063690)^2(0,940124)^0 + 0,228899 = 279,15$$

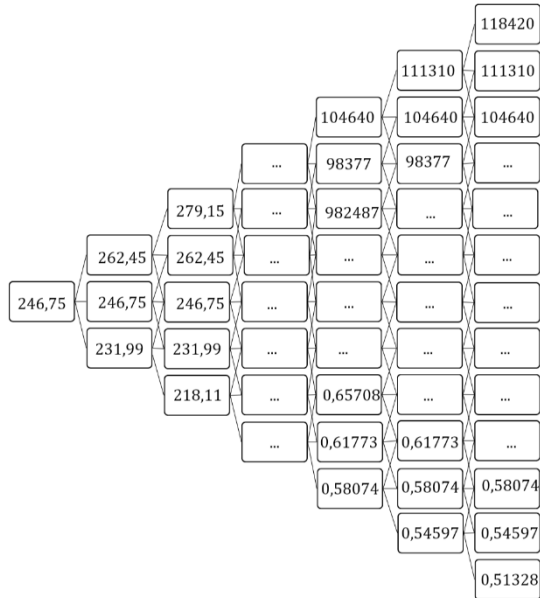
$$S_{31}^* + PV(D) = 246,523(1,063690)^0(0,940124)^0 + 0,228899 = 262,45$$

$$S_{22}^* + PV(D) = 246,523(1,063690)^0(0,940124)^0 + 0,228899 = 246,75$$

$$S_{12}^* + PV(D) = 246,523(1,063690)^0(0,940124)^1 + 0,228899 = 231,99$$

$$S_{02}^* + PV(D) = 246,523(1,063690)^0(0,940124)^2 + 0,228899 = 218,11$$

Adapun harga masing-masing periode yang telah diperoleh dengan cara di atas dapat ditampilkan dalam bentuk pohon trinomial sebagai berikut:



Gambar 4.6. Harga Saham dengan Dividen Pada Saat 3 bulan

Untuk perhitungan nilai saham secara lengkap pada setiap periode dapat dilihat pada lampiran. Hasil perhitungan diatas merupakan hasil perhitungan harga saham menggunakan metode trinomial dengan pembagian dividen 3 bulan dengan periode $N = 100$.

c. Menentukan Harga Opsi Eropa Menggunakan Metode Trinomial Tanpa Pembagian Dividen

1) Nilai opsi *call* Eropa tanpa dividen

Dengan menggunakan *strike price*, peluang harga naik, peluang harga turun, nilai Δt dan nilai r , dapat ditentukan nilai opsi *call* untuk masing-masing periode dengan menggunakan persamaan (2.31) sebagai berikut:

$$V_{ji} = e^{-r\Delta t} [p_u(V_{j+1,i+1}) + p_m(V_{j+1,i}) + p_d(V_{j+1,i-1})]$$

dengan nilai $e^{-r\Delta t} = e^{-0,0458(0,00444)} = 0,9998$. Adapun perhitungan untuk masing-masing periode sebagai berikut:

perhitungan untuk periode $i = 100$ yaitu:

$$\begin{aligned} V_{200\ 100} &= \max(118510 - 185 ; 0) \\ &= 118510 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{199\ 100} &= \max(111410 - 185 ; 0) \\ &= 111225 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{198\ 100} &= \max(104740 - 185 ; 0) \\ &= 104740 \end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned} V_{2\ 100} &= \max(0,58129 - 185 ; 0) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{1\ 100} &= \max(0,54649 - 185 ; 0) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{0\ 100} &= \max(0,51377 - 185 ; 0) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

perhitungan untuk periode $i = 99$ yaitu:

$$\begin{aligned} V_{198\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 118325) + (0,66667 \cdot 111225) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 104555)) \\ &= 111235 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{197\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 111225) + (0,66667 \cdot 104555) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 98285)) \\ &= 104560 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{196\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 104555) + (0,66667 \cdot 98285) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 92389)) \\ &= 98285 \end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned}
 V_{2\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\
 &= 0,00 \\
 V_{1\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\
 &= 0,00 \\
 V_{0\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\
 &= 0,00
 \end{aligned}$$

perhitungan untuk periode $i = 98$ yaitu:

$$\begin{aligned}
 V_{196\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 111235) + (0,66667 \cdot 104560)) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 98285)) \\
 &= 104560 \\
 V_{195\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 98285) + (0,66667 \cdot 92389)) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 92389)) \\
 &= 98285 \\
 V_{194\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 98285) + (0,66667 \cdot 92389)) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 86846)) \\
 &= 92389 \\
 &\vdots \\
 V_{2\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\
 &= 0,00 \\
 V_{1\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\
 &= 0,00 \\
 V_{0\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\
 &= 0,00
 \end{aligned}$$

⋮

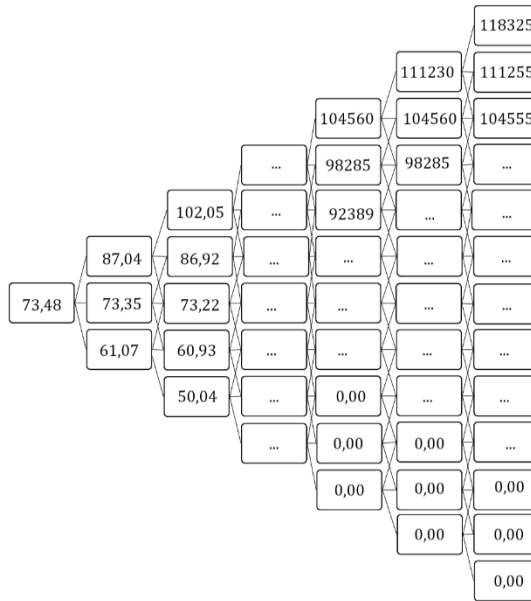
perhitungan untuk periode $i = 2$ yaitu:

$$\begin{aligned}
 V_{42} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 118,51) + (0,66667 \cdot 101,94) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 86,81)) \\
 &= 102,05 \\
 V_{32} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 101,94) + (0,66667 \cdot 86,81) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 73,09)) \\
 &= 86,92 \\
 V_{22} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 86,81) + (0,66667 \cdot 73,09) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 60,80)) \\
 &= 73,222 \\
 V_{12} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 73,09) + (0,66667 \cdot 60,80) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 49,90)) \\
 &= 60,93 \\
 V_{02} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 60,80) + (0,66667 \cdot 49,90) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 40,37)) \\
 &= 50,04
 \end{aligned}$$

perhitungan untuk periode $i = 1$ yaitu:

$$\begin{aligned}
 V_{21} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 102,05) + (0,66667 \cdot 86,92) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 73,22)) \\
 &= 87,04 \\
 V_{11} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 86,92) + (0,66667 \cdot 73,22) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 60,93)) \\
 &= 73,35 \\
 V_{01} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 73,22) + (0,66667 \cdot 60,93) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 50,04)) \\
 &= 61,07
 \end{aligned}$$

Adapun harga masing-masing periode yang telah diperoleh dari perhitungan diatas ditampilkan dalam bentuk pohon trinomial sebagai berikut:



Gambar 4.7. Nilai Opsi *Call* Eropa Tanpa Pembagian Dividen

Untuk perhitungan nilai opsi secara lengkap pada setiap periode dapat dilihat pada lampiran. Hasil tersebut merupakan hasil perhitungan opsi *call* menggunakan metode trinomial tanpa pembagian dividen dengan periode $N = 100$.

2) Nilai Opsi *Put* Eropa Tanpa Dividen

Dengan menggunakan *strike price*, peluang harga naik, peluang harga turun, nilai Δt dan nilai r , dapat ditentukan nilai opsi *put* untuk masing-masing periode dengan menggunakan persamaan (2.31) sebagai berikut:

$$V_{ji} = e^{-r\Delta t} [p_u(V_{j+1,i+1}) + p_m(V_{j+1,i}) + p_d(V_{j+1,i-1})]$$

dengan nilai $e^{-r\Delta t} = e^{-0,0458(0,00444)} = 0,9998$. Adapun perhitungan untuk masing-masing periode sebagai berikut:

perhitungan untuk periode $i = 100$ yaitu:

$$\begin{aligned} V_{200\ 100} &= \max(265 - 118510 ; 0) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{199\ 100} &= \max(265 - 111410 ; 0) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{198\ 100} &= \max(265 - 104740 ; 0) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$\vdots$

$$\begin{aligned} V_{2\ 100} &= \max(265 - 0,58129 ; 0) \\ &= 264,42 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{1\ 100} &= \max(265 - 0,54649 ; 0) \\ &= 264,45 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{0\ 100} &= \max(265 - 0,51377 ; 0) \\ &= 264,49 \end{aligned}$$

perhitungan untuk periode $i = 99$ yaitu:

$$\begin{aligned} V_{198\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{197\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{196\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$\vdots$

$$\begin{aligned} V_{2\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 264,42) + (0,66667 \cdot 264,45)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 264,49)) \\ &= 264,33 \end{aligned}$$

$$V_{1\ 99} = 0,9998((0,16477889 \cdot 264,38) + (0,66667 \cdot 264,42))$$

$$\begin{aligned}
& + (0,16855444 \cdot 246,45)) \\
& = 264,36 \\
V_{0\ 99} & = 0,9998((0,16477889 \cdot 0264,34) + (0,66667 \cdot 264,38) \\
& \quad + (0,16855444 \cdot 264,42)) \\
& = 264,40
\end{aligned}$$

perhitungan untuk periode $i = 98$ yaitu:

$$\begin{aligned}
V_{196\ 98} & = 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00) \\
& \quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\
& = 0,00 \\
V_{195\ 98} & = 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00) \\
& \quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\
& = 0,00 \\
V_{194\ 98} & = 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00) \\
& \quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\
& = 0,00 \\
& \vdots \\
V_{2\ 98} & = 0,9998((0,16477889 \cdot 264,33) + (0,66667 \cdot 264,36) \\
& \quad + (0,16855444 \cdot 264,40)) \\
& = 264,23 \\
V_{1\ 98} & = 0,9998((0,16477889 \cdot 264,29) + (0,66667 \cdot 264,33) \\
& \quad + (0,16855444 \cdot 264,36)) \\
& = 264,27 \\
V_{0\ 98} & = 0,9998((0,16477889 \cdot 264,25) + (0,66667 \cdot 264,29) \\
& \quad + (0,16855444 \cdot 264,33)) \\
& = 264,31
\end{aligned}$$

⋮

perhitungan untuk periode $i = 2$ yaitu:

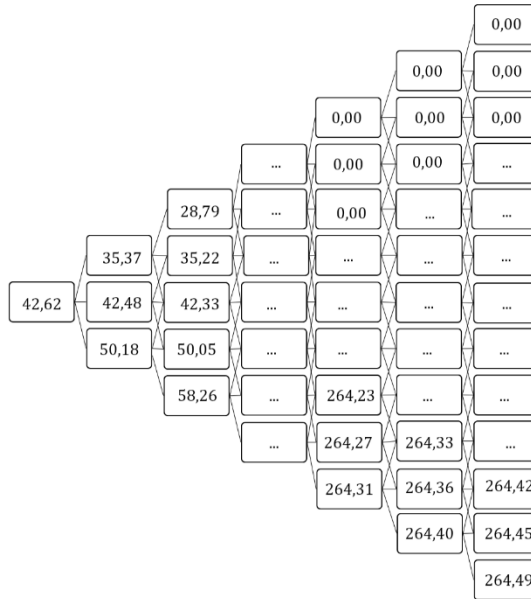
$$\begin{aligned}
V_{42} & = 0,9998((0,16477889 \cdot 22,95) + (0,66667 \cdot 28,63) \\
& \quad + (0,16855444 \cdot 35,06)) \\
& = 28,79
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{32} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 28,63) + (0,66667 \cdot 35,06)) \\
&\quad + (0,16855444 \cdot 42,19)) \\
&= 35,22 \\
V_{22} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 35,06) + (0,66667 \cdot 42,19)) \\
&\quad + (0,16855444 \cdot 49,92)) \\
&= 42,33 \\
V_{12} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 42,19) + (0,66667 \cdot 49,92)) \\
&\quad + (0,16855444 \cdot 58,15)) \\
&= 50,05 \\
V_{02} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 49,92) + (0,66667 \cdot 58,15)) \\
&\quad + (0,16855444 \cdot 66,76)) \\
&= 58,26
\end{aligned}$$

perhitungan untuk periode $i = 1$ yaitu:

$$\begin{aligned}
V_{21} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 28,79) + (0,66667 \cdot 35,22)) \\
&\quad + (0,16855444 \cdot 42,33)) \\
&= 35,37 \\
V_{11} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 35,22) + (0,66667 \cdot 42,33)) \\
&\quad + (0,16855444 \cdot 50,05)) \\
&= 42,48 \\
V_{01} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 42,33) + (0,66667 \cdot 50,05)) \\
&\quad + (0,16855444 \cdot 58,26)) \\
&= 50,18
\end{aligned}$$

Adapun harga masing-masing periode yang telah diperoleh dari perhitungan diatas ditampilkan dalam bentuk pohon trinomial sebagai berikut:



Gambar 4.8. Nilai Opsi Put Eropa Tanpa Pembagian Dividen

Untuk perhitungan nilai opsi secara lengkap pada setiap periode dapat dilihat pada lampiran. Hasil tersebut merupakan hasil perhitungan opsi *call* menggunakan metode trinomial tanpa pembagian dividen dengan periode $N = 100$.

d. Menentukan Harga Opsi Eropa Menggunakan Metode Trinomial dengan Pembagian Dividen

- 1) Menentukan nilai opsi *call* dengan pembagian dividen setelah 2,25 bulan

Dengan menggunakan *strike price*, peluang harga naik, peluang harga turun, nilai Δt dan nilai r , dapat ditentukan nilai opsi *call* untuk masing-masing periode dengan menggunakan persamaan (2.35) sebagai berikut:

$$V_{ji}^* = e^{-r\Delta t} [p_u(V_{j+1,i+1}^*) + p_m(V_{j+1,i}^*) + p_d(V_{j+1,i-1}^*)]$$

dengan nilai $e^{-r\Delta t} = e^{-0,0458(0,00444)} = 0,9998$. Adapun perhitungan untuk masing-masing periode sebagai berikut:

perhitungan untuk periode $i = 100$ yaitu:

$$V_{200\ 100} = \max(118400 - 185 ; 0)$$

$$= 118215$$

$$V_{199\ 100} = \max(111310 - 185 ; 0)$$

$$= 111225$$

$$V_{198\ 100} = \max(104640 - 185 ; 0)$$

$$= 104455$$

$\vdots$

$$V_{2\ 100} = \max(0,58074 - 185 ; 0)$$

$$= 0,00$$

$$V_{1\ 100} = \max(0,54597 - 185 ; 0)$$

$$= 0,00$$

$$V_{0\ 100} = \max(0,51328 - 185 ; 0)$$

$$= 0,00$$

perhitungan untuk periode $i = 99$ yaitu:

$$V_{198\ 99} = 0,9998((0,16477889 \cdot 118210) + (0,66667 \cdot 111120) \\ + (0,16855444 \cdot 104455))$$

$$= 111120$$

$$V_{197\ 99} = 0,9998((0,16477889 \cdot 111120) + (0,66667 \cdot 104455) \\ + (0,16855444 \cdot 98192))$$

$$= 104460$$

$$V_{196\ 99} = 0,9998((0,16477889 \cdot 104455) + (0,66667 \cdot 98192) \\ + (0,16855444 \cdot 92302))$$

$$= 98192$$

$\vdots$

$$V_{2\ 99} = 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00) \\ + (0,16855444 \cdot 0,00))$$

$$\begin{aligned}
&= 0,00 \\
V_{1\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\
&+ (0,16855444 \cdot 0,00)) \\
&= 0,00 \\
V_{0\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\
&+ (0,16855444 \cdot 0,00)) \\
&= 0,00
\end{aligned}$$

perhitungan untuk periode $i = 98$ yaitu:

$$\begin{aligned}
V_{196\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 111120) + (0,66667 \cdot 104460)) \\
&+ (0,16855444 \cdot 98192)) \\
&= 104460 \\
V_{195\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 104460) + (0,66667 \cdot 98192)) \\
&+ (0,16855444 \cdot 92302)) \\
&= 98192 \\
V_{194\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 98192) + (0,66667 \cdot 92302)) \\
&+ (0,16855444 \cdot 86764)) \\
&= 92302 \\
&\vdots \\
V_{2\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\
&+ (0,16855444 \cdot 0,00)) \\
&= 0,00 \\
V_{1\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\
&+ (0,16855444 \cdot 0,00)) \\
&= 0,00 \\
V_{0\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\
&+ (0,16855444 \cdot 0,00)) \\
&= 0,00 \\
&\vdots
\end{aligned}$$

perhitungan untuk periode $i = 2$ yaitu:

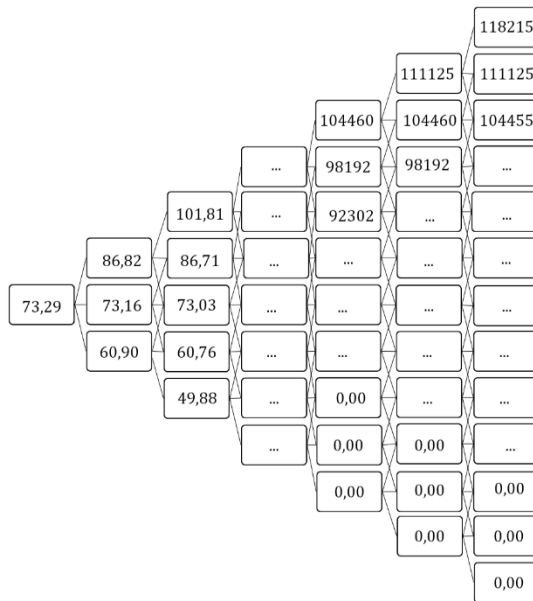
$$V_{42} = 0,9998((0,16477889 \cdot 118,25) + (0,66667 \cdot 101,70))$$

$$\begin{aligned}
& +(0,16855444 \cdot 86,59)) \\
& = 101,81 \\
V_{32} & = 0,9998((0,16477889 \cdot 101,70) + (0,66667 \cdot 86,59) \\
& \quad + (0,16855444 \cdot 72,90)) \\
& = 86,71 \\
V_{22} & = 0,9998((0,16477889 \cdot 86,59) + (0,66667 \cdot 72,90) \\
& \quad + (0,16855444 \cdot 60,62)) \\
& = 73,03 \\
V_{12} & = 0,9998((0,16477889 \cdot 72,90) + (0,66667 \cdot 60,62) \\
& \quad + (0,16855444 \cdot 49,74)) \\
& = 60,76 \\
V_{02} & = 0,9998((0,16477889 \cdot 60,62) + (0,66667 \cdot 49,74) \\
& \quad + (0,16855444 \cdot 40,23)) \\
& = 49,89
\end{aligned}$$

perhitungan untuk periode $i = 1$ yaitu:

$$\begin{aligned}
V_{21} & = 0,9998((0,16477889 \cdot 101,81) + (0,66667 \cdot 86,71) \\
& \quad + (0,16855444 \cdot 73,03)) \\
& = 86,82 \\
V_{11} & = 0,9998((0,16477889 \cdot 86,71) + (0,66667 \cdot 73,03) \\
& \quad + (0,16855444 \cdot 60,76)) \\
& = 73,16 \\
V_{01} & = 0,9998((0,16477889 \cdot 73,03) + (0,66667 \cdot 60,76) \\
& \quad + (0,16855444 \cdot 49,89)) \\
& = 60,90
\end{aligned}$$

Adapun harga masing-masing periode yang telah diperoleh dari perhitungan diatas ditampilkan dalam bentuk pohon trinomial sebagai berikut:



Gambar 4.9. Nilai Opsi *Call* Eropa dengan Dividen 2,25 bulan

Untuk perhitungan nilai opsi secara lengkap pada setiap periode dapat dilihat pada lampiran. Hasil tersebut merupakan hasil perhitungan opsi *call* menggunakan metode trinomial dengan pembagian dividen 2,25 bulan dengan periode $N = 100$.

Jadi, harga opsi saham AAPL dengan $S_0 = 246,75$, $K = 265$, $T = 0,444$ diperoleh harga opsi 73,28. Dengan cara yang sama ditentukan harga opsi dari saham MSFT, AON, IBM, dan META harga saham tersebut disajikan dalam tabel berikut:

$$T = 0,444$$

Tabel 4.4. Perhitungan Opsi *Call* dengan Dividen 2,25 bulan

kode saham	S0	K	D	Volatilitas	C	C aktual	MAPE
AAPL	246,75	185	0,23	0,534983075	73,28	57,65	0,27111882
MSFT	374,39	295	0,6525	0,473517277	96,76	87,94	0,100295656
AON	368,83	250	0,6167	0,381932517	124,55	115,80	0,075561313
IBM	245,48	165	1,66	0,404266847	83,6	66,90	0,249626308
META	520,27	345	0,5125	0,804273476	208,03	177,11	0,174580769
Rata-rata MAPE							17,42%

2) Menentukan nilai opsi *put* dengan pembagian dividen setelah 2,25 bulan

Dengan menggunakan *strike price*, peluang harga naik, peluang harga turun, nilai Δt dan nilai r , dapat ditentukan nilai opsi *put* untuk masing-masing periode dengan menggunakan persamaan (2.35) sebagai berikut:

$$V_{ji}^* = e^{-r\Delta t} [p_u(V_{j+1,i+1}^*) + p_m(V_{j+1,i}^*) + p_d(V_{j+1,i-1}^*)]$$

dengan nilai $e^{-r\Delta t} = e^{-0,0458(0,00444)} = 0,9998$. Adapun perhitungan untuk masing-masing periode sebagai berikut:

perhitungan untuk periode $i = 100$ yaitu:

$$\begin{aligned} V_{200\ 100} &= \max(265 - 118400 ; 0) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{199\ 100} &= \max(265 - 111310 ; 0) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{198\ 100} &= \max(265 - 104640 ; 0) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

⋮

$$V_{2\ 100} = \max(265 - 0,58074 ; 0)$$

$$= 264,42$$

$$\begin{aligned} V_{1\ 100} &= \max(265 - 0,54649 ; 0) \\ &= 264,45 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{0\ 100} &= \max(265 - 0,51377 ; 0) \\ &= 264,49 \end{aligned}$$

perhitungan untuk periode $i = 99$ yaitu:

$$\begin{aligned} V_{198\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{197\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{196\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$\vdots$

$$\begin{aligned} V_{2\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 264,42) + (0,66667 \cdot 264,45)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 264,49)) \\ &= 264,33 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{1\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 264,38) + (0,66667 \cdot 264,42)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 246,45)) \\ &= 264,37 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{0\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0264,34) + (0,66667 \cdot 264,38)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 264,42)) \\ &= 264,40 \end{aligned}$$

perhitungan untuk periode $i = 98$ yaitu:

$$\begin{aligned} V_{196\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{195\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\
&\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\
&= 0,00 \\
V_{194\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\
&\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\
&= 0,00 \\
&\vdots \\
V_{2\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 264,33) + (0,66667 \cdot 264,37)) \\
&\quad + (0,16855444 \cdot 264,40)) \\
&= 264,24 \\
V_{1\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 264,29) + (0,66667 \cdot 264,33)) \\
&\quad + (0,16855444 \cdot 264,36)) \\
&= 264,27 \\
V_{0\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 264,25) + (0,66667 \cdot 264,29)) \\
&\quad + (0,16855444 \cdot 264,33)) \\
&= 264,31 \\
&\vdots
\end{aligned}$$

perhitungan untuk periode $i = 2$ yaitu:

$$\begin{aligned}
V_{42} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 22,95) + (0,66667 \cdot 28,73)) \\
&\quad + (0,16855444 \cdot 35,06)) \\
&= 28,89 \\
V_{32} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 28,73) + (0,66667 \cdot 35,17)) \\
&\quad + (0,16855444 \cdot 42,31)) \\
&= 35,33 \\
V_{22} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 35,17) + (0,66667 \cdot 42,31)) \\
&\quad + (0,16855444 \cdot 50,05)) \\
&= 42,45 \\
V_{12} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 42,31) + (0,66667 \cdot 50,02)) \\
&\quad + (0,16855444 \cdot 58,29)) \\
&= 50,18 \\
V_{02} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 50,02) + (0,66667 \cdot 58,29)) \\
&\quad + (0,16855444 \cdot 66,90))
\end{aligned}$$

$$= 58,40$$

perhitungan untuk periode $i = 1$ yaitu:

$$\begin{aligned} V_{21} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 28,89) + (0,66667 \cdot 35,33)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 42,45)) \end{aligned}$$

$$= 35,48$$

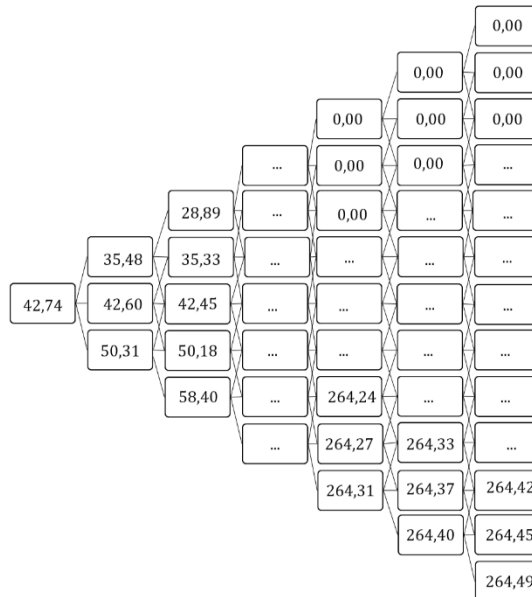
$$\begin{aligned} V_{11} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 35,33) + (0,66667 \cdot 42,45)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 50,18)) \end{aligned}$$

$$= 42,60$$

$$\begin{aligned} V_{01} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 42,45) + (0,66667 \cdot 50,18)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 58,40)) \end{aligned}$$

$$= 50,31$$

Adapun harga masing-masing periode yang telah diperoleh dari perhitungan diatas ditampilkan dalam bentuk pohon trinomial sebagai berikut:



Gambar 4.10. Nilai Opsi Put Eropa dengan Dividen 2,25 bulan

Untuk perhitungan nilai opsi secara lengkap pada setiap periode dapat dilihat pada lampiran. Hasil tersebut merupakan hasil perhitungan opsi *call* menggunakan metode trinomial tanpa pembagian dividen dengan periode $N = 100$.

Jadi, harga opsi saham AAPL dengan $S_0 = 246,75$, $K = 265$, $T = 0,444$ diperoleh harga opsi 42,74. Dengan cara yang sama ditentukan harga opsi dari saham MSFT, AON, IBM, dan META harga saham tersebut disajikan dalam tabel berikut:

$$T = 0,444$$

Tabel 4.5. Perhitungan Opsi *put* dengan Dividen 2,25 bulan

kode saham	S0	K	D	Volatilitas	C	C aktual	MAPE
AAPL	246,75	265	0,23	0,53498307	42,74	57,65	0,258629662
MSFT	374,39	460	0,6525	0,47351728	98,92	94,60	0,045665962
AON	368,83	440	0,6167	0,38193252	79,36	74,50	0,065234899
IBM	245,48	290	1,66	0,40426685	52,9	62,40	0,15224359
META	520,27	605	0,5125	0,80427348	157,59	122,55	0,285924113
Rata-rata MAPE							16,15%

3) Menentukan nilai opsi *call* dengan pembagian dividnen setelah 3 bulan

Dengan menggunakan *strike price*, peluang harga naik, peluang harga turun, nilai Δt dan nilai r , dapat ditentukan nilai opsi *call* untuk masing-masing periode dengan menggunakan persamaan (2.35) sebagai berikut:

$$V_{ji}^* = e^{-r\Delta t} [p_u(V_{j+1,i+1}^*) + p_m(V_{j+1,i}^*) + p_d(V_{j+1,i-1}^*)]$$

dengan nilai $e^{-r\Delta t} = e^{-0,0458(0,00444)} = 0,9998$. Adapun perhitungan untuk masing-masing periode sebagai berikut:

perhitungan untuk periode $i = 100$ yaitu:

$$V_{200\ 100} = \max(118400 - 185 ; 0)$$

$$= 118215$$

$$V_{199\ 100} = \max(111310 - 185 ; 0)$$

$$= 111225$$

$$V_{198\ 100} = \max(104640 - 185 ; 0)$$

$$= 104455$$

⋮

$$V_{2\ 100} = \max(0,58074 - 185 ; 0)$$

$$= 0,00$$

$$V_{1\ 100} = \max(0,54597 - 185 ; 0)$$

$$= 0,00$$

$$V_{0\ 100} = \max(0,51328 - 185 ; 0)$$

$$= 0,00$$

perhitungan untuk periode $i = 99$ yaitu:

$$V_{198\ 99} = 0,9998((0,16477889 \cdot 118210) + (0,66667 \cdot 111120) + (0,16855444 \cdot 104455))$$

$$= 111120$$

$$V_{197\ 99} = 0,9998((0,16477889 \cdot 111120) + (0,66667 \cdot 104455) + (0,16855444 \cdot 98192))$$

$$= 104460$$

$$V_{196\ 99} = 0,9998((0,16477889 \cdot 104455) + (0,66667 \cdot 98192) + (0,16855444 \cdot 92302))$$

$$= 98192$$

⋮

$$V_{2\ 99} = 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00) + (0,16855444 \cdot 0,00))$$

$$= 0,00$$

$$V_{1\ 99} = 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00) + (0,16855444 \cdot 0,00))$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,00 \\
 V_{0\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\
 &= 0,00
 \end{aligned}$$

perhitungan untuk periode $i = 98$ yaitu:

$$\begin{aligned}
 V_{196\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 111120) + (0,66667 \cdot 104460) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 98192)) \\
 &= 104460 \\
 V_{195\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 104460) + (0,66667 \cdot 98192) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 92302)) \\
 &= 98192 \\
 V_{194\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 98192) + (0,66667 \cdot 92302) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 86764)) \\
 &= 92302 \\
 &\vdots \\
 V_{2\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\
 &= 0,00 \\
 V_{1\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\
 &= 0,00 \\
 V_{0\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\
 &= 0,00
 \end{aligned}$$

$\vdots$

perhitungan untuk periode $i = 2$ yaitu:

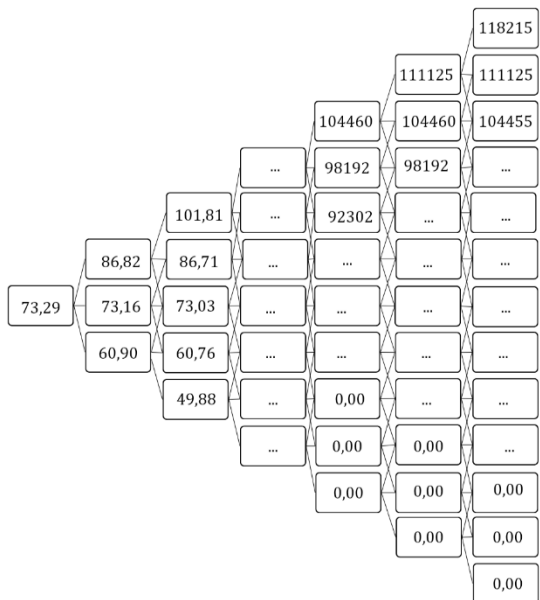
$$\begin{aligned}
 V_{42} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 118,25) + (0,66667 \cdot 101,70) \\
 &\quad + (0,16855444 \cdot 86,59)) \\
 &= 101,81 \\
 V_{32} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 101,70) + (0,66667 \cdot 86,59)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +(0,16855444 \cdot 72,90)) \\
& = 86,71 \\
V_{22} & = 0,9998((0,16477889 \cdot 86,59) + (0,66667 \cdot 72,90) \\
& \quad + (0,16855444 \cdot 60,62)) \\
& = 73,03 \\
V_{12} & = 0,9998((0,16477889 \cdot 72,90) + (0,66667 \cdot 60,62) \\
& \quad + (0,16855444 \cdot 49,74)) \\
& = 60,76 \\
V_{02} & = 0,9998((0,16477889 \cdot 60,62) + (0,66667 \cdot 49,74) \\
& \quad + (0,16855444 \cdot 40,23)) \\
& = 49,89
\end{aligned}$$

perhitungan untuk periode $i = 1$ yaitu:

$$\begin{aligned}
V_{21} & = 0,9998((0,16477889 \cdot 101,81) + (0,66667 \cdot 86,71) \\
& \quad + (0,16855444 \cdot 73,03)) \\
& = 86,82 \\
V_{11} & = 0,9998((0,16477889 \cdot 86,71) + (0,66667 \cdot 73,03) \\
& \quad + (0,16855444 \cdot 60,76)) \\
& = 73,16 \\
V_{01} & = 0,9998((0,16477889 \cdot 73,03) + (0,66667 \cdot 60,76) \\
& \quad + (0,16855444 \cdot 49,89)) \\
& = 61,07
\end{aligned}$$

Adapun harga masing-masing periode yang telah diperoleh dari perhitungan diatas ditampilkan dalam bentuk pohon trinomial sebagai berikut:



Gambar 4.11. Nilai Opsi *Call* Eropa dengan Dividen 3 bulan

Untuk perhitungan nilai opsi secara lengkap pada setiap periode dapat dilihat pada lampiran. Hasil tersebut merupakan hasil perhitungan opsi *call* menggunakan metode trinomial dengan pembagian dividen 3 bulan dengan periode $N = 100$.

Jadi, harga opsi saham AAPL dengan $S_0 = 246,75, K = 265, T = 0,444$ diperoleh harga opsi 73,29. Dengan cara yang sama ditentukan harga opsi dari saham MSFT, AON, IBM, dan META harga saham tersebut disajikan dalam tabel berikut:

$$T = 0,444$$

Tabel 4.6. Perhitungan Opsi *Call* dengan Dividen 3 bulan

kode saham	S0	K	D	Volatilitas	C	C aktual	MAPE
AAPL	246,75	185	0,23	0,534983075	73,29	57,65	0,271292281
MSFT	374,39	295	0,6525	0,473517277	96,76	87,94	0,100295656
AON	368,83	250	0,6167	0,381932517	125	115,80	0,079447323
IBM	245,48	165	1,66	0,404266847	83,6	66,90	0,249626308
META	520,27	345	0,5125	0,804273476	208,03	177,11	0,174580769
Rata-rata MAPE							17,50%

4) Menentukan nilai opsi *put* dengan pembagian dividen setelah 3 bulan

Dengan menggunakan *strike price*, peluang harga naik, peluang harga turun, nilai Δt dan nilai r , dapat ditentukan nilai opsi *put* untuk masing-masing periode dengan menggunakan persamaan (2.35) sebagai berikut:

$$V_{ji}^* = e^{-r\Delta t} [p_u(V_{j+1,i+1}^*) + p_m(V_{j+1,i}^*) + p_d(V_{j+1,i-1}^*)]$$

dengan nilai $e^{-r\Delta t} = e^{-0,0458(0,00444)} = 0,9998$. Adapun perhitungan untuk masing-masing periode sebagai berikut:

perhitungan untuk periode $i = 100$ yaitu:

$$\begin{aligned} V_{200\ 100} &= \max(265 - 118400 ; 0) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{199\ 100} &= \max(265 - 111310 ; 0) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{198\ 100} &= \max(265 - 104640 ; 0) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned} V_{2\ 100} &= \max(265 - 0,58074 ; 0) \\ &= 264,42 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{1\ 100} &= \max (265 - 0,54649 ; 0) \\ &= 264,45 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{0\ 100} &= \max (265 - 0,51377 ; 0) \\ &= 264,49 \end{aligned}$$

perhitungan untuk periode $i = 99$ yaitu:

$$\begin{aligned} V_{198\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{197\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{196\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$\vdots$

$$\begin{aligned} V_{2\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 264,42) + (0,66667 \cdot 264,45)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 264,49)) \\ &= 264,33 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{1\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 264,38) + (0,66667 \cdot 264,42)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 264,45)) \\ &= 264,37 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{0\ 99} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 264,34) + (0,66667 \cdot 264,38)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 264,42)) \\ &= 264,40 \end{aligned}$$

perhitungan untuk periode $i = 98$ yaitu:

$$\begin{aligned} V_{196\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{195\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 0,00)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,00 \\
V_{194\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 0,00) + (0,66667 \cdot 0,00)) \\
&+ (0,16855444 \cdot 0,00)) \\
&= 0,00 \\
&\vdots \\
V_{2\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 264,33) + (0,66667 \cdot 264,37)) \\
&+ (0,16855444 \cdot 264,40)) \\
&= 264,24 \\
V_{1\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 264,29) + (0,66667 \cdot 264,33)) \\
&+ (0,16855444 \cdot 264,36)) \\
&= 264,27 \\
V_{0\ 98} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 264,25) + (0,66667 \cdot 264,29)) \\
&+ (0,16855444 \cdot 264,33)) \\
&= 264,31 \\
&\vdots
\end{aligned}$$

perhitungan untuk periode $i = 2$ yaitu:

$$\begin{aligned}
V_{42} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 22,95) + (0,66667 \cdot 28,73)) \\
&+ (0,16855444 \cdot 35,06)) \\
&= 28,89 \\
V_{32} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 28,73) + (0,66667 \cdot 35,17)) \\
&+ (0,16855444 \cdot 42,31)) \\
&= 35,33 \\
V_{22} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 35,17) + (0,66667 \cdot 42,31)) \\
&+ (0,16855444 \cdot 50,05)) \\
&= 42,45 \\
V_{12} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 42,31) + (0,66667 \cdot 50,02)) \\
&+ (0,16855444 \cdot 58,29)) \\
&= 50,18 \\
V_{02} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 50,02) + (0,66667 \cdot 58,29)) \\
&+ (0,16855444 \cdot 66,90)) \\
&= 58,40
\end{aligned}$$

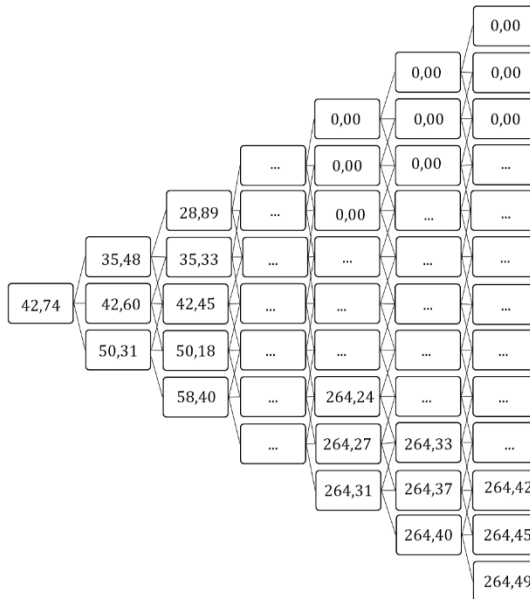
perhitungan untuk periode $i = 1$ yaitu:

$$\begin{aligned} V_{21} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 28,89) + (0,66667 \cdot 35,33)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 42,45)) \\ &= 35,48 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{11} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 35,33) + (0,66667 \cdot 42,45)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 50,18)) \\ &= 42,60 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{01} &= 0,9998((0,16477889 \cdot 42,45) + (0,66667 \cdot 50,18)) \\ &\quad + (0,16855444 \cdot 58,40)) \\ &= 50,31 \end{aligned}$$

Adapun harga masing-masing periode yang telah diperoleh dari perhitungan diatas ditampilkan dalam bentuk pohon trinomial sebagai berikut:



Gambar 4.12. Nilai Opsi *Put* Eropa dengan Dividen 3 bulan

Untuk perhitungan nilai opsi secara lengkap pada setiap periode dapat dilihat pada lampiran. Hasil tersebut merupakan hasil perhitungan opsi *put* menggunakan metode trinomial tanpa pembagian dividen dengan periode $N = 100$.

Jadi, harga opsi saham AAPL dengan $S_0 = 246,75$, $K = 265$, $T = 0,444$ diperoleh harga opsi 42,74. Dengan cara yang sama ditentukan harga opsi dari saham MSFT, AON, IBM, dan META harga saham tersebut disajikan dalam tabel berikut:

$$T = 0,444$$

Tabel 4.7. Perhitungan Opsi *put* dengan Dividen 3 bulan

kode saham	S0	K	D	Volatilitas	C	C aktual	MAPE
AAPL	246,75	265	0,23	0,53498307	42,74	57,65	0,258629662
MSFT	374,39	460	0,6525	0,47351728	98,92	94,60	0,045665962
AON	368,83	440	0,6167	0,38193252	80,23	74,50	0,076912752
IBM	245,48	290	1,66	0,40426685	52,9	62,40	0,15224359
META	520,27	605	0,5125	0,80427348	157,59	122,55	0,285924113
Rata-rata MAPE							16,39%

B. Pembahasan

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data harga saham penutupan harian Apple Inc (AAPL) periode 10 Desember 2020 hingga 9 Desember 2024 sebanyak 1006 data. Berdasarkan data yang diperoleh, harga saham awal adalah 246,75 yang didapat dari situs yahoo finance. Selanjutnya, data yang telah diambil akan diproses untuk mendapatkan nilai yang diperlukan dalam perhitungan berikutnya. Suku bunga Bank Amerika yaitu sebesar 4,58%. Nilai yang diperlukan meliputi nilai return dari harga saham. *Return* dari harga saham ini digunakan untuk mengetahui seberapa besar tingkat pengembalian harga saham selama periode perdagangan dan juga untuk memperkirakan keuntungan di masa mendatang. Selanjutnya, mencari nilai ekspektasi untuk return harga saham

sebagai parameter untuk menghitung nilai volatilitas, di mana nilai ekspektasi return yang di dapat adalah 0,000832139. Setelah nilai ekspektasi return diketahui, langkah berikutnya adalah menghitung nilai volatilitas return diperoleh nilai 0,5349830746. Nilai volatilitas dapat mengukur fluktuasi atau besar kecilnya pergerakan harga saham yang berlangsung dalam perdagangan. Nilai yang perlu ditentukan lainnya adalah $\Delta t = 0,00444$. Nilai yang diperoleh ini berguna untuk menghitung parameter yang diperlukan dalam metode trinomial.

Setelah semua nilai pada pembahasan diperoleh, selanjutnya simulasi harga saham dengan tanggal jatuh tempo $T = 0,444$ menggunakan model trinomial. Parameter yang digunakan untuk membangun kemungkinan harga saham tersebut adalah u, d, p_u dan p_d . Interval waktu yang digunakan adalah $\Delta t = 0,00444$ sehingga nilai $u = 1,063690$ dan $d = 0,940124$. Dengan seluruh parameter yang diperlukan telah tersedia, tahap berikutnya melibatkan komputasi harga saham pada setiap interval waktu menggunakan harga saham awal S_0 sebesar \$246,75. Nilai ini kemudian dikalikan secara bergantian dengan faktor kenaikan dan penurunan yang telah ditentukan, menghasilkan matriks harga saham yang menggambarkan seluruh kemungkinan lintasan harga sepanjang periode analisis. Visualisasi hasil perhitungan ini secara lengkap disajikan gambar 4.2, yang merekan evolusi harga saham pada berbagai skenario pasar. Tujuan perhitungan ini adalah untuk dibandingkan dengan harga saham yang diasumsikan akan ada pembagian dividen.

Mengingat adanya asumsi pembagian dividen dalam model, tahap krusial berikutnya melibatkan penentuan besaran dividen dan waktu pembayarannya. Penelitian ini menggunakan nilai dividen sebesar \$0,23 per saham dengan dua skenario waktu ex-dividen berbeda, yaitu 2,25 bulan dan 3 bulan. Pemilihan dua

variasi waktu pembayaran ini secara khusus dirancang untuk menganalisis sensitivitas harga saham terhadap waktu distribusi dividen, sekaligus mengukur dampak temporal kebijakan dividen terhadap valuasi sekuritas.

Proses perhitungan opsi Eropa yang mengakomodasi pembagian dividen diawal dengan transformasi harga saham awal menjadi nilai terseusaiakan, tahap awal dalam penelitian ini melibatkan penentuan nilai saham untuk setiap periode dengan mempertimbangkan asumsi pembayaran dividen yang telah ditetapkan sebelumnya. Proses ini diawali dengan transformasi harga saham awal (S_0) menjadi nilai yang tersesuaian S_0^* , yang menjadi dasar perhitungan selanjutnya. Pada node sebelum tanggal *ex-dividen*, nilai S_0 dikoreksi dengan menambahkan *present value* dari dividen D , mencerminkan ekspektasi pasar terhadap pembayaran dividen yang akan datang. Sementara itu, node setelah tanggal *ex-dividen* menggunakan nilai S_0^* tanpa penyesuaian, karena dampak dividen telah tercermin dalam harga saham.

Implementasi model ini menghasilkan dua skenario berdasarkan waktu pembayaran dividen. Gambar 4.4 mengilustrasikan pola harga saham ketika dividen dibayarkan 2,25 bulan, sementara Gambar 4.6 menunjukkan hasil untuk pembayaran dividen 3 bulan.

Perhitungan harga saham menunjukkan adanya perbedaan antara skenario tanpa pembagian dividen dan dengan asumsi pembagian dividen. Untuk setiap cabangnya, harga saham tanpa dividen terlihat lebih tinggi dibandingkan harga saham setelah terdapat asumsi pembagian dividen. Hal ini dapat dibandingkan pada hasil yang telah diperoleh yakni gambar 4.2 berbanding dengan gambar 4.4 atau gambar 4.6.

Setelah harga saham di setiap periode diperoleh dengan asumsi pembagian dividen, langkah berikutnya adalah melakukan perhitungan mundur atau backward hingga mencapai waktu ke-

nol. Hal ini bertujuan untuk menemukan hasil opsi dengan menerapkan persamaan (2.35). Karena dalam penelitian ini yang dihitung adalah opsi Eropa, maka nilai di setiap node atau percabangan pohon trinomial yang sudah didapatkan tidak perlu dibandingkan antara pengurangan harga saham dengan harga kesepakatan untuk opsi *call*, atau harga kesepakatan dikurangkan harga saham untuk opsi *put*. Sehingga perhitungan opsi *call* dan opsi *put* dapat dilakukan menggunakan persamaan (2.35).

Dengan parameter yang telah ditentukan yaitu parameter u, d, p_u, p_m dan p_d , persamaan (2.35) dan juga *strike price* yang telah ditentukan, maka nilai opsi untuk masing-masing penetapan waktu pembagian dividen dapat ditentukan. Akibatnya, nilai opsi Eropa dengan metode trinomial yang terdapat asumsi pembagian dividen sebesar $D = 0,23$ yang dibagikan saat 2,25 bulan, berdasarkan perhitungan memberikan hasil nilai opsi *call* sebesar 73,284818 dan hasil nilai opsi *put* sebesar 42,738042 pada saham AAPL, hasil nilai opsi *call* sebesar 96,76 dan hasil nilai opsi *put* sebesar 98,92 pada saham MSFT, hasil nilai opsi *call* sebesar 124,55 dan hasil nilai opsi *put* 74,50 pada saham AON, hasil nilai opsi *call* 83,60 dan hasil nilai opsi *put* sebesar 52,90 pada saham IBM dan juga hasil nilai opsi *call* sebesar 208,03 dan hasil nilai opsi *put* sebesar 157,59 pada saham META. Begitu pula untuk asumsi pembagian dividen yang dibagikan saat 3 bulan berdasarkan perhitungan memberikan hasil nilai opsi *call* sebesar 73,285381 dan hasil nilai opsi *put* sebesar 42,737703, hasil nilai opsi *call* sebesar 96,76 dan hasil nilai opsi *put* sebesar 98,92 pada saham MSFT, hasil nilai opsi *call* sebesar 125 dan hasil nilai opsi *put* sebesar 80,60 dan hasil nilai opsi *put* sebesar 52,90 pada saham IBM dan juga hasil nilai opsi *call* sebesar 208,03 dan hasil nilai opsi *put* sebesar 157,59 pada saham META. Simulasi dengan menggunakan dua jenis waktu pembagian dividen ini menunjukkan bahwa untuk nilai opsi *call*, nilai opsi akan semakin besar seiring dengan jarak

ex-dividen semakin jauh dari periode ke-nol. Di sisi lain, opsi *put* justru berlaku sebaliknya. Pada opsi *put*, nilai opsi akan semakin kecil seiring dengan jarak *ex-dividen* semakin jauh dari periode ke-nol.

Pada penelitian ini, metode trinomial dengan pembagian dividen juga diterapkan kepada lima saham dengan periode dan jatuh tempo yang sama yaitu $T = 0,444$, namun untuk sahamnya berbeda. Data yang diambil pada tanggal 24 April 2025 dengan periode $N = 100$. Berdasarkan perhitungan MAPE dari lima saham yang diteliti, dapat disimpulkan bahwa model yang digunakan untuk memprediksi harga opsi memiliki tingkat akurasi yang berbeda-beda. Pada opsi *call* dengan pembagian dividen 2,25 bulan memiliki rata-rata error mencapai 17,42% (kategori baik), opsi *put* dengan pembagian dividen 2,25 bulan memiliki rata-rata error mencapai 16,15% (kategori baik). Begitupun pada hasil opsi *call* dengan pembagian dividen 3 bulan memiliki rata-rata error mencapai 17,50% (kategori baik) dan pada opsi *put* dengan pembagian dividen 3 bulan memiliki rata-rata error mencapai 16,39% (kategori baik). Saham AON menunjukkan hasil terbaik dengan MAPE 7,03% (kategori sangat baik) diikuti oleh saham MSFT yang memiliki MAPE 9,12% (kategori sangat baik) menandakan bahwa prediksinya cukup tepat. Di sisi lain, saham AAPL, IBM dan META memiliki MAPE yang lebih tinggi dari 14% dengan saham AAPL dengan MAPE tertinggi yaitu 21,33% berada dalam kategori peramalan cukup baik menunjukkan bahwa model masih dapat dioptimalkan, sehingga pada penelitian ini hasil MAPE terkecil yaitu pada opsi *put* pada pembagian dividen 2,25 bulan.

Beberapa faktor yang menyebabkan perbedaan dalam akurasi prediksi saham antara yang satu dengan yang lainnya meliputi tingkat volatilitas serta jumlah dividen yang diterima. Saham dengan volatilitas yang tinggi, seperti META (volatilitas $= 0,80$), cenderung menghasilkan nilai MAPE yang lebih besar yang menunjukkan bahwa model tidak begitu baik dalam

mengatasi perubahan harga yang sangat besar. Demikian pula pada saham yang memberikan dividen tinggi seperti IBM ($D = 1,66$) memperlihatkan hasil prediksi yang kurang tepat, yang menunjukkan bahwa faktor dividen harus mempertimbangkan lebih hati-hati dalam model. Secara keseluruhan, dengan hasil MAPE 17,42% (kategori baik) untuk opsi *call* dengan pembagian dividen 2,25 bulan, 16,15% (kategori baik) untuk opsi *put* dengan pembagian dividen 2,25 bulan, 17,50% (kategori baik) untuk opsi *call* dengan pembagian dividen 3 bulan dan 16,39% (kategori baik) untuk opsi *put* dengan pembagian dividen 3 bulan, model ini telah memenuhi standar dasar prediksi harga opsi dan memberikan dasar yang kuat untuk mengembangkan metode yang lebih tepat dan fleksibel di masa mendatang.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Penelitian ini menggunakan metode trinomial untuk menilai opsi Eropa dengan mempertimbangkan dividen yang dibagikan pada dua waktu yang berbeda yaitu pada saat 2,25 bulan dan pada saat 3 bulan. Hasil perhitungan harga opsi tipe Eropa menggunakan metode trinomial dengan pembagian dividen, sebagai berikut :

Saham	Opsi <i>call</i> (2,25 bulan)	Opsi <i>put</i> (2,25 bulan)	Opsi <i>call</i> (3 bulan)	Opsi <i>put</i> (3 bulan)
AAPL	73,28	42,74	73,29	42,74
MSFT	96,76	98,92	96,76	98,92
AON	124,55	79,36	125	80,23
IBM	83,6	52,9	83,6	52,9
META	208,03	157,59	208,03	157,59
Rata-rata MAPE	17,42%	16,15%	17,50%	16,39%

Hasil analisis menunjukkan bahwa pembagian dividen mempengaruhi nilai opsi, dimana opsi *call* cenderung naik dan *put* cenderung turun seiring semakin jauhnya waktu *ex-dividen*. Perbedaan waktu pembayaran dividen 2,25 bulan dan 3 bulan memberikan pengaruh minimal terhadap harga opsi karena selisi waktu yang pendek yaitu 0,75 bulan dan nilai dividen yang relatif kecil, sehingga diskonto dividen yang diterapkan hampir sama.

Metode trinomial menunjukkan akurasi tinggi dalam memprediksi harga opsi dengan MAPE 16,15% – 17,50% untuk semua skenario pembagian dividen, baik pada saat 2,25 bulan dan pada saat 3 bulan, baik untuk opsi *call* maupun opsi *put*, yang membuktikan kehandalannya dalam

memperhitungkan faktor dividen. Secara keseluruhan hasil perhitungan menunjukkan nilai MAPE yang kecil. Hal ini menunjukkan bahwa model trinomial dengan mempertimbangkan pembagian dividen mendekati harga opsi aktual.

B. Saran

Penelitian ini menggunakan pendekatan trinomial dengan dua simulasi waktu pembayaran dividen yang berbeda dengan besaran dividen yang sama. Dengan demikian, peneliti berharap penelitian di masa depan dapat menerapkan metode trinomial dengan jenis opsi yang berbeda yaitu opsi Amerika dengan simulasi waktu yang berbeda untuk dibandingkan dengan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvonita, M., Lestari, R. (2016). PENENTUAN HARGA OPSI CALL TIPE EROPA MENGGUNAKAN METODE TRINOMIAL. *Jurnal Matematika UNAD*. 5(1).
- Andriyani, Istri Rumi. 2014. *Penentuan Nilai Opsi Saham Tipe Eropa Dengan Pembagian Dividen Menggunakan Constant Elasticity Of Variance (CEV)*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta.e
- Astutik, Y.S. (2012). Penentuan Harga Opsi Call Eropa dan Opsi Put Eropa dengan Metode Simulasi Monte Carlo Menggunakan Software R. *CENTER, Civil and Electrical Engineering Journal*. 7(2).
- Bodie, Z., Kane, A., and Marcus, A.J. (2019). *Dasar-dasar Investasi*. Edisi 4. Edited by Catur Sasongko, Nanda Ayu Wijayanti, dan Iis Istiah. Jakarta: Salemba Empat.
- Bodie, Zvi., Alex, dan Marcus, Alan. (2002). *Kinvestments*. New York: McGraw-Hill.
- Björrefeldt, J., Hee, D., Malmgård, E., Niklasson, V., Pettersson, T., S Rados, J. (2016). *The Trinomial Asset Pricing Model*.
- Cox, J.C. (1979). Option Pricing: A Simplified Approach. *Journal of Finance Economics*.
- Devaki, A. (2017). Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Return Saham Pada Perusahaan LQ45 di Bursa Efek Indonesia. *Jurnal Benefita*, 2, pp. 167-178.
- Dick, J.B. (2016). *The Trinomial Asset Pricing Model*.
- Hadi, N. (2015). *Pasar Modal*. Edisi 2. Yogyakarta: GRAHA ILMU.

- Hidayat, T. (2010). *Buku Pintar Investasi Reksadana, Saham, Opsi Saham, Valas & Emas*. Jakarta: Mediakita.
- Hull, J.C. (2012). *OPTIONS, FUTURES, AND OTHER DERIVATIVES Maple Financial Group Professor of Derivatives and Risk Management*. 8th edition. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Hull, J.C. (2017). *Option, Futures, and Other Derivatives*. 9th edition. Boston: Pearson Education.
- Hull, J.C. (2018). *Option, Futures, and Other Derivatives*. 10th edition. Boston: Pearson Education.
- Hull, J.C. (2023). *Option, Futures, and Other Derivatives*. 11th edition. Boston: Pearson Education.
- Iqrami, A.I., Nainggolan, N., dan Manurung, T. (2024). Metode Black-Scholes Dalam Menghitung Harga Opsi Asis (Studi Kasus Pada HMS Holdings Corp.). *Jurnal Matematika dan Aplikasi*. 10. 64-68.
- Jalaludin, Paiz., Rahman, Alrafiful., Nuraini, Ani., S Amigo, Royyan. (2024). Perhitungan Harga Opsi Eropa Dengan Metode Trinomial Pada Perusahaan Mitsubishi. *JURNAL LENTERA AKUNTANSI*, 9(1), 116-124.
- Joshi, M. S. (2008). *The Concepts and Practice of Mathematical Finance*. Cambridge University Press.
- Kiprotich Langat, K., Ivivi Mwaniki, J., and Korir Kiprop, G. (2019). Pricing Option Using Trinomial Lattice Method. *Journal of Finance and Economics*. 7(3). 81-87.
- Larasati, D.R. (2018). *PENENTUAN HARGA OPSI EROPA MENGGUNAKAN METODE TRINOMIAL DENGAN VOLATILITAS MENGGUNAKAN METODE MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION (MLE)*. Universitas islam Negeri Alauddin Makassar.

- Maulida, V., Siswanah, E., dan Nisa, E.K. (2019). Penentuan Harga Opsi Tipe Eropa dengan Model Binomial. *Square: Journal of Mathematics and Mathematics Education*. 1(1). 65.
- McDonald, R. L. (2013). *Derivatives Markets*. 3th edition. Pearson (Chapter 2: An Introduction to Forwards and Option).
- Nabillah, I. dan Ranggadara, I. (2020) Mean Absolute Percentage Error untuk Evaluasi Hasil Prediksi Komoditas Laut. *JOINS (Jpurnal of Information System*. 5(2). 250-255.
- Neftci, S. N. (2000). *An Introduction to the Mathematics of Financial Derivatives*. Academic Press.
- Nissa, Q., Satyahadewi, N., dan Perdana Intisari, H. (2020). PENENTUAN HARGA OPSI BELI TIPE EROPA MENGGUNAKAN METODE TRINOMIAL. *Buletin Ilmiah Math, Stat, dan Terapannya (Bimaster)*.
- Purwandari, D. (2016). Penentuan Nilai Opsi Call Eropa Dengan Pembayaran Dividen. 5(2). 143-151.
- Puspita, E., Agustina, F., dan Sispiyanti, R. (2013). Convergence Numerically of Trinomial Model in European Option Pricing European Options. *International Seminar on Mathematics, Science, and Computer Science Education*. 195-201.
- Rahman, A. (2010). *Model Black Scholes Put-Call Parity Harga Opsi Tipe Eropa Dengan Pembagian Dividen*. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Salaman. (2019). *PENENTUAN NILAI OPSI SAHAM TIPE AMERIKA MENGGUNAKAN METODE BINOMIAL TREE DENGAN PEMBAGIAN DIVIDEN*. Universitas Islam

Negeri Alauddin Makassar.

- Shreve, S.E. (2004). *Stochastics Calculus for Finance II: Continuous-Time Models*. Springer.
- Simorangkir, R.T.M.C. (2019). Pengaruh Kinerja Keuangan Terhadap Return Saham Perusahaan Pertambangan. *Jurnal Bisnis dan Akuntansi*. 2(1). 155-164.
- Sutarno. (2014). Valuasi Compoud Option Put On Put Tipe Eropa. *JURNAL GAUSSIAN*. 21. 509-518.
- Tripena, A., dan Martini, Y. (2024). Pernentuan Harga Saham Tipe Eropa Menggunakan Metode Black Schole Dengan Pembagian Dividen. *ULIL ALBAB: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*. 3(2). 351-366.
- Vivas, E., Allende-Cid, H., and Salas, R. (2020). A Systematic Review of Statistical and Machine Learning Methods for Electrical Power Forecasting With Reported MAPE Score. *Entropy*. MDPI AG. 1-24.
- Wahyuni, W., dan Ekawati, D. (2024). Perbandingan Harga Opsi Put Tipe Eropa Menggunakan Metode Binomial dan Trinomial. *Jurnal Sains Matematika dan Statistika*. 10(1). 85.
- Wilmott, P. (2006). *Paul Wilmott on Quantitative Finance*. Wiley.

LAMPIRAN

Lampiran 1

Data Harga Saham Apple Inc (AAPL)
periode 10 Desember 2020 – 9 Desember 2024

Date	Close	Return Saham
12/10/20	123,24	0
12/11/20	122,41	- 0,006734826
12/14/20	121,78	- 0,005146638
12/15/20	127,88	0,050090327
12/16/20	127,81	- 0,000547388
12/17/20	128,70	0,006963461
12/18/20	126,66	- 0,015850816
12/21/20	128,23	0,012395389
12/22/20	131,88	0,028464478
12/23/20	130,96	- 0,006976039
12/24/20	131,97	0,007712279
12/28/20	136,69	0,035765704
12/29/20	134,87	-0,0133148
12/30/20	133,72	- 0,008526729
12/31/20	132,69	- 0,007702662
01/04/21	129,41	-0,02471927
01/05/21	131,01	0,012363805
01/06/21	126,60	- 0,033661553
01/07/21	130,92	0,034123223
01/08/21	132,05	0,008631225
01/11/21	128,98	- 0,023248769
01/12/21	128,80	- 0,001395565
01/13/21	130,89	0,016226708

Date	Close	Return Saham
01/14/21	128,91	- 0,015127206
01/15/21	127,14	-0,01373051
01/19/21	127,83	0,005427088
01/20/21	132,03	0,032856137
01/21/21	136,87	0,036658335
01/22/21	139,07	0,016073647
01/25/21	142,92	0,0276839
01/26/21	143,16	0,001679261
01/27/21	142,06	- 0,007683711
01/28/21	137,09	- 0,034985218
01/29/21	131,96	- 0,037420673
02/01/21	134,14	0,016520158
02/02/21	134,99	0,006336663
02/03/21	133,94	- 0,007778354
02/04/21	137,39	0,025757802
02/05/21	dividen = 0,21	
02/05/21	136,76	- 0,004585487
02/08/21	136,91	0,001096812
02/09/21	136,01	- 0,006573662
02/10/21	135,39	- 0,004558488
02/11/21	135,13	- 0,001920378
02/12/21	135,37	0,001776067
02/16/21	133,19	- 0,016104011

Date	Close	Return Saham
02/17/21	130,84	- 0,017643967
02/18/21	129,71	- 0,008636503
02/19/21	129,87	0,001233521
02/22/21	126,00	-0,02979903
02/23/21	125,86	- 0,001111111
02/24/21	125,35	- 0,004052121
:		
09/30/24	233,00	0,022871943
10/01/24	226,21	- 0,029141631
10/02/24	226,78	0,002519783
10/03/24	225,67	- 0,004894612
10/04/24	226,80	0,005007312
10/07/24	221,69	- 0,022530864
10/08/24	225,77	0,018404078
10/09/24	229,54	0,01669841
10/10/24	229,04	-0,00217827
10/11/24	227,55	- 0,006505414
10/14/24	231,30	0,016479895
10/15/24	233,85	0,011024643
10/16/24	231,78	- 0,008851828
10/17/24	232,15	0,001596341
10/18/24	235,00	0,012276545
10/21/24	236,48	0,006297872
10/22/24	235,86	- 0,002621786
10/23/24	230,76	- 0,021622997
10/24/24	230,57	- 0,000823366
10/25/24	231,41	0,003643145
10/28/24	233,40	0,008599456
10/29/24	233,67	0,001156812

Date	Close	Return Saham
10/30/24	230,10	- 0,015277956
10/31/24	225,91	- 0,018209474
11/01/24	222,91	- 0,013279625
11/04/24	222,01	- 0,004037504
11/05/24	223,45	0,006486194
11/06/24	222,72	-0,00326695
11/07/24	227,48	0,021372126
11/08/24	dividen = 0,25	
11/08/24	226,96	- 0,002285915
11/11/24	224,23	- 0,012028551
11/12/24	224,23	0
11/13/24	225,12	0,003969139
11/14/24	228,22	0,013770434
11/15/24	225,00	- 0,014109193
11/18/24	228,02	0,013422222
11/19/24	228,28	0,001140251
11/20/24	229,00	0,003154021
11/21/24	228,52	-0,00209607
11/22/24	229,87	0,005907579
11/25/24	232,87	0,013050855
11/26/24	235,06	0,009404389
11/27/24	234,93	-0,00055305
11/29/24	237,33	0,010215809
12/02/24	239,59	0,009522606
12/03/24	242,65	0,012771819
12/04/24	243,01	0,001483618
12/05/24	243,04	0,000123452
12/06/24	242,84	-0,00082291
12/09/24	246,75	0,016101137

Lampiran 2

Perhitungan Harga Saham Tanpa Dividen

Perhitungan harga saham pada setiap node pohon trinomial tanpa dividen dapat dihitung sebagai berikut:

Jika $S_0 = 246,75$

$$S_{00} = S_0 u^0 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^0 = 246,75$$

$$S_{21} = S_0 u^2 d^1 = 246,75 \cdot 1,063690^2 \cdot 0,940124 = 261,75$$

$$S_{11} = S_0 u^0 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^0 = 246,75$$

$$S_{01} = S_0 u^0 d^1 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^1 = 231,47$$

$$S_{42} = S_0 u^2 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^2 \cdot 0,940124^0 = 279,18$$

$$S_{32} = S_0 u^1 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^1 \cdot 0,940124^0 = 262,75$$

$$S_{22} = S_0 u^0 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^0 = 246,75$$

$$S_{12} = S_0 u^0 d^1 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^1 = 231,98$$

$$S_{02} = S_0 u^0 d^2 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^2 = 218,09$$

$$S_{63} = S_0 u^3 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^3 \cdot 0,940124^0 = 296,96$$

$$S_{53} = S_0 u^2 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^2 \cdot 0,940124^0 = 279,18$$

$$S_{43} = S_0 u^1 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^1 \cdot 0,940124^0 = 262,47$$

$$S_{33} = S_0 u^0 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^0 = 246,75$$

$$S_{23} = S_0 u^0 d^1 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^1 = 231,98$$

$$S_{13} = S_0 u^0 d^2 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^2 = 218,09$$

$$S_{03} = S_0 u^0 d^3 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^3 = 205,03$$

$$S_{84} = S_0 u^4 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^4 \cdot 0,940124^0 = 315,88$$

$$S_{74} = S_0 u^3 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^3 \cdot 0,940124^0 = 296,96$$

$$S_{64} = S_0 u^2 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^2 \cdot 0,940124^0 = 279,18$$

$$S_{54} = S_0 u^1 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^1 \cdot 0,940124^0 = 262,47$$

$$S_{44} = S_0 u^0 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^0 = 246,75$$

$$S_{34} = S_0 u^0 d^1 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^1 = 231,98$$

$$S_{24} = S_0 u^0 d^2 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^2 = 218,09$$

$$S_{14} = S_0 u^0 d^3 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^3 = 205,03$$

$$S_{04} = S_0 u^0 d^4 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^4 = 192,75$$

$$S_{105} = S_0 u^5 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^5 \cdot 0,940124^0 = 335,99$$

$$S_{95} = S_0 u^4 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^4 \cdot 0,940124^0 = 315,88$$

$$S_{85} = S_0 u^3 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^3 \cdot 0,940124^0 = 296,96$$

$$S_{75} = S_0 u^2 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^2 \cdot 0,940124^0 = 279,18$$

$$\begin{aligned}
S_{65} &= S_0 u^1 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^1 \cdot 0,940124^0 = 262,47 \\
S_{55} &= S_0 u^0 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^0 = 246,75 \\
S_{45} &= S_0 u^0 d^1 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^1 = 231,98 \\
S_{35} &= S_0 u^0 d^2 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^2 = 218,09 \\
S_{25} &= S_0 u^0 d^3 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^3 = 205,03 \\
S_{15} &= S_0 u^0 d^4 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^4 = 192,75 \\
S_{05} &= S_0 u^0 d^1 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^5 = 181,21 \\
S_{126} &= S_0 u^6 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^6 \cdot 0,940124^0 = 357,39 \\
S_{116} &= S_0 u^5 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^5 \cdot 0,940124^0 = 335,99 \\
S_{106} &= S_0 u^4 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^4 \cdot 0,940124^0 = 315,88 \\
S_{96} &= S_0 u^3 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^3 \cdot 0,940124^0 = 296,96 \\
S_{86} &= S_0 u^2 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^2 \cdot 0,940124^0 = 279,18 \\
S_{76} &= S_0 u^1 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^1 \cdot 0,940124^0 = 262,47 \\
S_{66} &= S_0 u^0 d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^0 = 246,75 \\
S_{56} &= S_0 u^0 d^1 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^1 = 231,98 \\
S_{46} &= S_0 u^0 d^2 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^2 = 218,09 \\
S_{36} &= S_0 u^0 d^3 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^3 = 205,03 \\
S_{26} &= S_0 u^0 d^4 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^4 = 192,75 \\
S_{16} &= S_0 u^0 d^5 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^5 = 181,21 \\
S_{06} &= S_0 u^0 d^6 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 170,36 \\
&\vdots \\
S_{196\ 98} &= S_0 u^{98} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 104740 \\
S_{195\ 98} &= S_0 u^{97} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 98470 \\
S_{194\ 98} &= S_0 u^{96} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 92574 \\
&\vdots \\
S_{2\ 98} &= S_0 u^0 d^{96} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,6577 \\
S_{1\ 98} &= S_0 u^0 d^{97} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,61832 \\
S_{0\ 98} &= S_0 u^0 d^{98} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,58129 \\
S_{198\ 99} &= S_0 u^{99} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 111410 \\
S_{197\ 99} &= S_0 u^{98} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 104740 \\
S_{196\ 99} &= S_0 u^{97} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 98470 \\
&\vdots \\
S_{2\ 99} &= S_0 u^0 d^{97} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,61832 \\
S_{1\ 99} &= S_0 u^0 d^{98} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,58129 \\
S_{0\ 99} &= S_0 u^0 d^{99} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,54649 \\
S_{200\ 100} &= S_0 u^{100} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 118510 \\
S_{199\ 100} &= S_0 u^{99} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 111410
\end{aligned}$$

$$S_{198\ 100} = S_0 u^{98} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 104740$$

⋮

$$S_{2\ 100} = S_0 u^0 d^{98} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,58129$$

$$S_{1\ 100} = S_0 u^0 d^{99} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,54649$$

$$S_{0\ 100} = S_0 u^0 d^{100} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,51377$$

Lampiran 3

Perhitungan Harga Saham dengan Dividen 2,25 bulan

Perhitungan secara lengkap dapat dihitung sebagai berikut:

Untuk $i\Delta t = 1$, maka:

$$PV(0,23) = 0,23e^{-0,0458(0,1875-0,060274)}$$

$$PV(0,23) = 0,228664$$

Sehingga harga saham pada setiap periode pertama dapat dihitung sebagai berikut:

$$S_{21}^* + PV(D) = 246,522 \cdot 1,063690^1 \cdot 0,940124^0 + 0,228664 = 262,45$$

$$S_{11}^* + PV(D) = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^0 + 0,228664 = 246,75$$

$$S_{01}^* + PV(D) = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^1 + 0,228664 = 231,99$$

Untuk $i\Delta t = 2$, maka:

$$PV(0,23) = 0,23e^{-0,0458(0,1875-0,14521)}$$

$$PV(0,23) = 0,228899$$

Sehingga harga saham pada setiap periode pertama dapat dihitung sebagai berikut:

$$S_{42}^* + PV(D) = 246,522 \cdot 1,063690^2 \cdot 0,940124^0 + 0,229555 = 279,15$$

$$S_{32}^* + PV(D) = 246,522 \cdot 1,063690^1 \cdot 0,940124^0 + 0,229555 = 262,45$$

$$S_{22}^* + PV(D) = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^0 + 0,229555 = 246,75$$

$$S_{12}^* + PV(D) = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^1 + 0,229555 = 131,99$$

$$S_{02}^* + PV(D) = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^2 + 0,229555 = 218,11$$

Langkah ke-3 hingga langkah ke-6 ditambahkan $PV(D)$ maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$S_{63}^* = S_0^* u^3 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^3 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 296,92$$

$$S_{53}^* = S_0^* u^2 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^2 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 279,15$$

$$S_{43}^* = S_0^* u^1 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^1 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 262,45$$

$$S_{33}^* = S_0^* u^0 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 246,75$$

$$S_{23}^* = S_0^* u^0 d^1 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^1 + PV(D) = 231,99$$

$$S_{13}^* = S_0^* u^0 d^2 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^2 + PV(D) = 218,11$$

$$S_{03}^* = S_0^* u^0 d^3 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^3 + PV(D) = 205,07$$

$$S_{84}^* = S_0^* u^4 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^4 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 315,81$$

$$S_{74}^* = S_0^* u^3 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^3 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 296,92$$

$$S_{64}^* = S_0^* u^2 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^2 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 279,15$$

$$\begin{aligned}
S_{54}^* &= S_0^* u^1 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^1 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 262,45 \\
S_{44}^* &= S_0^* u^0 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 246,75 \\
S_{34}^* &= S_0^* u^0 d^1 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^1 + PV(D) = 231,99 \\
S_{24}^* &= S_0^* u^0 d^2 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^2 + PV(D) = 218,11 \\
S_{14}^* &= S_0^* u^0 d^3 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^3 + PV(D) = 205,07 \\
S_{04}^* &= S_0^* u^0 d^4 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^4 + PV(D) = 198,80 \\
S_{105}^* &= S_0^* u^5 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^5 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 335,91 \\
S_{95}^* &= S_0^* u^4 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^4 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 315,81 \\
S_{85}^* &= S_0^* u^3 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^3 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 296,92 \\
S_{75}^* &= S_0^* u^2 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^2 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 279,15 \\
S_{65}^* &= S_0^* u^1 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^1 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 262,46 \\
S_{55}^* &= S_0^* u^0 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 246,75 \\
S_{45}^* &= S_0^* u^0 d^1 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^1 + PV(D) = 231,99 \\
S_{35}^* &= S_0^* u^0 d^2 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^2 + PV(D) = 218,11 \\
S_{25}^* &= S_0^* u^0 d^3 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^3 + PV(D) = 205,07 \\
S_{15}^* &= S_0^* u^0 d^4 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^4 + PV(D) = 192,80 \\
S_{05}^* &= S_0^* u^0 d^1 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^5 + PV(D) = 181,27 \\
S_{126}^* &= S_0^* u^6 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^6 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 357,29 \\
S_{116}^* &= S_0^* u^5 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^5 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 335,91 \\
S_{106}^* &= S_0^* u^4 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^4 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 315,81 \\
S_{96}^* &= S_0^* u^3 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^3 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 296,92 \\
S_{86}^* &= S_0^* u^2 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^2 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 279,15 \\
S_{76}^* &= S_0^* u^1 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^1 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 262,45 \\
S_{66}^* &= S_0^* u^0 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 246,75 \\
S_{56}^* &= S_0^* u^0 d^1 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^1 + PV(D) = 231,99 \\
S_{46}^* &= S_0^* u^0 d^2 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^2 + PV(D) = 218,11 \\
S_{36}^* &= S_0^* u^0 d^3 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^3 + PV(D) = 205,07 \\
S_{26}^* &= S_0^* u^0 d^4 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^4 + PV(D) = 192,80 \\
S_{16}^* &= S_0^* u^0 d^5 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^5 + PV(D) = 181,27 \\
S_{06}^* &= S_0^* u^0 d^6 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 + PV(D) = 170,43
\end{aligned}$$

Langkah ke-98 hingga langkah ke-100 nilai $\tau > i\Delta t$ maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
S_{196\ 98}^* &= S_0^* u^{98} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 104640 \\
S_{195\ 98}^* &= S_0^* u^{97} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 98377 \\
S_{194\ 98}^* &= S_0^* u^{96} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 92487 \\
&\vdots \\
S_{2\ 98}^* &= S_0^* u^0 d^{96} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,65708 \\
S_{1\ 98}^* &= S_0^* u^0 d^{97} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,61773 \\
S_{0\ 98}^* &= S_0^* u^0 d^{98} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,58075 \\
S_{198\ 99}^* &= S_0^* u^{99} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 111310 \\
S_{197\ 99}^* &= S_0^* u^{98} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 104640 \\
S_{196\ 99}^* &= S_0^* u^{97} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 98377 \\
&\vdots \\
S_{2\ 99}^* &= S_0^* u^0 d^{97} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,61773
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{1\ 99}^* &= S_0^* u^0 d^{98} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,58075 \\
S_{0\ 99}^* &= S_0^* u^0 d^{99} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,54597 \\
S_{200\ 100}^* &= S_0^* u^{100} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 118410 \\
S_{199\ 100}^* &= S_0^* u^{99} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 111310 \\
S_{198\ 100}^* &= S_0^* u^{98} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 104640 \\
&\vdots \\
S_{2\ 100}^* &= S_0^* u^0 d^{98} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,58074 \\
S_{1\ 100}^* &= S_0^* u^0 d^{99} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,54597 \\
S_{0\ 100}^* &= S_0^* u^0 d^{100} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,51328
\end{aligned}$$

Lampiran 4

Perhitungan Harga Saham dengan Dividen 3 bulan

Perhitungan secara lengkap dapat dihitung sebagai berikut:

Untuk $i\Delta t = 1$, maka:

$$PV(0,23) = 0,23e^{-0,0458(0,2-0,060274)}$$

$$PV(0,23) = 0,22801$$

Sehingga harga saham pada setiap periode pertama dapat dihitung sebagai berikut:

$$S_{21}^* + PV(D) = 246,522 \cdot 1,063690^1 \cdot 0,940124^0 + 0,228664 = 262,45$$

$$S_{11}^* + PV(D) = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^0 + 0,228664 = 246,75$$

$$S_{01}^* + PV(D) = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^1 + 0,228664 = 231,99$$

Untuk $i\Delta t = 2$, maka:

$$PV(0,23) = 0,23e^{-0,0458(0,25-0,14521)}$$

$$PV(0,23) = 0,228899$$

Sehingga harga saham pada setiap periode pertama dapat dihitung sebagai berikut:

$$S_{42}^* + PV(D) = 246,522 \cdot 1,063690^2 \cdot 0,940124^0 + 0,229555 = 279,15$$

$$S_{32}^* + PV(D) = 246,522 \cdot 1,063690^1 \cdot 0,940124^0 + 0,229555 = 262,45$$

$$S_{22}^* + PV(D) = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^0 + 0,229555 = 246,75$$

$$S_{12}^* + PV(D) = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^1 + 0,229555 = 131,99$$

$$S_{02}^* + PV(D) = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^2 + 0,229555 = 218,11$$

Untuk $i\Delta t = 3$, maka:

$$PV(0,23) = 0,23e^{-0,0458(0,25-0,222)}$$

$$PV(0,23) = 0,229705$$

Sehingga harga saham pada setiap periode pertama dapat dihitung sebagai berikut:

$$S_{63}^* + PV(D) = 246,523 \cdot 1,063690^3 \cdot 0,940124^0 + 0,229705 = 296,92$$

$$S_{53}^* + PV(D) = 246,523 \cdot 1,063690^2 \cdot 0,940124^0 + 0,229705 = 279,15$$

$$S_{43}^* + PV(D) = 246,523 \cdot 1,063690^1 \cdot 0,940124^0 + 0,229705 = 262,45$$

$$S_{33}^* + PV(D) = 246,523 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^0 + 0,229705 = 246,75$$

$$S_{23}^* + PV(D) = 246,523 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^1 + 0,229705 = 231,99$$

$$S_{13}^* + PV(D) = 246,523 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^2 + 0,229705 = 218,11$$

$$S_{03}^* + PV(D) = 246,523 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^3 + 0,229705 = 205,07$$

Langkah ke-4 hingga langkah ke-6 ditambahkan $PV(D)$ maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S_{84}^* &= S_0^* u^4 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^4 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 315,81 \\ S_{74}^* &= S_0^* u^3 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^3 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 296,92 \\ S_{64}^* &= S_0^* u^2 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^2 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 279,15 \\ S_{54}^* &= S_0^* u^1 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^1 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 262,45 \\ S_{44}^* &= S_0^* u^0 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 246,75 \\ S_{34}^* &= S_0^* u^0 d^1 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^1 + PV(D) = 231,99 \\ S_{24}^* &= S_0^* u^0 d^2 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^2 + PV(D) = 218,11 \\ S_{14}^* &= S_0^* u^0 d^3 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^3 + PV(D) = 205,07 \\ S_{04}^* &= S_0^* u^0 d^4 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^4 + PV(D) = 192,80 \\ S_{105}^* &= S_0^* u^5 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^5 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 335,91 \\ S_{95}^* &= S_0^* u^4 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^4 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 315,81 \\ S_{85}^* &= S_0^* u^3 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^3 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 296,92 \\ S_{75}^* &= S_0^* u^2 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^2 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 279,15 \\ S_{65}^* &= S_0^* u^1 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^1 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 262,46 \\ S_{55}^* &= S_0^* u^0 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 246,75 \\ S_{45}^* &= S_0^* u^0 d^1 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^1 + PV(D) = 231,99 \\ S_{35}^* &= S_0^* u^0 d^2 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^2 + PV(D) = 218,11 \\ S_{25}^* &= S_0^* u^0 d^3 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^3 + PV(D) = 205,07 \\ S_{15}^* &= S_0^* u^0 d^4 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^4 + PV(D) = 192,80 \\ S_{05}^* &= S_0^* u^0 d^5 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^5 + PV(D) = 181,27 \\ S_{126}^* &= S_0^* u^6 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^6 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 357,29 \\ S_{116}^* &= S_0^* u^5 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^5 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 335,91 \\ S_{106}^* &= S_0^* u^4 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^4 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 315,81 \\ S_{96}^* &= S_0^* u^3 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^3 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 296,92 \\ S_{86}^* &= S_0^* u^2 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^2 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 279,15 \\ S_{76}^* &= S_0^* u^1 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^1 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 262,45 \\ S_{66}^* &= S_0^* u^0 d^0 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^0 + PV(D) = 246,75 \\ S_{56}^* &= S_0^* u^0 d^1 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^1 + PV(D) = 231,99 \\ S_{46}^* &= S_0^* u^0 d^2 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^2 + PV(D) = 218,11 \\ S_{36}^* &= S_0^* u^0 d^3 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^3 + PV(D) = 205,07 \\ S_{26}^* &= S_0^* u^0 d^4 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^4 + PV(D) = 192,80 \\ S_{16}^* &= S_0^* u^0 d^5 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^5 + PV(D) = 181,27 \\ S_{06}^* &= S_0^* u^0 d^6 = 246,522 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 + PV(D) = 170,43 \end{aligned}$$

Langkah ke-98 hingga langkah ke-100 nilai $\tau > i\Delta t$ maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$S_{196\ 98}^* = S_0^* u^{98} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 104640$$

$$S_{195\ 98}^* = S_0^* u^{97} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 98377$$

$$\begin{aligned}
S_{194\ 98}^* &= S_0^* u^{96} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 92487 \\
&\vdots \\
S_{2\ 98}^* &= S_0^* u^0 d^{96} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,65708 \\
S_{1\ 98}^* &= S_0^* u^0 d^{97} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,61773 \\
S_{0\ 98}^* &= S_0^* u^0 d^{98} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,58075 \\
S_{198\ 99}^* &= S_0^* u^{99} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 111310 \\
S_{197\ 99}^* &= S_0^* u^{98} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 104640 \\
S_{196\ 99}^* &= S_0^* u^{97} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 98377 \\
&\vdots \\
S_{2\ 99}^* &= S_0^* u^0 d^{97} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,61773 \\
S_{1\ 99}^* &= S_0^* u^0 d^{98} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,58075 \\
S_{0\ 99}^* &= S_0^* u^0 d^{99} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,54597 \\
S_{200\ 100}^* &= S_0^* u^{100} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 118410 \\
S_{199\ 100}^* &= S_0^* u^{99} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 111310 \\
S_{198\ 100}^* &= S_0^* u^{98} d^0 = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 104640 \\
&\vdots \\
S_{2\ 100}^* &= S_0^* u^0 d^{98} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,58074 \\
S_{1\ 100}^* &= S_0^* u^0 d^{99} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,54597 \\
S_{0\ 100}^* &= S_0^* u^0 d^{100} = 246,75 \cdot 1,063690^0 \cdot 0,940124^6 = 0,51328
\end{aligned}$$

Lampiran 5

Program Perhitungan Opsi Eropa Tanpa Pembagian Dividen

```
clc;
disp('Andi Karina Dwi Maharani');
disp('2108046015');
disp('-----');
disp('-----');
disp('Penentuan Harga Opsi Tipe Eropa Menggunakan
Metode Trinomial');
disp('-----');
disp('-----');
disp('');
disp('');

%parameter awal
S0 = input('Harga Saham Awal (S0) = '); %harga
saham awal
K = input('Strike Price (K) = '); %strike
price
r = input('Tingkat Suku Bunga (r) = '); %suku
buka resiko
T = input('Waktu Jatuh Tempo (T) = '); %waktu
jatuh tempo
N = input('Jumlah Periode (N) = '); %jumlah
periode
v = input('Volatilitas =
'); %volatilitas
tipe = input('tipe opsi (call/put) = ','s');

%mengitung parameter trinomial
dt = T/N;
u = exp(v*(sqrt(3*dt))); %faktor naik
d = 1/u; %faktor turun
m = 1; %faktor tetap

%probabilitas masing-masing pergerakan
pu = 1/6+(r-0.5*(v^2))*(sqrt(dt/(12*v^2)));
pd = 1/6-(r-0.5*(v^2))*(sqrt(dt/(12*v^2)));
pm = 2/3;
```

```

%Harga aset pada waktu T
S = zeros(2*N+1,N+1);
S(N+1,1) = S0;
for j = 1:N+1
    for i = (N-j+2):1:(N+j)
        k = (i-(N-j+2))/2; %jumlah pergerakan
    naik
        l = j-1-k; %jumlah pergerakan
    turun
        S(i,j) = S0*u^(k)*d^(l);
    end
end

%nilai opsi pada waktu T
V = zeros(2*N+1,N+1);
for i = 1:2*N+1
    if strcmp(tipe, 'call')
        V(i,N+1) = max(S(i,N+1) - K,0);
    elseif strcmp(tipe, 'put')
        V(i,N+1) = max(K - S(i,N+1),0);
    end
end

%menghitung backward
for j = N:-1:1
    for i = (N-j+2):1:(N+j)
        V(i,j) = exp(-r*dt) * (pu * V(i+1,j+1)
+ pm * V(i,j+1) + pd * V(i-1,j+1));
    end
end

if strcmp(tipe, 'call')
    C = V(N+1, 1);
elseif strcmp(tipe, 'put')
    C = V(N+1, 1);
end

disp('-----');
disp('-----');
disp('Harga Saham Trinomial Tanpa Pembagian
dividen: ');

```


19590	19590	19590	19590	19590
20850	20850	20850	20849	20849
22189	22189	22189	22189	22189
23614	23614	23614	23614	23614
25130	25130	25130	25130	25130
26742	26742	26742	26742	26742
28457	28457	28457	28457	28457
30282	30281	30281	30281	30281
32222	32222	32222	32222	32222
34286	34286	34286	34286	34286
36481	36481	36481	36481	36481
38817	38817	38816	38816	38816
41301	41301	41300	41300	41300
43943	43943	43943	43943	43943
46753	46753	46753	46753	46753
49743	49743	49743	49743	49743
52923	52922	52922	52922	52922
56305	56305	56305	56305	56305
59903	59903	59903	59903	59903
63730	63730	63730	63730	63730
67800	67800	67800	67800	67800
72130	72130	72130	72130	72130
76736	76736	76736	76736	76736
81635	81635	81635	81635	81635
86846	86846	86846	86846	86846
92389	92389	92389	92389	92389
0	98285	98285	98285	98285
0	0	1.0456e+05	1.0456e+05	1.0456e+05
0	0	0	1.1123e+05	1.1123e+05
0	0	0	0	1.1832e+05

 Nilai Opsi Tanpa Pembagian Pembagian Dividen: 73.481507

➤ >> |

Lampiran 6

Program Perhitungan Opsi Eropa dengan Pembagian Dividen

```
clc;
disp('Andi Karina Dwi Maharani');
disp('2108046015');
disp('-----');
disp('-----');
disp('Penentuan Harga Opsi Tipe Eropa Menggunakan
Metode Trinomial');
disp('-----');
disp('-----');
disp('');
disp('');

% Parameter awal
S0 = input('Harga Saham Awal (S0) = '); % Harga
saham awal
K = input('Strike Price (K) = '); % Strike
price
r = input('Tingkat Suku Bunga (r) = '); % Suku
bunga bebas risiko
T = input('Waktu Jatuh Tempo (T) = '); % Waktu
jatuh tempo
N = input('Jumlah Periode (N) = '); % Jumlah
periode
v = input('Volatilitas = '); %
Volatilitas
tau = input('Tau (t) = '); % Waktu
pembayaran dividen
D = input('Dividen (D) = '); % Dividen
tipe = input('Tipe opsi (call/put) = ', 's'); %
Tipe opsi (call/put)

% Menghitung parameter trinomial
dt = T / N; % Langkah
waktu
u = exp(v * sqrt(3 * dt)); % Faktor
naik
d = 1 / u; % Faktor
turun
```

```

m = 1; % Faktor
tetap

% Probabilitas masing-masing pergerakan
pu = 1/6 + (r - 0.5 * v^2) * sqrt(dt / (12 *
v^2));
pd = 1/6 - (r - 0.5 * v^2) * sqrt(dt / (12 *
v^2));
pm = 2/3;

% Inisialisasi matriks harga saham (S) dan nilai
opsi (V)
S = zeros(2 * N + 1, N + 1); % Matriks
harga saham
V = zeros(2 * N + 1, N + 1); % Matriks
nilai opsi

% Menghitung harga saham pada setiap node
for j = 1:N+1
    idt = (j-1) * dt; % Waktu
    saat ini
    if tau > idt
        % fprintf('Kondisi tau > idt
        terpenuhi\n');
        S0_adj = S0 - D * exp(-r * (tau -
idt)); % S0* = S0 - D e^(-r(t - idt)) ketika t >
idt
    else
        % fprintf('Kondisi tau <= idt
        terpenuhi\n');
        S0_adj = S0 - D * exp(-r * (tau -
idt)); % S0* = S0 ketika t >
idt
    end
    for i = (N - j + 2):1:(N + j)
        k = (i - (N - j + 2)) / 2; % Jumlah
        pergerakan naik
        l = j - 1 - k; % Jumlah
        pergerakan turun
        if idt <= tau
            S(i, j) = S0_adj * u^k * d^l + D *
exp(-r * (tau - idt)); % Ketika idt <= t

```

```

        else
            S(i, j) = S0_adj * u^k * d^l; %
Ketika idt > t
        end
    end
    %fprintf('j = %d, idt = %.2f, tau = %.2f,
S0_adj = %.2f\n', j, idt, tau, S0_adj);
end

% Menghitung nilai opsi pada waktu T (payoff)
for k = 1:2*N+1
    if strcmp(tipe, 'call')
        V(k, N+1) = max(S(k, N+1) - K, 0); %
Payoff untuk call
    elseif strcmp(tipe, 'put')
        V(k, N+1) = max(K - S(k, N+1), 0); %
Payoff untuk put
    end
end
end

```

Harga saham:

Command Window					
18573	18573	18573	18573	18573	18573
19756	19756	19756	19756	19756	19756
21015	21015	21015	21015	21015	21015
22353	22353	22353	22353	22353	22353
23777	23777	23777	23777	23777	23777
25291	25291	25291	25291	25291	25291
26902	26902	26902	26902	26902	26902
28615	28615	28615	28615	28615	28615
30438	30438	30438	30438	30438	30438
32376	32376	32376	32376	32376	32376
34438	34438	34438	34438	34438	34438
36632	36632	36632	36632	36632	36632
38965	38965	38965	38965	38965	38965
41446	41446	41446	41446	41446	41446
44086	44086	44086	44086	44086	44086
46894	46894	46894	46894	46894	46894
49880	49880	49880	49880	49880	49880
53057	53057	53057	53057	53057	53057
56437	56437	56437	56437	56437	56437
60031	60031	60031	60031	60031	60031
63854	63854	63854	63854	63854	63854
67921	67921	67921	67921	67921	67921
72247	72247	72247	72247	72247	72247
76848	76848	76848	76848	76848	76848
81743	81743	81743	81743	81743	81743
86949	86949	86949	86949	86949	86949
92487	92487	92487	92487	92487	92487
0	98377	98377	98377	98377	98377
0	0	1.0464e+05	1.0464e+05	1.0464e+05	1.0464e+05
0	0	0	1.1131e+05	1.1131e+05	1.1131e+05
0	0	0	0	0	1.184e+05

Opsi call pembagian dividen 3 bulan dengan $N = 100$:

Harga saham:

[illegible]

Command Window					
19756	19756	19756	19756	19756	19756
21015	21015	21015	21015	21015	21015
22353	22353	22353	22353	22353	22353
23777	23777	23777	23777	23777	23777
25291	25291	25291	25291	25291	25291
26902	26902	26902	26902	26902	26902
28615	28615	28615	28615	28615	28615
30438	30438	30438	30438	30438	30438
32376	32376	32376	32376	32376	32376
34438	34438	34438	34438	34438	34438
36632	36632	36632	36632	36632	36632
38965	38965	38965	38965	38965	38965
41446	41446	41446	41446	41446	41446
44086	44086	44086	44086	44086	44086
46894	46894	46894	46894	46894	46894
49881	49881	49881	49881	49881	49881
53057	53057	53057	53057	53057	53057
56437	56437	56437	56437	56437	56437
60031	60031	60031	60031	60031	60031
63854	63854	63854	63854	63854	63854
67921	67921	67921	67921	67921	67921
72247	72247	72247	72247	72247	72247
76849	76849	76849	76849	76849	76849
81743	81743	81743	81743	81743	81743
86949	86949	86949	86949	86949	86949
92487	92487	92487	92487	92487	92487
0	98378	98377	98377	98377	98377
0	0	1.0464e+05	1.0464e+05	1.0464e+05	1.0464e+05
0	0	0	1.1131e+05	1.1131e+05	1.1131e+05
0	0	0	0	0	1.184e+05

Harga opsi:

[illegible]

Command Window					
20830	20830	20830	20830	20830	20830
22168	22168	22168	22168	22168	22168
23592	23592	23592	23592	23592	23592
25106	25106	25106	25106	25106	25106
26717	26717	26717	26717	26717	26717
28430	28430	28430	28430	28430	28430
30253	30253	30253	30253	30253	30253
32191	32191	32191	32191	32191	32191
34253	34253	34253	34253	34253	34253
36447	36447	36447	36447	36447	36447
38780	38780	38780	38780	38780	38780
41262	41261	41261	41261	41261	41261
43901	43901	43901	43901	43901	43901
46709	46709	46709	46709	46709	46709
49696	49696	49696	49696	49696	49696
52873	52873	52873	52872	52872	52872
56252	56252	56252	56252	56252	56252
59846	59846	59846	59846	59846	59846
63670	63670	63670	63669	63669	63669
67736	67736	67736	67736	67736	67736
72062	72062	72062	72062	72062	72062
76664	76664	76664	76664	76664	76664
81558	81558	81558	81558	81558	81558
86764	86764	86764	86764	86764	86764
92302	92302	92302	92302	92302	92302
0	98193	98193	98192	98192	98192
0	0	1.0446e+05	1.0446e+05	1.0446e+05	1.0446e+05
0	0	0	1.1112e+05	1.1112e+05	1.1112e+05
0	0	0	0	1.1821e+05	1.1821e+05

Nilai Opsi dengan Pembagian Dividen: 73.285381

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Andi Karina Dwi Maharani
Tempat, Tanggal Lahir : Bandung, 20 Agustus 2003
Jenis Kelamin : Perempuan
Agama : Islam
Email : 2108046015@student.walisongo.ac.id

Latar Belakang Pendidikan

SD Negeri Coblong 3 Bandung (2009 – 2015)
SMP Negeri 35 Bandung (2015 – 2018)
SMA Pasundan 2 Bandung (2018 – 2021)
UIN Walisongo Semarang (2021 – 2025)

Pengalaman Organisasi dan Magang

1. Pengalaman Organisasi

PMII Rayon FST UIN Walisongo Semarang (2021)
Angklung Pasundan 2 (2019 – 2021)
OSIS Pasundan 2 (2018 – 2021)

2. Pengalaman Magang

(Januari – Maret 2024) BPN Kab. Kendal