

**PENENTUAN HARGA OPSI ASIA MENGGUNAKAN
MODEL TRINOMIAL KAMRAD RITCHKEN**

SKRIPSI

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



Oleh : **JIHAN NABILA WAFA'**

NIM : 2008046013

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO

SEMARANG

2024

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Jihan Nabila Wafa'
NIM : 2008046013
Jurusan/Program Studi : Matematika/Matematika
menyatakan bahwa skripsi yang berjudul :

PENENTUAN HARGA OPSI ASIA MENGGUNAKAN MODEL TRINOMIAL KAMRAD RITCHKEN

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

Semarang, 13 Maret 2024

Pembuat pernyataan,

Jihan Nabila Wafa'

NIM : 2008046013



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

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini :

Judul : **PENENTUAN HARGA OPSI ASIA MENGGUNAKAN
MODEL TRINOMIAL KAMRAD RITCHKEN**
Penulis : Jihan Nabila Wafa'
NIM : 2008046013
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 April 2024

DEWAN PENGUJI

Penguji I,

Emy Siswanah, M.Sc

NIP: 198702022011012014

Penguji II,

Eva Khoirun Nisa, M.Si

NIP: 198701022019032010

Penguji III,

Yulia Romadistri, M.Sc

NIP: 198107152006012008

Penguji IV,

Siti Maslihah, M.Si

NIP: 197706112011012004

Pembimbing,

Emy Siswanah, M.Sc

NIP: 198702022011012014

NOTA DINAS

Semarang, 13 Maret 2024

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

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

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

Judul : PENENTUAN HARGA OPSI ASIA
MENGUNAKAN MODEL TRINOMIAL
KAMRAD RITCHKEN
Nama : Jihan Nabila Wafa'
NIM : 2008046013
Jurusan : Matematika

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

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Pembimbing,



Emy Siswanah, M.Sc

NIP : 198702022011012014

ABSTRAK

Dalam penelitian ini, penentuan harga saham Asia dilakukan menggunakan model Trinomial Kamrad Ritchken dimana pada tahun 1991 nilai parameternya dikembangkan oleh Ritchken yang terdapat tiga kemungkinan pergerakan harga saham yakni faktor naik, tetap, dan turun saham. Saham NVIDIA Corp. digunakan sebagai objek penentuan harga opsi karena sejak awal tahun 2021 sampai tahun 2023 penjualan NVIDIA Corp. terus mengalami peningkatan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan harga opsi tipe Asia menggunakan rata-rata aritmatika dengan metode Trinomial Kamrad Ritchken. Dalam penelitian ini data saham yang digunakan adalah saham NVIDIA Corporation (NVDA). Dalam menentukan harga opsi Asia dibutuhkan beberapa parameter nilai opsi, yaitu harga awal saham (S_0), harga kesepakatan atau harga kontrak (K), volatilitas (σ), suku bunga bebas risiko (r), waktu jatuh tempo (T), *barrier* (b), lamda (λ), faktor kenaikan saham (u), faktor penurunan saham (d), peluang harga saham naik (p_u), peluang harga saham tetap (p_m), peluang harga saham turun (p_d). Ketika $N = 90$ dan $T = 0,5$ tahun; 1 tahun; dan 1,5 tahun berturut-turut nilai harga opsi *put* tipe Asia diperoleh sebesar \$94,49942; \$129,27324; dan \$153,58788. Nilai harga opsi *call* tipe Asia sebesar \$100,35203; \$140,85170; dan \$170,77306. Semakin lama waktu jatuh temponya maka harga opsinya akan semakin mahal. Berdasarkan hasil perhitungan ditunjukkan bahwa harga saham, harga

kesepakatan, barrier, jumlah periode, dan volatilitas mempengaruhi harga opsi *call* dan harga opsi *put*.

Kata kunci: *Opsi Call, Opsi Put, Opsi Asia, Harga Opsi, Trinomial Kamrad Ritchken*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil alamin puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT. atas semua nikmat dan karunianya yang tak terhingga sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul "**PENENTUAN HARGA OPSI ASIA MENGGUNAKAN MODEL TRINOMIAL KAMRAD RITCHKEN**". Skripsi ini dapat terselesaikan karena bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini Penulis dengan tulus mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. H. Ismail, M. Ag., selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
2. Emy Siswanah, M.Sc., selaku Ketua Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi serta selaku dosen pembimbing yang sudah membimbing penulis dalam proses menyelesaikan skripsi ini.
3. Teman-teman Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi angkatan 2020 yang sudah berjuang bersama selama perkuliahan.
4. Bapak Achmad Muhson Setyadi dan Ibu Katmini selaku orang tua penulis yang selalu memberikan motivasi serta doanya.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu serta memberi semangat dan doa sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan. Penulis berharap Skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Atas segala kekurangan dan kelemahan dalam skripsi ini penulis mohon maaf sebesar-besarnya, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar skripsi ini bisa menjadi lebih baik.

Semarang, 13 Maret 2024
Penulis,

Jihan Nabila Wafa'
NIM : 2008046013

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
PENGESAHAN	iii
NOTA DINAS	iv
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR BAGAN	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	7
C. Tujuan Penelitian	7
D. Manfaat Penelitian	8
E. Batasan Masalah	8
BAB II LANDASAN PUSTAKA.....	10
A. Opsi	10
B. Return Saham	15
C. Volatilitas.....	17
D. Opsi Asia	20
E. Proses Stokastik.....	22
F. Gerak Brown	24
G. Lemma Ito	26
H. Perubahan Harga Saham.....	30
I. Model Trinomial Kamrad-Ritchken.....	39
J. Penelitian Terdahulu	48

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	57
A. Jenis Penelitian.....	57
B. Data dan Sumber Data	57
C. Metode Pengumpulan Data.....	58
D. Prosedur Penelitian.....	59
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	62
A. Hasil Penelitian	62
B. Pembahasan	108
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	113
A. KESIMPULAN	113
B. SARAN	114
DAFTAR PUSTAKA	115
LAMPIRAN	119
RIWAYAT HIDUP	181

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4. 1. Grafik Nilai Harga Opsi <i>Call</i>	111
Gambar 4. 2. Grafik Nilai Harga Opsi <i>Put</i>	111

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Harga Penutupan Saham NVIDIA Corporation	62
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Return Harga Saham NVIDIA Corporation.....	64
Tabel 4. 3 Perhitungan Mencari Nilai Variansi <i>Return</i> Saham	65
Tabel 4. 4. Pehitungan nilai Δt	69
Tabel 4. 5 Harga opsi tipe Asia pada saham NVIDIA Corporation.....	107
Tabel 4. 6. Nilai parameter untuk memperoleh harga opsi	109
Tabel 4. 7. Harga opsi tipe Asia pada saham NVIDIA Corporation.....	110

DAFTAR BAGAN

Bagan 4. 1. Skema Umum Pohon Trinomial	78
Bagan 4. 2. Harga Saham NVIDIA Corporation. pada Node (i,j)	81
Bagan 4. 3. Harga Opsi <i>Call</i> tipe Asia Saham NVIDIA Corporation.....	96
Bagan 4. 4. Harga Opsi <i>Put</i> Tipe Asia Saham NVIDIA Corporation.....	106

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Penutupan Harga Saham NVIDIA <i>Corporation</i>	119
Lampiran 2. Perhitungan Mencari Nilai Variansi Return Saham	130
Lampiran 3. Hasil Perhitungan Nilai Ekspektasi Harga Saham NVIDIA <i>Corporation</i>	151
Lampiran 4. Program Trinomial Kamrad Ritchken Opsi <i>Call</i>	153
Lampiran 5. Program Trinomial Kamrad Ritchken Opsi <i>Put</i>	167

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Instrumen yang diperdagangkan dalam pasar keuangan salah satunya yaitu derivatif keuangan yang nilainya bergantung pada variabel dasar. Pada umumnya, eksistensi derivatif dalam pasar keuangan berbentuk produk derivatif. Produk derivatif merupakan produk yang biasa diperjualbelikan pada *spot market* dan pasar modal yang diantaranya adalah saham, obligasi, dan valuta asing (valas). Sistem kerja produk derivatif secara sederhana yaitu merupakan produk investasi yang berlandaskan pada kontrak perjanjian perdagangan (Junarsih, 2017). Derivatif merupakan salah satu investasi yang beresiko tinggi sebab memanfaatkan perkiraan harga di masa mendatang yang memiliki potensi pengembalian yang cukup tinggi. Umumnya, produk derivatif digunakan sebagai sarana untuk meminimalisir risiko investasi, sebagai sarana

lindung nilai, dan juga untuk mengurangi biaya transaksi.

Opsi merupakan suatu jenis kontrak keuangan antara pihak penjual opsi dan pembeli opsi (Asnawi, 2010). Dalam kontrak tersebut, penjual memberikan hak kepada pembeli opsi tetapi, penjual tidak memiliki kewajiban untuk membeli atau menjual aset dasar di kemudian hari dengan harga yang telah disepakati di awal dan dilakukan pada sebelum atau saat masa opsi berakhir. Berdasarkan waktu pengeksekusiannya, opsi dibagi menjadi dua jenis, yaitu *European style* dan *American style* (Prahmana, 2013). *European style* merupakan jenis opsi yang hanya dapat dilaksanakan pada saat masa opsi berakhir, sedangkan *American style* merupakan opsi yang dapat dilaksanakan kapanpun selama masa hidup opsi.

Seiring berkembangnya opsi, maka perkembangan dalam cara memprediksi suatu pergerakan harga opsi serta peramalan berbagai kemungkinan yang terjadi dengan maksud untuk mengurangi risiko dan mengoptimalkan

keuntungan juga semakin berkembang pula. Dalam penentuan harga kontrak opsi, dapat menggunakan berbagai macam bentuk model seperti: model *Black-Scholes*, Trinomial, Monte-Carlo, dan lain sebagainya. Terdapat beberapa penelitian yang juga membahas penentuan harga opsi dengan berbagai model atau metode. Atanandi, dkk (2017) melakukan penelitian tentang penentuan harga opsi beli tipe asia dengan metode Monte Carlo-*Control Variate*. Pada penelitian ini diperoleh bahwa simulasi Monte Carlo-*Control Variate* dapat mengurangi varians dari Monte Carlo Standar. Adapun Lestari, dkk (2019) melakukan penelitian tentang penentuan harga opsi tipe Asia dengan rata-rata geometrik dengan model *Black-Scholes*. Pada penelitian ini diperoleh hasil bahwa harga opsi jual tipe Asia diperoleh menjadi acuan investor dalam menjual opsi, bahwa investor akan lebih baik menjual opsi tersebut karena opsi di pasar lebih besar daripada harga opsi dengan rata-rata geometrik sehingga investor dapat memperoleh keuntungan. Sulastri, dkk (2019) melakukan penelitian tentang

penentuan harga opsi dengan metode Trinomial Kamrad-Ritchken dengan volatilitas model GARCH. Pada penelitian ini diperoleh hasil simulasi untuk opsi *call up barrier* mengalami peningkatan *strike price* dengan harga awal dan *barrier* yang tetap sehingga menyebabkan harga opsi *call up barrier* baik *in* maupun *out* menurun. Xingchun Wang (2020) melakukan penelitian tentang penilaian opsi asia dengan risiko gagal bayar menggunakan model GARCH. Penelitian ini diperoleh formula penentuan harga opsi Asia bentuk tertutup tanpa risiko gagal bayar dan menunjukkan nilai opsi Asia dalam contoh numerik. Hussain dan Khan (2021) melakukan penelitian tentang penetapan harga numerik dari *put-call parity* pada opsi asia dengan menggunakan model *Black-Scholes*. Penelitian ini memperoleh persamaan yang mengatur harga opsi asia dan dapat menghasilkan teori baru serta berhasil membuktikannya.

Model binomial dalam penentuan harga opsi dianggap mempunyai kelemahan, sebab dipandang tidak fleksibel dalam keadaan sebenarnya. Pada tahun 1986, Phelim Boyle

mengembangkan model lain yang memberikan adanya tiga kemungkinan skenario pergerakan harga saham yang dikenal sebagai model Trinomial. Trinomial dianggap lebih akurat karena jumlah titik kemungkinan harga saham yang lebih banyak daripada penentuan harga opsi model Binomial. Harga opsi saham dengan rata-rata Aritmatika dapat ditentukan secara numerik, yaitu dengan menggunakan model Trinomial. Namun, menurut Amalia (2021) model trinomial biasa yang dikembangkan dinilai kurang efektif untuk digunakan dalam penentuan harga opsi *barrier*. Tahun 1991, Kamrad dan Ritchken memodifikasi model trinomial untuk penentuan harga opsi *barrier*. Model trinomial Kamrad Ritchken ini terdapat *barrier* yang berguna untuk meminimalisir kesalahan dalam penentuan harga opsi. Model trinomial mampu menggambarkan pergerakan harga saham yang memiliki tiga kemungkinan harga saham pada setiap periode, yakni kemungkinan harga saham naik, tetap, dan turun. Model trinomial akan dicari nilai parameter terbaik dengan disesuaikannya pohon harga

saham sehingga akan tepat terletak pada salah satu kemungkinan saham. Model trinomial ini umumnya dikenal sebagai model Trinomial Kamrad Ritchken (Kamrad, dkk. 1991).

Indeks NASDAQ-100 merupakan indeks bersejarah yang dibuat oleh *National Associate of Securities Dealers* (NASD) pada tahun 1985, bersamaan dengan NASDAQ *Financial*-100 yang berpusat pada perusahaan keuangan. Bursa Indeks NASDAQ-100 merupakan saham Amerika yang meliputi daftar perusahaan terbesar di industri teknologi. Beberapa perusahaan tersebut diantaranya, Amazon.com, Inc., NVIDIA Corp., Dell Inc., Google Inc., Kraft Foods, Inc., dan lain sebagainya.

Berdasarkan beberapa saham yang terdaftar Bursa Indeks NASDAQ-100, salah satu saham yang menarik perhatian adalah saham NVIDIA Corp. Saham NVIDIA digunakan sebagai objek penentuan harga opsi karena sejak awal tahun 2021 sampai 2023 ini penjualan NVIDIA Corp. terus mengalami peningkatan. Peningkatan penjualan tersebut terjadi karena perusahaan

mengembangkan inovasi terbaru berbasis AI (*Artificial Intelligence*) yang sedang marak di masyarakat.

Berdasarkan penjelasan di atas, dalam penelitian ini penulis akan mengkaji tentang penerapan model Trinomial Kamrad Ritchken dalam penentuan harga opsi asia pada saham NVIDIA Corp. (NVDA).

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas diperoleh rumusan masalah yaitu sebagai berikut:

1. Berapakah nilai harga opsi jual (*put*) Asia pada saham NVIDIA Corp. menggunakan model Trinomial Kamrad Rithcken?
2. Berapakah nilai harga opsi beli (*call*) Asia pada saham NVIDIA Corp. menggunakan model Trinomial Kamrad Rithcken?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas diperoleh tujuan penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Untuk memperoleh harga opsi jual (*put*) asia pada saham NVIDIA Corp. dengan menggunakan model Trinomial Kamrad Ritchken.
2. Untuk memperoleh harga opsi beli (*call*) asia pada saham NVIDIA Corp. dengan menggunakan model Trinomial Kamrad Ritchken.

D. Manfaat Penelitian

1. Dapat menambah wawasan terkait bidang matematika keuangan.
2. Memberikan gambaran penentuan harga opsi Asia dengan menggunakan model Trinomial Kamrad Ritchken.
3. Menjadikan pedoman bagi investor atau pelaku pasar modal dalam melakukan penentuan harga opsi saham.

E. Batasan Masalah

Penelitian ini akan diberi batasan pada penentuan harga opsi *put* Asia dan harga opsi *call* Asia menggunakan model Trinomial Kamrad Ritchken.

Data yang akan digunakan berupa data harian penutupan harga saham yang diakses melalui *website yahoo finance* yaitu <https://finance.yahoo.com/> di mana bursa saham libur setiap hari sabtu dan minggu serta pada saat hari libur nasional.

BAB II

LANDASAN PUSTAKA

A. Opsi

Opsi merupakan sebuah kontrak atau perjanjian antara dua pihak, yakni pihak pertama sebagai pembeli yang memiliki hak untuk membeli ataupun menjual dari pihak kedua yaitu penjual terhadap suatu aset tertentu pada harga serta waktu yang telah ditentukan (Hull, 2003). Umumnya, opsi diartikan sebagai hak untuk melakukan sesuatu dengan tanpa kewajiban untuk melakukannya, yang artinya pemilik atau pemegang opsi memiliki hak untuk melakukan suatu tindakan apabila menurutnya menguntungkan, dan tidak menjalakkannya apabila merugikannya. Istilah-istilah yang umumnya digunakan dalam opsi, diantaranya (Khuriyanti, 2009).

1. *Holder* yaitu pihak yang membeli kontrak opsi.
2. *Writer* yaitu pihak yang mengeluarkan kontrak opsi.

3. *Strike price* (K) atau harga kontrak merupakan harga yang harus dibayarkan *holder* kepada *writer* jika mengeksekusi opsi.
4. *Maturity time* (T) adalah waktu jatuh tempo.
5. *Payoff* adalah sejumlah nilai yang akan diterima *holder* pada saat opsi berakhir.
6. Aset dasar adalah aset yang menjadi dasar dari kontrak opsi.
7. Harga opsi adalah harga awal yang diberikan *holder* ke *writer* guna memperoleh hak opsi.
8. Volatilitas adalah standar deviasi dari harga aset keuangan.
9. *Risk-free rate* atau tingkat suku bunga bebas risiko (r) merupakan tingkat suku bunga yang diasumsikan diperoleh apabila berinvestasi aset yang bebas risiko.

Menurut Tandelilin (2001), harga opsi dapat dipengaruhi oleh enam faktor, yaitu: harga saham, *strike price*, *expiration date*, tingkat suku bunga bebas risiko, volatilitas, dan dividen yang diharapkan. Berdasarkan haknya, opsi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

- a. Opsi *call* adalah hak yang diberikan kepada pemegang opsi untuk membeli aset pada waktu tertentu dan dengan harga tertentu.
- b. Opsi *put* adalah hak yang diberikan kepada pemegang opsi untuk menjual aset pada waktu tertentu dan dengan harga tertentu.

Derivatif standar dibagi menjadi dua opsi, yaitu opsi Eropa dan opsi Amerika. Sementara itu, opsi lainnya disebut derivatif eksotik (*non standard derivatives*). Contohnya yaitu opsi Asia, opsi *Lookback*, opsi bermuda, dan opsi *Barrier*. Misalkan harga saham awal adalah S , waktu jatuh tempo T , dan harga kontrak adalah K , serta $c = c(S, t)$ menjelaskan harga opsi beli Eropa pada saat t , dan $p = p(S, t)$ menjelaskan harga opsi jual Eropa pada saat t . Nilai intrinsik dari opsi beli Eropa saat jatuh tempo dapat dituliskan sebagai *payoff* atau penerimaan untuk pemegang kontrak opsi yakni $c = \max(S_T - K, 0)$.

Apabila $S_T > K$, opsi dapat dikatakan dalam keadaan *in the money*. Pemegang opsi akan menjalankan opsi beli, yakni dengan menjual saham dengan harga S_T yang lebih besar dari K , dan akan

memperoleh hasil sejumlah $S_T - K$. Apabila $S_T = K$ opsi beli dapat dikatakan dalam keadaan *at the money*. Adapun, apabila $S_T < K$ opsi beli dikatakan dalam keadaan *out of the money*.

Kondisi *payoff* dari opsi jual Eropa adalah $p = \max(K - S_T, 0)$. Apabila $S_T > K$, opsi tidak bernilai sehingga pemegang saham tidak menjalankan haknya. Opsi jual akan dijalankan pada saat $S_T < K$ sehingga pemegang opsi memperoleh hasil sebesar $K - S_T$. Keterkaitan antara harga opsi beli dengan opsi jual dalam saham Eropa biasa disebut dengan *put-call-parity*, yang dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$c + Ke^{-rT} = p + S \quad (2.1)$$

dengan,

c = harga opsi untuk membeli saham pada opsi *call* Eropa

p = harga opsi untuk menjual saham pada opsi *put* Eropa

K = harga kontrak

S = harga saham

e^{-rT} = faktor diskonto

r = suku bunga bebas risiko

T = waktu jatuh tempo

Jika $C = C(S, t)$ merupakan harga opsi beli Amerika dan $P = P(S, t)$ merupakan harga opsi jual Amerika, maka *payoff* pada saat waktu jatuh tempo untuk opsi beli yaitu.

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

Sementara itu, *payoff* untuk opsi jual adalah.

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

dengan,

C = nilai opsi untuk membeli saham pada opsi *call* Amerika

P = nilai opsi untuk menjual saham pada opsi *put* Amerika

S_T = harga saham saat jatuh tempo

Opsi Asia adalah harga opsi yang nilai *payoff*-nya bergantung pada rata-rata harga aset dasar selama periode yang telah ditentukan sebelumnya (Seydel, 2002). Perbedaan antara opsi Asia dengan opsi Eropa dan Amerika adalah terletak pada harga pada saat pelaksanaan opsi. Pada opsi Asia harga saham yang digunakan sebagai acuan adalah rata-rata harga saham pada saat T . Dikarenakan *payoff* opsi ini

kurang berfluktuasi (stabil), opsi ini memberikan hak kepada pemegangnya untuk membeli saham pada saat jatuh tempo dengan *exercise price* (Strike) yang telah ditentukan sebelumnya (Habib, dkk. 2018).

B. Return Saham

Return merupakan tingkat suatu keuntungan yang dirasakan oleh pemodal dari investasi yang telah ia lakukan, sehingga setiap investasi memiliki tujuan utama untuk memperoleh keuntungan yang disebut sebagai return saham (Robert, 1997).

Menurut Jogiyanto (2013) suatu hasil ekspektasi yang diinginkan oleh seorang investor disebut sebagai return saham. Return saham dapat diperoleh dari penanaman modal yaitu sebagai berikut:

1. *Capital Gain (loss)*

Capital Gain (loss) merupakan keuntungan ataupun kerugian yang berdasar pada penutupan harga saham periode saat ini dengan periode sebelumnya.

$$\text{Capital Gain (loss)} = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}}$$

Keterangan:

P_t = Harga saham periode saat ini

P_{t-1} = Harga saham periode sebelumnya

2. *Yield*

Yield adalah keuntungan penerimaan kas dengan periode tertentu terhadap harga investasi serta untuk saham biasa dimana pembayaran periodik sebesar Dt rupiah perlembar.

$$Yield = \frac{Dt}{P_{t-1}}$$

Keterangan:

Dt = Deviden kas yang dibayarkan

P_{t-1} = Harga saham periode sebelumnya

Menurut Zulfikar (2016), istilah yang sering digunakan dalam obligasi adalah *Yield* karena hasil dari obligasi berupa uang tambahan yang tidak mengurangi nilai pokoknya. Umumnya, dalam investasi saham terdapat pembagian deviden, akan tetapi tidak semua perusahaan melakukan pembagian deviden kas secara periodik kepada pemegang saham. Sehingga dalam penelitian ini akan digunakan rumus

return saham *capital gain (loss)* menurut Jogiyanto (2013):

$$R_t = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}} \quad (2.2)$$

Keterangan:

R_t = Return saham

P_t = Harga saham periode saat ini

P_{t-1} = Harga saham periode sebelumnya

C. Volatilitas

Volatilitas harga saham merupakan proses naik turunnya suatu harga saham (Khurniaji dan Raharja, 2013). Adapula volatilitas menurut Jogiyanto (2016) didefinisikan sebagai fluktuasi dari *return* suatu sekuritas dalam periode tertentu yang diukur menggunakan beta. Volatilitas adalah tolak ukur risiko suatu saham yaitu apabila risiko suatu saham semakin besar maka keuntungan yang akan diperoleh investor juga akan semakin besar (Susan dkk, 2021).

Harga saham biasanya terbentuk dari hubungan antara permintaan dengan penawaran. Meningkatnya jumlah permintaan saham akan mendorong kenaikan

harga saham (Rosyida, dkk. 2020). Apabila investor melakukan banyak penjualan suatu saham maka harga saham akan mengalami penurunan sehingga menyebabkan harga saham berubah setiap waktu. Perubahan harga saham yang terjadi tersebut disebut dengan volatilitas harga saham. Volatilitas harga saham dapat digunakan sebagai pengukur risiko suatu saham.

Faktor lain yang dapat memberi pengaruh volatilitas saham adalah pertumbuhan aset (Rosyida, dkk. 2020). Pertumbuhan aset yang semakin cepat menunjukkan adanya kestabilan kinerja perusahaan. Informasi tersebut diperkirakan digunakan oleh pemegang saham sehingga pemegang saham lebih memilih akan menunggu perkembangan informasi tersebut. hal ini mengakibatkan pemegang saham menaham saham yang dimiliki. Pertumbuhan aset suatu perusahaan yang tinggi sangat berkaitan dengan penurunan volatilitas harga saham perusahaan tersebut.

Volatilitas dapat ditunjukkan dalam bentuk kuadrat yang umumnya disebut dengan *variance*.

Variance dapat dihitung dengan rumus berikut (Ni Nyoman, 2017):

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (R_t - \bar{R})^2 \quad (2.3)$$

Dimana,

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

Keterangan:

s^2 = *Variance* atau variansi

n = Banyak data penutupan harga saham

R_t = Return saham

$\bar{R}$ = Rata-rata return saham

Sementara itu, volatilitas tahunan dapat ditunjukkan dengan rumus sebagai berikut (Ni Nyoman, 2017):

$$\sigma = \sqrt{s^2 \times T} \quad (2.4)$$

Keterangan:

σ = Volatilitas

s^2 = *Variance*

T = Jumlah hari perdagangan harga saham

D. Opsi Asia

Opsi Asia merupakan opsi yang nilai *payoff* opsinya bergantung pada rata-rata saham selama masa berlangsungnya opsi (Harwella, 2014). Opsi asia termasuk salah satu opsi eksotik, yaitu suatu opsi dimana nilai *payoff* tidak hanya bergantung pada saat mengeksekusi opsi, tetapi juga bergantung pada harga aset selama masa hidup opsi. Menurut Rahmi (2011), opsi Asia termasuk dalam opsi *path-dependent* yaitu nilai *payoff* dari opsi Asia tidak hanya bergantung pada harga saham saat jatuh tempo, tetapi juga rata-rata harga saham selama masa jatuh temponya yang disimbolkan dengan A (*average*).

Pada opsi Asia terdapat dua bentuk dasar, diantaranya sebagai berikut (Desmond, 2004).

1. *Average Price Option*

Average price option adalah opsi Asia dimana nilai *payoff* bergantung pada perbedaan antara rerata harga aset selama masa hidup opsi dengan harga eksekusi yang telah ditentukan. *Payoff* dari

average price option pada saat jatuh tempo yaitu sebagai berikut:

$$\begin{cases} \text{maks} \left(\frac{1}{T} \int_0^T S(\tau) d\tau - K, 0 \right) , \text{ untuk opsi call Asia} \\ \text{maks} \left(K - \frac{1}{T} \int_0^T S(\tau) d\tau, 0 \right) , \text{ untuk opsi put Asia} \end{cases}$$

2. *Average Strike Option*

Average strike option merupakan opsi Asia dimana nilai bergantung pada perbedaan antara harga aset pada saat jatuh tempo dengan rerata harga aset selama masa hidup opsi. *Payoff* dari *average strike option* pada saat jatuh tempo yaitu sebagai berikut:

$$\begin{cases} \text{maks} \left(S(T) - \frac{1}{T} \int_0^T S(\tau) d\tau, 0 \right) , \text{ untuk opsi call Asia} \\ \text{maks} \left(\frac{1}{T} \int_0^T S(\tau) d\tau - S(T), 0 \right) , \text{ untuk opsi put Asia} \end{cases}$$

Opsi Asia dapat didefinisikan dengan mengganti rata-rata kontinu $\frac{1}{T} \int_0^T S(\tau) d\tau$ dengan rata-rata aritmatika yaitu.

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S(t_i)$$

Pada penelitian ini, akan digunakan *average price option* dengan menggunakan rata-rata aritmatika. Sehingga *payoff* opsi dengan menggunakan rata-rata aritmatika dapat didefinisikan kembali menjadi seperti berikut:

$$\begin{cases} \text{maks}(S_T - A, 0) , \text{ untuk opsi call Asia} \\ \text{maks}(A - S_T, 0) , \text{ untuk opsi put Asia} \end{cases} \quad (2.5)$$

Rata-rata aritmatik dapat dinotasikan sebagai berikut:

$$A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{t_i} = \frac{(S(t_1) + S(t_2) + \dots + S(t_n))}{n} \quad (2.6)$$

dimana,

A = nilai rata-rata aritmatika dari harga saham

n = banyaknya harga aset yang dirata-ratakan

S_{t_i} = harga aset pada saat t_i

E. Proses Stokastik

Definisi 1: Proses Stokastik merupakan himpunan variabel random $S = \{S(t), t \in T\}$ dimana t

menyatakan waktu dan $S(t)$ menyatakan proses pada saat t (Ross, 1995).

Apabila T merupakan diskrit, maka himpunan indeks T dapat dituliskan dengan $T = \{0, 1, \dots\}$. Sementara itu, apabila T merupakan kontinu, maka himpunan indeks T dapat dituliskan menjadi $T = [0, \infty)$.

Himpunan nilai yang mungkin untuk suatu variabel random $S(t)$ dalam proses stokastik disebut ruang *State* (*State Space*). Nilai parameter dalam proses stokastik dapat dibedakan menjadi dua, yaitu: parameter kontinu yakni apabila T merupakan suatu interval yang memiliki interval panjang positif yang disebut dengan *state space* kontinu dan parameter diskrit yakni apabila T merupakan himpunan bagian dari suatu bilangan bulat yang disebut dengan *state space* diskrit.

Harga saham merupakan variabel random dengan pergerakan yang tidak dapat diketahui secara pasti. Oleh karena itu, pergerakan harga saham dapat dikatakan sebagai sebuah proses stokastik.

F. Gerak Brown

Gerak Brown atau yang biasa dikenal dengan proses Wiener merupakan proses stokastik yang bersifat kontinu. Gerak Brown dibentuk dari persamaan yang bersifat simetri yaitu persamaan *random walk* dengan mencari nilai limit dari distribusi *random walk*. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam persamaan random walk, diantaranya (Ross, 1966).

1. $t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_n$ serta variabel acak $S_{t_1} - S_{t_0}, S_{t_2} - S_{t_1}, \dots, S_{t_n} - S_{t_{n-1}}$ saling bebas, maka $\{S_t, t \geq 0\}$ disebut memiliki kenaikan saling bebas.
2. $S_{t+s} - S_t$ memiliki distribusi yang sama. Oleh karena itu, $\{S_t, t \geq 0\}$ disebut memiliki kenaikan stasioner.

Definisi 2 (Gerak Brown Standar):

Proses stokastik kontinu $\{S(t), t \geq 0\}$ dapat dikatakan sebagai gerak Brown apabila memenuhi syarat berikut (Ross, 1966).

1. $S(0) = 0$
2. $\{S(t), t \geq 0\}$ mempunyai kenaikan stasioner dan saling bebas.

3. $S(t)$ berdistribusi normal dengan *mean* 0 dan variansi $\sigma^2 t$ untuk setiap $t > 0$

Pada saat $\sigma = 1$, maka proses ini disebut sebagai gerak Brown baku yang dapat disimbolkan dengan $W(t)$, sehingga diperoleh:

$$W(t) = Z\sqrt{t}$$

atau

$$\Delta W(t) = Z\sqrt{\Delta t}$$

(2. 7)

Definisi 3 (Gerak Brown dengan *Drift*): Proses stokastik $\{S(t), t \geq 0\}$ dapat dikatakan sebagai gerak Brown dengan koefisien *drift* apabila apabila memenuhi syarat berikut.

1. $S(0) = 0$
2. $\{S(t), t \geq 0\}$ mempunyai kenaikan stasioner dan saling bebas.
3. $S(t)$ berdistribusi normal dengan *mean* μt dan variansi $\sigma^2 t$ untuk setiap $t > 0$.

Berdasarkan beberapa asumsi tersebut, gerak Brown dengan koefisien *drift* dapat dituliskan sebagai:

$$dS(t) = \mu S(t) + \sigma S(t) dW(t)$$

(2. 8)

Dimana $W(t)$ adalah proses wiener. Apabila dilihat dari bentuk diskrit pada persamaan (2.8), diperoleh (Ruey, 2005).

$$S(t_1) - S(t_2) = \mu t + \sigma Z\sqrt{\Delta t}$$

Untuk kenaikan dari 0 hingga t , mengakibatkan

$$E(S(t_1) - S(t_2)) = \mu t, \quad Var(S(t_1) - S(t_2)) = \sigma^2 t$$

G. Lemma Ito

Lemma 1: Apabila $F(x, t)$ adalah fungsi kontinu yang dapat diturunkan secara parsial terhadap x dan t , yakni $\frac{\partial F}{\partial t}, \frac{\partial F}{\partial x}, \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}$ ada. Didefinisikan persamaan diferensial stokastik dari variabel x dengan *drift rate* $a(x, t)$ dan *variansi rate* $b^2(x, t)$

$$dx = a(x, t)dt + b(x, t)dW \quad (2.9)$$

dimana dW adalah gerak *Brownian*, a dan b adalah fungsi dari x dan t , sehingga sebuah fungsi F dari x dan t akan mengikuti proses berikut (Hull, 2006).

$$dF = \left\{ \frac{\partial F}{\partial x} a(x, t) + \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} b^2(x, t) \right\} dt + \frac{\partial F}{\partial x} b(x, t) dW \quad (2. 1)$$

Bukti:

Diketahui fungsi F kontinu dan terdiferensial pada variabel x . Apabila Δx merupakan perubahan yang sangat kecil pada x dan ΔF merupakan perubahan yang sangat kecil pada F , maka.

$$\Delta F \approx \frac{\partial F}{\partial t} \Delta x \quad (2. 7. 1)$$

Berdasarkan perhitungan kalkulus, ekspansi deret *Taylor* untuk menghampiri ΔF yaitu.

$$\Delta F = \frac{\partial F}{\partial x} \Delta x + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} x^2 + \frac{1}{6} \frac{\partial^3 F}{\partial x^3} x^3 + \dots \quad (2. 7. 2)$$

Sementara itu, untuk fungsi kontinu dan terdiferensial F pada variabel x dan t , ekspansi deret *Taylor* dari ΔF adalah.

$$\Delta F = \frac{\partial F}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial F}{\partial t} \Delta t + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \Delta x^2 + \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial t} \Delta x \Delta t + \frac{\partial^2 F}{\partial t^2} t^2 + \dots \quad (2. 7. 3)$$

Karena Δx dan Δt cukup kecil maka Persamaan (2.7.3) dapat ditulis sebagai berikut

$$dF = \frac{\partial F}{\partial t} dx + \frac{\partial F}{\partial t} dt \quad (2.7.4)$$

Kemudian, misalkan suatu variabel x mengikuti proses Ito sebagai berikut.

$$dx = a(x, t)dt + b(x, t)\varepsilon\sqrt{dt} \quad (2.7.5)$$

Persamaan (2.7.5) dapat didiskritisasi menjadi seperti berikut.

$$\Delta x = a(x, t)\Delta t + b(x, t)\varepsilon\sqrt{\Delta t} \quad (2.7.6)$$

Selanjutnya, abaikan (x, t) sehingga Persamaan (2.7.6) menjadi seperti berikut.

$$\Delta x = a\Delta t + b\varepsilon\sqrt{\Delta t} \quad (2.7.7)$$

dimana, ε berdistribusi Normal Standar. Berdasarkan Persamaan (2.7.7) dapat ditulis.

$$\Delta x^2 = (a\Delta t + b\varepsilon\sqrt{\Delta t})^2 \quad (2.7.8)$$

Sehingga dapat diperoleh,

$$\Delta x^2 = a^2 \Delta t^2 + 2ab\varepsilon \Delta t^{\frac{3}{2}} + b^2 \varepsilon^2 \Delta t \quad (2.7.9)$$

Hal ini menunjukkan bahwa suku-suku yang melibatkan Δx^2 pada Persamaan (2.7.9) memiliki suatu komponen orde Δt yang tidak dapat diabaikan. Diketahui bahwa variansi dari distribusi Normal Standar adalah 1, sehingga dapat ditulis,

$$E(\varepsilon^2) - [E(\varepsilon)]^2 = 1 \Leftrightarrow E(\varepsilon^2) = 1 \quad (2.7.10)$$

Berdasarkan Persamaan (2.7.10) dapat diperoleh

$$E(\varepsilon^2 \Delta t) = \Delta t \cdot E(\varepsilon^2) = \Delta t \cdot 1 = \Delta t \quad (2.7.11)$$

Sehingga,

$$Var(\varepsilon^2 t \Delta t) = \Delta t^2 Var(\varepsilon^2) \quad (2.7.12)$$

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dari perhitungan di atas, $\varepsilon^2 \Delta t$ dapat dianggap sebagai komponen non-stokastik dan sama seperti nilai harapannya yaitu Δt .

Sehingga, dilihat dari Persamaan (2.7.11) Δx^2 menjadi non-stokastik dan sama dengan $b^2 dt$.

Pangambilan $\Delta x \rightarrow 0$ dan $\Delta t \rightarrow 0$ pada Persamaan (2.7.3) dan menggunakan hasil dari Persamaan (2.7.11) dan (2.7.12) sehingga mengakibatkan.

$$dF = \frac{\partial F}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial F}{\partial t} \Delta t + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} b^2 dt \quad (2.7.13)$$

Kemudian substitusi Persamaan (2.7.6) ke Persamaan (2.7.13) maka dapat diperoleh.

$$dF = \left\{ \frac{\partial F}{\partial x} a + \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} b^2 \right\} dt + \frac{\partial F}{\partial x} \Delta W \quad (2.7.14)$$

H. Perubahan Harga Saham

Harga saham umumnya ditentukan variabel lain yaitu waktu, hal ini menjadi dasar bahwa harga saham merupakan variabel stokastik. Harga saham dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang tidak dapat ditentukan secara pasti dan beberapa faktor tersebut juga dipandang sebagai komponen stokastik yang tidak dapat ditentukan sebelumnya. Oleh sebab itu, perubahan harga saham dapat dinyatakan sebagai persamaan diferensial stokastik sebagai berikut (Ruey, 2005).

$$dS(t) = \mu S(t) dt + \sigma S(t) \quad (2.10)$$

Dengan μ dan σ merupakan konstanta. Persamaan (2.10) umumnya dikenal sebagai model pergerakan harga saham.

Berdasarkan Lemma Ito, dijelaskan bahwa sebuah fungsi F dari S dan t akan mengikuti proses berikut:

$$dF = \left\{ \frac{\partial F}{\partial S(t)} \mu S(t) + \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial (S(t))^2} \sigma^2 (S(t))^2 \right\} dt + \frac{\partial F}{\partial S(t)} \sigma dW_T \quad (2.11)$$

Dengan σ merupakan volatilitas saham dan μ adalah ekspektasi dari *return*.

Berdasarkan persamaan (2.11), dapat dipisahkan dua bentuk yaitu proses dan hasil sebelumnya. Hal tersebut dituliskan menjadi seperti berikut:

$$\Delta S(t) = \mu S(t) \Delta t + \sigma S(t) \Delta W_T \quad (2.12)$$

$$\Delta F = \left(\frac{\partial F}{\partial S(t)} \mu S(t) + \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial (S(t))^2} \sigma^2 (S(t))^2 \right) \Delta t + \frac{\partial F}{\partial S(t)} \sigma \Delta W_T$$

(2.13)

Dimana, $S(t)$ dan F merupakan perubahan pada $S(t)$ dan F dalam selang waktu kecil Δt . Karena $\Delta W(t) = \epsilon \sqrt{\Delta t}$ untuk kedua persamaan (2.12) dan (2.13), untuk menghilangkan proses Wiener, ditunjuk sebuah portofolio yang diinvestasikan pada saham derivatif. Skema yang akan dipilih adalah membeli suatu opsi dan menjual $\frac{\partial F}{\partial S(t)}$ saham. Misalkan V merupakan nilai portofolio yang akan digunakan, maka dapat dikonstruksikan sebagai berikut.

$$V = -F + \frac{\partial F}{\partial S(t)} S(t)$$

(2.14)

Sehingga perubahan V yang merupakan nilai portofolio dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$\Delta V = -\Delta F + \frac{\partial F}{\partial S(t)} \Delta S(t)$$

(2.15)

Substitusikan persamaan (2.12) dan (2.13) pada persamaan (2.15), sehingga diperoleh

$$\Delta V = \left(-\frac{\partial F}{\partial t} - \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial (S(t))^2} \sigma^2(S(t))^2 \right) \Delta t \quad (2.16)$$

Pada persamaan (2.16), tidak melibatkan komponen stokastik $\Delta W(t)$. Oleh karena itu, berdasarkan asumsi V, agar tidak terdapat peluang arbitrase, maka portofolio V pada saham harus tanpa risiko selama interval waktu Δt yang kecil. Sehingga diperoleh sebagai berikut.

$$\Delta V = r V \Delta t = (r \Delta t) V \quad (2.17)$$

Dimana, r merupakan suku bunga bebas risiko. Berdasarkan persamaan (2.14) hingga persamaan (2.17), diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial (S(t))^2} \sigma^2(S(t))^2 \right) \Delta t \\ & = r \left(F - \frac{\partial F}{\partial S(t)} S(t) \right) \Delta t \end{aligned}$$

Maka dari itu (Ruey, 2005).

$$\frac{\partial F}{\partial t} + r S(t) \frac{\partial F}{\partial S(t)} + \frac{1}{2} \sigma^2 (S(t))^2 \frac{\partial^2 F}{\partial (S(t))^2} = r F \quad (2.18)$$

Misal $S(t_i)$ merupakan harga saham pada waktu t_i . Pada periode waktu Δt , ekspektasi perubahan (ΔS) yaitu $\mu S(t_i) \Delta t$ dimana μ merupakan tingkat pengembalian dari harga saham yang diinginkan. Tingkat pengembalian akan bernilai tetap untuk setiap interval waktu, apabila volatilitas dari tingkat pengembalian selalu bernilai nol. Sehingga dapat diperoleh hasil sebagai berikut.

$$E(\text{tingkat pengembalian}) = c$$

$$\mu = c$$

Untuk setiap periode waktu Δt pada tingkat pengembalian yang diinginkan, diperoleh

$$\mu = \frac{\frac{S(t_{i+1}) - S(t_i)}{S(t_i)}}{\Delta t}$$

sehingga perubahan harga saham dapat diformulasikan sebagai berikut.

$$\Delta S = \mu S(t_i) \Delta t$$

dimana, nilai $\Delta S = S(t_{i+1}) - S(t_i)$

Akan tetapi dalam pengaplikasiannya, volatilitas dari tingkat suatu pengembalian tidak selalu bernilai nol. Hal tersebut dapat diartikan bahwa untuk harga saham pada waktu yang berbeda, investor memiliki tingkat pengembalian yang tidak tentu (Ferina, 2003). Sehingga dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\frac{S(t_{i+1}) - S(t_i)}{S(t_i)} = \mu\Delta t + \sigma\Delta W(t)$$

$$S(t_{i+1}) - S(t_i) = S(t_i)(\mu\Delta t + \sigma\Delta W(t))$$

$$\Delta S = \mu S(t_i)\Delta t + \sigma S(t_i)\Delta W(t)$$

(2.19)

dimana, $W(t)$ merupakan gerak Brown standar.

Berdasarkan persamaan (2.19), dapat dipaparkan kembali menjadi persamaan berikut.

$$S(t_{i+1}) - S(t_i) = \mu S(t_i)\Delta t + \sigma S(t_i)\Delta W(t)$$

$$S(t_{i+1}) = S(t_i) + \mu S(t_i)\Delta t + \sigma S(t_i)\Delta W(t)$$

(2.20)

Berdasar pada sifat Gerak Brown Standar, persamaan (2.20) dapat dituliskan kembali sehingga menghasilkan persamaan berikut.

$$S(t_{i+1}) = S(t_i) + \mu S(t_i)\Delta t + \sigma S(t_i)Z_i\sqrt{\Delta t}$$

(2.21)

dengan,

$S(t_{i+1})$ = harga saham pada waktu t_{i+1}

$S(t_i)$ = harga saham pada waktu t_i

$Z_i \sim N(0,1)$

Apabila $\Delta t \rightarrow 0$, maka persamaan (2.20) berubah menjadi bentuk persamaan diferensial stokastik kontinu. Hal ini dapat diformulasikan sebagai berikut.

$$dS(t) = \mu S(t)dt + \sigma S(t)dW(t) \quad (2.22)$$

Sehingga, solusi untuk persamaan (2.22) dapat dirumuskan sebagai berikut (Tyarani, 2003).

$$S(t) = S(0)\exp\left(\left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)t + \sigma W(t)\right) \quad (2.23)$$

dengan, $W(t)$ merupakan proses Wiener atau gerak Brown Standar. Model pada persamaan (2.23) merupakan sebuah model yang paling sering digunakan dalam pemodelan pergerakan saham (Tyarani, 2003). Persamaan (2.23) menunjukkan bahwa persamaan tersebut sesuai dengan persamaan (2.7), sehingga dapat disebutkan bahwa pergerakan harga saham mengikuti gerak Brown *Drift*.

Berdasarkan persamaan (2.23) dapat diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 S(t) &= S(0) \exp \left(\left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) t + \sigma W(t) \right) \\
 \frac{S(t)}{S(0)} &= \exp \left(\left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) t + \sigma W(t) \right) \\
 \ln \left(\frac{S(t)}{S(0)} \right) &= \mu t - \frac{1}{2} \sigma^2 t + \sigma W(t)
 \end{aligned}
 \tag{2.24}$$

Apabila diketahui $W(t) \sim N(0, t)$, maka mean dan variansi untuk distribusi harga saham dapat ditentukan sebagai berikut.

1. Mean distribusi harga saham

$$\begin{aligned}
 E \left[\mu t - \frac{1}{2} \sigma^2 t + \sigma W(t) \right] &= E[\mu t] - E \left[\frac{1}{2} \sigma^2 t \right] + E[\sigma W(t)] \\
 &= \mu t - \frac{1}{2} \sigma^2 t + 0 \\
 &= \left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) t
 \end{aligned}$$

2. Variansi distribusi harga saham

$$\begin{aligned}
 \text{var} \left[\mu t - \frac{1}{2} \sigma^2 t + \sigma W(t) \right] &= \text{var}[\sigma W(t)] \\
 &= \sigma^2 \text{var}[W(t)] \\
 &= \sigma^2 t
 \end{aligned}$$

Asumsikan bahwa *risk-neutral* yang merupakan asumsi bahwa tingkat pengembalian yang diinginkan sama dengan *risk-free rate* adalah $\mu = r$. Diperoleh sebagai berikut.

$$\ln\left(\frac{S(t)}{S(0)}\right) \sim N\left(\left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)t, \sigma^2 t\right)$$

Akibatnya, dapat disimpulkan bahwa distribusi dari suatu logaritma harga saham $S(t)$ yaitu sebagai berikut.

$$\ln\left(\frac{S(t)}{S(0)}\right) \sim N\left(\left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)t, \sigma^2 t\right) \quad (2.25)$$

$$\ln S(t) - \ln S(0) \sim N\left(\left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)t, \sigma^2 t\right)$$

$$\ln S(t) \sim N\left(\ln S(0) + \left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)t, \sigma^2 t\right)$$

Dimana, dimisalkan bahwa $0 = t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_n$ dan $\Delta t = t_1 - t_0 = t_2 - t_1 = \dots = t_{n+1} - t_n$. Sehingga persamaan (2.25) dirumuskan kembali menjadi seperti berikut.

$$S(t) = S(0) \exp\left(\left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)(t - 0) + \sigma Z\sqrt{t - 0}\right)$$

$$\begin{aligned}
S(t_2) &= S(t_1) \exp \left(\left(r - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) (t_2 - t_1) \right. \\
&\quad \left. + \sigma Z \sqrt{t_2 - t_1} \right) \\
&\vdots \\
S(t_{i+1}) &= S(t_i) \exp \left(\left(r - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) \Delta t + \sigma Z \sqrt{\Delta t} \right)
\end{aligned}
\tag{2.26}$$

I. Model Trinomial Kamrad-Ritchken

Pada model Trinomial Kamrad-Ritchken, pemodelan suatu saham diperoleh model harga saham lognormal sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
S(t + \Delta t) &= S(t) \exp \left(\left(r - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) \Delta t + \sigma Z \sqrt{\Delta t} \right) \\
&= S(t) e^{\xi(t)}
\end{aligned}
\tag{2.27}$$

Dengan, $\xi(t) \sim N \left(\left(r - \frac{1}{2} \sigma^2 \right), \sigma^2 \Delta t \right)$

Asumsikan aset yang diinginkan mengikuti proses geometri wiener dengan $\mu = r - \frac{1}{2} \sigma^2$, dimana r merupakan suku bunga tanpa risiko dan σ merupakan volatilitas sesaat. Selanjutnya, dengan

$S(t)$ direpresentasikan sebagai harga pada waktu t dapat diperoleh sebagai berikut (Ritchken, 1995).

$$\ln S(t + \Delta t) = \ln\{S(t)\} + \ln e^{\xi(t)} = \ln\{S(t)\} + \xi(t) \quad (2.28)$$

Dimana, $\xi(t)$ merupakan distribusi normal dengan mean $\mu\Delta t$ dan variansi $\sigma^2\Delta t$. Misalkan $\xi^a(t)$ merupakan pendekatan distribusi untuk $\xi(t)$ selama periode $(t, t + \Delta t)$. $\xi^a(t)$ adalah variabel acak diskrit dengan (Kamrad, dkk. 1991).

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

Dimana, $v = \lambda\sigma\sqrt{\Delta t}$ dan $\lambda \geq 1$, sehingga dapat diperoleh.

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

Kemudian, untuk memperoleh nilai p_u , p_m , dan p_d dibutuhkan tiga macam persamaan, diantaranya (Dini, 2016).

$$\begin{aligned} 1. \quad E(\xi^a(t)) &= v p_u + 0 p_m + (-v) p_d \\ &= \left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)\Delta t - E(\xi(t)) \end{aligned} \quad (2.29)$$

$$\begin{aligned}
2. \quad Var(\xi^a(t)) &= v^2 p_u + 0^2 p_m + v^2 p_d - \\
&\quad (p_u + 0 p_m + (-v)p_d)^2 \\
&= \sigma^2 \Delta t \\
&= Var(\xi(t))
\end{aligned}
\tag{2.30}$$

$$3. \quad p_u + p_m + p_d = 1
\tag{2.31}$$

Keterangan:

u = Faktor kenaikan

d = Faktor penurunan

p_u = Peluang harga saham naik

p_m = Peluang harga saham konstan

p_d = Peluang harga saham turun

Kemudian, diselesaikan ketiga persamaan (2.29), (2.30), dan (2.31) dan misalkan $\lambda = \frac{v}{\sigma \Delta t}$, sehingga diperoleh:

$$p_u = \frac{1}{2\lambda^2} + \frac{\left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)\sqrt{\Delta t}}{2\lambda\sigma}
\tag{2.32}$$

$$p_m = 1 - \frac{1}{\lambda^2}
\tag{2.33}$$

$$p_d = \frac{1}{2\lambda^2} - \frac{\left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)\sqrt{\Delta t}}{2\lambda\sigma} \quad (2.34)$$

Dengan, $\lambda \geq 1$ (Ritchken, 1995).

Apabila pada saat $t_0 = 0$ harga saham awal yang nantinya akan diperoleh harga saham untuk setiap selang waktu adalah S_0 , maka menurut model trinomial harga saham pada saat $t_1 = 1\Delta t$ yang diberikan oleh S_0u , S_0 atau S_0d . Jika langkah tersebut dilanjutkan maka pada saat $t_i = i\Delta t$ akan diperoleh $i + (i + 1)$ harga saham yang mungkin terjadi yang dapat diperoleh dari Persamaan (2.35) berikut.

$$S_{ji} = S_0 u^j d^{i-j} \quad (2.35)$$

Dimana, $j = 0, 1, \dots, (i + 1)$ dengan S_{ji} merupakan harga saham pada saat t_i .

Pada waktu ke- t , terdapat ekspektasi harga saham pada persamaan diskrit (Amalia, 2021).

$$\begin{aligned} E(S_1) &= p_u S_0 u + p_m S_0 + p_d S_0 d \\ &= S_0 (p_u u + p_m + p_d d) \\ E(S_2) &= p_u S_1 u + p_m S_1 + p_d S_1 d \end{aligned} \quad (2.36)$$

$$\begin{aligned}
&= p_u u(p_u S_0 u + p_m S_0 + p_d S_0 d) + \\
&\quad p_m m(p_u S_0 u + p_m S_0 + p_d S_0 d) + \\
&\quad p_d d(p_u S_0 u + p_m S_0 + p_d S_0 d) \\
&= p_u^2 S_0 u^2 + p_u p_m S_0 + p_u p_d S_0 d + p_u p_m S_0 + \\
&\quad p_m^2 S_0 + p_m p_d S_0 d + p_u p_d S_0 d + p_m p_d S_0 d + \\
&\quad p_d^2 S_0 d^2 \\
&= p_u^2 S_0 u^2 + 2p_u p_m S_0 u + 2p_u p_d S_0 u d + \\
&\quad 2p_m p_d S_0 d + p_m^2 S_0 + p_d^2 S_0 d^2 \\
&= S_0(p_u^2 u^2 + 2p_u p_m u + 2p_u p_d u d + \\
&\quad 2p_m p_d d + p_m^2 + p_d^2 d^2) \\
&= S_0(p_u u + p_m + p_d d)^2
\end{aligned} \tag{2.37}$$

$$\begin{aligned}
E(S_3) &= p_u S_2 u + p_m S_2 + p_d S_2 d \\
&= p_u u(p_u^2 S_0 u^2 + 2p_u p_m S_0 u + 2p_u p_d S_0 u d + \\
&\quad 2p_m p_d S_0 d + p_m^2 S_0 + p_d^2 S_0 d^2) + \\
&\quad p_m(p_u^2 S_0 u^2 + 2p_u p_m S_0 u + 2p_u p_d S_0 u d + \\
&\quad 2p_m p_d S_0 d + p_m^2 S_0 + p_d^2 S_0 d^2) + p_d d \\
&\quad (p_u^2 S_0 u^2 + 2p_u p_m S_0 u + 2p_u p_d S_0 u d + \\
&\quad 2p_m p_d S_0 d + p_m^2 S_0 + p_d^2 S_0 d^2) \\
&= p_u^3 S_0 u^3 + 2p_u^2 p_m S_0 u^2 + 2p_u^2 p_d S_0 u^2 d + \\
&\quad 2p_u p_m p_d S_0 u d + p_u p_m^2 S_0 u + \\
&\quad p_u p_d^2 S_0 u d^2 + p_m p_u^2 S_0 u^2 + 2p_u p_m^2 S_0 u + \\
&\quad 2p_u p_m p_d S_0 u d + 2p_m^2 p_d S_0 d + p_m^3 S_0 +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& p_m p_d^2 S_0 d^2 + p_d p_u^2 S_0 u^2 d + \\
& 2p_u p_m p_d S_0 u d + 2p_u p_d^2 S_0 u d^2 + \\
& 2p_m p_d^2 S_0 d^2 + p_d p_m^2 S_0 d + p_d^3 S_0 d^3 \\
= & S_0 (p_u^3 u^3 + 2p_u^2 p_m u^2 + 2p_u^2 p_d u^2 d + \\
& 6p_u p_m p_d u d + p_u p_m^2 u + p_u p_m^2 u + \\
& p_u p_d^2 u d^2 + p_u^2 p_m u^2 + 2p_m^2 p_u u + \\
& 2p_m^2 p_d d + p_m^3 + p_m p_d^2 d^2 + p_d p_u^2 u^2 d + \\
& 2p_u p_d^2 u d^2 + 2p_m p_d^2 d^2 + p_d p_m^2 d + \\
& p_d^3 S_0 d^3) \\
= & S_0 (p_u u + p_m + p_d d)^3
\end{aligned}
\tag{2.38}$$

Apabila dilihat dari ekspektasi pada persamaan (2.36), (2.37), dan (2.38) maka dapat diperoleh rumus ekspektasi harga saham pada saat t_i sebagai berikut.

$$E(S_{t_i}) = S_0 (p_u u + p_m + p_d d)^i \tag{2.39}$$

Keterangan:

$E(S_{t_i})$ = Ekspektasi Harga Saham pada saat t_i

S_0 = Harga saham saat ini

u = Faktor kenaikan harga saham

d = Faktor penurunan harga saham

P_u = Peluang harga saham naik

P_m = Peluang harga saham konstan

P_d = Peluang harga saham turun

$i = N - 1, N - 2, \dots, 1, 0$ yang menunjukkan interval waktu

Selanjutnya untuk mencari rata-rata harga saham pada opsi Asia yaitu dengan menjumlahkan nilai ekspektasi harga saham pada saat t_i hingga t_N kemudian dibagi dengan banyaknya selang waktu N . Apabila S_{jN} menyatakan nilai harga saham pada waktu jatuh tempo pada suatu opsi Asia maka untuk nilai *payoff* opsi *call* Asia diperoleh rumus sebagai berikut.

$$C_{jN} = maks \left[S_{jN} - \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E(S_{t_i}) \right), 0 \right] \quad (2.40)$$

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

$$P_{jN} = maks \left[\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E(S_{t_i}) \right) - S_{jN}, 0 \right] \quad (2.41)$$

Keterangan:

C_{jN} = *Payoff* opsi beli pada waktu jatuh tempo
 P_{jN} = *Payoff* opsi jual pada waktu jatuh tempo
 $E(S_{t_i})$ = Ekspektasi Harga Saham pada saat t_i
 S_{jN} = Nilai harga saham opsi Asia pada waktu jatuh tempo

Berkaitan dengan nilai saham pada saat S_{ji} , $V_{ji} = C_{ji}$, dan $V_{ji} = P_{ji}$, dimana V_{ji} merupakan nilai opsi pada saat t_i .

Penentuan harga opsi saham dengan menggunakan model trinomial serupa dengan model binomial. Namun, dalam model trinomial terdapat tiga ruas dalam perhitungan ekspektasi *payoff*-nya. Hal ini dapat dilihat dari persamaan berikut.

$$V_{ji} = e^{-r\Delta t} (p_u V_{j+2 \ i+1} + p_m V_{j+1 \ i+1} + p_d V_{j \ i+1}) \quad (2.42)$$

Sehingga diperoleh opsi beli dan opsi jual Asia sebagai berikut.

$$C_{ji} = e^{-r\Delta t} (p_u C_{j+2 \ i+1} + p_m C_{j+1 \ i+1} + p_d C_{j \ i+1}) \quad (2.43)$$

$$P_{ji} = e^{-r\Delta t} (p_u P_{j+2 \ i+1} + p_m P_{j+1 \ i+1} + p_d P_{j \ i+1}) \quad (2.44)$$

Dimana,

C_{ji} = opsi beli Asia

P_{ji} = opsi jual Asia

$j = 0, 1, \dots, i + (i + 1)$ yang menunjukkan indeks kenaikan harga saham.

$i = N - 1, N - 2, \dots, 1, 0$ yang menunjukkan interval waktu.

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

$$\eta = \frac{\ln\left(\frac{S(0)}{b}\right)}{\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (2.45)$$

Keterangan:

η = banyaknya langkah dari harga saham awal hingga ke barrier

$S(0)$ = Harga saham awal

b = Barrier up

λ = Parameter kecenderungan harga saham

σ = Volatilitas

$\Delta t = \frac{T}{N}$, dimana T = waktu jatuh tempo dan N = banyak sampel data

Apabila η merupakan bilangan bulat, maka nilai λ akan tetap bernilai 1. Dalam beberapa kasus, η bukan merupakan bilangan bulat. Hal tersebut, parameter *stretch* (λ) dapat didefinisikan kembali menjadi:

$$\eta = n_0 \lambda \quad (2.46)$$

Selanjutnya, apabila nilai $n_0 = \eta$ maka nilai λ harus tetap bernilai 1. Jika nilai λ tidak bernilai 1, maka nilai λ dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$\lambda = \frac{\eta}{n_0} \quad (2.47)$$

J. Penelitian Terdahulu

1. Ni Nyoman Ayu Artanadi, Komang Dhamawan, dan Ketut Jayanegara (2017) melakukan

penelitian dengan judul Penentuan Harga Opsi Beli Tipe Asia dengan Metode Monte Carlo-*Control Variate*. Penelitian ini membahas metode Monte Carlo-*Control Variate* untuk penentuan harga opsi beli tipe Asia. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah harga penutupan dari saham PT. Telkom pada Januari 2014 hingga Agustus 2016. Hasil dari penelitian ini untuk metode Monte Carlo-*Control Variate* adalah *standart error* diperoleh sebesar 0.01 serta harga opsi yang konvergen pada Rp 152.00. Sementara itu, untuk Monte Carlo Standar diperoleh *standar error* sebesar 0.06 serta harga opsi yang konvergen pada Rp 160.00. Persamaan pada penelitian ini adalah terletak pada jenis opsi yang digunakan, yaitu opsi Asia. Kemudian, perbedaan pada penelitian ini adalah pada metode dan data saham yang digunakan, yaitu metode Monte Carlo-*Control Variate* dengan data harga penutupan saham PT. Telkom pada Januari 2014 sampai Agustus 2016.

2. Utin Indah Lestari, Evy Sulistianingsih, dan Nurfitri Imro'ah (2019) melakukan penelitian

dengan judul Penentuan Harga Opsi Asia dengan Rata-Rata Geometrik melalui Pendekatan *Black-Scholes*. Penelitian ini membahas pendekatan *Black-Scholes* dengan rata-rata geometrik untuk menentukan harga opsi Asia. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh opsi jual tipe Asia lebih rendah daripada harga opsi jual di pasaran sehingga investor sebaiknya menjual opsi tersebut karena opsi di pasar lebih tinggi. Persamaan pada penelitian ini adalah pada jenis opsi yang digunakan, yaitu opsi Asia. Namun, dalam penelitian ini metode yang digunakan peneliti untuk menentukan harga opsi adalah metode pendekatan *Black-Scholes*. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data penutupan harga saham pada perusahaan Microsoft Corporation yaitu pada 25 September 2017 hingga 25 September 2018.

3. S. Sulastri, Lienda Novieyanti, dan Sukono (2019) melakukan penelitian dengan judul Penentuan Harga Opsi *Barrier* menggunakan Metode Trinomial Kamrad-Ritchken dengan Volatilitas Model GARCH. Penelitian ini membahas metode

Trinomial Kamrad-Ritchken dengan volatilitas model GARCH untuk menentukan harga opsi Barrier. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder berupa data penutupan saham Bank Rakyat Indonesia (Persero) Tbk. Persamaan pada penelitian ini adalah pada jenis metode yang digunakan, yaitu metode Trinomial Kamrad-Ritchken. Namun, pada penelitian ini, jenis opsi yang digunakan adalah opsi Barrier dan juga volatilitasnya dicari dengan menggunakan model GARCH.

4. Diandra R. Larasati (2018) melakukan penelitian dengan judul Penentuan Harga Opsi Eropa menggunakan Metode Trinomial dengan Volatilitas menggunakan Metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE). Data yang digunakan pada penelitian ini adalah harga penutupan dari saham Apple Inc (AAPL) pada tahun 2018. Hasil dari penelitian ini diperoleh nilai opsi sebesar \$0,41863 yang menunjukkan bahwa opsi beli Eropa dipengaruhi oleh harga saham, harga kesepakatan, volatilitas, serta jumlah periode. Persamaan dari penelitian ini adalah terletak

pada jenis metode yang digunakan yaitu metode Trinomial. Selanjutnya perbedaan pada penelitian ini adalah pada volatilitas dan jenis opsi yang digunakan yaitu menggunakan volatilitas dengan metode *maximum likelihood estimation (MLE)* dan menggunakan jenis opsi Eropa.

5. Junarsih (2017) melakukan penelitian dengan judul Penggunaan Model Trinomial Kamrad Ritchken dalam Menentukan Harga Opsi Put Amerika. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah harga penutupan harian dari saham Microsoft Corporation (MSFT) periode 1 Maret 2016 hingga 1 September 2016. Pada penelitian ini diperoleh harga opsi put sebesar \$2,31124. Persamaan dari penelitian ini adalah terletak pada model yang digunakan yaitu model Trinomial Kamrad Ritchken. Sementara itu, yang membedakan penelitian ini dengan penelitian yang penulis lakukan adalah pada tipe opsi yang digunakan yaitu opsi dengan tipe Amerika.
6. Kuntjoro Adji Sidarto, Muhammad Syamsuddin, dan Dila Puspita (2019) melakukan penelitian dengan judul *Pricing 'partial-average' Asian*

Options with the Binomial Method. Penelitian ini dilakukan dengan memodifikasi metode binomial guna menentukan harga opsi aritmatika Asia. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah apabila jarak antara dua periode waktu diperlebar dengan menggeser periode waktu kedua ke kanan maka harga opsi menjadi lebih rendah, tetapi apabila jarak tersebut diperlebar dengan menggeser periode waktu pertama ke kiri maka harga menjadi lebih tinggi. Persamaan dari penelitian ini terletak pada jenis opsi yang digunakan, yaitu opsi Asia. Sementara itu yang membedakan penelitian ini adalah metode yang digunakan yaitu metode Binomial.

7. Javed Hussain dan Shoaib Khan (2021) melakukan penelitian dengan judul *On Numerical Pricing of Put-Call Parities for Asian Options Driven by New Time-Fractional Black-Scholes Evolution Equation*. Persamaan pada penelitian ini adalah pada jenis opsi yang digunakan, yaitu opsi Asia. Namun, metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah model *Black-Scholes*. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk

memperoleh model persamaan evaluasi pecahan waktu dari premi opsi Asia yang bergantung pada aset dasar yang memenuhi persamaan diferensial stokastik pecahan dan untuk menentukan empat versi *put-call parity* pada opsi Asia, dengan menyelesaikan evolusi pecahan waktu *Black-Scholes* yang memodelkan perbedaan premi opsi *put* dan *call* Asia.

8. Manisha dan S. Chandra Sekhara Rao (2019) melakukan penelitian dengan judul *A Computational Technique for Asian Option Pricing Model*. Penelitian ini melakukan penentuan harga opsi menggunakan teknik komputasi yaitu dengan skema HODIE. Skema ini dapat mempermudah menangani koefisien variabel yang muncul dalam persamaan diferensial parsial karena mengambil volatilitas, suku bunga bebas risiko, dan dividen bukan sebagai konstanta tetapi sebagai fungsi waktu. Hasil numerik yang diperoleh sesuai dengan hasil teoritisnya.
9. Dushko Jasheski dan Mico Apostolov (2020) melakukan penelitian dengan judul *A Review of the Binomial and Trinomial Models for Option*

Pricing and Their Convergence to the Black-Scholes Model Determined Option Price. Penelitian ini menggunakan metode binomial dan trinomial dalam melakukan penentuan harga opsi serta mengkonvergensi terhadap hasil dari model *Black-Scholes*. Jenis opsi yang digunakan adalah opsi Eropa dan opsi Amerika. Hasil dari penelitian ini mendukung kebijakan konvensional bahwa model penentuan harga opsi trinomial seperti model Kamrad-Ritchken dan model Boyle mengalami konvergensi lebih cepat daripada model binomial. Sehingga dapat disimpulkan bahwa model binomial yang ditingkatkan seperti model Hahtela lebih cepat konvergen ke hasil model *Black-Scholes*.

10. Bowen Ma, Yanchi Yang, Jiaming Zhang, dan Keli Zhang (2022) melakukan penelitian yang berjudul *A Comparison of Stock Price Prediction with ANN and ARIMA*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kegunaan dan efektivitas model *Artificial Neural Network* (ANN) dan model *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) dalam memprediksi harga saham

NVIDIA dari tahun 2020 hingga 2022. Penelitian ini memiliki persamaan pada jenis saham yang diteliti, yaitu saham NVIDIA namun pada periode 2020 hingga 2022. Sementara itu, perbedaannya terletak pada tujuan penelitiannya, yaitu memprediksi harga saham. Berdasarkan analisis, model ANN lebih cocok dan akurat dalam memprediksi harga saham NVIDIA karena tingkat akurasinya tinggi. Namun, ditemukan juga bahwa model ARIMA lebih praktis dalam hal analisis aktual karena memerlukan variabel sederhana dan mengikuti waktu dasar yang memungkinkan adanya trend masa depan berdasarkan data masa lalu.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian terapan. Menurut Cooper dan Schindler (2003), penelitian terapan merupakan suatu penelitian yang dilakukan untuk mengimplementasikan hasil guna memecahkan masalah tertentu yang sedang dialami suatu organisasi.

B. Data dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari <https://finance.yahoo.com/> yaitu penutupan data harian yang berasal dari saham NVIDIA Corp. dengan periode 2 Agustus 2021 hingga 29 September 2023. Dalam penelitian ini suku bunga yang digunakan adalah suku bunga bank sentral Amerika yang diperoleh melalui *website* <https://www.global-rates.com/> yaitu suku bunga pada bulan September 2023 sebesar 5,50%.

C. Metode Pengumpulan Data

Metode yang digunakan dalam pengumpulan data adalah metode dokumentasi. Peneliti menggunakan metode dokumentasi yaitu metode yang digunakan dengan mengumpulkan data tertulis yang berkaitan dengan harga saham perusahaan NVIDIA Corporation.

Data tersebut adalah data sekunder dan resmi. Data sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung dari objek penelitian. Umumnya, penelitit memperoleh data yang sudah jadi dan dikumpulkan oleh pihak lain dengan berbagai cara, baik secara komersial maupun non-komersial (Raya, 2018).

Pada penelitian ini, data sekunder yang diperlukan berupa data penutupan harga saham harian yang diambil dari perusahaan NVIDIA Corporation dengan periode waktu 2 Agustus 2021 hingga 29 September 2023 yang diambil dari website *yahoo finance* yaitu <https://finance.yahoo.com/>.

D. Prosedur Penelitian

Terdapat beberapa langkah yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya:

1. Mengambil data penutupan harian saham pada saham NVIDIA Corporation. melalui website *yahoo finance*.
2. Menghitung nilai *return* harga saham NVIDIA Corporation. dengan menggunakan rumus pada Persamaan (2.2).
3. Menghitung variansi *return* saham NVIDIA Corporation. dengan menggunakan rumus pada Persamaan (2.3).
4. Menghitung volatilitas harga saham NVIDIA Corporation. dengan menggunakan rumus pada Persamaan (2.4).
5. Menentukan tingkat suku bunga bebas risiko.
6. Menghitung rata-rata harga saham untuk menentukan *barrier* dengan menggunakan rumus pada persamaan (2.6).
7. Menentukan nilai waktu jatuh tempo (T) dan Δt .
8. Menentukan nilai λ , u , d , p_u , p_m , dan p_d

- a. Menentukan nilai parameter kecenderungan harga saham (λ) dengan rumus pada Persamaan (2.47).
 - b. Menentukan parameter kenaikan harga saham (u) dan parameter penurunan harga saham (d).
 - c. Menentukan peluang kenaikan harga saham (p_u), peluang saham konstan (p_m) dan peluang penurunan harga saham (p_d) dengan menggunakan Persamaan (2.32).
9. Menentukan ekspektasi harga saham dengan menggunakan Persamaan (2.39).
 10. Menghitung rata-rata aritmatika ekspektasi harga saham.
 11. Menentukan nilai-nilai kemungkinan harga saham pada simpul (i,j) hingga diperoleh (S_{jN}) dengan menggunakan rumus pada Persamaan (2.35).
 12. Menentukan nilai *payoff* opsi *call* dan opsi *put* Asia yaitu *average strike option* dengan rata-rata aritmatika menggunakan rumus pada persamaan (2.40) dan (2.41).

13. Menentukan Harga Opsi *Call* dan Opsi *Put* dengan menggunakan rumus pada Persamaan (2.43) dan (2.44).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Data Harga Saham

Pada penelitian ini akan dilakukan penelitian menggunakan data saham perusahaan NVIDIA Corporation (NVDA) yaitu sebanyak 545 data dengan jangka waktu selama 2 tahun. Adapun data harian penutupan harga saham tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan selengkapnya pada Lampiran 1.

Tabel 4. 1 Harga Penutupan Saham NVIDIA Corporation

<i>t</i>	Tanggal	Harga Penutupan Saham
0	2 Agust 2021	197,50
1	3 Agust 2021	198,15
2	4 Agust 2021	202,74
⋮	⋮	⋮
542	27 Sep 2023	424,68
543	28 Sep 2023	430,89
544	29 Sep 2023	434,99

Sumber: <http://www.finance.yahoo.com>

2. Return Harga Saham NVIDIA Corp. (NVDA)

Apabila t merupakan interval waktu pegamatan, P_t merupakan harga saham NVDA pada waktu ke- t , dan R_t merupakan *return* saham ke- t , maka *return* harga saham NVDA dapat diselesaikan dengan rumus pada Persamaan (2.2) sehingga diperoleh hasil sebagai berikut.

Untuk $t = 0$ maka:

$$R_t = -$$

Untuk $t = 1$ maka:

$$R_1 = \frac{198,15 - 197,50}{197,50} = 0,00329$$

Untuk $t = 2$ maka:

$$R_2 = \frac{202,74 - 198,15}{198,15} = 0,02316$$

⋮

Untuk $t = 542$ maka:

$$R_{542} = \frac{424,2 - 419,11}{419,11} = 0,01392$$

Untuk $t = 543$ maka:

$$R_{543} = \frac{430,89 - 424,68}{424,68} = 0,01462$$

Untuk $t = 544$ maka:

$$R_{544} = \frac{434,99 - 430,89}{430,89} = 0,00952$$

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Return Harga Saham *NVIDIA Corporation*.

<i>t</i>	Harga Penutupan Saham	Return Saham
0	197,50	-
1	198,15	0,00329
2	202,74	0,02316
⋮	⋮	⋮
542	424,68	0,1392
543	430,89	0,01462
544	434,99	0,00952

3. Variansi return Harga Saham NVIDIA Corp. (NVDA)

Apabila $n = 545$ merupakan banyaknya data yang akan diamati, $\bar{R}$ merupakan rata-rata return saham, dan var merupakan variansi dari R_t sehingga nilai variansi dari return saham NVIDIA Corp. dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.3) berikut.

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (R_t - \bar{R})^2$$

Dimana,

$$\begin{aligned}
\bar{R} &= \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n R_t \\
&= \frac{1}{545} \sum_{t=1}^{545} R_t \\
&= \frac{1}{545} (0,003291 + \\
&\quad 0,023264 + \dots + 0,014623 + 0,009515) \\
&= \frac{1,113750}{545} \\
&= 0,002087
\end{aligned}$$

Tabel 4. 3 Perhitungan Mencari Nilai Variansi Return Saham

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
0	—	—	—
1	0,003291	0,001204	0,000001450
2	0,02316	0,021077	0,000444254
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
542	0,013290	0,011203	0,000125509
543	0,014623	0,012536	0,000157147
544	0,009515	0,007428	0,000055177
Jumlah	1,137499	0,002171	0,707129346

Hasil perhitungan lengkap dapat dilihat pada Lampiran 2.

Berdasarkan Tabel 4.3 diketahui n merupakan banyak data yang diamati sebanyak 545, sehingga s^2 menggunakan interval t 1 hingga 544. Oleh sebab itu, 2 nilai

variansi return saham dapat dihitung menggunakan rumus pada Persamaan (2.3) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 s^2 &= \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (R_t - \bar{R})^2 \\
 s^2 &= \frac{1}{545-1} 0,707129346 \\
 &= \frac{0,707129346}{544} \\
 &= 0,001299870
 \end{aligned}$$

Jadi, nilai variansi return saham NVIDIA Corporation adalah 0,001299870

4. Volatilitas Harga Saham NVIDIA Corporation.

Apabila σ merupakan volatilitas harga saham NVIDIA Corp, T merupakan jumlah hari perdagangan harga saham sehingga volatilitas dapat dihitung dengan menggunakan rumus pada Persamaan (2.4) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \sqrt{s^2 \times T} \\
 \sigma &= \sqrt{0,001299870 \times 504} \\
 &= \sqrt{0,65513448} \\
 &= 0,809403781
 \end{aligned}$$

Jadi, diperoleh nilai Volatilitas harga saham sebesar 0,809403781

5. Suku bunga bebas risiko

Tingkat suku bunga yang akan digunakan adalah suku bunga *American Central Bank* yaitu suku bunga pada bulan September 2023 sebesar 5,50% yang diperoleh dari website <https://www.global-rates.com/>.

6. Menghitung rata-rata harga saham

Rata-rata harga saham adalah rata-rata harga saham dari periode 2 Agustus 2021 sampai 29 September 2023. Rata-rata harga harga saham ini untuk menentukan *barrier* (b). Rata-rata harga saham dapat diperoleh dengan menggunakan rumus pada Persamaan (2.6) sebagai berikut.

$$\begin{aligned} b &= \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n S_{t_i} = \frac{(S(t_0) + S(t_1) + \dots + S(t_n))}{n} \\ &= \frac{(197,50 + 198,15 + \dots + 434,99)}{545} \end{aligned}$$

$$= \frac{135608,68}{545}$$

$$= 248,82$$

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

a. Waktu jatuh tempo (T)

Pada penelitian ini, waktu jatuh tempo yang digunakan adalah 6 bulan, 1 tahun, dan 1,5 tahun.

b. Nilai Δt

Apabila dalam penelitian ini waktu jatuh tempo (T) adalah 6 bulan, 1 tahun, dan 1,5 tahun serta banyaknya langkah (N) yang digunakan adalah $N = 90$ langkah karena waktu jatuh tempo yang digunakan adalah 6 bulan, 12 bulan, dan 18 bulan sehingga saat $N = 90$ langkah atau mendekati 3 bulan maka hasil perhitungan kasar Δt sudah terlihat. Perhitungan kasar tersebut nantinya dapat mempermudah untuk memperoleh gambaran tentang Δt .

Tabel 4. 4. *Pehitungan nilai Δt*

T (tahun)	N	Δt
0,5	90	0,00556
1	90	0,01111
1,5	90	0,01667

8. Menentukan nilai λ , u , d , p_u , p_m , dan p_d

Pada perhitungan harga opsi menggunakan model Trinomial Kamrad Ritcken dibutuhkan beberapa elemen dasar untuk memudahkan perhitungan. Elemen-elemen tersebut yaitu volatilitas harga saham (σ), harga saham saat ini (S_0), *barrier* (b), tingkat bunga bebas risiko (r), waktu jatuh tempo (T), jumlah periode (n), dan *strike price* (K).

- Berdasarkan perhitungan volatilitas harga saham yang telah dilakukan diperoleh nilai sebesar $\sigma = 0,809403781$.
- Berdasarkan Tabel 4.1 dapat diperoleh nilai harga saham saat ini yaitu pada tanggal 29 September 2023 sebesar $S(0) = \$434,99$.

- c) *Barrier (b)* dapat ditentukan dengan menghitung rata-rata dari penutupan harga saham selama opsi berjalan yaitu sebesar $b = \$248,82$.
- d) Tingkat suku bunga bebas risiko Bank Amerika periode pada bulan September 2023 adalah sebesar 5,50% maka $r = 0,055$.
- e) Nilai *strike price* (K) yaitu 377,50 sebagai asumsi harga kesepakatan untuk perhitungan saham.

Selanjutnya perhitungan dalam menentukan harga opsi *Put* dan *Call* dilakukan dengan beberapa tahapan, diantaranya sebagai berikut.

(1) Menentukan nilai Lamda (λ)

Nilai Lamda (λ) adalah parameter kecenderungan harga saham yang dapat diperoleh dengan rumus pada Persamaan (2.47) sebagai berikut.

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

Dimana,

$$\eta = \frac{\ln\left(\frac{S(0)}{b}\right)}{\sigma\sqrt{\Delta t}}$$

$$n_0 = \|\eta\|$$

Sehingga untuk $T = 0,5 \text{ tahun}$ diperoleh,

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{\ln\left(\frac{S(0)}{b}\right)}{\sigma\sqrt{\Delta t}} \\ &= \frac{\ln\left(\frac{434,99}{248,82}\right)}{0,809403781 \times \sqrt{0,00555555555555556}} \\ &= \frac{\ln(1,748211558556386)}{0,809403781 \times 0,074535599249993} \\ &= \frac{0,5585932988323523}{0,0603293958520453} \\ &= 9,2590567325135\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n_0 &= \|\eta\| \\ &= \|9,2590567325135\| \\ &= 9\end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\eta}{n_0} \\ &= \frac{9,259056732513972}{9} \\ &= 1,02878408139039\end{aligned}$$

- (2) Menentukan Parameter Kenaikan Harga Saham (u) dan Parameter Penurunan Harga Saham (d)

Parameter kenaikan harga saham dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut sehingga untuk $T = 0,5$ tahun diperoleh.

$$\begin{aligned} u &= e^{\lambda\sigma\sqrt{\Delta t}} \\ &= e^{(1,028784081)(0,809403781)\sqrt{0,005555555556}} \\ &= e^{(1,028784081)(0,809403781)(0,07453559925)} \\ &= e^{(0,06206592209248)} \\ &= 1,06403248566401 \end{aligned}$$

Selanjutnya, parameter penurunan harga saham dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned} d &= e^{-\lambda\sigma\sqrt{\Delta t}} \text{ atau } d = \frac{1}{e^{\lambda\sigma\sqrt{\Delta t}}} = \frac{1}{u} \\ d &= \frac{1}{1,06403248566401} = 0,9398209297867 \end{aligned}$$

- (3) Menentukan Peluang Kenaikan Harga Saham (p_u) Peluang Saham Konstan (p_m) Peluang Penurunan Harga Saham (p_d)

Peluang kenaikan harga saham dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2.32) sehingga untuk $T = 0,5$ tahun diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 p_u &= \frac{1}{2\lambda^2} + \frac{\left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)\sqrt{\Delta t}}{2\lambda\sigma} \\
 &= \frac{1}{2(1,02878408139039)^2} + \\
 &\quad \frac{\left(0,055 - \frac{1}{2}(0,809403781)^2\right)\sqrt{0,0055555555555556}}{2(1,02878408139039)(0,809403781)} \\
 &= \frac{1}{2,116793372245} + \\
 &\quad \frac{(-0,27256724)(0,07453559925)}{1,66540345061999} \\
 &= 0,4724126658 + \left(\frac{-0,020315962569}{1,66540345061999}\right) \\
 &= 0,4724126658 + (-0,0121988234) \\
 &= 0,4602138424
 \end{aligned}$$

Sementara itu, peluang harga saham konstan dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2.33) sehingga untuk $T = 0,5$ tahun diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
p_m &= 1 - \frac{1}{\lambda^2} \\
&= 1 - \frac{1}{(1,02878408139039)^2} \\
&= 1 - \frac{1}{1,058396686122269} \\
&= 1 - 0,9448253316663145 \\
&= 0,0551746683
\end{aligned}$$

Selanjutnya peluang penurunan harga saham diperoleh menggunakan Persamaan (2.34) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
p_d &= \frac{1}{2\lambda^2} - \frac{\left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)\sqrt{\Delta t}}{2\lambda\sigma} \\
&= \frac{1}{2(1,02878408139039)^2} - \\
&\quad \frac{\left(0,055 - \frac{1}{2}(0,809403781)^2\right)\sqrt{0,0055555555555556}}{2(1,02878408139039)(0,809403781)} \\
&= \frac{1}{2,116793372244537} - \\
&\quad \frac{(-0,27256724)(0,074535599249993)}{1,665403450619987} \\
&= 0,4724126658 - \\
&\quad \left(\frac{-0,020315962569}{1,665403450619987}\right) \\
&= 0,4724126658 - \\
&\quad (-0,0121988234) \\
&= 0,4846114892
\end{aligned}$$

9. Menentukan Ekspektasi Harga Saham NVIDIA Corp.

Nilai ekspektasi harga saham dapat diperoleh dengan menggunakan rumus pada Persamaan (2.39) sehingga dapat diperoleh hasil sebagai berikut.

$$E(S_{t_i}) = S_0(p_u u + p_m + p_d d)^i$$

$$E(S_{t_1}) = 434,99 \cdot$$

$$\{(0,4602138424)(1,06403248566401) +$$

$$0,0551746683 +$$

$$(0,4846114892)(0,9398209297867)\}^1$$

$$= 434,99 \cdot (0,4896824787 +$$

$$0,0551746683 + 0,4554480204)^1$$

$$= 434,99 \cdot 1,0003051674$$

$$= 435,1227448$$

$$E(S_{t_2}) = 434,99 \cdot$$

$$\{(0,4602138424)(1,06403248566401) +$$

$$0,0551746683 +$$

$$(0,4846114892)(0,9398209297867)\}^2$$

$$\begin{aligned}
&= 434,99 \cdot (0,4896824787 + \\
&0,0551746683 + 0,4554480204)^2 \\
&= 434,99 \cdot (1,0003051674)^2 \\
&= 434,99 \cdot 1,00061042799 \\
&= 434,2555301
\end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned}
E(S_{t_{89}}) &= 434,99 \cdot \\
&\{(0,4602138424)(1,06403248566401) + \\
&0,0551746683 + \\
&(0,4846114892)(0,9398209297867)\}^{89} \\
&= 434,99 \cdot (0,4896824787 + \\
&0,0551746683 + 0,4554480204)^{89} \\
&= 434,99 \cdot (1,0003051674)^{89} \\
&= 434,99 \cdot 1,02752783597 \\
&= 446,9643334
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E(S_{t_{90}}) &= 434,99 \cdot \\
&\{(0,4602138424)(1,06403248566401) + \\
&0,0551746683 + \\
&(0,4846114892)(0,9398209297867)\}^{90} \\
&= 434,99 \cdot (0,4896824787 + \\
&0,0551746683 + 0,4554480204)^{90}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 434,99 \cdot (1,0003051674)^{90} \\
&= 434,99 \cdot 1,0278414034 \\
&= 447,1007323
\end{aligned}$$

Hasil perhitungan lengkap dapat dilihat pada Lampiran 3.

10. Menghitung rata-rata aritmatika dari ekspektasi harga saham

Harga saham rata-rata pada opsi Asia diperoleh dengan menjumlahkan nilai ekspektasi harga saham pada waktu t_i hingga waktu t_N setelah itu dibagi dengan banyaknya selang waktu N . Rata-rata harga saham dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

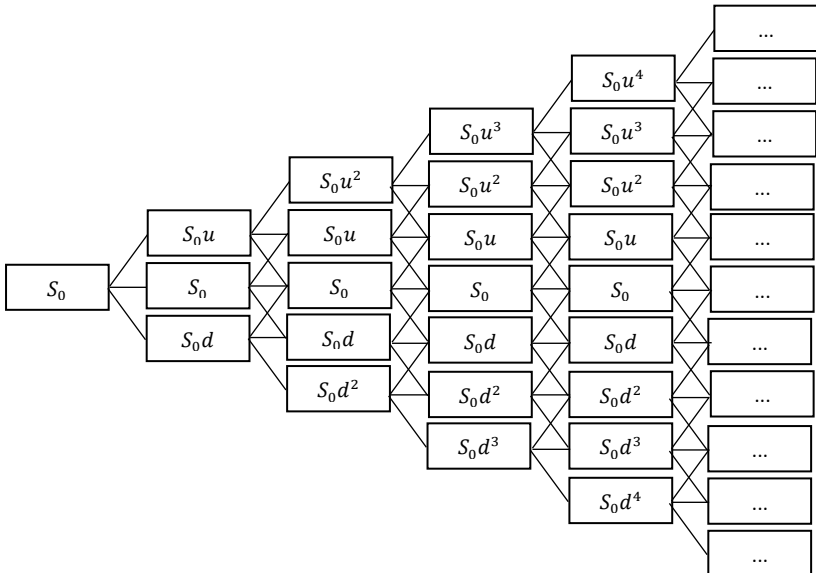
$$\begin{aligned}
A &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E(S_{t_i}) \\
&= \frac{(E(S_{t_1}) + E(S_{t_2}) + \dots + E(S_{t_N}))}{N} \\
&= \frac{(435,1227448 + 434,2555301 + \dots + 447,1007323)}{90} \\
&= \frac{39697,64437495}{90} \\
&= 441,0849375
\end{aligned}$$

11. Menentukan Harga Saham pada Simpul atau Node (i, j)

Harga saham pada node (i,j) dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2.35) sebagai berikut.

$$S_{ji} = S_0 u^j d^{i-j}$$

dengan perulangan i dari 0 hingga 90 dan perulangan j dari 0 hingga i . Adapun skema umum untuk pohon Trinomial yaitu sebagai berikut.



Bagan 4. 1. Skema Umum Pohon Trinomial

Perhitungan harga saham dengan 90 periode
yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S_{0.0} &= 434,99 \cdot 1,06403248566401^0 \cdot \\ &\quad 0,9398209297867^{0-0} \\ &= 434,99 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{1.1} &= 434,99 \cdot 1,06403248566401^1 \cdot \\ &\quad 0,9398209297867^{1-1} \\ &= 462,8434909 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{0.1} &= 434,99 \cdot 1,06403248566401^0 \cdot \\ &\quad 0,9398209297867^{1-0} \\ &= 408,8127062 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{2.2} &= 434,99 \cdot 1,06403248566401^2 \cdot \\ &\quad 0,9398209297867^{2-2} \\ &= 492,4805101 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{0.2} &= 434,99 \cdot 1,06403248566401^0 \cdot \\ &\quad 0,9398209297867^{2-0} \\ &= 384,2107377 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{3.3} &= 434,99 \cdot 1,06403248566401^3 \cdot \\ &\quad 0,9398209297867^{3-3} \\ &= 524,0152613 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{0.3} &= 434,99 \cdot 1,06403248566401^0 \cdot \\
&\quad 0,9398209297867^{3-0} \\
&= 361,0892927
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{4.4} &= 434,99 \cdot 1,06403248566401^4 \cdot \\
&\quad 0,9398209297867^{4-4} \\
&= 557,5692611
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{5.5} &= 434,99 \cdot 1,06403248566401^5 \cdot \\
&\quad 0,9398209297867^{5-5} \\
&= 593,2718068
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{0.5} &= 434,99 \cdot 1,06403248566401^0 \cdot \\
&\quad 0,9398209297867^{5-0} \\
&= 318,9369492
\end{aligned}$$

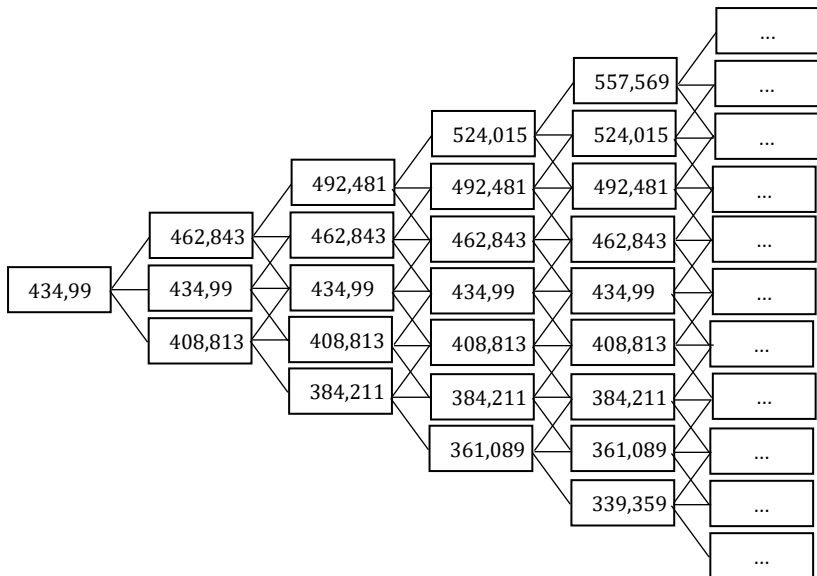
$$\begin{aligned}
S_{6.6} &= 434,99 \cdot 1,06403248566401^6 \cdot \\
&\quad 0,9398209297867^{6-6} \\
&= 631,2604752
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{0.6} &= 434,99 \cdot 1,06403248566401^0 \cdot \\
&\quad 0,9398209297867^{6-0} \\
&= 299,7436201
\end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned}
S_{90.90} &= 434,99 \cdot 1,06403248566401^{90} \cdot \\
&\quad 0,9398209297867^{90-90}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 115989,625488 \\
S_{0,90} &= 434,99 \cdot 1,06403248566401^0 \cdot \\
&\quad 0,9398209297867^{90-0} \\
&= 1,6313209
\end{aligned}$$



Bagan 4. 2. Harga Saham NVIDIA Corporation. pada Node (i,j)

12. Menentukan *Payoff* Opsi *Call* dan Opsi *Put* Asia Saham NVIDIA Corporation.

Hasil harga saham dititik node (i,j) telah diperoleh, selanjutnya akan dihitung

nilai *payoff* yang akan digunakan untuk menghitung nilai opsi pada node terakhir dengan menggunakan Persamaan (2,5) sebagai berikut.

$$\begin{cases} maks(S_T - A, 0) , \text{ untuk opsi call Asia} \\ maks(A - S_T, 0) , \text{ untuk opsi put Asia} \end{cases}$$

Sehingga nilai *payoff* opsi *call* Asia untuk $T = 0,5$ tahun dapat diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned} C_{180.90} &= maks(S_{90.90} - A, 0) \\ &= maks[(115989,6254882 - \\ &\quad 441,0849375), 0] \\ &= maks((115548,5405507), 0) \\ &= 115548,5405507 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{179.90} &= maks(S_{89.89} - A, 0) \\ &= maks[(109009,4776719 - \\ &\quad 441,0849375), 0] \\ &= maks((108568,3927344), 0) \\ &= 108568,3927344 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{178.90} &= maks(S_{88.88} - A, 0) \\ &= maks[(102449,3886612 - \\ &\quad 441,0849375), 0] \\ &= maks((102008,3037237), 0) \\ &= 102008,3037237 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{177.90} &= maks(S_{87.87} - A, 0) \\ &= maks[(96284,0797076 - \\ &\quad 441,0849375), 0] \\ &= maks((95842,9947701), 0) \\ &= 95842,9947701 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{176.90} &= maks(S_{86.86} - A, 0) \\
&= maks[(90489,7933144 - \\
&\quad 441,0849375), 0] \\
&= maks((90048,7083770), 0) \\
&= 90048,7083770
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{175.90} &= maks(S_{85.85} - A, 0) \\
&= maks[(85044,2016890 - \\
&\quad 441,0849375), 0] \\
&= maks((84603,1167515), 0) \\
&= 84603,1167515
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{174.90} &= maks(S_{84.84} - A, 0) \\
&= maks[(79926,3207043 - \\
&\quad 441,0849375), 0] \\
&= maks((79485,2357668), 0) \\
&= 79485,2357668
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{173.90} &= maks(S_{83.83} - A, 0) \\
&= maks[(75116,4290387838 - \\
&\quad 441,0849375), 0] \\
&= maks((74675,3441013), 0) \\
&= 74675,3441013
\end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned}
C_{4.90} &= maks(S_{0.86} - A, 0) \\
&= maks[(2,0910237 - \\
&\quad 441,0849375), 0] \\
&= maks((-438,9939138), 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{3.90} &= maks(S_{0.87} - A, 0) \\
&= maks[(1,9651878 - \\
&\quad 441,0849375), 0]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= maks((-439,1197497), 0) \\
&= 0 \\
C_{2.90} &= maks(S_{0.88} - A, 0) \\
&= maks[(1,8469246 - \\
&\quad 441,0849375), 0] \\
&= maks((-439,2380129), 0) \\
&= 0 \\
C_{1.90} &= maks(S_{0.89} - A, 0) \\
&= maks[(1,7357784 - \\
&\quad 441,0849375), 0] \\
&= maks((-439,3491591), 0) \\
&= 0 \\
C_{0.90} &= maks(S_{0.90} - A, 0) \\
&= maks[(1,6313209 - \\
&\quad 441,0849375), 0] \\
&= maks((-439,4536166), 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

Kemudian nilai *payoff* opsi *put* Asia untuk $T = 0,5$ tahun dapat diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
P_{180.90} &= maks(A - S_{90.90}, 0) \\
&= maks[(441,0849375 - \\
&\quad 115989,6254882), 0] \\
&= maks((-115548,5405507), 0) \\
&= 0 \\
P_{179.90} &= maks(A - S_{89.89}, 0) \\
&= maks[(441,0849375 - \\
&\quad 109009,4776719), 0] \\
&= maks((-108568,3927344), 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{178.90} &= maks(A - S_{88.88}, 0) \\
&= maks[(441,0849375 - \\
&\quad 102449,3886612), 0] \\
&= maks((-102008,3037237), 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{177.90} &= maks(A - S_{87.87}, 0) \\
&= maks[(441,0849375 - \\
&\quad 96284,0797076), 0] \\
&= maks((-95842,9947701), 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{176.90} &= maks(A - S_{86.86}, 0) \\
&= maks[(441,0849375 - \\
&\quad 90489,7933144), 0] \\
&= maks((-90048,7083770), 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{175.90} &= maks(A - S_{85.85}, 0) \\
&= maks[(441,0849375 - \\
&\quad 85044,2016890), 0] \\
&= maks((-84603,1167515), 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned}
P_{5.90} &= maks(A - S_{0.85}, 0) \\
&= maks[(441,0849375 - \\
&\quad 2,2249171), 0] \\
&= maks((438,8600204), 0) \\
&= 438,8600204
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{4.90} &= maks(A - S_{0.86}, 0) \\
&= maks[(441,0849375 - \\
&\quad 2,0910237), 0] \\
&= maks((438,9939138), 0) \\
&= 438,9939138
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{3.90} &= maks(A - S_{0.87}, 0) \\
&= maks[(441,0849375 - \\
&\quad 1,9651878), 0] \\
&= maks((439,1197497), 0) \\
&= 439,1197497
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{2.90} &= maks(A - S_{0.88}, 0) \\
&= maks[(441,0849375 - \\
&\quad 1,8469246), 0] \\
&= maks((439,2380129), 0) \\
&= 439,2380129
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{1.90} &= maks(A - S_{0.89}, 0) \\
&= maks[(441,0849375 - \\
&\quad 1,7357784), 0] \\
&= maks((439,3491591), 0) \\
&= 439,3491591
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{0.90} &= maks(A - S_{0.90}, 0) \\
&= maks[(441,0849375 - \\
&\quad 1,6313209), 0] \\
&= maks((439,4536166), 0) \\
&= 439,4536166
\end{aligned}$$

13. Menentukan Harga Opsi *call* dan Opsi *put* Saham NVIDIA Corporation.

Selanjutnya setelah memperoleh nilai *payoff*, harga opsi *call* pada node 0 sampai node 89 untuk $T = 0,5$ tahun dihitung dengan metode Trinomial menggunakan Persamaan (2.40) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
C_{ji} &= e^{-r\Delta t} (p_u C_{j+2i+1} + p_m C_{j+1i+1} + p_d C_{ji+1}) \\
C_{178.89} &= \\
&= e^{(-0,055)(0,005555555555555556)} ((0,4602138424)C_{180.90} + \\
&(0,0551746683)C_{179.90} + (0,4846114892)C_{178.90}) \\
&= e^{(-0,00030555555555555558)} ((0,4602138424)(115548,5405507) \\
&+ (0,0551746683)(108568,3927344) \\
&+ (0,4846114892)(102008,3037237)) \\
&= 0,9996944911218 ((53177,0378305) + \\
&(5990,2250570) + (49434,3959783)) \\
&= (0,9996944911218)(108601,6588658) \\
&= 108568,4800948
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{177.89} &= \\
&= e^{(-0,055)(0,005555555555555556)} ((0,4602138424)C_{179.90} \\
&+ (0,0551746683)C_{178.90} + (0,4846114892)C_{177.90})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(108568,3927344) \\
&+ (0,0551746683)(102008,3037237) \\
&+ (0,4846114892)(95842,9947701)) \\
&= 0,9996944911218 ((49964,6771835) + \\
&(5628,2743218) + (46446,6164249)) \\
&= (0,9996944911218)(102039,5679302) \\
&= 102008,3939363
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{176,89} &= \\
&e^{(-0,055)(0,0055555555555556)}((0,4602138424)C_{178,90} + \\
&(0,0551746683)C_{177,90} + (0,4846114892)C_{176,90}) \\
&= e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(102008,3037237) \\
&+ (0,0551746683)(95842,9947701) \\
&+ (0,4846114892)(90048,7083770)) \\
&= 0,9996944911218((46945,6334134) + \\
&(5288,1054453) + (43.638,6386671)) \\
&= (0,9996944911218)(95872,3775258) \\
&= 95843,0876633
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{175.89} &= \\
e^{(-0,055)(0,005555555555555556)} &((0,4602138424)C_{177.90} + \\
(0,0551746683)C_{176.90} &+ (0,4846114892)C_{175.90}) \\
= e^{(-0,00030555555555555558)} &((0,4602138424)(95842,9947701) \\
+ (0,0551746683)(90048,7083770) &+ (0,4846114892)(84603,1167515)) \\
= 0,9996944911218 &((44108,2728903) + \\
(4968,4076155) + (40999,6423999)) & \\
= (0,9996944911218)(90076,3229057) & \\
= 90048,8037893 & \\
\vdots & \\
C_{3.89} &= \\
e^{(-0,055)(0,005555555555555556)} &((0,4602138424)C_{5.90} + \\
(0,0551746683)C_{4.90} &+ (0,4846114892)C_{3.90}) \\
= e^{(-0,00030555555555555558)} &((0,4602138424)(0) + \\
(0,0551746683)(0) &+ (0,4846114892)(0)) \\
= (0,9996944911218)(0) & \\
= 0 &
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{2.89} &= \\
e^{(-0,055)(0,0055555555555556)} &((0,4602138424)C_{4.90} + \\
(0,0551746683)C_{3.90} &+ (0,4846114892)C_{2.90}) \\
= e^{(-0,000305555555555558)} &((0,4602138424)(0) + \\
(0,0551746683)(0) &+ (0,4846114892)(0)) \\
= (0,9996944911218)(0) & \\
= 0 &
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{1.89} &= \\
e^{(-0,055)(0,0055555555555556)} &((0,4602138424)C_{3.90} + \\
(0,0551746683)C_{2.90} &+ (0,4846114892)C_{1.90}) \\
= e^{(-0,000305555555555558)} &((0,4602138424)(0) + \\
(0,0551746683)(0) &+ (0,4846114892)(0)) \\
= (0,9996944911218)(0) & \\
= 0 &
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{0.89} &= \\
e^{(-0,055)(0,0055555555555556)} &((0,4602138424)C_{2.90} + \\
(0,0551746683)C_{1.90} &+ (0,4846114892)C_{0.90}) \\
= e^{(-0,000305555555555558)} &((0,4602138424)(0) + \\
(0,0551746683)(0) &+ (0,4846114892)(0))
\end{aligned}$$

$$= (0,9996944911218)(0)$$

$$= 0$$

⋮

$$C_{4,2} = e^{(-0,055)(0,0055555555555556)}((0,4602138424)C_{6,3} + (0,0551746683)C_{5,3} + (0,4846114892)C_{4,3})$$

=

$$e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(159,2823397) + (0,0551746683)(136,6141842) + (0,4846114892)(116,4425385))$$

$$= 0,9996944911218((73,3039375) + (7,5376423) + (56,4293920))$$

$$= (0,9996944911218)(137,2709719)$$

$$= 137,2290344$$

$$C_{3,2} = e^{(-0,055)(0,0055555555555556)}((0,4602138424)C_{5,3} + (0,0551746683)C_{4,3} + (0,4846114892)C_{3,3})$$

=

$$e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(136,6141842) + (0,0551746683)(116,4425385) + (0,4846114892)(98,6053666))$$

$$\begin{aligned}
&= 0,9996944911218((62,87173862) + (6,42467844) + \\
&(47,78529356)) \\
&= (0,9996944911218)(117,0817106) \\
&= 117,0459411
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{2.2} &= e^{(-0,055)(0,00555555555555556)}((0,4602138424)C_{4.3} + \\
&(0,0551746683)C_{3.3} + (0,4846114892)C_{2.3}) \\
&= \\
&e^{(-0,0003055555555555558)}((0,4602138424)(116,4425385) + \\
&(0,0551746683)(98,6053666) + \\
&(0,4846114892)(82,9371851)) \\
&= 0,9996944911218((53,5884681) + (5,4405184) + \\
&(40,1923128)) \\
&= (0,9996944911218)(99,2212992) \\
&= 99,1909862
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{1.2} &= e^{(-0,055)(0,00555555555555556)}((0,4602138424)C_{3.3} + \\
&(0,0551746683)C_{2.3} + (0,4846114892)C_{1.3}) \\
&= \\
&e^{(-0,0003055555555555558)}((0,4602138424)(98,6053666) +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (0,0551746683)(82,9371851) + \\
& (0,4846114892)(69,2703272)) \\
& = 0,9996944911218(45,3795547 + 4,5760317 + 33,5691964) \\
& = (0,9996944911218)(83,5247827) \\
& = 83,4992652
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{0,2} &= e^{(-0,055)(0,0055555555555556)}((0,4602138424)C_{2,3} + \\
& (0,0551746683)C_{1,3} + (0,4846114892)C_{0,3}) \\
& = \\
& e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(82,9371851) + \\
& (0,0551746683)(69,2703272) + \\
& (0,4846114892)(57,4361885)) \\
& = 0,9996944911218((38,1688406) + (3,8219673) + \\
& (27,8342368)) \\
& = (0,9996944911218)(69,8250448) \\
& = 69,8037126
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{2,1} &= e^{(-0,055)(0,0055555555555556)}((0,4602138424)C_{4,2} + \\
& (0,0551746683)C_{3,2} + (0,4846114892)C_{2,2}) \\
& = \\
& e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(137,2290344) +
\end{aligned}$$

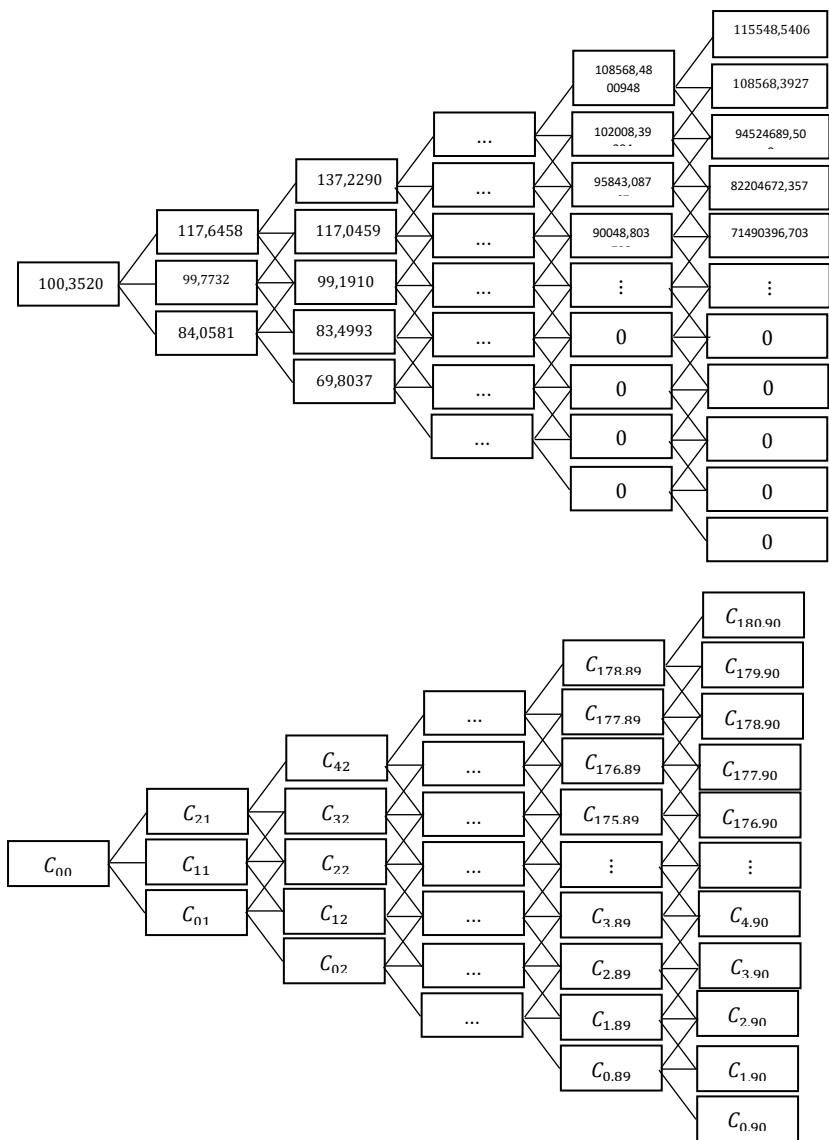
$$\begin{aligned}
& (0,0551746683)(117,0459411) + \\
& (0,4846114892)(99,1909863)) \\
& = 0,9996944911218((63,1547012) + (6,4579710) + \\
& (48,0690916)) \\
& = (0,9996944911218)(117,6817637) \\
& = 117,6458109
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{1.1} &= e^{(-0,055)(0,0055555555555556)}((0,4602138424)C_{3.2} + \\
& (0,0551746683)C_{2.2} + (0,4846114892)C_{1.2}) \\
& = \\
& e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(117,0459411) + \\
& (0,0551746683)(99,1909863) + \\
& (0,4846114892)(83,4992652)) \\
& = 0,9996944911218((53,8661623) + (5,4728298) + \\
& (40,4647032)) \\
& = (0,9996944911218)(99,8036953) \\
& = 99,7732044
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{0.1} &= e^{(-0,055)(0,0055555555555556)}((0,4602138424)C_{2.2} + \\
& (0,0551746683)C_{1.2} + (0,4846114892)C_{0.2})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \\
&e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(99,1909863) + \\
&(0,0551746683)(83,4992652) + \\
&(0,4846114892)(69,8037126)) \\
&= 0,9996944911218((45,6490649) + (4,6070443) + \\
&(33,8276811)) \\
&= (0,9996944911218)(84,0837902897) \\
&= 84,0581019
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{0,0} &= e^{(-0,055)(0,0055555555555556)}((0,4602138424)C_{2,1} + \\
&(0,0551746683)C_{1,1} + (0,4846114892)C_{0,1}) \\
&= \\
&e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(117,6458109) + \\
&(0,0551746683)(99,7732044) + \\
&(0,4846114892)(84,0581019)) \\
&= 0,9996944911218((54,1422307) + (5,5049535) + \\
&(40,7355220)) \\
&= (0,9996944911218)(100,3827061) \\
&= 100,3520383
\end{aligned}$$



Bagan 4. 3. Harga Opsi Call tipe Asia Saham NVIDIA Corporation

Sementara itu, untuk opsi *put* dapat diperoleh dengan menggunakan rumus pada persamaan (2.41) sebagai berikut.

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

$$\begin{aligned} P_{178.89} &= \\ e^{(-0,055)(0,005555555555555556)} &((0,4602138424)P_{180.90} + \\ (0,0551746683)P_{179.90} &+ (0,4846114892)P_{178.90}) \\ = e^{(-0,00030555555555555558)} &((0,4602138424)(0) + \\ (0,0551746683)(0) &+ (0,4846114892)(0)) \\ = 0,9996944911218 &((0)+(0)+(0)) \\ = (0,9996944911218) &(0) \\ = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{177.89} &= \\ e^{(-0,055)(0,005555555555555556)} &((0,4602138424)P_{179.90} + \\ (0,0551746683)P_{178.90} &+ (0,4846114892)P_{177.90}) \\ = e^{(-0,00030555555555555558)} &((0,4602138424)(0) + \\ (0,0551746683)(0) &+ (0,4846114892)(0)) \\ = (0,9996944911218) &(0) \end{aligned}$$

$$= 0$$

$$\begin{aligned}
P_{176.89} &= \\
e^{(-0,055)(0,0055555555555556)} &((0,4602138424)P_{178.90} + \\
(0,0551746683)P_{177.90} &+ (0,4846114892)P_{176.90}) \\
= e^{(-0,000305555555555558)} &((0,4602138424)(0) + \\
(0,0551746683)(0) &+ (0,4846114892)(0)) \\
= (0,9996944911218)(0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{175.89} &= \\
e^{(-0,055)(0,0055555555555556)} &((0,4602138424)P_{177.90} + \\
(0,0551746683)P_{176.90} &+ (0,4846114892)P_{175.90}) \\
= e^{(-0,000305555555555558)} &((0,4602138424)(0) + \\
(0,0551746683)(0) &+ (0,4846114892)(0)) \\
= (0,9996944911218)(0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned}
P_{3.89} &= \\
e^{(-0,055)(0,0055555555555556)} &((0,4602138424)P_{5.90} + \\
(0,0551746683)P_{4.90} &+ (0,4846114892)P_{3.90})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \\
&e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(438,8600204) + \\
&(0,0551746683)(438,9939138) + \\
&(0,4846114892)(439,1197497)) \\
&= 0,9996944911218 \cdot (201,9694563 + 24,2213436 + \\
&212,8024758) \\
&= (0,9996944911218)(438,9932757) \\
&= 438,8591593
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{2.89} &= \\
&e^{(-0,055)(0,0055555555555556)}((0,4602138424)P_{4.90} + \\
&(0,0551746683)P_{3.90} + (0,4846114892)P_{2.90}) \\
&= e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(438,9939138) \\
&+ (0,0551746683)(439,1197497) \\
&+ (0,4846114892)(439,2380129)) \\
&= 0,9996944911218(202,0310759 + 24,2282865 + \\
&212,8597875) \\
&= (0,9996944911218)(439,1191499) \\
&= 438,9849951
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{1.89} &= \\
&e^{(-0,055)(0,0055555555555556)}((0,4602138424)P_{3,90} + \\
&(0,0551746683)P_{2,90} + (0,4846114892)P_{1,90}) \\
&e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(439,1197497) + \\
&(0,0551746683)(439,2380129) + \\
&(0,4846114892)(439,3491591)) \\
&= 0,9996944911218(202,0889873 + 24,2348117 + \\
&212,9136503) \\
&= (0,9996944911218)(439,2374492) \\
&= 439,1032583
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{0.89} &= \\
&e^{(-0,055)(0,0055555555555556)}((0,4602138424)P_{2,90} + \\
&(0,0551746683)P_{1,90} + (0,4846114892)P_{0,90}) \\
&= e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(439,2380129) \\
&\quad + (0,0551746683)(439,3491591) \\
&\quad + (0,4846114892)(439,4536166)) \\
&= 0,9996944911218(202,1434136 + 24,2409441 + \\
&212,9642716) \\
&= (0,9996944911218)(439,3486293) \\
&= 439,2144044 \\
&\vdots
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{4,2} &= e^{(-0,055)(0,0055555555555556)}((0,4602138424)P_{6,3} + \\
&(0,0551746683)P_{5,3} + (0,4846114892)P_{4,3}) \\
&= \\
&e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(64,8008040) + \\
&(0,0551746683)(73,6662071) + \\
&(0,4846114892)(83,1304599)) \\
&= 0,9996944911218(29,8222270 + 4,0645085 + \\
&40,2859760) \\
&= (0,9996944911218)(74,1727115) \\
&= 74,1500511
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{3,2} &= e^{(-0,055)(0,0055555555555556)}((0,4602138424)P_{5,3} + \\
&(0,0551746683)P_{4,3} + (0,4846114892)P_{3,3}) \\
&= \\
&e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(73,6662071) + \\
&(0,0551746683)(83,1304599) + \\
&(0,4846114892)(93,1457256)) \\
&= 0,9996944911218(33,9022082 + 4,5866956 + \\
&45,1394888) \\
&= (0,9996944911218)(83,6283926) \\
&= 83,6028433
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{2.2} &= e^{(-0,055)(0,0055555555555556)}((0,4602138424)P_{4.3} + \\
&(0,0551746683)P_{3.3} + (0,4846114892)P_{2.3}) \\
&= \\
&e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(83,1304599) + \\
&(0,0551746683)(93,1457256) + \\
&(0,4846114892)(103,6538479)) \\
&= 0,9996944911218(38,2577884 + 5,1392845 + \\
&50,2318456) \\
&= (0,9996944911218)(93,6289185) \\
&= 93,6003140
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{1.2} &= e^{(-0,055)(0,0055555555555556)}((0,4602138424)P_{3.3} + \\
&(0,0551746683)P_{2.3} + (0,4846114892)P_{1.3}) \\
&= \\
&e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(93,1457256) + \\
&(0,0551746683)(103,6538479) + \\
&(0,4846114892)(114,5880282)) \\
&= 0,9996944911218(42,8669523 + 5,7190667 + 55,5306750) \\
&= (0,9996944911218)(104,1166939) \\
&= 104,0848854
\end{aligned}$$

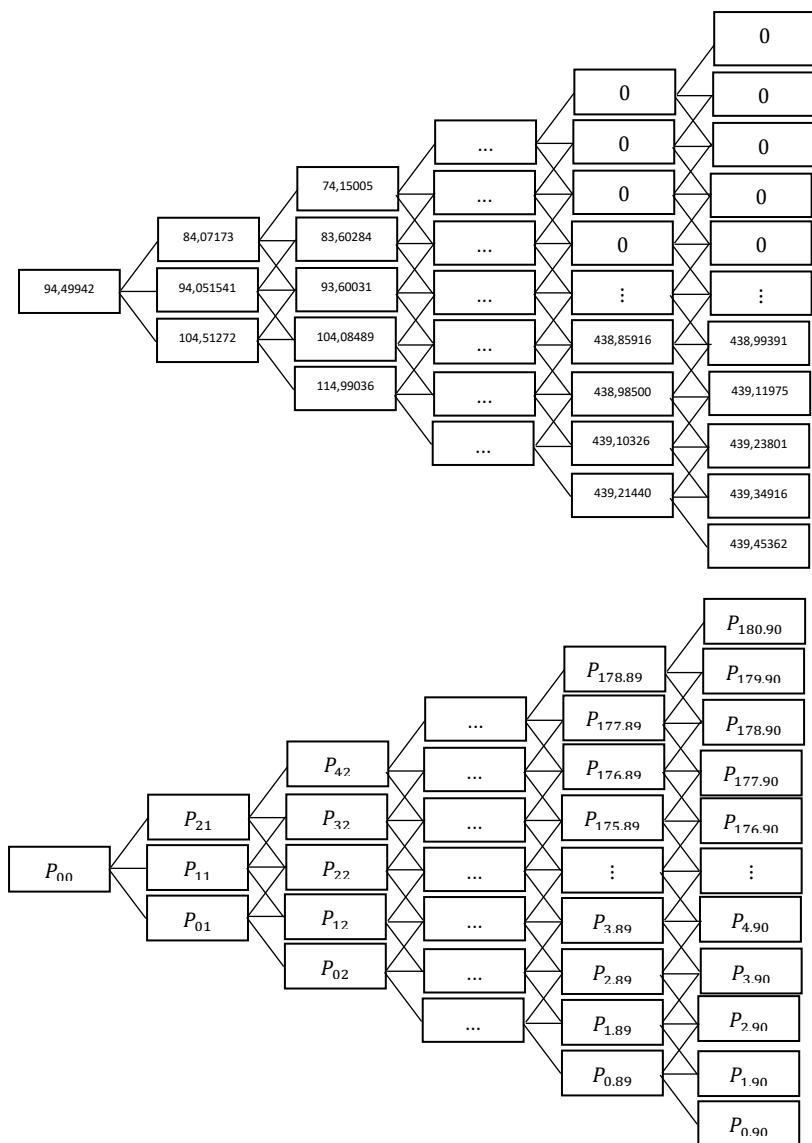
$$\begin{aligned}
P_{0.2} &= e^{(-0,055)(0,0055555555555556)}((0,4602138424)P_{2.3} + \\
&(0,0551746683)P_{1.3} + (0,4846114892)P_{0.3}) \\
&= \\
&e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(103,6538479) + \\
&(0,0551746683)(114,5880282) + \\
&(0,4846114892)(125,8744601)) \\
&= 0,9996944911218(47,7029356 + 6,3223564 + \\
&61,0002096) \\
&= (0,9996944911218)(115,0255016) \\
&= 114,9903603
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{2.1} &= e^{(-0,055)(0,0055555555555556)}((0,4602138424)P_{4.2} + \\
&(0,0551746683)P_{3.2} + (0,48412685)P_{2.2}) \\
&= \\
&e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(74,1500511) + \\
&(0,0551746683)(83,6028433) + \\
&(0,4846114892)(93,6003140)) \\
&= 0,9996944911218(34,12487992 + 4,612759151 + \\
&45,35978755) \\
&= (0,9996944911218)(84,09742662) \\
&= 84,07173411
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{1.1} &= e^{(-0,055)(0,0055555555555556)}((0,4602138424)P_{3.2} + \\
&(0,0551746683)P_{2.2} + (0,4846114892)P_{1.2}) \\
&= \\
&e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(83,6028433) + \\
&(0,0551746683)(93,6003140) + \\
&(0,4846114892)(104,0848854)) \\
&= 0,9996944911218(38,47518577 + 5,164366277 + \\
&50,4407313) \\
&= (0,9996944911218)(94,08028335) \\
&= 94,05154099
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{0.1} &= e^{(-0,055)(0,0055555555555556)}((0,4602138424)P_{2.2} + \\
&(0,0551746683)P_{1.2} + (0,4846114892)P_{0.2}) \\
&= \\
&e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(93,6003140) + \\
&(0,0551746683)(104,0848854) + \\
&(0,4846114892)(114,9903603)) \\
&= 0,9996944911218(43,07616015 + 5,742849025 + \\
&55,72564974) \\
&= (0,9996944911218)(104,5446589) \\
&= 104,5127196
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{0,0} &= e^{(-0,055)(0,0055555555555556)}((0,4602138424)P_{2,1} + \\
&(0,0551746683)P_{1,1} + (0,4846114892)P_{0,1}) \\
&= e^{(-0,000305555555555558)}((0,4602138424)(84,07173411) \\
&+ (0,0551746683)(94,05154099) \\
&+ (0,4846114892)(104,5127196)) \\
&= 0,9996944911218(38,69097579 + 5,189262577 + \\
&50,64806468) \\
&=(0,9996944911218)(94,52830305) \\
&= 94,49942382
\end{aligned}$$



Bagan 4. 4. Harga Opsi Put Tipe Asia Saham NVIDIA Corporation

Dengan menggunakan bantuan *software* MATLAB R2013a, dapat diperoleh harga opsi *call* dan *put* tipe Asia dengan waktu jatuh tempo dan harga kesepakatan sebesar \$377,50 sebagai berikut.

Tabel 4. 5 *Harga opsi tipe Asia pada saham NVIDIA Corporation*

T (tahun)	Trinomial Kamrad Ritchken	
	Harga opsi <i>call</i>	Harga opsi <i>put</i>
0,5	\$100,35203	\$94,49942
1	\$140,85170	\$129,27324
1,5	\$170,77306	\$153,58788

Adapun perhitungan program secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4 dan Lampiran 5.

B. Pembahasan

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data harian penutupan harga saham dari perusahaan NVIDIA Corporation sebanyak 545 data. Berdasarkan data yang telah digunakan maka harga saham saat ini adalah sebesar \$434,99 yang diperoleh dari *website yahoo finance*. Suku bunga bebas risiko yaitu suku bunga Bank Central Amerika yang diperoleh dari *website global.rates.com* yaitu suku bunga pada bulan September 2023 sebesar 5,50%. Nilai return saham dapat dilihat pada Tabel 4.2. Return harga saham digunakan untuk mengetahui besarnya tingkat pengembalian harga saham setiap masa perdagangan dan ekspektasi keuntungan pada masa yang akan datang. Selanjutnya menghitung nilai variansi return saham untuk memperoleh nilai volatilitas maka nilai variansi return saham sebesar 0,001299870. Sementara itu, untuk volatilitas diperoleh nilai sebesar 0,809403781.

Apabila nilai-nilai yang dibutuhkan sudah diperoleh, maka kemudian dilakukan simulasi harga saham dengan waktu jatuh tempo 0,5; 1; dan

1,5 tahun menggunakan model Trinomial Kamrad Ritchken. Parameter yang digunakan untuk memperoleh nilai harga opsi adalah λ , u , d , p_u , p_m , dan p_d . Kemudian interval waktu (Δt) yang digunakan dalam penelitian ini dihitung dengan rumus $\Delta t = \frac{T}{N}$ sehingga diperoleh nilai parameter tersebut untuk setiap waktu jatuh temponya sebagai berikut.

Tabel 4. 6. Nilai parameter untuk memperoleh harga opsi

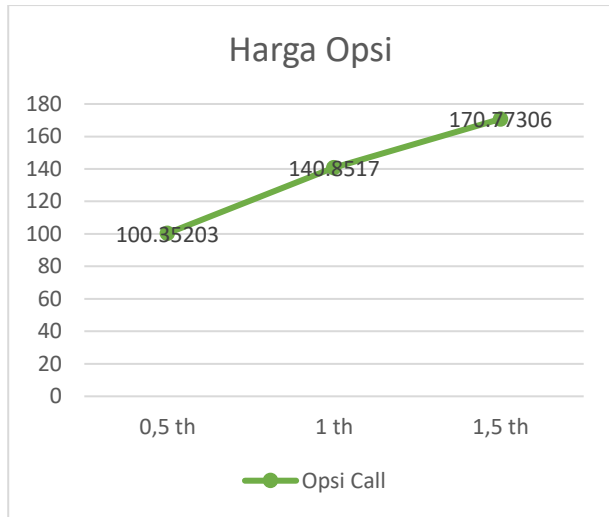
Parameter	Waktu jatuh tempo (T)		
	0,5 thn	1 thn	1,5 thn
Δt	0,0055556	0,0111111	0,0166667
λ	1,0287840	1,0911903	1,0691438
u	1,0640324	1,0975703	1,1181982
d	0,9398209	0,9111034	0,8942958
p_u	0,4602138	0,4036573	0,4170878
p_m	0,0551747	0,1601553	0,1251617
p_d	0,4846115	0,4361875	0,4577505

Selanjutnya mencari nilai harga saham pada node (i, j) yang akan digunakan untuk menentukan nilai *payoff* opsi. Nilai *payoff* diperoleh dengan menghitung selisih antara nilai

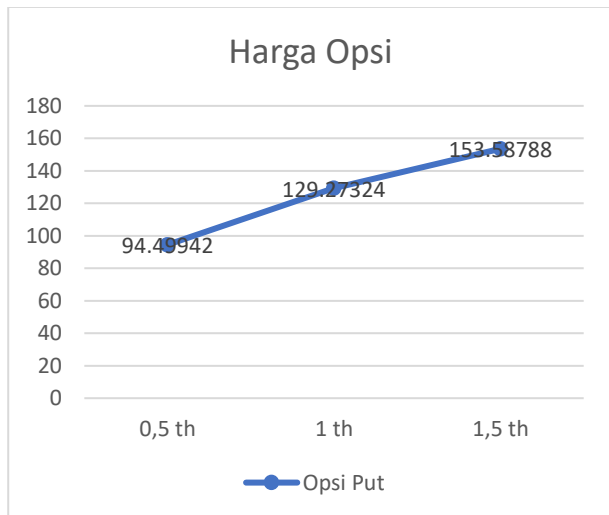
harga saham pada saat jatuh tempo dengan nilai rata-rata aritmatika dari ekspektasi harga saham. Setelah memperoleh nilai *payoff* opsi, selanjutnya gunakan nilai *payoff* tersebut untuk memperoleh nilai harga opsi dari saham NVIDIA Corp. lakukan hingga diperoleh nilai $C_{0,0}$ untuk harga opsi *call* dan nilai $P_{0,0}$ untuk harga opsi *put*. Dengan menggunakan bantuan *software* MATLAB R2013a, diperoleh harga opsi *call* dan opsi *put* sesuai waktu jatuh tempo dan nilai kesepakatanannya sebesar \$377,50 sebagai berikut.

Tabel 4. 7. *Harga opsi tipe Asia pada saham NVIDIA Corporation*

T (tahun)	Trinomial Kamrad Ritchken	
	Harga opsi <i>call</i>	Harga opsi <i>put</i>
0,5	\$100,35203	\$94,49942
1	\$140,85170	\$129,27324
1,5	\$170,77306	\$153,58788



Gambar 4. 1. Grafik Nilai Harga Opsi Call



Gambar 4. 2. Grafik Nilai Harga Opsi Put

Bedasarkan gambar 4.1 dan gambar 4.2, dapat dilihat bahwa semakin lama waktu jatuh tempo opsi mahal harga opsinya akan semakin mahal baik untuk opsi *call* maupun opsi *put*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa

1. Harga opsi *put* tipe Asia dengan menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan $N = 90$ dan $T = 0,5$ tahun; 1 tahun; dan 1,5 tahun berturut-turut diperoleh sebesar \$94,49942; \$129,27324; dan \$153,58788. Semakin lama waktu jatuh temponya maka harga opsinya semakin mahal.
2. Harga opsi *call* tipe Asia dengan menggunakan metode Trinomial Kamrad Ritchken dengan $N = 90$ dan $T = 0,5$ tahun; 1 tahun; dan 1,5 tahun berturut-turut diperoleh sebesar \$100,35203; \$140,85170; dan \$170,77306. Semakin lama waktu jatuh temponya maka harga opsinya semakin mahal.

B. SARAN

Saran peneliti untuk mengembangkan dan memperbaiki penelitian ini adalah:

1. Pada penelitian ini aplikasi yang digunakan masih sangat sederhana yaitu dengan bantuan Microsoft Excel dan MATLAB sehingga beresiko salah pada perhitungan karena dilakukan dengan manual. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan aplikasi yang lebih efektif untuk metode ini.
2. Pada penelitian selanjutnya diharapkan peneliti dapat menggunakan nilai N yang beragam dan menggunakan beberapa saham yang berbeda agar dapat diperoleh hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Affinanda, A., & Yuyetta, E. N. A. (2015). "Analisis Pengaruh Rasio Keuangan terhadap Return Saham Perusahaan dalam Indeks lq 45 Tahun 2010-2013". (Doctoral dissertation, Fakultas Ekonomika dan Bisnis).
- Artanadi, N. N. A., Dharmawan, K., & Jayanegara, K. (2017). "Penentuan Harga Opsi Beli Tipe Asia Dengan Metode Monte Carlo-Control Variate". *E-Jurnal Matematika*, 6(1), 29.
- Asnawi, Said Kelana dan Wijaya Chandra. (2010). "Pengantar Valuasi". Jakarta: Salemba Empat.
- Atika, P., Lestari, R., & Asdi, Y. (2017). "Penerapan Simulasi Monte Carlo dalam Penentuan Harga Opsi Asia". *Jurnal Matematika UNAND*, 6(3), 40-46.
- Chendra, E., Sidarto, K. A., Syamsuddin, M., & Puspita, D. (2019). Pricing'partial-average'Asian options with the binomial method. *International Journal of Banking, Accounting and Finance*, 10(1), 101-116.
- Dini, F. (2016). "Metode Trinomial Ritchken pada Penentuan Harga Opsi". Magister Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Ferina, Neni. (2003). "Persamaan Diferensial Black-Scholes". Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia, Depok.
- Habaib, T. N., Mariani, S., & Arifudin, R. (2018). "Penentuan Harga Opsi Asia Menggunakan Metode Simulasi Monte Carlo dengan Teknik Reduksi Variansi". *Unnes Journal of Mathematics*, 7(1), 28-37.
- Harwell, S. (2014). "Penggunaan Rata-Rata Aritmetika dengan Aproksimasi Curran Dalam Menentukan

- Harga Opsi Asia". Padang : Jurnal Matematika UNAND. Vol. 3 No. 4: 70-77
- Higham, D. J. (2004). "*An introduction to financial option valuation: mathematics, stochastics and computation*" (Vol. 13). Cambridge University Press.
- Hull, John C. (2003). "*Option, Future, and Other Derivatives 5th Edition*". Pearson Education, Inc, New Jersey: 216-266
- Jogiyanto, Hartono. (2016). Teori Portofolio dan Analisis Investasi. Edisi Kesepuluh. Penerbit Yogyakarta
- Josheski, D., & Apostolov, M. (2020). A review of the binomial and trinomial models for option pricing and their convergence to the Black-Scholes model determined option prices. *Econometrics Ekonometria Advances in Applied Data Analysis*, 24(2), 53-85.
- Junarsih. (2017). "Penggunaan Model Trinomial Kamrad Ritchken dalam Menentukan Harga Opsi Put Amerika".
- Kamrad, B. & Ritchken , P. (1991). "*Multinomial Approximating Models for Options with k State Variabels*". Management Science 37,1640-1652.
- Khuriyanti. (2009). "Penentuan Harga Opsi Asia". Depok: Universitas Indonesia.
- Khurniaji, A. W., & Raharja, S. (2013). *Hubungan Kebijakan Dividen (Dividend Payout Ratio Dan Dividend Yield) Terhadap Volatilitas Harga Saham Di Perusahaan-Perusahaan Yang Terdaftar Di Bursa Efek Indonesia* (Doctoral dissertation, Fakultas Ekonomika dan Bisnis).
- Ma, B., Yang Y., Zhang J., & Zhang K. (2023) A Comparison of Stock Price Prediction with ANN and ARIMA. *BCP Business & Mangement*, 38, 392-399.

- Manisha, & Rao, S. C. S. (2019). A Computational Technique for Asian Option Pricing Model. In *Computational Science-ICCS 2019: 19th International Conference, Faro, Portugal, June 12-14, 2019, Proceedings, Part III* 19 (pp. 326-339). Springer International Publishing.
- Mendes, G. N. H. (2011). *"Valuation of barrier options through trinomial trees"* (Doctoral dissertation).
- Prahmana, R dan Sumardi. (2013). "Penentuan Harga Opsi untuk Model Black-Scholes Menggunakan Metode Beda Hingga". Crank Nicolson.
- Rahmi, E. (2011). "Penentuan Harga Opsi Asia dengan Model Binomial yang Dimodifikasi". Tesis. Program Magister, Institut Teknologi Bandung.
- Ritchken, P. H. (1995). *"On Pricing Barrier Options". The Journal of derivatives*, vol 3, No 2.
- Ross, S. M. (1995). *"Stochastic processes"*. John Wiley & Sons.
- Rosyida, H., Firmansyah, A., & Wicaksono, S. B. (2020). "Volatilitas harga saham: leverage, ukuran perusahaan, pertumbuhan aset". *JAS (Jurnal Akuntansi Syariah)*, 4(2), 196-208.
- Seydel, R. (2002). *"Tools for Computational Finance"*. Berlin:Springer.
- Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan B & D*. Bandung: Alfabeta, CV.
- Sulastri, S., Novieyanti, L., & Sukono, S. (2019). "Penentuan Harga Opsi Barrier Menggunakan Metode Trinomial Kamrad-Ritchken Dengan Volatilitas Model GARCH". *JURNAL ILMU MANAJEMEN DAN BISNIS*, 10(1), 83-92.

- Tandelilin, Eduardus. (2001). "Analisis Investasi dan Manajemen Portofolio". Edisi Pertama. BPFE. Yogyakarta.
- Tsay, R. S. (2005). "*Analysis of financial time series*". John wiley & sons.
- Tyarani, Myra. (2003). "Gerak Brown Modifikasi-Modifikasi serta Aplikasinya pada Penurunan Model Black-Scholes". Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia, Depok: viii+97 hlm

LAMPIRAN

Lampiran 1. Penutupan Harga Saham NVIDIA Corporation

t	Date	Close	t	Date	Close
0	2021-08-02	197,50	23	2021-09-02	223,96
1	2021-08-03	198,15	24	2021-09-03	228,43
2	2021-08-04	202,74	25	2021-09-07	226,62
3	2021-08-05	206,37	26	2021-09-08	223,39
4	2021-08-06	203,66	27	2021-09-09	221,77
5	2021-08-09	202,95	28	2021-09-10	224,78
6	2021-08-10	199,36	29	2021-09-13	221,52
7	2021-08-11	196,99	30	2021-09-14	222,42
8	2021-08-12	199,05	31	2021-09-15	223,41
9	2021-08-13	201,88	32	2021-09-16	222,42
10	2021-08-16	199,50	33	2021-09-17	219,00
11	2021-08-17	194,58	34	2021-09-20	211,13
12	2021-08-18	190,40	35	2021-09-21	212,46
13	2021-08-19	197,98	36	2021-09-22	219,41
14	2021-08-20	208,16	37	2021-09-23	224,82
15	2021-08-23	219,58	38	2021-09-24	220,81
16	2021-08-24	217,93	39	2021-09-27	216,60
17	2021-08-25	222,13	40	2021-09-28	206,99
18	2021-08-26	220,68	41	2021-09-29	205,17
19	2021-08-27	226,36	42	2021-09-30	207,16
20	2021-08-30	226,88	43	2021-10-01	207,42
21	2021-08-31	223,85	44	2021-10-04	197,32
22	2021-09-01	224,41	45	2021-10-05	204,51

t	Date	Close	t	Date	Close
46	2021-10-06	207,00	73	2021-11-12	303,90
47	2021-10-07	210,75	74	2021-11-15	300,25
48	2021-10-08	208,31	75	2021-11-16	302,03
49	2021-10-11	206,95	76	2021-11-17	292,61
50	2021-10-12	206,71	77	2021-11-18	316,75
51	2021-10-13	209,39	78	2021-11-19	329,85
52	2021-10-14	217,46	79	2021-11-22	319,56
53	2021-10-15	218,62	80	2021-11-23	317,46
54	2021-10-18	222,22	81	2021-11-24	326,74
55	2021-10-19	222,90	82	2021-11-26	315,03
56	2021-10-20	221,03	83	2021-11-29	333,76
57	2021-10-21	226,92	84	2021-11-30	326,76
58	2021-10-22	227,26	85	2021-12-01	314,35
59	2021-10-25	231,66	86	2021-12-02	321,26
60	2021-10-26	247,17	87	2021-12-03	306,93
61	2021-10-27	244,51	88	2021-12-06	300,37
62	2021-10-28	249,41	89	2021-12-07	324,27
63	2021-10-29	255,67	90	2021-12-08	318,26
64	2021-11-01	258,27	91	2021-12-09	304,90
65	2021-11-02	264,01	92	2021-12-10	301,98
66	2021-11-03	265,98	93	2021-12-13	281,61
67	2021-11-04	298,01	94	2021-12-14	283,37
68	2021-11-05	297,52	95	2021-12-15	304,59
69	2021-11-08	308,04	96	2021-12-16	283,87
70	2021-11-09	306,57	97	2021-12-17	278,01
71	2021-11-10	294,59	98	2021-12-20	277,19
72	2021-11-11	303,90	99	2021-12-21	290,75

t	Date	Close	t	Date	Close
100	2021-12-22	294,00	127	2022-02-01	246,38
101	2021-12-23	296,40	128	2022-02-02	252,42
102	2021-12-27	309,45	129	2022-02-03	239,48
103	2021-12-28	303,22	130	2022-02-04	243,19
104	2021-12-29	300,01	131	2022-02-07	247,28
105	2021-12-30	295,86	132	2022-02-08	251,08
106	2021-12-31	294,11	133	2022-02-09	267,05
107	2022-01-03	301,21	134	2022-02-10	258,24
108	2022-01-04	292,90	135	2022-02-11	239,49
109	2022-01-05	276,04	136	2022-02-14	242,67
110	2022-01-06	281,78	137	2022-02-15	264,95
111	2022-01-07	272,47	138	2022-02-16	265,11
112	2022-01-10	274,00	139	2022-02-17	245,07
113	2022-01-11	278,17	140	2022-02-18	236,42
114	2022-01-12	279,99	141	2022-02-22	233,90
115	2022-01-13	265,75	142	2022-02-23	223,87
116	2022-01-14	269,42	143	2022-02-24	237,48
117	2022-01-18	259,03	144	2022-02-25	241,57
118	2022-01-19	250,67	145	2022-02-28	243,85
119	2022-01-20	241,50	146	2022-03-01	234,77
120	2022-01-21	233,74	147	2022-03-02	242,20
121	2022-01-24	233,72	148	2022-03-03	237,14
122	2022-01-25	223,24	149	2022-03-04	229,36
123	2022-01-26	227,72	150	2022-03-07	213,52
124	2022-01-27	219,44	151	2022-03-08	215,14
125	2022-01-28	228,40	152	2022-03-09	230,14
126	2022-01-31	244,86	153	2022-03-10	226,58

t	Date	Close	t	Date	Close
154	2022-03-11	221,00	181	2022-04-20	214,82
155	2022-03-14	213,30	182	2022-04-21	201,83
156	2022-03-15	229,73	183	2022-04-22	195,15
157	2022-03-16	244,96	184	2022-04-25	199,02
158	2022-03-17	247,66	185	2022-04-26	187,88
159	2022-03-18	264,53	186	2022-04-27	184,15
160	2022-03-21	267,34	187	2022-04-28	197,82
161	2022-03-22	265,24	188	2022-04-29	185,47
162	2022-03-23	256,34	189	2022-05-02	195,33
163	2022-03-24	281,50	190	2022-05-03	196,02
164	2022-03-25	276,92	191	2022-05-04	203,34
165	2022-03-28	282,19	192	2022-05-05	188,44
166	2022-03-29	286,56	193	2022-05-06	186,75
167	2022-03-30	276,90	194	2022-05-09	169,50
168	2022-03-31	272,86	195	2022-05-10	175,95
169	2022-04-01	267,12	196	2022-05-11	166,30
170	2022-04-04	273,60	197	2022-05-12	161,75
171	2022-04-05	259,31	198	2022-05-13	177,06
172	2022-04-06	244,07	199	2022-05-16	172,64
173	2022-04-07	242,08	200	2022-05-17	181,77
174	2022-04-08	231,19	201	2022-05-18	169,38
175	2022-04-11	219,17	202	2022-05-19	171,24
176	2022-04-12	215,04	203	2022-05-20	166,94
177	2022-04-13	222,03	204	2022-05-23	168,98
178	2022-04-14	212,58	205	2022-05-24	161,54
179	2022-04-18	217,83	206	2022-05-25	169,75
180	2022-04-19	221,98	207	2022-05-26	178,51

t	Date	Close	t	Date	Close
208	2022-05-27	188,11	235	2022-07-08	158,38
209	2022-05-31	186,72	236	2022-07-11	151,52
210	2022-06-01	183,20	237	2022-07-12	150,82
211	2022-06-02	195,92	238	2022-07-13	151,64
212	2022-06-03	187,20	239	2022-07-14	153,72
213	2022-06-06	187,86	240	2022-07-15	157,62
214	2022-06-07	189,26	241	2022-07-18	161,01
215	2022-06-08	186,48	242	2022-07-19	169,92
216	2022-06-09	180,48	243	2022-07-20	178,07
217	2022-06-10	169,74	244	2022-07-21	180,50
218	2022-06-13	156,47	245	2022-07-22	173,19
219	2022-06-14	158,36	246	2022-07-25	170,24
220	2022-06-15	165,27	247	2022-07-26	165,33
221	2022-06-16	156,01	248	2022-07-27	177,90
222	2022-06-17	158,80	249	2022-07-28	179,84
223	2022-06-21	165,66	250	2022-07-29	181,63
224	2022-06-22	163,60	251	2022-08-01	184,41
225	2022-06-23	162,25	252	2022-08-02	185,26
226	2022-06-24	171,26	253	2022-08-03	188,93
227	2022-06-27	168,69	254	2022-08-04	192,15
228	2022-06-28	159,82	255	2022-08-05	189,89
229	2022-06-29	155,42	256	2022-08-08	177,93
230	2022-06-30	151,59	257	2022-08-09	170,86
231	2022-07-01	145,23	258	2022-08-10	180,97
232	2022-07-05	149,64	259	2022-08-11	179,42
233	2022-07-06	151,30	260	2022-08-12	187,09
234	2022-07-07	158,58	261	2022-08-15	190,32

t	Date	Close	t	Date	Close
262	2022-08-16	188,79	289	2022-09-23	125,16
263	2022-08-17	183,35	290	2022-09-26	122,28
264	2022-08-18	187,73	291	2022-09-27	124,13
265	2022-08-19	178,49	292	2022-09-28	127,36
266	2022-08-22	170,34	293	2022-09-29	122,20
267	2022-08-23	171,81	294	2022-09-30	121,39
268	2022-08-24	172,22	295	2022-10-03	125,12
269	2022-08-25	179,13	296	2022-10-04	131,67
270	2022-08-26	162,60	297	2022-10-05	132,09
271	2022-08-29	158,01	298	2022-10-06	131,30
272	2022-08-30	154,68	299	2022-10-07	120,76
273	2022-08-31	150,94	300	2022-10-10	116,70
274	2022-09-01	139,37	301	2022-10-11	115,86
275	2022-09-02	136,47	302	2022-10-12	115,00
276	2022-09-06	134,65	303	2022-10-13	119,60
277	2022-09-07	137,14	304	2022-10-14	112,27
278	2022-09-08	139,90	305	2022-10-17	118,88
279	2022-09-09	143,87	306	2022-10-18	119,67
280	2022-09-12	145,05	307	2022-10-19	120,51
281	2022-09-13	131,31	308	2022-10-20	121,94
282	2022-09-14	131,28	309	2022-10-21	124,66
283	2022-09-15	129,29	310	2022-10-24	125,99
284	2022-09-16	131,98	311	2022-10-25	132,61
285	2022-09-19	133,82	312	2022-10-26	128,96
286	2022-09-20	131,76	313	2022-10-27	131,76
287	2022-09-21	132,61	314	2022-10-28	138,34
288	2022-09-22	125,61	315	2022-10-31	134,97

t	Date	Close	t	Date	Close
316	2022-11-01	135,43	343	2022-12-09	170,01
317	2022-11-02	132,19	344	2022-12-12	175,35
318	2022-11-03	134,21	345	2022-12-13	180,72
319	2022-11-04	141,56	346	2022-12-14	176,74
320	2022-11-07	143,01	347	2022-12-15	169,52
321	2022-11-08	146,02	348	2022-12-16	165,71
322	2022-11-09	137,76	349	2022-12-19	162,54
323	2022-11-10	157,50	350	2022-12-20	160,85
324	2022-11-11	163,27	351	2022-12-21	165,01
325	2022-11-14	162,95	352	2022-12-22	153,39
326	2022-11-15	166,66	353	2022-12-23	152,06
327	2022-11-16	159,10	354	2022-12-27	141,21
328	2022-11-17	156,77	355	2022-12-28	140,36
329	2022-11-18	154,09	356	2022-12-29	146,03
330	2022-11-21	153,17	357	2022-12-30	146,14
331	2022-11-22	160,38	358	2023-01-03	143,15
332	2022-11-23	165,19	359	2023-01-04	147,49
333	2022-11-25	162,70	360	2023-01-05	142,65
334	2022-11-28	158,27	361	2023-01-06	148,59
335	2022-11-29	156,39	362	2023-01-09	156,28
336	2022-11-30	169,23	363	2023-01-10	159,09
337	2022-12-01	171,35	364	2023-01-11	160,01
338	2022-12-02	168,76	365	2023-01-12	165,11
339	2022-12-05	166,10	366	2023-01-13	168,99
340	2022-12-06	159,87	367	2023-01-17	177,02
341	2022-12-07	161,20	368	2023-01-18	173,77
342	2022-12-08	171,69	369	2023-01-19	167,65

t	Date	Close	t	Date	Close
370	2023-01-20	178,39	397	2023-03-01	226,98
371	2023-01-23	191,93	398	2023-03-02	233,14
372	2023-01-24	192,65	399	2023-03-03	238,90
373	2023-01-25	193,23	400	2023-03-06	235,54
374	2023-01-26	198,02	401	2023-03-07	232,88
375	2023-01-27	203,65	402	2023-03-08	241,81
376	2023-01-30	191,62	403	2023-03-09	234,36
377	2023-01-31	195,37	404	2023-03-10	229,65
378	2023-02-01	209,43	405	2023-03-13	229,66
379	2023-02-02	217,09	406	2023-03-14	240,63
380	2023-02-03	211,00	407	2023-03-15	242,28
381	2023-02-06	210,89	408	2023-03-16	255,41
382	2023-02-07	221,73	409	2023-03-17	257,25
383	2023-02-08	222,05	410	2023-03-20	259,00
384	2023-02-09	223,37	411	2023-03-21	261,99
385	2023-02-10	212,65	412	2023-03-22	264,68
386	2023-02-13	217,88	413	2023-03-23	271,91
387	2023-02-14	229,71	414	2023-03-24	267,79
388	2023-02-15	227,64	415	2023-03-27	265,31
389	2023-02-16	220,02	416	2023-03-28	264,10
390	2023-02-17	213,88	417	2023-03-29	269,84
391	2023-02-21	206,55	418	2023-03-30	273,83
392	2023-02-22	207,54	419	2023-03-31	277,77
393	2023-02-23	236,64	420	2023-04-03	279,65
394	2023-02-24	232,86	421	2023-04-04	274,53
395	2023-02-27	235,01	422	2023-04-05	268,81
396	2023-02-28	232,16	423	2023-04-06	270,37

t	Date	Close	t	Date	Close
424	2023-04-10	275,79	451	2023-05-17	301,78
425	2023-04-11	271,69	452	2023-05-18	316,78
426	2023-04-12	264,95	453	2023-05-19	312,64
427	2023-04-13	264,63	454	2023-05-22	311,76
428	2023-04-14	267,58	455	2023-05-23	306,88
429	2023-04-17	270,02	456	2023-05-24	305,38
430	2023-04-18	276,67	457	2023-05-25	379,80
431	2023-04-19	279,31	458	2023-05-26	389,46
432	2023-04-20	271,04	459	2023-05-30	401,11
433	2023-04-21	271,19	460	2023-05-31	378,34
434	2023-04-24	270,42	461	2023-06-01	397,70
435	2023-04-25	262,41	462	2023-06-02	393,27
436	2023-04-26	269,56	463	2023-06-05	391,71
437	2023-04-27	272,26	464	2023-06-06	386,54
438	2023-04-28	277,49	465	2023-06-07	374,75
439	2023-05-01	289,10	466	2023-06-08	385,10
440	2023-05-02	282,10	467	2023-06-09	387,70
441	2023-05-03	278,02	468	2023-06-12	394,82
442	2023-05-04	275,62	469	2023-06-13	410,22
443	2023-05-05	286,80	470	2023-06-14	429,97
444	2023-05-08	291,51	471	2023-06-15	426,53
445	2023-05-09	285,71	472	2023-06-16	426,92
446	2023-05-10	288,85	473	2023-06-20	438,08
447	2023-05-11	285,78	474	2023-06-21	430,45
448	2023-05-12	283,40	475	2023-06-22	430,25
449	2023-05-15	289,53	476	2023-06-23	422,09
450	2023-05-16	292,13	477	2023-06-26	406,32

t	Date	Close	t	Date	Close
478	2023-06-27	418,76	505	2023-08-04	446,80
479	2023-06-28	411,17	506	2023-08-07	454,17
480	2023-06-29	408,22	507	2023-08-08	446,64
481	2023-06-30	423,02	508	2023-08-09	425,54
482	2023-07-03	424,13	509	2023-08-10	423,88
483	2023-07-05	423,17	510	2023-08-11	408,55
484	2023-07-06	421,03	511	2023-08-14	437,53
485	2023-07-07	425,03	512	2023-08-15	439,40
486	2023-07-10	421,80	513	2023-08-16	434,86
487	2023-07-11	424,05	514	2023-08-17	433,44
488	2023-07-12	439,02	515	2023-08-18	432,99
489	2023-07-13	459,77	516	2023-08-21	469,67
490	2023-07-14	454,69	517	2023-08-22	456,68
491	2023-07-17	464,61	518	2023-08-23	471,16
492	2023-07-18	474,94	519	2023-08-24	471,63
493	2023-07-19	470,77	520	2023-08-25	460,18
494	2023-07-20	455,20	521	2023-08-28	468,35
495	2023-07-21	443,09	522	2023-08-29	487,84
496	2023-07-24	446,12	523	2023-08-30	492,64
497	2023-07-25	456,79	524	2023-08-31	493,55
498	2023-07-26	454,52	525	2023-09-01	485,09
499	2023-07-27	459,00	526	2023-09-05	485,48
500	2023-07-28	467,50	527	2023-09-06	470,61
501	2023-07-31	467,29	528	2023-09-07	462,41
502	2023-08-01	465,07	529	2023-09-08	455,72
503	2023-08-02	442,69	530	2023-09-11	451,78
504	2023-08-03	445,15	531	2023-09-12	448,70

t	Date	Close	t	Date	Close
532	2023-09-13	454,85	539	2023-09-22	416,10
533	2023-09-14	455,81	540	2023-09-25	422,22
534	2023-09-15	439,00	541	2023-09-26	419,11
535	2023-09-18	439,66	542	2023-09-27	424,68
536	2023-09-19	435,20	543	2023-09-28	430,89
537	2023-09-20	422,39	544	2023-09-29	434,99
538	2023-09-21	410,17			

Lampiran 2. Perhitungan Mencari Nilai Variansi Return Saham

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
0	-	-	-
1	0,003291	0,001204	0,000001450
2	0,023164	0,021077	0,000444254
3	0,017905	0,015818	0,000250198
4	-0,013132	-0,015219	0,000231609
5	-0,003486	-0,005573	0,000031061
6	-0,017689	-0,019776	0,000391093
7	-0,011888	-0,013975	0,000195301
8	0,010457	0,008370	0,000070063
9	0,014218	0,012131	0,000147150
10	-0,011789	-0,013876	0,000192549
11	-0,024662	-0,026749	0,000715490
12	-0,021482	-0,023569	0,000555508
13	0,039811	0,037724	0,001423095
14	0,051419	0,049332	0,002433683
15	0,054862	0,052775	0,002785162
16	-0,007514	-0,009601	0,000092187
17	0,019272	0,017185	0,000295335
18	-0,006528	-0,008615	0,000074214
19	0,025739	0,023652	0,000559401
20	0,002297	0,000210	0,000000044
21	-0,013355	-0,015442	0,000238458
22	0,002502	0,000415	0,000000172
23	-0,002005	-0,004092	0,000016746
24	0,019959	0,017872	0,000319403

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
25	-0,007924	-0,010011	0,000100213
26	-0,014253	-0,016340	0,000266993
27	-0,007252	-0,009339	0,000087214
28	0,013573	0,011486	0,000131919
29	-0,014503	-0,016590	0,000275230
30	0,004063	0,001976	0,000003904
31	0,004451	0,002364	0,000005589
32	-0,004431	-0,006518	0,000042489
33	-0,015376	-0,017463	0,000304967
34	-0,035936	-0,038023	0,001445752
35	0,006299	0,004212	0,000017745
36	0,032712	0,030625	0,000937892
37	0,024657	0,022570	0,000509407
38	-0,017837	-0,019924	0,000396947
39	-0,019066	-0,021153	0,000447455
40	-0,044368	-0,046455	0,002158021
41	-0,008793	-0,010880	0,000118369
42	0,009699	0,007612	0,000057947
43	0,001255	-0,000832	0,000000692
44	-0,048693	-0,050780	0,002578652
45	0,036438	0,034351	0,001180006
46	0,012175	0,010088	0,000101777
47	0,018116	0,016029	0,000256927
48	-0,011578	-0,013665	0,000186724
49	-0,006529	-0,008616	0,000074231
50	-0,001160	-0,003247	0,000010541
51	0,012965	0,010878	0,000118331

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
52	0,038541	0,036454	0,001328862
53	0,005334	0,003247	0,000010545
54	0,016467	0,014380	0,000206783
55	0,003060	0,000973	0,000000947
56	-0,008389	-0,010476	0,000109755
57	0,026648	0,024561	0,000603241
58	0,001498	-0,000589	0,000000347
59	0,019361	0,017274	0,000298395
60	0,066952	0,064865	0,004207409
61	-0,010762	-0,012849	0,000165093
62	0,020040	0,017953	0,000322314
63	0,025099	0,023012	0,000529562
64	0,010169	0,008082	0,000065324
65	0,022225	0,020138	0,000405534
66	0,007462	0,005375	0,000028889
67	0,120423	0,118336	0,014003309
68	-0,001644	-0,003731	0,000013923
69	0,035359	0,033272	0,001107028
70	-0,004772	-0,006859	0,000047047
71	-0,039078	-0,041165	0,001694522
72	0,031603	0,029516	0,000871208
73	0,000000	-0,002087	0,000004356
74	-0,012011	-0,014098	0,000198740
75	0,005928	0,003841	0,000014756
76	-0,031189	-0,033276	0,001107292
77	0,082499	0,080412	0,006466081
78	0,041358	0,039271	0,001542177

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
79	-0,031196	-0,033283	0,001107760
80	-0,006572	-0,008659	0,000074971
81	0,029232	0,027145	0,000736852
82	-0,035839	-0,037926	0,001438371
83	0,059455	0,057368	0,003291052
84	-0,020973	-0,023060	0,000531771
85	-0,037979	-0,040066	0,001605281
86	0,021982	0,019895	0,000395806
87	-0,044606	-0,046693	0,002180205
88	-0,021373	-0,023460	0,000550369
89	0,079569	0,077482	0,006003385
90	-0,018534	-0,020621	0,000425220
91	-0,041978	-0,044065	0,001941751
92	-0,009577	-0,011664	0,000136046
93	-0,067455	-0,069542	0,004836073
94	0,006250	0,004163	0,000017329
95	0,074884	0,072797	0,005299466
96	-0,068026	-0,070113	0,004915815
97	-0,020643	-0,022730	0,000516662
98	-0,002950	-0,005037	0,000025367
99	0,048920	0,046833	0,002193284
100	0,011178	0,009091	0,000082646
101	0,008163	0,006076	0,000036921
102	0,044028	0,041941	0,001759081
103	-0,020133	-0,022220	0,000493707
104	-0,010586	-0,012673	0,000160614
105	-0,013833	-0,015920	0,000253445

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
106	-0,005915	-0,008002	0,000064031
107	0,024141	0,022054	0,000486363
108	-0,027589	-0,029676	0,000880648
109	-0,057562	-0,059649	0,003558034
110	0,020794	0,018707	0,000349954
111	-0,033040	-0,035127	0,001233903
112	0,005615	0,003528	0,000012449
113	0,015219	0,013132	0,000172450
114	0,006543	0,004456	0,000019853
115	-0,050859	-0,052946	0,002803271
116	0,013810	0,011723	0,000137429
117	-0,038564	-0,040651	0,001652534
118	-0,032274	-0,034361	0,001180696
119	-0,036582	-0,038669	0,001495288
120	-0,032132	-0,034219	0,001170973
121	-0,000086	-0,002173	0,000004720
122	-0,044840	-0,046927	0,002202140
123	0,020068	0,017981	0,000323319
124	-0,036360	-0,038447	0,001478205
125	0,040831	0,038744	0,001501111
126	0,072067	0,069980	0,004897142
127	0,006208	0,004121	0,000016980
128	0,024515	0,022428	0,000503013
129	-0,051264	-0,053351	0,002846305
130	0,015492	0,013405	0,000179692
131	0,016818	0,014731	0,000217006
132	0,015367	0,013280	0,000176364

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
133	0,063605	0,061518	0,003784485
134	-0,032990	-0,035077	0,001230401
135	-0,072607	-0,074694	0,005579167
136	0,013278	0,011191	0,000125243
137	0,091812	0,089725	0,008050573
138	0,000604	-0,001483	0,000002200
139	-0,075591	-0,077678	0,006033900
140	-0,035296	-0,037383	0,001397494
141	-0,010659	-0,012746	0,000162461
142	-0,042882	-0,044969	0,002022172
143	0,060794	0,058707	0,003446537
144	0,017223	0,015136	0,000229085
145	0,009438	0,007351	0,000054041
146	-0,037236	-0,039323	0,001546299
147	0,031648	0,029561	0,000873851
148	-0,020892	-0,022979	0,000528026
149	-0,032808	-0,034895	0,001217634
150	-0,069062	-0,071149	0,005062141
151	0,007587	0,005500	0,000030251
152	0,069722	0,067635	0,004574499
153	-0,015469	-0,017556	0,000308207
154	-0,024627	-0,026714	0,000713642
155	-0,034842	-0,036929	0,001363723
156	0,077028	0,074941	0,005616098
157	0,066295	0,064208	0,004122701
158	0,011022	0,008935	0,000079838
159	0,068118	0,066031	0,004360035

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
160	0,010623	0,008536	0,000072857
161	-0,007855	-0,009942	0,000098847
162	-0,033554	-0,035641	0,001270316
163	0,098151	0,096064	0,009228275
164	-0,016270	-0,018357	0,000336977
165	0,019031	0,016944	0,000287090
166	0,015486	0,013399	0,000179533
167	-0,033710	-0,035797	0,001281442
168	-0,014590	-0,016677	0,000278127
169	-0,021036	-0,023123	0,000534691
170	0,024259	0,022172	0,000491589
171	-0,052230	-0,054317	0,002950289
172	-0,058771	-0,060858	0,003703735
173	-0,008153	-0,010240	0,000104866
174	-0,044985	-0,047072	0,002215785
175	-0,051992	-0,054079	0,002924526
176	-0,018844	-0,020931	0,000438100
177	0,032506	0,030419	0,000925292
178	-0,042562	-0,044649	0,001993516
179	0,024697	0,022610	0,000511193
180	0,019052	0,016965	0,000287795
181	-0,032255	-0,034342	0,001179380
182	-0,060469	-0,062556	0,003913285
183	-0,033097	-0,035184	0,001237928
184	0,019831	0,017744	0,000314848
185	-0,055974	-0,058061	0,003371111
186	-0,019853	-0,021940	0,000481370

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
187	0,074233	0,072146	0,005205050
188	-0,062431	-0,064518	0,004162510
189	0,053162	0,051075	0,002608680
190	0,003532	0,001445	0,000002089
191	0,037343	0,035256	0,001242992
192	-0,073276	-0,075363	0,005679621
193	-0,008968	-0,011055	0,000122221
194	-0,092369	-0,094456	0,008922026
195	0,038053	0,035966	0,001293559
196	-0,054845	-0,056932	0,003241263
197	-0,027360	-0,029447	0,000867138
198	0,094652	0,092565	0,008568322
199	-0,024963	-0,027050	0,000731718
200	0,052885	0,050798	0,002580401
201	-0,068163	-0,070250	0,004935070
202	0,010981	0,008894	0,000079107
203	-0,025111	-0,027198	0,000739730
204	0,012220	0,010133	0,000102676
205	-0,044029	-0,046116	0,002126676
206	0,050823	0,048736	0,002375234
207	0,051605	0,049518	0,002452059
208	0,053779	0,051692	0,002672015
209	-0,007389	-0,009476	0,000089800
210	-0,018852	-0,020939	0,000438432
211	0,069432	0,067345	0,004535392
212	-0,044508	-0,046595	0,002171091
213	0,003526	0,001439	0,000002070

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
214	0,007452	0,005365	0,000028787
215	-0,014689	-0,016776	0,000281427
216	-0,032175	-0,034262	0,001173887
217	-0,059508	-0,061595	0,003793935
218	-0,078178	-0,080265	0,006442536
219	0,012079	0,009992	0,000099840
220	0,043635	0,041548	0,001726218
221	-0,056030	-0,058117	0,003377537
222	0,017884	0,015797	0,000249530
223	0,043199	0,041112	0,001690196
224	-0,012435	-0,014522	0,000210891
225	-0,008252	-0,010339	0,000106892
226	0,055532	0,053445	0,002856321
227	-0,015006	-0,017093	0,000292184
228	-0,052582	-0,054669	0,002988659
229	-0,027531	-0,029618	0,000877228
230	-0,024643	-0,026730	0,000714488
231	-0,041955	-0,044042	0,001939722
232	0,030366	0,028279	0,000799682
233	0,011093	0,009006	0,000081114
234	0,048116	0,046029	0,002118698
235	-0,001261	-0,003348	0,000011210
236	-0,043314	-0,045401	0,002061210
237	-0,004620	-0,006707	0,000044982
238	0,005437	0,003350	0,000011222
239	0,013717	0,011630	0,000135250
240	0,025371	0,023284	0,000542134

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
241	0,021507	0,019420	0,000377153
242	0,055338	0,053251	0,002835690
243	0,047964	0,045877	0,002104681
244	0,013646	0,011559	0,000133617
245	-0,040499	-0,042586	0,001813534
246	-0,017033	-0,019120	0,000365586
247	-0,028842	-0,030929	0,000956582
248	0,076030	0,073943	0,005467524
249	0,010905	0,008818	0,000077757
250	0,009953	0,007866	0,000061879
251	0,015306	0,013219	0,000174738
252	0,004609	0,002522	0,000006362
253	0,019810	0,017723	0,000314104
254	0,017043	0,014956	0,000223693
255	-0,011762	-0,013849	0,000191784
256	-0,062984	-0,065071	0,004234217
257	-0,039735	-0,041822	0,001749053
258	0,059171	0,057084	0,003258612
259	-0,008565	-0,010652	0,000113465
260	0,042749	0,040662	0,001653386
261	0,017264	0,015177	0,000230356
262	-0,008039	-0,010126	0,000102539
263	-0,028815	-0,030902	0,000954935
264	0,023889	0,021802	0,000475313
265	-0,049220	-0,051307	0,002632365
266	-0,045661	-0,047748	0,002279859
267	0,008630	0,006543	0,000042808

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
268	0,002386	0,000299	0,000000090
269	0,040123	0,038036	0,001446747
270	-0,092279	-0,094366	0,008905007
271	-0,028229	-0,030316	0,000919051
272	-0,021075	-0,023162	0,000536461
273	-0,024179	-0,026266	0,000689897
274	-0,076653	-0,078740	0,006199991
275	-0,020808	-0,022895	0,000524175
276	-0,013336	-0,015423	0,000237879
277	0,018492	0,016405	0,000269138
278	0,020125	0,018038	0,000325383
279	0,028377	0,026290	0,000691186
280	0,008202	0,006115	0,000037392
281	-0,094726	-0,096813	0,009372755
282	-0,000228	-0,002315	0,000005361
283	-0,015158	-0,017245	0,000297407
284	0,020806	0,018719	0,000350400
285	0,013942	0,011855	0,000140531
286	-0,015394	-0,017481	0,000305582
287	0,006451	0,004364	0,000019046
288	-0,052786	-0,054873	0,003011086
289	-0,003582	-0,005669	0,000032143
290	-0,023011	-0,025098	0,000629889
291	0,015129	0,013042	0,000170099
292	0,026021	0,023934	0,000572843
293	-0,040515	-0,042602	0,001814939
294	-0,006628	-0,008715	0,000075959

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
295	0,030727	0,028640	0,000820275
296	0,052350	0,050263	0,002526339
297	0,003190	0,001103	0,000001216
298	-0,005981	-0,008068	0,000065088
299	-0,080274	-0,082361	0,006783365
300	-0,033620	-0,035707	0,001275022
301	-0,007198	-0,009285	0,000086210
302	-0,007423	-0,009510	0,000090436
303	0,040000	0,037913	0,001437394
304	-0,061288	-0,063375	0,004016344
305	0,058876	0,056789	0,003224982
306	0,006645	0,004558	0,000020779
307	0,007019	0,004932	0,000024328
308	0,011866	0,009779	0,000095633
309	0,022306	0,020219	0,000408811
310	0,010669	0,008582	0,000073650
311	0,052544	0,050457	0,002545896
312	-0,027524	-0,029611	0,000876828
313	0,021712	0,019625	0,000385143
314	0,049939	0,047852	0,002289842
315	-0,024360	-0,026447	0,000699456
316	0,003408	0,001321	0,000001745
317	-0,023924	-0,026011	0,000676558
318	0,015281	0,013194	0,000174084
319	0,054765	0,052678	0,002774956
320	0,010243	0,008156	0,000066520
321	0,021048	0,018961	0,000359502

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
322	-0,056568	-0,058655	0,003440368
323	0,143293	0,141206	0,019939057
324	0,036635	0,034548	0,001193561
325	-0,001960	-0,004047	0,000016378
326	0,022768	0,020681	0,000427694
327	-0,045362	-0,047449	0,002251389
328	-0,014645	-0,016732	0,000279956
329	-0,017095	-0,019182	0,000367955
330	-0,005971	-0,008058	0,000064924
331	0,047072	0,044985	0,002023644
332	0,029991	0,027904	0,000778647
333	-0,015074	-0,017161	0,000294486
334	-0,027228	-0,029315	0,000859368
335	-0,011878	-0,013965	0,000195034
336	0,082102	0,080015	0,006402467
337	0,012527	0,010440	0,000109002
338	-0,015115	-0,017202	0,000295920
339	-0,015762	-0,017849	0,000318586
340	-0,037508	-0,039595	0,001567732
341	0,008319	0,006232	0,000038841
342	0,065074	0,062987	0,003967422
343	-0,009785	-0,011872	0,000140947
344	0,031410	0,029323	0,000859837
345	0,030624	0,028537	0,000814385
346	-0,022023	-0,024110	0,000581292
347	-0,040851	-0,042938	0,001843669
348	-0,022475	-0,024562	0,000603302

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
349	-0,019130	-0,021217	0,000450156
350	-0,010397	-0,012484	0,000155859
351	0,025863	0,023776	0,000565276
352	-0,070420	-0,072507	0,005257258
353	-0,008671	-0,010758	0,000115728
354	-0,071353	-0,073440	0,005393486
355	-0,006019	-0,008106	0,000065714
356	0,040396	0,038309	0,001467588
357	0,000753	-0,001334	0,000001779
358	-0,020460	-0,022547	0,000508361
359	0,030318	0,028231	0,000796985
360	-0,032816	-0,034903	0,001218209
361	0,041640	0,039553	0,001564471
362	0,051753	0,049666	0,002466728
363	0,017981	0,015894	0,000252604
364	0,005783	0,003696	0,000013660
365	0,031873	0,029786	0,000887209
366	0,023500	0,021413	0,000458496
367	0,047518	0,045431	0,002063939
368	-0,018360	-0,020447	0,000418060
369	-0,035219	-0,037306	0,001391739
370	0,064062	0,061975	0,003840909
371	0,075901	0,073814	0,005448519
372	0,003751	0,001664	0,000002770
373	0,003011	0,000924	0,000000853
374	0,024789	0,022702	0,000515388
375	0,028431	0,026344	0,000694028

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
376	-0,059072	-0,061159	0,003740415
377	0,019570	0,017483	0,000305655
378	0,071966	0,069879	0,004883075
379	0,036575	0,034488	0,001189455
380	-0,028053	-0,030140	0,000908411
381	-0,000521	-0,002608	0,000006803
382	0,051401	0,049314	0,002431889
383	0,001443	-0,000644	0,000000414
384	0,005945	0,003858	0,000014881
385	-0,047992	-0,050079	0,002507919
386	0,024594	0,022507	0,000506586
387	0,054296	0,052209	0,002725775
388	-0,009011	-0,011098	0,000123174
389	-0,033474	-0,035561	0,001264576
390	-0,027907	-0,029994	0,000899613
391	-0,034272	-0,036359	0,001321945
392	0,004793	0,002706	0,000007322
393	0,140214	0,138127	0,019079059
394	-0,015974	-0,018061	0,000326186
395	0,009233	0,007146	0,000051065
396	-0,012127	-0,014214	0,000202041
397	-0,022312	-0,024399	0,000595323
398	0,027139	0,025052	0,000627601
399	0,024706	0,022619	0,000511627
400	-0,014064	-0,016151	0,000260870
401	-0,011293	-0,013380	0,000179028
402	0,038346	0,036259	0,001314708

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
403	-0,030809	-0,032896	0,001082167
404	-0,020097	-0,022184	0,000492144
405	0,000044	-0,002043	0,000004176
406	0,047766	0,045679	0,002086595
407	0,006857	0,004770	0,000022753
408	0,054194	0,052107	0,002715089
409	0,007204	0,005117	0,000026185
410	0,006803	0,004716	0,000022238
411	0,011544	0,009457	0,000089442
412	0,010268	0,008181	0,000066922
413	0,027316	0,025229	0,000636505
414	-0,015152	-0,017239	0,000297185
415	-0,009261	-0,011348	0,000128778
416	-0,004561	-0,006648	0,000044192
417	0,021734	0,019647	0,000386011
418	0,014787	0,012700	0,000161277
419	0,014388	0,012301	0,000151327
420	0,006768	0,004681	0,000021914
421	-0,018309	-0,020396	0,000415980
422	-0,020836	-0,022923	0,000525446
423	0,005803	0,003716	0,000013811
424	0,020047	0,017960	0,000322549
425	-0,014866	-0,016953	0,000287418
426	-0,024808	-0,026895	0,000723322
427	-0,001208	-0,003295	0,000010856
428	0,011148	0,009061	0,000082094
429	0,009119	0,007032	0,000049446

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
430	0,024628	0,022541	0,000508092
431	0,009542	0,007455	0,000055577
432	-0,029609	-0,031696	0,001004614
433	0,000553	-0,001534	0,000002352
434	-0,002839	-0,004926	0,000024268
435	-0,029621	-0,031708	0,001005373
436	0,027247	0,025160	0,000633046
437	0,010016	0,007929	0,000062875
438	0,019210	0,017123	0,000293180
439	0,041839	0,039752	0,001580254
440	-0,024213	-0,026300	0,000691694
441	-0,014463	-0,016550	0,000273903
442	-0,008632	-0,010719	0,000114907
443	0,040563	0,038476	0,001480408
444	0,016423	0,014336	0,000205511
445	-0,019896	-0,021983	0,000483273
446	0,010990	0,008903	0,000079267
447	-0,010628	-0,012715	0,000161681
448	-0,008328	-0,010415	0,000108474
449	0,021630	0,019543	0,000381938
450	0,008980	0,006893	0,000047515
451	0,033033	0,030946	0,000957668
452	0,049705	0,047618	0,002267482
453	-0,013069	-0,015156	0,000229703
454	-0,002815	-0,004902	0,000024027
455	-0,015653	-0,017740	0,000314711
456	-0,004888	-0,006975	0,000048649

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
457	0,243696	0,241609	0,058375063
458	0,025434	0,023347	0,000545103
459	0,029913	0,027826	0,000774297
460	-0,056767	-0,058854	0,003463846
461	0,051171	0,049084	0,002409234
462	-0,011139	-0,013226	0,000174930
463	-0,003967	-0,006054	0,000036648
464	-0,013198	-0,015285	0,000233646
465	-0,030501	-0,032588	0,001062003
466	0,027618	0,025531	0,000651854
467	0,006752	0,004665	0,000021758
468	0,018365	0,016278	0,000264964
469	0,039005	0,036918	0,001362946
470	0,048145	0,046058	0,002121330
471	-0,008001	-0,010088	0,000101759
472	0,000914	-0,001173	0,000001375
473	0,026141	0,024054	0,000578579
474	-0,017417	-0,019504	0,000380400
475	-0,000465	-0,002552	0,000006511
476	-0,018966	-0,021053	0,000443217
477	-0,037362	-0,039449	0,001556198
478	0,030616	0,028529	0,000813919
479	-0,018125	-0,020212	0,000408522
480	-0,007175	-0,009262	0,000085779
481	0,036255	0,034168	0,001167448
482	0,002624	0,000537	0,000000288
483	-0,002263	-0,004350	0,000018926

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
484	-0,005057	-0,007144	0,000051038
485	0,009501	0,007414	0,000054960
486	-0,007599	-0,009686	0,000093828
487	0,005334	0,003247	0,000010545
488	0,035302	0,033215	0,001103266
489	0,047264	0,045177	0,002040994
490	-0,011049	-0,013136	0,000172554
491	0,021817	0,019730	0,000389274
492	0,022234	0,020147	0,000405891
493	-0,008780	-0,010867	0,000118094
494	-0,033073	-0,035160	0,001236256
495	-0,026604	-0,028691	0,000823158
496	0,006838	0,004751	0,000022575
497	0,023917	0,021830	0,000476565
498	-0,004970	-0,007057	0,000049794
499	0,009857	0,007770	0,000060366
500	0,018519	0,016432	0,000269995
501	-0,000449	-0,002536	0,000006432
502	-0,004751	-0,006838	0,000046756
503	-0,048122	-0,050209	0,002520923
504	0,005557	0,003470	0,000012040
505	0,003707	0,001620	0,000002623
506	0,016495	0,014408	0,000207594
507	-0,016580	-0,018667	0,000348445
508	-0,047242	-0,049329	0,002433315
509	-0,003901	-0,005988	0,000035855
510	-0,036166	-0,038253	0,001463287

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
511	0,070934	0,068847	0,004739885
512	0,004274	0,002187	0,000004783
513	-0,010332	-0,012419	0,000154239
514	-0,003265	-0,005352	0,000028648
515	-0,001038	-0,003125	0,000009767
516	0,084713	0,082626	0,006827110
517	-0,027658	-0,029745	0,000884751
518	0,031707	0,029620	0,000877352
519	0,000998	-0,001089	0,000001187
520	-0,024278	-0,026365	0,000695088
521	0,017754	0,015667	0,000245453
522	0,041614	0,039527	0,001562396
523	0,009839	0,007752	0,000060099
524	0,001847	-0,000240	0,000000058
525	-0,017141	-0,019228	0,000369720
526	0,000804	-0,001283	0,000001646
527	-0,030630	-0,032717	0,001070372
528	-0,017424	-0,019511	0,000380685
529	-0,014468	-0,016555	0,000274058
530	-0,008646	-0,010733	0,000115190
531	-0,006817	-0,008904	0,000079289
532	0,013706	0,011619	0,000135007
533	0,002111	0,000024	0,000000001
534	-0,036879	-0,038966	0,001518380
535	0,001503	-0,000584	0,000000341
536	-0,010144	-0,012231	0,000149602
537	-0,029435	-0,031522	0,000993620

t	R_t	$R_t - \bar{R}$	$(R_t - \bar{R})^2$
538	-0,028931	-0,031018	0,000962092
539	0,014457	0,012370	0,000153027
540	0,014708	0,012621	0,000159289
541	-0,007366	-0,009453	0,000089357
542	0,013290	0,011203	0,000125509
543	0,014623	0,012536	0,000157147
544	0,009515	0,007428	0,000055177
Jumlah	1,137499	0,002171	0,707129346

Lampiran 3. Hasil Perhitungan Nilai Ekspektasi Harga Saham NVIDIA Corporation.

i	$E(S_{t_i})$
1	435,1227448
2	435,2555301
3	435,3883559
4	435,5212222
5	435,6541291
6	435,7870766
7	435,9200646
8	436,0530932
9	436,1861624
10	436,3192722
11	436,4524226
12	436,5856137
13	436,7188454
14	436,8521178
15	436,9854308
16	437,1187845
17	437,252179
18	437,3856141
19	437,5190899
20	437,6526065
21	437,7861638
22	437,9197619
23	438,0534008
24	438,1870804
25	438,3208008

i	$E(S_{t_i})$
26	438,454562
27	438,5883641
28	438,722207
29	438,8560907
30	438,9900153
31	439,1239807
32	439,2579871
33	439,3920343
34	439,5261225
35	439,6602515
36	439,7944215
37	439,9286324
38	440,0628843
39	440,1971772
40	440,331511
41	440,4658859
42	440,6003017
43	440,7347586
44	440,8692565
45	441,0037954
46	441,1383754
47	441,2729965
48	441,4076586
49	441,5423618
50	441,6771062

i	$E(S_{t_i})$
51	441,8118917
52	441,9467183
53	442,081586
54	442,2164949
55	442,351445
56	442,4864362
57	442,6214687
58	442,7565423
59	442,8916572
60	443,0268133
61	443,1620107
62	443,2972493
63	443,4325292
64	443,5678503
65	443,7032128
66	443,8386166
67	443,9740617
68	444,1095481
69	444,2450758
70	444,380645

i	$E(S_{t_i})$
71	444,5162555
72	444,6519074
73	444,7876006
74	444,9233353
75	445,0591114
76	445,194929
77	445,330788
78	445,4666884
79	445,6026304
80	445,7386138
81	445,8746387
82	446,0107051
83	446,146813
84	446,2829625
85	446,4191535
86	446,5553861
87	446,6916603
88	446,827976
89	446,9643334
90	447,1007323

Lampiran 4. Program Trinomial Kamrad Ritchken Opsi *Call*

```
%Trinomial Kamrad Ritcken Opsi Call Asia

S0=input('Harga Saham Awal (S0) = ');
K=input('Harga Kontrak (K) = ');
b=input('barrier (b) = ');
r=input('Tingkat Suku Bunga Bebas Risiko (r) = ');
T=input('Waktu Jatuh Tempo (T) = ');
N=input('Banyak Langkah (N) = ');
vol=input('Volatilitas = ');
dt=T/N;
Dt=sqrt(dt);
X=log(S0/b);
NU=X/(vol*Dt);
N0=floor(NU);
lamda=NU/N0;
u=exp(lamda*vol*Dt);
d=1/u;
pu=(1/(2*lamda^2))+((r-0.5*vol^2)*Dt)/(2*lamda*vol);
pm=1-(1/lamda^2);
pd=(1/(2*lamda^2))-((r-0.5*vol^2)*Dt)/(2*lamda*vol);

A=0;
for i=2:N+1
    E(i)=S0*((pu*u+pm+pd*d)^(i-1));
    A=(sum(E))/N;
end

for j=1:N+1
    for i=1:2*j-1
        S(i,j)=S0*(u^(j-1))*(d^(i-1));
        CE(i,j)=max(S(i,j)-A,0);
    end
end
```

```

end

C_E(1:2*N+1,N+1)=max(S(1:2*N+1,N+1)-A,0);
for j=N:-1:1
    for i=1:(2*j-1)
        C_E(i,j)=exp((-
r)*dt)*(pu*C_E(i,j+1)+pm*C_E(i+1,j+1)+pd*C_E(
i+2,j+1));
    end
end
C_A(1:2*N+1,N+1)=max(S(1:2*N+1,N+1)-A,0);
for j=N:-1:1
    for i=1:(2*j-1)
        C_A(i,j)=max(max(S(i,j)-A,0),exp((-
r)*dt)*(pu*C_E(i,j+1)+pm*C_E(i+1,j+1)+pd*C_E(
i+2,j+1)));
    end
end

disp('Nilai lamda : '),disp(lamda);
disp('Nilai u : '),disp(u);
disp('Nilai d : '),disp(d);
disp('Nilai pu : '),disp(pu);
disp('Nilai pm : '),disp(pm);
disp('Nilai pd : '),disp(pd);
disp('Nilai A : '),disp(A);
disp('Nilai S : '),disp(S);
disp('Nilai CE : '),disp(CE);
disp('Nilai C_E : '),disp(C_E);
disp('Nilai C_A : '),disp(C_A);

```

Output Opsi *Call* untuk $T = 0,5$ tahun

```

>> Nilai lamda :
    1.028784081390393
>> Nilai u :

```

```

1.064032485664015
>> Nilai d :
0.939820929786692
>> Nilai pu :
0.460213842426290
>> Nilai pm :
0.055174668333692
>> Nilai pd :
0.484611489240019
>> Nilai A :
441.0849374993640

```

```

>> Nilai S :
Columns 1 through 5

```

434.99	462.843	492.481	524.015	557.569
0	434.99	462.843	492.481	524.015
0	408.813	434.99	462.843	492.481
0	0	408.813	434.99	462.843
0	0	384.211	408.813	434.99
:				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

```

Column 91

```

```

115989.625
109009.478
102449.389
96284.080

```

90489.793
 ∴
 2.09102367
 1.96518781
 1.84692464
 1.73577843
 1.63132090

>> Nilai CE :

Columns 1 through 5

0	21.759	51.396	82.930	116.484
0	0	21.759	51.396	82.930
0	0	0	21.759	51.396
0	0	0	0	21.759
∴				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Column 91

115548.541
 108568.393
 102008.304
 95842.995
 ∴
 0
 0
 0
 0

>> Nilai C_E :

Columns 1 through 5

100.352	117.646	137.229	159.282	183.984
0	99.773	117.046	136.614	158.659
0	84.058	99.191	116.443	135.996
0	0	83.499	98.605	115.836
0	0	69.804	82.937	98.016
:				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Column 91

115548.541
108568.393
102008.304
95842.995
90048.708
:
0
0
0
0

>> Nilai C_A :

Columns 1 through 5

100.352	117.646	137.229	159.282	183.984
0	99.773	117.046	136.614	158.659
0	84.058	99.191	116.443	135.996
0	0	83.499	98.605	115.836
0	0	69.804	82.937	98.0162
⋮				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Column 91

115548.541
 108568.393
 102008.304
 95842.995
 90048.708
 ⋮
 0
 0
 0
 0

Output Opsi *Call* untuk $T = 1 \text{ tahun}$

```

>> Nilai lamda :
    1.091190300491880
>> Nilai u :
    1.097570261094695
>> Nilai d :
    0.911103403077466
  
```

```
>> Nilai pu :
    0.403657271753651
>> Nilai pm :
    0.160155260741059
>> Nilai pd :
    0.436187467505290
>> Nilai A :
    441.0849374993640
```

```
>> Nilai S :
Columns 1 through 5
```

434.99	462.843	492.481	524.015	557.569
0	434.99	462.843	492.481	524.015
0	408.813	434.99	462.843	492.481
0	0	408.813	434.99	462.843
0	0	384.211	408.813	434.99
⋮				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

```
Column 91
```

```
115989.625
109009.478
102449.389
96284.080
90489.793
⋮
2.09102367
1.96518781
```

1.84692464
1.73577843
1.63132090

>> Nilai CE :
Columns 1 through 5

0	30.161	76.744	127.872	183.989
0	0	30.161	76.744	127.872
0	0	0	30.161	76.744
0	0	0	0	30.161
⋮				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Column 91

189359.245
172521.876
157181.293
143204.435
⋮
0
0
0
0

>> Nilai C_E :
Columns 1 through 5

140.852	169.303	202.377	240.601	284.533
0	140.050	168.459	201.498	239.699

0	115.014	139.243	167.609	200.615
0	0	114.252	138.432	166.754
0	0	93.032	113.486	137.614
⋮				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Column 91

1893592.450
 1725218.764
 1571812.926
 1432044.345
 1304700.715
 ⋮
 0
 0
 0
 0

>> Nilai C_A :

Columns 1 through 5

140.852	169.303	202.377	240.601	284.533
0	140.050	168.459	201.498	239.699
0	115.014	139.243	167.609	200.615
0	0	114.252	138.432	166.754
0	0	93.032	113.486	137.614
⋮				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

0	0	0	0	0
Column 91				
1893592.450				
1725218.764				
1571812.926				
1432044.345				
1304700.715				
:				
0				
0				
0				
0				

Output Opsi *Call* untuk $T = 1,5 \text{ tahun}$

>> Nilai lamda :	1.069143779391741
>> Nilai u :	1.118198222237922
>> Nilai d :	0.894295823506708
>> Nilai pu :	0.417087762685924
>> Nilai pm :	0.125161729938603
>> Nilai pd :	0.457750507375472
>> Nilai A :	441.0849374993640

>> Nilai S :

Columns 1 through 5

434.99	462.843	492.481	524.015	557.569
0	434.99	462.843	492.481	524.015
0	408.813	434.99	462.843	492.481
0	0	408.813	434.99	462.843
0	0	384.211	408.813	434.99
:				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Column 91

115989.625
109009.478
102449.389
96284.080
90489.793
:
2.09102367
1.96518781
1.84692464
1.73577843
1.63132090

>> Nilai CE :

Columns 1 through 5

0	32.848	90.340	154.628	226.514
0	0	32.848	90.340	154.628

0	0	0	32.848	90.340
0	0	0	0	32.848
:				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Column 91

10119325.824
9049622.878
8092992.001
7237481.003
:
0
0
0
0

>> Nilai C_E :

Columns 1 through 5

170.773	206.964	249.538	299.363	357.381
0	169.821	205.951	248.473	298.256
0	138.400	168.862	204.931	247.401
0	0	137.503	167.897	203.904
0	0	111.166	136.600	166.925
:				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Column 91

1.0119325.824
0.9049622.878
0.8092992.001
0.7237481.003
0.6472401.091

⋮

0

0

0

0

>> Nilai C_A :

Columns 1 through 5

170.773	206.964	249.538	299.363	357.381
0	169.821	205.951	248.473	298.256
0	138.400	168.862	204.931	247.401
0	0	137.503	167.897	203.904
0	0	111.166	136.600	166.925
⋮				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Column 91

1.0119325.824
0.9049622.878
0.8092992.001
0.7237481.003
0.6472401.091

$\vdots$	
0	
0	
0	
0	

Lampiran 5. Program Trinomial Kamrad Ritchken Opsi Put

```
%Trinomial Kamrad Ritchken Opsi Put Asia

S0=input('Harga Saham Awal (S0) = ');
K=input('Harga Kontrak (K) = ');
b=input('barrier (b) = ');
r=input('Tingkat Suku Bunga Bebas Risiko (r) = ');
T=input('Waktu Jatuh Tempo (T) = ');
N=input('Banyak Langkah (N) = ');
vol=input('Volatilitas = ');
dt=T/N;
Dt=sqrt(dt);
X=log(S0/b);
NU=X/(vol*Dt);
N0=floor(NU);
lamda=NU/N0;
u=exp(lamda*vol*Dt);
d=1/u;
pu=(1/(2*lamda^2))+((r-0.5*vol^2)*Dt)/(2*lamda*vol);
pm=1-(1/lamda^2);
pd=(1/(2*lamda^2))-((r-0.5*vol^2)*Dt)/(2*lamda*vol);

A=0;
for i=2:N+1
    E(i)=S0*((pu*u+pm+pd*d)^(i-1));
    A=(sum(E))/N;
end

for j=1:N+1
    for i=1:2*j-1
        S(i,j)=S0*(u^(j-1))*(d^(i-1));
        PE(i,j)=max(A-S(i,j),0);
    end
end
end
```

```

P_E(1:2*N+1,N+1)=max(A-S(1:2*N+1,N+1),0);
for j=N:-1:1
    for i=1:(2*j-1)
        P_E(i,j)=exp((-
r)*dt)*(pu*P_E(i,j+1)+pm*P_E(i+1,j+1)+pd*P_E(
i+2,j+1));
    end
end
P_A(1:2*N+1,N+1)=max(A-S(1:2*N+1,N+1),0);
for j=N:-1:1
    for i=1:(2*j-1)
        P_A(i,j)=max(max(A-S(i,j),0),exp((-
r)*dt)*(pu*P_E(i,j+1)+pm*P_E(i+1,j+1)+pd*P_E(
i+2,j+1)));
    end
end

disp('Nilai lamda : '),disp(lamda);
disp('Nilai u : '),disp(u);
disp('Nilai d : '),disp(d);
disp('Nilai pu : '),disp(pu);
disp('Nilai pm : '),disp(pm);
disp('Nilai pd : '),disp(pd);
disp('Nilai A : '),disp(A);
disp('Nilai S : '),disp(S);
disp('Nilai PE : '),disp(PE);
disp('Nilai P_E : '),disp(P_E);
disp('Nilai P_A : '),disp(P_A);

```

Output Opsi *Put* untuk $T = 0,5$ tahun

```

>> Nilai lamda :
    1.028784081390393
>> Nilai u :
    1.064032485664015

```

```
>> Nilai d :
    0.939820929786692
>> Nilai pu :
    0.460213842426290
>> Nilai pm :
    0.055174668333692
>> Nilai pd :
    0.484611489240019
>> Nilai A :
    441.0849374993640
```

```
>> Nilai S :
Columns 1 through 5
```

434.99	462.843	492.481	524.015	557.569
0	434.99	462.843	492.481	524.015
0	408.813	434.99	462.843	492.481
0	0	408.813	434.99	462.843
0	0	384.211	408.813	434.99
:				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

```
>> Nilai PE :
Columns 1 through 5
```

6.09494	0	0	0	0
0	6.09494	0	0	0
0	32.27223	6.09494	0	0
0	0	32.27223	6.09494	0
0	0	56.87420	32.27223	6.09494

0	0	0	56.87420	32.27223
⋮				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
Column 91				
0				
0				
0				
0				
⋮				
438.99391				
439.11975				
439.23801				
439.34916				
439.45362				
>> Nilai P_E :				
Columns 1 through 5				
94.49942	84.07173	74.15005	64.80080	
56.08065				
0	94.05154	83.60284	73.66621	
64.30869				
0	104.51272	93.60031	83.13046	
73.17884				
0	0	104.08489	93.145723	
82.65457				
0	0	114.99036	103.65385	
92.68768				

⋮				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Column 91

0
0
0
0
0
⋮
438.99391
439.11975
439.23801
439.34916
439.45362

>> Nilai P_A :

Columns 1 through 5

94.49942	84.07173	74.15005	64.80080
56.08065			
0	94.05154	83.60284	73.66621
64.30869			
0	104.51272	93.60031	83.13046
73.17884			
0	0	104.08489	93.14573
82.65457			
0	0	114.99036	103.65385
92.68768			

⋮				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
Column 91				
0				
0				
0				
0				
0				
⋮				
438.99391				
439.11975				
439.23801				
439.34916				
439.45362				

Output Opsi *Put* untuk $T = 1 \text{ tahun}$

```
>> Nilai lamda :
    1.091190300491880
>> Nilai u :
    1.097570261094695
>> Nilai d :
    0.911103403077466
>> Nilai pu :
    0.403657271753651
>> Nilai pm :
```

0.160155260741059

>> Nilai pd :

0.436187467505290

>> Nilai A :

441.0849374993640

>> Nilai S :

Columns 1 through 5

434.99	462.843	492.481	524.015	557.569
0	434.99	462.843	492.481	524.015
0	408.813	434.99	462.843	492.481
0	0	408.813	434.99	462.843
0	0	384.211	408.813	434.99
:				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

>> Nilai PE :

Columns 1 through 5

12.28154	0	0	0	0
0	12.28154	0	0	0
0	50.95067	12.28154	0	0
0	0	50.95067	12.28154	0
0	0	86.18225	50.95067	
12.28154				
0	0	0	86.18225	
50.95067				
:				
0	0	0	0	0

0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
Column 91				
0				
0				
0				
0				
0				
:				
447.12656				
447.13945				
447.15119				
447.16189				
447.17164				
>> Nilai P_E :				
Columns 1 through 5				
129.27324	115.54791	102.30432	89.66710	
77.74935				
0	128.72959	114.96168	101.68402	
89.02264				
0	142.35572	128.18101	114.37020	
101.05833				
0	0	141.85254	127.62741	
113.77337				
0	0	155.85758	141.34473	
127.06871				
:				
0	0	0	0	0

0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
Column 91				
0				
0				
0				
0				
0				
:				
447.12656				
447.13945				
447.15119				
447.16189				
447.17164				
>> Nilai P_A :				
Columns 1 through 5				
129.27324	115.54791	102.30432	89.66710	
77.74935				
0	128.72959	114.96168	101.68402	
89.02264				
0	142.35572	128.18101	114.37020	
101.05833				
0	0	141.85254	127.62741	
113.77337				
0	0	155.85758	141.34473	
127.06871				
:				
0	0	0	0	0

0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
Column 91				
0				
0				
0				
0				
0				
:				
447.12656				
447.13945				
447.15119				
447.16189				
447.17164				

Output Opsi *Put* untuk $T = 1,5 \text{ tahun}$

```
>> Nilai lamda :
    1.069143779391741
>> Nilai u :
    1.118198222237922
>> Nilai d :
    0.894295823506708
>> Nilai pu :
    0.417087762685924
>> Nilai pm :
    0.125161729938603
>> Nilai pd :
```

0.457750507375472

>> Nilai A :

441.0849374993640

>> Nilai S :

Columns 1 through 5

434.99	462.843	492.481	524.015	557.569
0	434.99	462.843	492.481	524.015
0	408.813	434.99	462.843	492.481
0	0	408.813	434.99	462.843
0	0	384.211	408.813	434.99
:				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

>> Nilai PE :

Columns 1 through 5

18.56730	0	0	0	0
0	18.56730	0	0	0
0	64.54756	18.56730	0	0
0	0	64.54756	18.56730	0
0	0	105.66752	64.54756	
18.56730				
:				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Column 91

0
0
0
0
0
:

453.52807
453.53116
453.53392
453.53640
453.53861

>> Nilai P_E :

Columns 1 through 5

153.58788	138.76373	124.24882	110.19067	
96.73002				
0	153.01703	138.13224	123.56525	
109.46549				
0	167.55896	152.43993	137.49401	
122.87464				
0	0	167.04394	151.85648	
136.84891				
0	0	181.81146	166.52313	
151.26657				
:				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Column 91

0
0
0
0
0
:

453.52807
453.53116
453.53392
453.53640
453.53861

>> Nilai P_A :
Columns 1 through 5

153.58788	138.76373	124.24882	110.19067	
96.73002				
0	153.01703	138.13224	123.56525	
109.46549				
0	167.55896	152.43993	137.49401	
122.87464				
0	0	167.04394	151.85648	
136.84891				
0	0	181.81146	166.52313	
151.26657				
:				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Column 91

0

0

0

0

0

⋮

453.52807

453.53116

453.53392

453.53640

453.53861

RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama Lengkap : Jihan Nabila Wafa'
2. Tempat & Tgl Lahir : Wonogiri, 6 September 2001
3. Alamat Rumah : Jalan Puspogiwang Timur
No. 30 RT.01/RW.VI
Kelurahan Salamanmloyo,
Kecamatan Semarang Barat
4. HP : 083195462234
5. E-mail : jihannabilawafa@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

Pendidikan Formal:

1. Madrasah Ibtidaiyah Gisikdrono Semarang
2. Madrasah Tsanawiyah Negeri 2 Kota Semarang
3. SMAN 8 Kota Semarang

Semarang, 13 Maret 2024



Jihan Nabila Wafa'
NIM : 2008046013