PENENTUAN HARGA OPSI BERMUDA MENGGUNAKAN METODE *LATTICE* MULTINOMIAL

SKRIPSI

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

Oleh:

SITI CHOLIFATUL MA'RIFAH

NIM 1908046018

PROGRAM STUDI MATEMATIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG

2023

PENENTUAN HARGA OPSI BERMUDA MENGGUNAKAN METODE *LATTICE* MULTINOMIAL

SKRIPSI

Diajukan oleh:

SITI CHOLIFATUL MA'RIFAH

NIM: 1908046018

PROGRAM STUDI MATEMATIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG

2023

PERNYATAAN KEASLIAN NASKAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Siti Cholifatul Ma'rifah

NIM : 1908046018

Program Studi : Matematika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

Penentuan Harga Opsi Bermuda Menggunakan Metode *Lattice* Multinomial

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

Semarang, 26 Desember 2023

Pembuat Pernyataan,

Siti Cholifatul Ma'rifah

NIM. 1508046005

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Prof. Dr. Hamka Ngaliyan Semarang
Telp.024-7601295 Fax.7615387

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini :

Judul : **Penentuan Harga Opsi Bermuda Menggunakan Metode *Lattice* Multinomial**

Penulis : Siti Cholifatul Ma'rifah

NIM : 1908046018

Jurusan : Matematika

Telah diajukan 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, 28 Desember 2023

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang,

Sri Isnani Setyaningsih, S.Ag. M. Hum.
NIP. 197703302005012001

Sekretaris Sidang,

Agus Wayan Yulianto, M.Sc
NIP. 198907162019031007

Penguji Utama I,

Prihadi Kurniawan, M. Sc
NIP. 199012262019031012

Penguji Utama II,

Dr. Saminanto, S.Pd., M.Sc
NIP. 197206042003121002

Pembimbing I,

Emy Siswanah, M.Sc
NIP. 198702022011012014

Pembimbing II,

Eva Khoirun Nisa, M.Si.
NIP. 198701022019032010

KEMENTERIAN AGAMA FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UIN WALISONGO SEMARANG REPUBLIK INDONESIA

NOTA PEMBIMBING

Semarang, 26 Desember 2023

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Walisongo

di Semarang

Assalamu'alaikum wr. wb.

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

Judul	:	**Penentuan Harga Opsi Bermuda Menggunakan Metode *Lattice* Multinomial**
Nama	:	Siti Cholifatul Ma'rifah
NIM	:	1908046018
Program Studi	:	Matematika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diajukan dalam sidang Munaqosyah.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Pembimbing I

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

NOTA PEMBIMBING

Semarang. 27 Desember 2023

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo
di Semarang

Assalamu'alaikum wr. wb.

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

Judul	:	**Penentuan Harga Opsi Bermuda Menggunakan Metode *Lattice* Multinomial**
Nama	:	Siti Cholifatul Ma'rifah
NIM	:	1908046018
Program Studi	:	Matematika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diajukan dalam sidang Munaqosyah.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Pembimbing II

Eva Khoirun Nisa, M.Sc
NIP. 19870102 201903 2 010

TRANSLITERASI ARAB

Penulisan transliterasi huruf-huruf Arab-Latin dalam skripsi ini berpedoman pada (SKB) Menteri Agama dan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia Nomor: 158 Tahun 1987 dan Nomor: 0543b/U/1987.

Daftar huruf bahasa Arab dan transliterasinya ke dalam huruf Latin dapat dilihat pada halaman berikut:

Huruf Arab	**Nama**	**Huruf Latin**	**Nama**
ا	Alif	Tidak Dilambangkan	Tidak Dilambangkan
ب	Ba	B	Be
ت	Ta	T	Te
ث	Ṡa	Ṡ	Es (dengan titik di atas)
ج	Jim	J	Je
ح	Ha	H	Ha (dengan titik di bawah)
خ	Kha	Kh	Ka dan Ha
د	Dal	D	De
ذ	Zal	Ż	Zet (dengan titik di atas)
ر	Ra	R	Er
ز	Zai	Z	Zet
س	Sin	S	Es
ش	Syin	Sy	Es dan Ye

ص	Ṣad	Ṣ	Es (dengan titik di bawah)
ض	Ḍad	Ḍ	De (dengan titik di bawah)
ط	Ṭa	Ṭ	Te (dengan titik di bawah)
ظ	Ẓa	Ẓ	Zet (dengan titik di bawah)
ع	‘Ain	…‘	Apostrof terbalik
غ	Gain	G	Ge
ف	Fa	F	Ef
ق	Qaf	Q	Ki
ك	Kaf	K	Ka
ل	Lam	L	El
م	Mim	M	Em
ن	Nun	N	En
و	Wau	W	We
ه	Ha	H	Ha
ء	Hamzah	…’	Apostrof
ي	Ya	Y	Ye

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan Rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini guna memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S1). Sholawat dan salam semoga tetap terlimpah kepada Rasulullah Muhammad SAW yang senantiasa memupuk rasa semangat dan keyakinan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan pengarahan, bimbingan dan bantuan yang sangat berarti bagi penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik, maka pada kesempatan kali ini dengan kerendahan hati dan rasa hormat yang dalam penulis haturkan kepada:

1. Dr. H. Ismail, M.Ag., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
2. Yulia Romadiastri, M. Sc., selaku Ketua Jurusan Matematika.
3. Emy Siswanah, M. Sc., selaku Ketua Program Studi Matematika sekaligus dosen pembimbing pertama yang telah memberikan kritik dan saran bimbingan yang sangat berguna dalam penyusunan skripsi ini.

4. Ahmad Aunur Rohman, M. Sc., selaku Sekretaris Program Studi Matematika.
5. Seftina Diyah Miasary, M. Sc., selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis selama kuliah.
6. Eva Khoirun Nisa, M. Si., selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan kritik dan saran bimbingan yang sangat berguna dalam penyusunan skripsi.
7. Bapak/Ibu dosen dan staf di lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang, khususnya Program Studi Matematika yang telah banyak membantu dan memberikan ilmunya kepada penulis selama kuliah.
8. Dr. KH. Fadlolan Musyaffa', Lc. MA. dan Nyai Hj. Fenty Hidayah, S.Pd. selaku Pendiri dan Pengasuh Pondok Pesantren Fadhlul Fadhlan Semarang.
9. Teristimewa kepada kedua orang tua penulis, saudara-saudara dan keluarga yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moril maupun materil kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
10. Teman, adik, dan kakak-kakak Pondok Pesantren Fadhlul Fadhlan yang telah memberikan semangat dalam proses pengerjaan skripsi ini.

11. Teman-teman seperjuangan Matematika 2019 yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam proses pengerjaan skripsi ini.
12. Teman-teman KKN MIT ke-15 posko 4 Kelurahan Srondol Wetan Kec. Banyumanik Kota Semarang yang telah memberi pengalaman berharga bagi penulis.
13. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Demikian ucapan hormat penulis. Semoga Allah SWT membalas jasa-jasa mereka dengan balasan yang setimpal dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk pembaca dan sekaligus dapat memberikan masukan dalam penelitian ini.

Semarang, 26 Desember 2023

Penulis,

Siti Cholifatul Ma'rifah

NIM. 1908046018

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ii
PERNYATAAN KEASLIAN NASKAH iii
HALAMAN PENGESAHAN .... Error! Bookmark not defined.
NOTA PEMBIMBING v
TRANSLITERASI ARAB vii
KATA PENGANTAR ix
DAFTAR ISI xii
DAFTAR TABEL xiv
DAFTAR GAMBAR xvi
DAFTAR LAMPIRAN xix
ABSTRAK xx
BAB I PENDAHULUAN 22
A. Latar Belakang 22
B. Rumusan Masalah 26
C. Batasan Masalah 27
D. Tujuan Penelitian 28
E. Manfaat Penelitian 28
BAB II LANDASAN PUSTAKA 30
A. Kajian Teori 30
B. Hasil Penelitian yang Relevan 57
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 61
A. Jenis Penelitian 61
B. Sumber Data 61
C. Teknik Pengumpulan Data 62

D. Teknik Analisis Data 62
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 66
A. Hasil Penelitian 66
B. Pembahasan 259
BAB V SIMPULAN DAN SARAN 262
A. Simpulan 262
B. Saran 263
DAFTAR PUSTAKA 265
LAMPIRAN-LAMPIRAN 268

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Harga Saham TSLA	67
Tabel 4.2	Harga Saham MSFT	67
Tabel 4.3	Harga Saham AAPL	68
Tabel 4.4	Harga Saham META	68
Tabel 4.5	Harga Saham GOOG	69
Tabel 4.6	Harga Saham awal, harga kesepakatan dan harga opsi (pasar)	70
Tabel 4.7	Hasil ekspektasi return masing-masing saham	78
Tabel 4.8	Perhitungan mencari nilai *return* saham TSLA	79
Tabel 4.9	Perhitungan mencari nilai *return* saham MSFT	79
Tabel 4.10	Perhitungan mencari nilai *return* saham AAPL	80
Tabel 4.11	Perhitungan mencari nilai *return* saham META	80
Tabel 4.12	Perhitungan mencari nilai *return* saham GOOG	81
Tabel 4.13	Hasil variansi masing-masing saham	82
Tabel 4.14	Hasil volatilitas masing-masing saham	83
Tabel 4.15	Hasil perhitungan saham TSLA dengan n=2	93
Tabel 4.16	Hasil Perhitungan saham MSFT dengan n=2	95
Tabel 4.17	Hasil Perhitungan saham AAPL dengan n=2	96
Tabel 4.18	Hasil Perhitungan saham META	97

	dengan n=2	
Tabel 4.19	Hasil Perhitungan saham GOOG dengan n=4	98
Tabel 4.20	Hasil Perhitungan saham TSLA dengan n=4	99
Tabel 4.21	Hasil Perhitungan saham MSFT dengan n=4	100
Tabel 4.22	Hasil Perhitungan saham AAPL dengan n=4	101
Tabel 4.23	Hasil Perhitungan saham META dengan n=4	102
Tabel 4.24	Hasil Perhitungan saham GOOG Dengan n=4	104
Tabel 4.25	Harga opsi *call* dengan n=2 menggunakan metode *Lattice* Multinomial dan harga opsi di pasar	257
Tabel 4.26	Harga opsi *call* dengan n=4 menggunakan metode *Lattice* Multinomial dan harga opsi di pasar	257
Tabel 4.27	Harga opsi *put* dengan n=2 menggunakan metode *Lattice* Multinomial dan harga opsi di pasar	258
Tabel 4.28	Harga opsi *put* dengan n=4 menggunakan metode *Lattice* Multinomial dan harga opsi di pasar	259

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Pohon Binomial	40
Gambar 2.2	Pohon Trinomial	42
Gambar 2.3	Pohon Multinomial	45
Gambar 2.4	Skema pohon Multinomial	46
Gambar 3.1	Alur Penelitian	66
Gambar 4.1	Skema pohon Multinomial periode 2	91
Gambar 4.2	Skema pohon Multinomial periode 4	92
Gambar 4.3	Skema pohon Multinomial opsi *call* Bermuda saham TSLA dengan n=2	109
Gambar 4.4	Skema pohon Multinomial opsi *call* Bermuda saham TSLA dengan n=4	120
Gambar 4.5	Skema pohon Multinomial opsi *put* Bermuda saham TSLA dengan n=2	125
Gambar 4.6	Skema pohon Multinomial opsi *put* Bermuda saham TSLA dengan n=4	136
Gambar 4.7	Skema pohon Multinomial opsi *call* Bermuda saham MSFT dengan n=2	141
Gambar 4.8	Skema pohon Multinomial opsi *call* Bermuda saham MSFT dengan n=4	151
Gambar 4.9	Skema pohon Multinomial opsi *put* Bermuda saham MSFT dengan n=2	156

Gambar 4.10	Skema pohon Multinomial opsi *put* Bermuda saham MSFT dengan n=4	165
Gambar 4.11	Skema pohon Multinomial opsi *call* Bermuda saham AAPL dengan n=2	171
Gambar 4.12	Skema pohon Multinomial opsi *call* Bermuda saham AAPL dengan n=4	181
Gambar 4.13	Skema pohon Multinomial opsi *put* Bermuda saham AAPL dengan n=2	186
Gambar 4.14	Skema pohon Multinomial opsi *put* Bermuda saham AAPL dengan n=4	196
Gambar 4.15	Skema pohon Multinomial opsi *call* Bermuda saham META dengan n=2	201
Gambar 4.16	Skema pohon Multinomial opsi *call* Bermuda saham META dengan n=4	211
Gambar 4.17	Skema pohon Multinomial opsi *put* Bermuda saham META dengan n=2	216
Gambar 4.18	Skema pohon Multinomial opsi *put* Bermuda saham META dengan n=4	226
Gambar 4.19	Skema pohon Multinomial opsi *call* Bermuda saham GOOG dengan n=2	231
Gambar 4.20	Skema pohon Multinomial opsi *call* Bermuda saham GOOG dengan n=4	241
Gambar 4.21	Skema pohon Multinomial opsi *put* Bermuda saham GOOG dengan n=2	246

Gambar 4.22	Skema pohon Multinomial opsi *put* Bermuda saham GOOG dengan n=4	256

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Halaman
Lampiran 1	Harga penutupan masing-masing saham	268
Lampiran 2	Harga suku bunga	269
Lampiran 3	Nilai *Return* pada masing-masing saham	270

ABSTRAK

Opsi merupakan suatu kontrak derivatif yang memberikan hak beli atau hak jual atas aset tertentu, atas harga kesepakatan tertentu dan atas masa berlaku hingga waktu tertentu pula. Opsi Bermuda merupakan opsi yang dapat dilaksanakan pada saat tanggal jatuh tempo ataupun sebelum jatuh tempo. Metode penentuan harga opsi Bermuda yang digunakan adalah metode Multinomial yang merupakan pengembangan dari metode binomial. Metode Multinomial ini memliki kelebihan yaitu lebih banyak node, sehingga dapat menghasilkan nilai akurasi yang lebih tinggi. Dalam penelitian ini metode penelitian yang digunakan adalah studi literatur, yakni metode penumpulan data dan pustaka.

Hasil dari penelitian ini adalah harga opsi *call* TSLA untuk $n = 2$ adalah 19,35899059 dan untuk $n = 4$ adalah 12,96395 sedangkan harga opsi *put* TSLA untuk $n = 2$ adalah 23,34930329 dan untuk $n = 4$ adalah 19,0248369. Harga opsi *call* MSFT untuk $n = 2$ adalah 20,3146894 dan untuk $n = 4$ adalah 13,70116 sedangkan harga opsi *put* MSFT untuk $n = 2$ adalah 23,67588005 dan untuk $n = 4$ adalah 17,74931294. Harga opsi *call* AAPL untuk $n = 2$ adalah 33,30538714 dan untuk $n = 4$ adalah 23,42931 sedangkan harga opsi *put* AAPL untuk $n = 2$ adalah 36,50277656 dan untuk $n = 4$ adalah 26,80608823. Harga opsi *call* META untuk $n = 2$ adalah

19,10459792 dan untuk $n = 4$ adalah 13,10619 sedangkan harga opsi *put* META untuk $n = 2$ adalah 20,81287732 dan untuk $n = 4$ adalah 15,47646588. Harga opsi *call* GOOG untuk $n = 2$ adalah 8,676222042 dan untuk $n = 4$ adalah 5,931817 sedangkan harga opsi *put* GOOG untuk $n = 2$ adalah 10,95182168 dan untuk $n = 4$ adalah 8,245764036.

Harga opsi Bermuda yang dihitung menggunakan metode *Lattice* Multinomial ini, hasilnya belum mendekati harga opsi pasar. Dilihat pula pada hasil perhitungan yang diperoleh semakin kecil nilai n maka nilai opsinya semakin besar. Hal ini berlawanan dengan hasil dari beberapa penelitian sebelumnya mereka menyimpulkan bahwa semakin tinggi nilai n maka nilai opsi semakin besar. Penulis menyarankan agar peneliti selanjutnya dapat menggunakan beberapa langkah agar hasil penelitian yang diperoleh dapat mendekati harga opsi di pasar, karena pergerakan saham sendiri begitu banyak, cepat dan dinamis serta opsi dengan $n = 4$ mempunyai nilai MSE yang lebih kecil baik untuk opsi *call* dan opsi *put*. Semakin besar n maka semakin kecil *error* yang diperoleh.

Kata kunci: Opsi, Opsi Bermuda, Metode Multinomial

BAB I
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Investasi pada dunia ekonomi merupakan kegiatan penanaman modal oleh investor dengan mengharapkan keuntungan yang lebih. Semakin tinggi potensi keuntungan yang didapatkan, maka semakin tinggi pula risiko *(risk)* yang dihadapi dalam berinvestasi. Secara tidak langsung agama Islam menganjurkan kepada umatnya untuk berinvestasi, sebagaimana dijelaskan dalam Al-Qur'an Surat Yusuf ayat 46-49 yang berbunyi (Kemenag RI, 2022):

يُوسُفُ أَيُّهَا الصِّدِّيقُ أَفْتِنَا فِي سَبْعِ بَقَرَاتٍ سِمَانٍ يَأْكُلُهُنَّ سَبْعٌ عِجَافٌ وَسَبْعِ سُنْبُلَا
خُضْرٍ وَأُخَرَيَابِسَاتٍ لَعَلِّي أَرْجِعُ إِلَى النَّاسِ لَعَلَّهُمْ يَعْلَمُونَ (46) قَالَ تَزْرَعُونَ
سَبْعَ سِنِينَ دَأَبًا فَمَا حَصَدْتُمْ فَذَرُوهُ فِي سُنْبُلِهِ إِلَّا قَلِيلًا مِمَّا تَأْكُلُونَ (47) ثُمَّ يَأْتِي
مِنْ بَعْدِ ذَلِكَ سَبْعٌ شِدَادٌ يَأْكُلْنَ مَا قَدَّمْتُمْ لَهُنَّ إِلَّا قَلِيلًا مِمَّا تُحْصِنُونَ (48) ثُمَّ يَأْتِي
مِنْ بَعْدِ ذَلِكَ عَامٌ فِيهِ يُغَاثُ النَّاسُ وَفِيهِ يَعْصِرُونَ(49)

Artinya:

"(Setelah pelayan itu berjumpa dengan Yusuf dia berseru), 'Yusuf, hai orang yang amat dipercaya, terangkanlah kepada kami tentang tujuh ekor sapi betina yang gemuk-gemuk yang dimakan oleh tujuh ekor sapi betina yang kurus-kurus dan tujuh bulir (gandum) yang hijau dan (tujuh) lainnya yang kering agar aku kembali kepada orang-orang itu dan mereka mengetahuinya.' Yusuf berkata, 'Hendaknya kamu bertanam tujuh tahun (lamanya) sebagaimana biasa; maka apa yang kamu tuai hendaklah kamu biarkan dibulirnya kecuali sedikit untuk kamu makan. Kemudian sesudah itu akan datang tujuh tahun yang amat sulit, yang menghabiskan apa yang kamu simpan untuk menghadapinya (tahun sulit), kecuali sedikit dari (bibit gandum) yang kamu simpan. Kemudian setelah itu akan datang tahun yang padanya manusia diberi hujan (dengan cukup) dan di masa itu mereka memeras anggur.'"

Ayat-ayat tersebut memiliki makna tersirat bahwa umat Islam dianjurkan untuk tidak mengonsumsi semua kekayaan pada saat itu juga, namun hendaknya menyimpan atau menginvestasikan sebagian kekayaan tersebut guna untuk keperluan masa depan yang lebih penting. Secara tidak langsung, Allah SWT menganjurkan kepada umat manusia untuk mengelola dan mengembangkan harta kekayaaan demi persiapan masa depan yang dalam hal ini adalah investasi.

Seiring berjalannya waktu, produk-produk investasi semakin berkembang salah satunya yaitu munculnya produk derivatif. Derivatif dalam arti khusus merupakan kontrak finansial antara dua atau lebih pihak-pihak guna untuk menjual atau membeli asset/komoditi yang dijadikan sebagai objek yang diperdagangkan dengan harga dan waktu yang telah disepakati anatara penjual dan pembeli. Diantara produk derivatif yaitu, *forword, contract, swap*, dan opsi (Prihandoko, 2017). Menurut Suwanda (2009), opsi merupakan suatu kontrak derivatif yang memberikan hak beli atau hak jual atas aset tertentu, atas harga kesepakatan tertentu dan atas masa berlaku hingga waktu tertentu pula. Berdasarkan haknya, opsi dikelompokkan menjadi dua yaitu opsi beli *(call option)* dan opsi jual *(put option)*. Opsi juga dapat dikelompokkan berdasarkan aturan waktu pelaksanaannya *(expiration date)* yaitu opsi tipe Amerika dan opsi tipe Eropa. Opsi tipe Amerika adalah kontrak opsi yang pelaksanaannya sebelum atau sesudah jatuh tempo dan opsi tipe Eropa adalah opsi yang dilaksanakan saat jatuh tempo (Hidayat, 2010). Sedangkan opsi Bermuda yaitu opsi yang dapat dilaksanakan pada saat tanggal jatuh tempo ataupun sebelum jatuh tempo. Opsi Bermuda memiliki jumlah waktu-waktu *early exercise* yang telah ditentukan dalam kontrak, dimana waktu-waktu tersebut hanya boleh dilakukan di beberapa waktu saja sebelum masa berlaku opsi habis.

Opsi Bermuda menawarkan opsi kepada investor atau pembeli opsi untuk membuat dan membeli kontrak hibrida yang merupakan kombinasi dari opsi Eropa dan opsi Amerika (Fahria, 2018). Hal ini menyebabkan investor memperoleh kebebasan pada waktu mengeksekusi opsi tersebut. Opsi Bermuda mempunyai harga premi diantara opsi Amerika dan Opsi Eropa dan mempunyai flektibilitas yang waktu pelaksaannya hanya pada waktu-waktu tertentu yang tertulis pada kontrak opsi (Fahria, 2018). Harga opsi dapat dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya harga saham, *strike price*, waktu kadarluarsa/*time to expirate*, volatilitas saham, tingkat suku bunga bebas resiko *(rist free interest rate).*

Ada beberapa metode yang digunakan untuk menentukan nilai atau harga opsi tetapi dalam penelitian ini akan menggunakan Metode *Lattice* Multinomial. Metode *Lattice* merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menghitung dan memodelkan pergerakan harga saham hingga saat jatuh tempo secara sederhana untuk menghitung harga opsi pada saat sekarang. Metode Multinomial merupakan pengembangan dari metode binomial yang memiliki kelebihan yaitu mempunyai lebih banyak node dibandingkan dengan metode binomial. Oleh karena itu, metode multinomial menghasilkan nilai akurasi yang lebih tinggi (Fitriana, 2015). Karena dengan kelebihan metode Multinomial yang memiliki nilai akurasi yang tinggi dan masih sedikitnya penelitian penentuan harga opsi khususnya opsi Bermuda, maka dari itu penulis tertarik untuk melakukan penelitian terkait Penentuan Harga Opsi Bermuda Menggunakan Metode *Lattice* Multinomial.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang dipaparkan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapakah harga opsi bermuda menggunakan Metode *Lattice* Multinomial?
2. Apakah hasil dari penentuan harga Opsi Bermuda menggunakan Metode *Lattice* Multinomial mendekati harga opsi di pasar?

C. Batasan Masalah

Pembatasan suatu masalah digunakan untuk menghindari adanya penyimpangan maupun pelebaran pokok masalah agar penelitian tersebut lebih terarah dan memudahkan dalam pembahasan sehingga tujuan penelitian akan tercapai. Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jenis opsi yang digunakan pada penelitian ini adalah Opsi Bermuda.
2. Metote yang digunakan yaitu Metode *Lattice* Multinomial yang merupakan pengembangan dari metode Binomial.
3. Penelitian ini menggunakan lima saham dari bursa Amerika yaitu TSLA, MSFT, AAPL, META dan GOOG.
4. Untuk mencari nilai volatilitas data yang digunakan yaitu data tiga tahun terakhir dari tanggal 17 Juli 2020 – 17 Juli 2023.
5. Waktu jatuh tempo pada penelitian ini yaitu 32 hari (17 Juli 2023 - 18 Agustus 2023) dengan waktu eksekusi untuk n=2 adalah pada t_1 (hari ke 16) dan untuk n=4 adalah t_1(hari ke 8) dan pada t_3 (hari ke 24) untuk masing-masing saham.

D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang masalah yang dipaparkan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui hasil dari nilai Opsi Bermuda menggunakan Metode *Lattice* Multinomial
2. Untuk mengetahui hasil dari penentuan harga Opsi Bermuda menggunakan Metode *Lattice* Multinomial apakah mendekati harga opsi di pasar.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat memberi wawasan keilmuan bagi mahasiswa atau pembaca tentang bagaimana menentukan harga Opsi Bermuda menggunakan Metode *Lattice* Multinomial.
2. Dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan bagi investor guna dalam mengambil keputusan berinvestasi khususnya dengan Metode *Lattice* Multinomial.
3. Menambah keilmuan tentang penentuan harga Opsi Bermuda menggunakan Metode *Lattice* Multinomial.

4. Diharapakan dengan penelitian ini dapat dijadikan referensi bagi peneliti selanjutnya, khususnya bagi yang ingin meneliti tentang penentuan harga Opsi Bermuda menggunakan Metode *Lattice* Multinomial.

BAB II
LANDASAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

a. Investasi

Investasi merupakan penempatan sebuah dana saat ini untuk memperoleh keuntungan di masa mendatang (Suprapto, 2010). Investasi juga diartikan sebagai suatu kegiatan menempatkan sejumlah dana pada satu atau lebih dari satu aset selama periode tertentu dengan tujuan memperoleh penghasilan atau meningkatkan nilai investasi. Dengan adanya pasar modal, investasi tidak hanya dilakukan pada waktu *riil (real asset)* saja misalnya seperti membangun pabrik, membuat produk baru, menambah saluran distribusi, dan lain sebagainya. Akan tetapi investasi juga dapat dilakukan pada aktivitas finansial *(financial assets)* atau sekuritas, misalnya seperti membeli sertifikat, deposito, *commercial paper,* saham, obligasi atau reksadana (Husnan, 2001).

Salah satu instrumen yang banyak digunakan oleh investor adalah saham. Saham memiliki arti yaitu sebuah lembar kertas yang menunjukkan hak untuk memperoleh bagian dari keuntungan sekaligus kepemilikian atas perusahaan yang telah menerbitkan saham tersebut. Dengan tujuan yaitu untuk memperoleh pengembangan usaha. Perubahan saham dipengaruhi oleh beerbagai faktor, salah satunya yaitu faktor eksternal seperti politik, ekonomi, keamanan, dan psikologis pasar. Faktor-faktor tersebut sulit untuk diprediksi, akibatnya harga saham berubah-ubah secara acak. Perubahan harga saham baik naik maupun turun dapat dimanfaat untuk mendapatkan keuntungan. Salah satu sarana yang dapat digunakan untuk memperoleh keuntungan dari perubahan saham yaitu opsi saham.

b. Opsi

Menurut Suwanda (2009) opsi merupakan suatu kontrak derivatif yang memberikan hak beli atau hak jual atas aset tertentu, atas harga kesepakatan tertentu, dan atas masa berlaku hingga waktu tertentu pula. Sedangkan menurut Hidayat (2010), opsi saham *(stock options)* merupakan suatu kontrak yang memberikan hak kepada pemegangnya untuk menjual atau membeli saham pada harga tertentu yang telah ditetapkan sekarang *(strike price)* dan penyerahan pada waktu tertentu di masa depan *(expiration date).* Menurut Sunariyah (2011) pihak-pihak yang terkait dengan kontrak opsi ada dua yaitu:

1. *Option buyer* atau option *holder* merupakan pihak yang memutuskan akan membayar hak pada kontrak opsi.
2. *Option writer* merupakan pihak yang menjual hak opsi kepada *Option buyer* pada kontrak opsi.

c. Pembagian Opsi

Pembagian opsi berdasarkan haknya dibedakan menjadi dua, diantaranya:

1. Opsi *call (call options)* merupakan suatu hak yang diberikan kepada pemegang opsi untuk membeli aset pada waktu tertentu dengan harga tertentu pula (Tirtoprojo, 2008).
2. Opsi *put (put options)* merupakan suatu hak opsi yang diberikan kepada pemegang opsi untuk menjual aset pada waktu tertentu dan harga tertentu pula (Syata dkk, 2015).

Berdasarkan waktu pelaksanaannya, menurut Hidayat (2010) opsi terbagi menjadi dua yaitu opsi Amerika dan opsi Eropa. Kontrak opsi yang waktu pelaksanaannya pada saat atau sebelum jatuh tempo merupakan disebut dengan opsi tipe Amerika. Sedangakan kontrak opsi yang waktu pelaksanaannya hanya saat jatuh temponya saja disebut dengan opsi tipe Eropa.

d. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Harga Opsi

Faktor-faktor yang mempengaruhi harga opsi berdasarkan buku yang berjudul “Pasar Modal: Manajemen fortofolio dan investasi” oleh Tendelilin (2017) diantaranya:

1. Harga Saham yang Mendasari

   Jika harga saham yang menjadi patokan berubah, maka harga opsipun ikut berubah. Jika harga saham naik maka untuk harga opsi *call* akan meningkat. Berbanding terbalik dengan harga opsi *put* yang akan mengalami penurunan jika harga saham naik.

2. *Stike Price*

   Stike price merupakan harga kesepakatan antara penjual dan pembeli opsi. Jika semakin tinggi harga *stike price* maka semakin tinggi harga opsi *put*. Sedangkan harga opsi *call* semakin rendah, jika harga *stike price* semakin tinggi.

3. Waktu Jatuh Tempo

Semakin lama tanggal jatuh tempo sebuah opsi maka akan tinggi harga opsi tersebut.

4. Volatilitas Harga Saham (σ)

Volatilitas harga saham adalah suatu ukuran yang menyatakan seberapa besar fluktuasi harga suatu aset dalam jangka waktu tertentu. Semakin besar volatilitas harga saham yang diharapkan maka harga opsi yang diharapkan juga tinggi.

5. Tingkat Suku Bunga Bebas Risiko Jangka Pendek

Jika tingkat suku bebas resiko meningkat maka harga saham akan berbanding lurus atau menigkat, sehingga tingkat suku bunga bebas risiko jangka pendek juga tinggi. Hal ini menjadi daya tarik investor untuk membeli opsi *call* dari pada membeli saham itu sendiri. Akibatnya harga opsi *call* mengalami kenaikan.

6. Dividen

Dapat diperkirakan dengan adanya dividen akan membuat harga opsi *call* dari saham tersebut mengalami penurunan. Sebaliknya pada opsi *put* dengan adanya dividen akan membuat harga opsi *put* tersebut mengalami kenaikan.

a. Opsi Bermuda

Telah dijelaskan sebelumnya dalam pembagian opsi berdasarkan waktu pelaksanaannya yaitu opsi Amerika dan opsi Eropa. Opsi tipe Amerika dilakukan kapan saja hingga waktu jatuh temponya dan opsi tipe Eropa hanya dapat dilakukan pada waktu jatuh temponya. Perpaduan antara opsi tipe Amerika dan opsi tipe Eropa disebut dengan opsi Bermuda yang pelaksanaannya dapat dilakukan pada waktu-waktu tertentu, mulai tanggal terbit kontrak opsi sampai dengan waktu jatuh tempo.

Opsi Bermuda adalah tipe nonstandar opsi Amerika yang memiliki fitur untuk melaksanakan opsi sebelum masa jatuh temponya *(early exercise)*. Opsi Bermuda memiliki sejumlah waktu-waktu *early exercise* yang telah ditentukan dalam kontrak, dimana waktu-waktu tersebut hanya boleh dilakukan di beberapa waktu saja sebelum masa berlaku opsi habis. Opsi Bemuda memiliki karakteristik diantara opsi Amerika dan opsi Eropa, dan nilainya pun tidak pernah melebihi nilai opsi Amerika dan tidak pernah kurang dari nilai opsi Eropa (Fahria, 2016). Waktu eksekusi opsi Bermuda dapat dituliskan $t_x < T$ dengan $k = 1,2, \ldots . n$ (t_x merupakan waktu esekusi opsi bermuda, misalnya setiap tiga tahun sekali) sesuai dengan ketetapan atau persetujuan antara pembeli opsi dan penjual opsi.

b. Fungsi *payoff* Opsi Bermuda

Berdasarkan hak pelaksanaannnya, opsi bermuda terbagi menjadi opsi *call* dan opsi *put* dengan fungsi *payoff* sebagai berikut:

c. Opsi *Call*

Menurut Muslim (2017) rumus dari opsi *Call* yaitu:

$$C(t_k) = \begin{cases} S(t_k) - K & ; \text{jika } S(t_k) > K \qquad (2.1) \\ 0 & ; \text{jika } S(t_k) \leq K \qquad (2.2) \end{cases}$$

Atau dapat dituliskan (Rusgiyono, 2017):

$$C(t_k) = \max \{ S(t_k) - K, 0\} ; \; t_k \leq T \qquad (2.3)$$

d. Opsi *Put*

Menurut Binatari dkk (2013) rumus dalam menghitung opsi *put* yaitu:

$$P(t_k) = \begin{cases} K - S(t_k) & ; \text{jika } S(t_k) < K \qquad (2.4) \\ 0 & ; \text{jika } S(t_k) \geq K \qquad (2.5) \end{cases}$$

atau dapat dituliskan (Prihandoko,2016):

$$P(t_k) = \max \{ K - S(t_k), 0\} ; \; t_k \leq T \qquad (2.6)$$

Keterangan:

$C(t_k)$ = fungsi payoff opsi *call*

$P(t_k)$ = fungsi payoff opsi *put*

$S(t_k)$ = harga saham di pasar pada waktu esekusi

K = harga kontrak *(strike price)*

t_x =waktu esekusi opsi atau pelaksanaan hak

T = waktu jatuh tempo kontrak opsi

e. *Return* dan Volatilitas Harga Saham

1. *Return*

Return adalah perolehan hasil dari sebuah investasi. Persamaan untuk mencari *return* yaitu:(Magol dkk(2020)

$$R_{(t)} = ln \frac{S_t}{S_{t-1}} \tag{2.7}$$

Keterangan:

$R_{(t)}$ = *Return* saham

$S_{(t)}$ = Harga saham pasa saat periode t

$S_{(t-1)}$ = Harga saham sebelum periode t

t =waktu (jumlah hari aktif perdagangan dalam satu tahun)

f. Volatilitas Harga Saham

Volatilitas harga saham, biasa dinotasikan dengan σ merupakan suatu ukuran yang memaparkan seberapa besar fluktasi (naik turunnya) harga suatu aset dalam jangka waktu tertentu. Semakin besar volatilitas harga maka semakin besar fluktasi harga atau naik turunnya suatu harga aset tersebut. Menurut John C. Hull (2009) persamamaan untuk mencari nilai volatilitas adalah:

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{\tau}}\sqrt{Var} \qquad (2.9)$$

dimana $\tau = \frac{1}{T}$. Dengan T adalah jumlah hari aktif perdagangan dalam satu tahun yaitu 252 hari. Sehingga nilai τ adalah $\frac{1}{252}$. Adapun persamaan mencari nilai variansi yaitu:

$$Var = \frac{\sum_{i=0}^{n}(R_{(t)} - (E(\bar{R}_{(t)})))^2}{n-1} \qquad (2.10)$$

Dimana, untuk menghitung nilai yang diharapkan (ekspektasi *return*) yaitu diperlukan persamaan:

$$E(\bar{R}_{(t)}) = \frac{\sum_{i=0}^{n}(R_{(t)}}{n} \qquad (2.11)$$

Keterangan:

σ = Volatilitas harga saham

R_t = *return* saham

$\bar{R}_t$ = rata-rata *return* saham

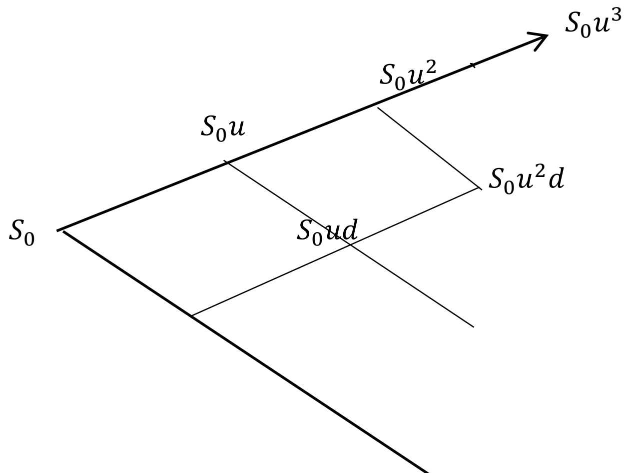
n = jumlah data n

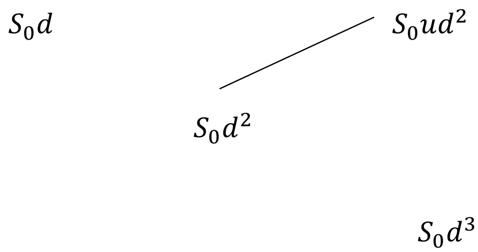
t = waktu (jumlah hari aktif perdagangan dalam tiga tahun)

g. Metode *Lattice* Binomial

Metode *Lattice* binomial yaitu sebuah metode yang mempresentasikan pergerakan harga saham naik dan pergerakan harga saham turun pada setiap periodenya. Menurut Aziz (2004) menyatakan asumsi-asumsi yang digunakan pada metode ini adalah, sebagai berikut:

1. Harga s sebagai harga awal selama setiap periode waktu Δt hanya dapat berubah dalam dua kemungkinan yaitu kemungkinan naik S_u dan kemungkinan turun S_d.
2. Peluang perubahan naik yaitu p sehingga peluang perubahan turun yaitu $p - 1$.
3. Ekspektasi harga saham acak kontinu dengan suku bunga bebas resiko r dan S_i pada waktu t_i menjadi S_{i+1} pada waktu t_{i+1} yaitu $E(s_{i+1}) = S_i . e^{r\Delta t}$.





Gambar 2.1 Pohon Binomial (Idrus,2022)

Rumus menentukan harga opsi bermuda menggunakan metode binomial:

a) Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$C(t_k) = \max\{S(t_k)K, e^{-r\Delta t}\ [pV_u + (1-p)V_d] \quad (2.12)$$

b) Opsi *put* pada waktu eksekusi t_k

$$P(t_k) = \max\{\, K - S(t_k), e^{-r\Delta t}\ [pV_u + (1-p)V_d], 0\} \quad (2.13)$$

c) Opsi *call* dan *put* pada waktu t lainnya

$$V\ (t) = e^{-r\Delta t}\ [pV_u + (1-p)V_d] \quad (2.14)$$

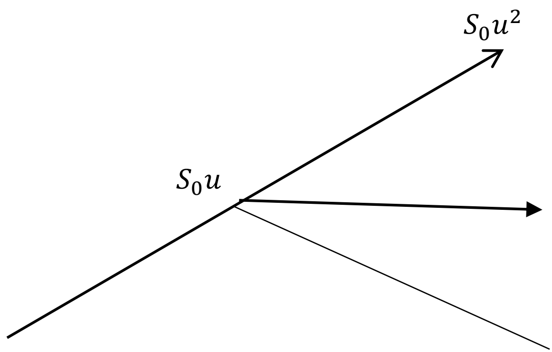
Keterangan:

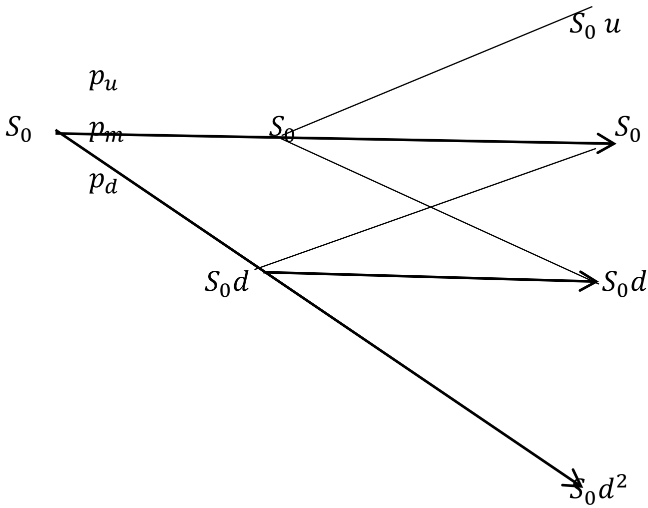
S_0	=	Harga saham pada waktu $t = 0$ atau t_0
S_u	=	Harga saham pada waktu t_1 (jika harga saham naik)

S_d	=	Harga saham pada waktu t_1 (jika harga saham turun)
p	=	Peluang harga saham akan naik
$1 - p$	=	Peluang harga saham akan turun
V	=	Nilai opsi pada waktu $t = 0$ atau t_0
V_u	=	Nilai opsi jika harga saham naik
V_d	=	Nilai opsi jika harga saham turun

h. Metode *Lattice* Trinomial

Metode *Lattice* Trinomial adalah salah satu metode numerik pada matematika dalam menghitung harga opsi. Secara sederhana perhitungan harga saham menggunakan payoff dimodelkan dengan pohon trinomial.





Gambar 2.2 Pohon Trinomial (Dermawan dkk,2022)

Pada metode ini, selang waktu Δt harga saham (s_n) dapat mengalami kenaikan sebesar u, penurunan sebesar d, atau tetap sebesar $m\,(m = 1)$ dengan masing-masing probabilitas dari u, d, m adalah sebesar $p_{u,}p_d, p_m$. Rumus dalam menentukan harga Opsi Bermuda menggunakan metode trinomial adalah sebagai berikut:

1) Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k (Izma, 2015)

$$C(t_k) = \max[S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}\ (V_{j+2,i}\, p_u + V_{j+1,i+1}\, p_m + V_{j,i+1}\, p_d\ )] \quad (2.15)$$

2) Opsi *put* pada waktu eksekusi t_k(Syanti, 2018)

$$P(t_k) = \max[K - S(t_k),\ e^{-r\Delta t}\ (V_{j+2,i}\, p_u + V_{j+1,i+1}\, p_m + V_{j,i+1}\, p_d\ )] \qquad (2.16)$$

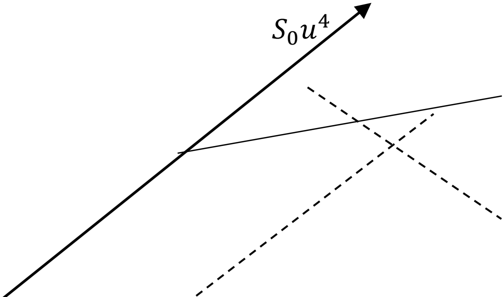
Keterangan:

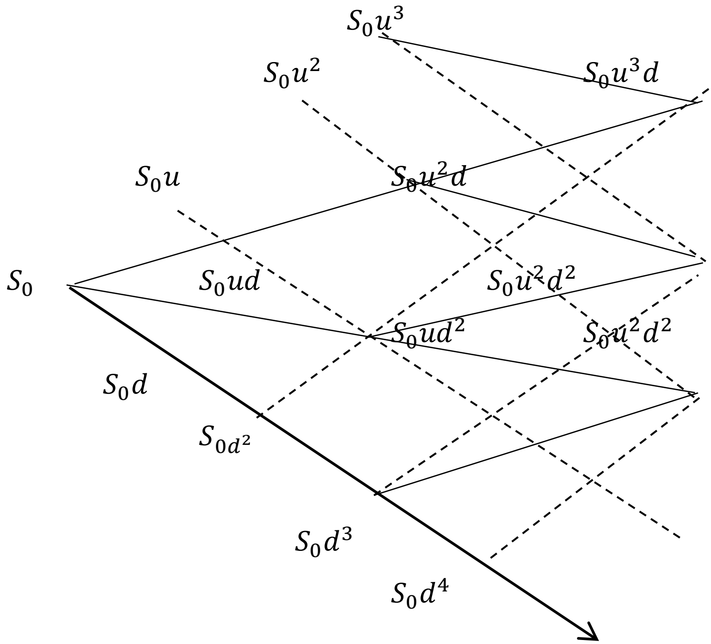
$St_{(k)}$	=	Harga saham pada waktu $t(k) = 0$ atau t_0
p_m	=	Peluang harga saham tetap
V	=	Nilai opsi pada waktu $t = 0$ atau t_0
p_u	=	Peluang harga saham naik
p_d	=	Peluang harga saham turun

i. Metode Lattice Multinomial

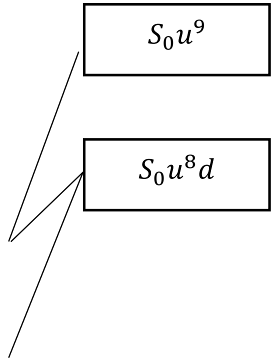
Metode *Lattice* adalah salah satu metode yang digunakan untuk menentukan harga opsi. Metode ini dipopulerkan oleh Cox, Ross, dan Rubenstein yang memperkenalkan pohon binomial pada tahun 1979 (Restianti,2015). Metode *Lattice* Multinomial merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menghitung dan memodelkan pergerakan harga saham hingga saat jatuh tempo secara sederhana untuk menghitung harga opsi pada saat sekarang. Metode ini merupakan pengembangan dari metode *Lattice* binomial. Dalam metode ini, setiap node memiliki 4 cabang yang menggantikan 2 node untuk konektivitas yang mendasari metode binomial. Secara umum metode ini memiliki i+1 cabang.(Harga & Call, 2018). Adapun kelebihan dan kelemahan dari metode *Lattice* Multinomial yaitu:

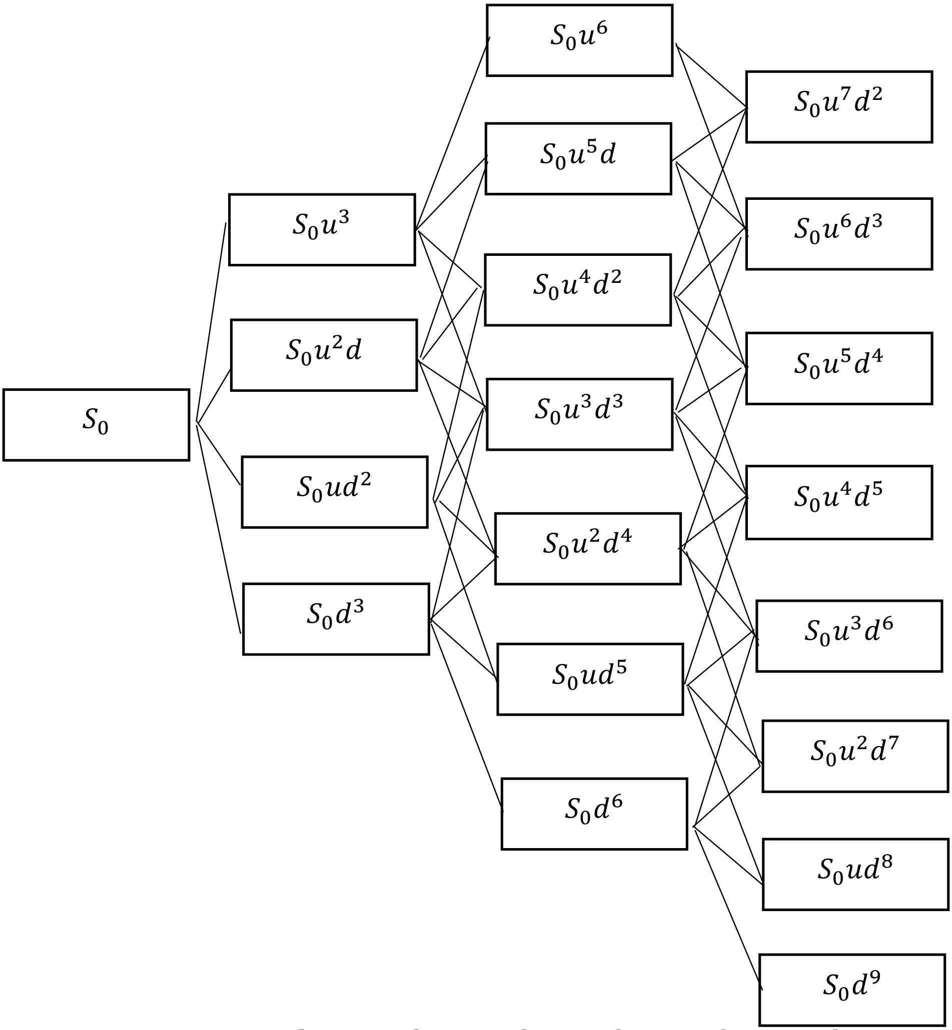
1. Kelebihan
   a) Memiliki node/langkah yang banyak dibandingkan metode Binomial.
   b) Berpotensi menghasilkan nilai akurasi yang tinggi dibandingkan dengan metode Binomial.
   c) Belum terlalu sering digunakan dibandingkan dengan metode Black Scholes dan metode Binomial.
2. Kelemahan
   a) Karena memiliki banyak langkah sehingga perlu ketelitian dalam menggunakan metode ini.
   b) Metode ini lebih rumit daripada metode binomial.





Gambar 2.3 Pohon Multinomial(Purwanti,2018)





Gambar 2.4 Skema Pohon Multinomial 3 periode

Pergerakan saham hanya dua kemungkinan, yaitu naik sebesar *u* dengan peluang sebesar *p* atau turun sebesar *d* dengan peluang sebesar *1-p*.

Asumsi yang digunakan untuk parameter $u, d\ , p$ yaitu:

1. Dalam selang waktu Δt, harga saham S_0 dapat naik menjadi $S_0 u$ atau turun menjadi $S_0 d$ dengan $0 < d < 1 < u$.
2. Peluang harga saham naik p dan peluang harga saham turun *1-p*, maka ekspektasi harga saham yaitu:

   $$E(S_{i+1}) = pS_i u + (1-p)S_i d \qquad (2.17)$$

3. Ekpektasi return harga saham dengan tingkat bunga bebas resiko *r* yaitu:

   $$\mathrm{E}\ (S_{i+1}) = S_i\ e^{r\Delta t} \qquad (2.18)$$

Dari ketiga persamaan diatas, nilai dari masing-masing parameter $u, d\ , p$ belum diketahui nilainya. Untuk persamaan peluang harga saham naik diperoleh menggunakan ekspektasi model diskrit pada persamaan (2.17) dengan model kontinu ada persamaan (2.18), sehingga diperoleh(Purwanti, 2018):

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

atau

$$e^{r\Delta t} = pu + (1-p)d \qquad (2.19)$$

Sehingga persamaan (2.19) adaah sebagai berikut:

$$p = \frac{e^{r\Delta t} - d}{u - d} \qquad (2.20)$$

Persamaan untuk faktor kenaikan didapatkan dengan menyamakan variansi model diskrit yaitu

$$Var\ (S_{i+1}) = E\left(S_{i+1}^2\right) - (E(S_{i+1)})^2 \quad (2.20a)$$

Berdasarkan asumsi (2) maka diperoleh:

$$E\left(S_{i+1}^2\right) = p\ (S_i u)^2 + (1-p)(S_i\, d)^2$$

dan

$$E(S_{i+1)})^2 = S_i^2 pu + (1-p)d^2)$$

Maka persamaan (2.20a) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$Var\ (S_{i+1}) = p(S_i u)^2 + (1-p)(S_i\, d)^2 - S_i^2(pu + (1-p)d)^2 \quad (2.20b)$$

Model variansi model kontinu diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$Var\ (S_{i+1}) = E\left(S_{i+1}^2\right) - (E(S_{i+1)}))^2 \quad (2.21a)$$

dengan

$$E\left(S_{i+1}^2\right) = S_i\, e^{(2r+\sigma^2)\Delta t}$$

dan

$$(E(S_{i+1)}))^2 = S_i\, e^{2r\Delta t}$$

Sehingga (2.21a) dapat diubah menjadi

$$Var\ (S_{i+1}) = S_i\, e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} - S_i\, e^{2r\Delta t}$$

atau

$$Var\ (S_{i+1}) = S_i\, e^{2r\Delta t} - (e^{\sigma^2\Delta t} - 1) \quad (2.21b)$$

Selanjutnya persamaan (2.20b) disubtitusikan ke persamaan (2.21b) sehingga diperoleh:

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

Berdasarkan persamaan (2.19) maka diperoleh:

$$S_i\, e^{2r\Delta t} - \left(e^{\sigma^2\Delta t} - 1\right) = p(\,S_i u)^2 + (1-p)(S_i\, d)^2 - (\,S_i\, e^{r\Delta t})^2$$

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

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

$$\frac{1}{S_i^2}.S_i^2 e^{2r\Delta t}\left(e^{\sigma^2\Delta t} - 1\right) = \frac{1}{S_i^2}\,.S_i^2\left(pu^2 + (1-p)(d)^2 - e^{2r\Delta t}\right)$$

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

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

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

$$e^{(2r\Delta t+\sigma^2\Delta t)\Delta t} = p(u^2) + (1-p)(d^2) \qquad (2.22a)$$

Apabila persamaan (2.22a) dinyatakan dalam p, maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

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

$$p = \frac{e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} - d^2}{u^2 - d^2} \qquad (2.22b)$$

Selanjutnya substitusikan persamaan (2.20) ke dalam persamaan (2.22a), maka diperoleh:

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

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

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

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

$$e^{(2r\Delta t+\sigma^2)\Delta t} = \frac{u^2e^{r\Delta t}-du^2+ud^2-e^{r\Delta t}d^2}{u-d} \qquad (2.23)$$

Persamaan untuk memperoleh faktor penurunan yaitu dengan menetapkan nilai u, d, p. Misalkan di ambil nilai $u.d = 1$ sedangkan $p = \frac{1}{2}$ dengan solusi yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu untuk $u.d = 1$.

Solusi untuk $u.d = 1$

Substitusikan $d = \frac{1}{u}$ ke dalam persamaan (2.23), sehingga diperoleh:

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

atau

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

atau

$$e^{(2r\Delta t+\sigma^2\Delta t)} = \frac{u^2 e^{r\Delta t} - u + u^{-1} - e^{r\Delta t} u^{-2}}{u - u^{-1}} \qquad (2.23a)$$

Selanjutnya didefinikan variabel baru, yaitu:

$$\alpha = e^{r\Delta t} \qquad (2.23b)$$

Maka persamaan (2.23a) menjadi:

$$\alpha^2\, e^{\sigma^2\Delta t} = \frac{u^2\alpha - u + u^{-1} - \alpha u^{-2}}{u - u^{-1}}$$

$$= \frac{\alpha(u^2 - u^{-2}) - (u - u^{-1})}{u - u^{-1}}$$

$$= \frac{\alpha(u^2 - uu^{-1} - u^{-1}u - u^{-2}) - (u - u^{-1})}{u - u^{-1}}$$

$$= \frac{\alpha(u(\, u + u^{-1}) - u^{-1}(u + u^{-1}) - (u - u^{-1})}{u - u^{-1}}$$

$$= \frac{\alpha(u - u^{-1})(u + u^{-1}) - (u - u^{-1})}{u - u^{-1}}$$

$$\alpha^2\, e^{\sigma^2\Delta t} = \frac{\alpha(u - u^{-1})(u + u^{-1})}{u - u^{-1}} + 1 \qquad (2.23c)$$

Kemudian persamaan (2.23c) dapat disederhanakan menjadi:

$$\alpha^2\, e^{\sigma^2\Delta t} = \alpha(u - u^{-1}) - 1$$

$$\alpha^2\, e^{\sigma^2\Delta t} = \alpha u - \alpha u^{-1} - 1$$

Maka persamaan implisitnya yaitu:

$$\alpha^2\, e^{\sigma^2\Delta t} - \alpha u - \alpha u^{-1} + 1 = 0 \qquad (2.23d)$$

Selanjutnya persamaan (2.23d) dikalikan dengan faktor $\frac{u}{\alpha}$ maka diperoleh:

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

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

$\frac{u\alpha^2\, e^{\sigma^2 \Delta t}}{\alpha}$ - $\frac{u^2 \alpha}{\alpha}$ - $\frac{u u^{-1}}{\alpha} + \frac{u}{\alpha} = 0$

$u\alpha^2\, e^{\sigma^2 \Delta t} - u^2 - u^0 u^{-1} + u\alpha^{-1} = 0$

$u\alpha^2\, e^{\sigma^2 \Delta t} - u^2 - 1 + u\alpha^{-1} = 0$

atau

$$u^2 - u\left(\alpha^{-1} +\ \alpha\, e^{\sigma^2 \Delta t}\right) + 1 = 0 \qquad (2.23e)$$

Persamaan (2.26e) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$u^2 - 2\beta u + 1 = 0 \qquad (2.23f)$$

dengan

$\beta = \frac{1}{2}\left(\alpha^{-1} +\ \alpha\, e^{\sigma^2 \Delta t}\right)$

$= \frac{1}{2}\left(e^{r\Delta t(-1)}\right) + e^{r\Delta t}. e^{\sigma^2 \Delta t}$

$$= \frac{1}{2}\left(e^{-r\Delta t}\right) + e^{(r+\sigma^2)\Delta t} \qquad (2.23g)$$

Solusi untuk persamaan (2.23f) dapat diperoleh dengan cara menambahkan kedua ruas dengan $\beta^2 - 1$ sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} u^2 - 2\beta u + 1 +\ \beta^2 - 1\ &= 0 +\ \beta^2 - 1 \\ u^2 - 2\beta u +\ \beta^2 &= \beta^2 - 1 \\ (u-\beta)^2 &= \beta^2 - 1 \\ u - \beta &= \pm\sqrt{\beta^2 - 1} \\ u &= \beta \pm \sqrt{\beta^2 - 1} \end{aligned}$$

dengan akar-akar $u = \beta \pm \sqrt{\beta^2 - 1}$ dimana $\beta^2 - 1 > 0$.

Karena yang akan digunakan adalah solusi $u.d = 1$ dan $d < u$ dimana d adalah harga penurunan saham dan u adalah harga kenaikan saham, maka untuk memperoleh d dapat menggunakan $\frac{1}{u}$ dan untuk memperoleh hasil dari u, maka dipilih:

$$u = \beta + \sqrt{\beta^2 - 1} \tag{2.24}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.23b) ke persamaan (2.23g) maka diperoleh nilai β yaitu:

$$\beta = \frac{1}{2}\left(e^{-r\Delta t}\right) + e^{(r+\sigma^2)\Delta t}) \tag{2.25}$$

Kemudian, dengan aproksimasi bilangan ekponensial $e^x \approx 1 + x$ akan diperoleh nilai β yaitu sebagai berikut:

$$\beta = \frac{1}{2}(1 - r\Delta t + 1 + (r + \sigma^2)\Delta t) \tag{2.26}$$

Sehingga diperoleh nilai u:

$$u = 1 + \frac{1}{2}\sigma^2\Delta t + \sqrt{(1 + \frac{1}{2}\sigma^2\Delta t)^2 - 1}$$

$$= 1 + \frac{1}{2}\sigma^2\Delta t + \sqrt{(1 + \frac{1}{2}\sigma^2\Delta t)\left(1 + \frac{1}{2}\sigma^2\Delta t\right) - 1}$$

$$=1 + \frac{1}{2}\sigma^2\Delta t + \sqrt{1 + \frac{1}{2}\sigma^2\Delta t + \frac{1}{2}\sigma^2\Delta t + \frac{1}{4}\sigma^4\Delta t^2 - 1}$$

$$= 1 + \frac{1}{2}\sigma^2\Delta t + \sqrt{1 + \sigma^2\Delta t + \frac{1}{4}\sigma^4\Delta t^2 - 1}$$

$$= 1 + \frac{1}{2}\sigma^2\Delta t + \sqrt{\sigma^2}\Delta t + \frac{1}{4}\sigma^4\Delta t^2$$

Dengan mengabaikan suku-suku Δt^n dimana $n < 1$, maka diperoleh:

$$u = 1 + \frac{1}{2}\sigma^2\Delta t + \sqrt{\sigma^2}\Delta t$$

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

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

$$= e^{\sigma\sqrt{t}}$$

Sehingga diperoleh nilai u, d dan p adalah sebagai berikut:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}, d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} \text{ dan } p = \frac{e^{r\Delta t} - d}{u - d} \quad (2.27)$$

dimana $\Delta t = \frac{T}{n}$ (2.28)

keterangan:

Δt= interval waktu

T = waktu hingga jatuh tempo

n = banyaknya langkah waktu

Kemudian, akan dihitung harga saham untuk menentukan titik bagi t, yaitu menggunakan persamaan (Fitriana, 2004):

$$S_{ij} = S_0 u^j d^{i-j} \quad (2.29)$$

Dengan S_{ij} menyatakan harga saham pada saat t_1 dengan telah terjadi kenaikan harga saham sebesar $(i - j)$ kali untuk $i = 0,1,2, \dots, n$ dan $j = 0,1, \dots, i$. Maka:

S_{00} (S dengan $j = 0, i = 0) = S_0 u^0 d^0 = S_0$

S_{01} (S dengan $j = 0, i = 1) = S_0 u^0 d^1 = S_0$

S_{11} (S dengan $j = 1, i = 1) = S_0 u^1 d^0 = S_0$

$$\vdots$$

S_{ij} (S dengan $j = j, i = i) = S_0 u^j d^{i-j} = S_0 u^j d^{i-j}$

i adalah periode atau interval waktu sedangkan j adalah indeks kenaikan harga saham (Lessy,2013).

Keterangan:

$S_{(i,j)}$ = harga saham pada saat t_i

S_0 = harga saham pada saat t_0

u = persentase kenaikan harga saham

d = persentase penurunan harga saham

j. Nilai Ekspektasi Opsi Bermuda

Ekspektasi opsi adalah nilai opsi yang dilihat dari peluang kemungkinan dari opsi tersebut. Cara menghitung nilai ekspektasi opsi yaitu menghitung nilai peluang dari setiap node, dengan persamaan distribusi binomial. Karena metode multinomial merupakan pengembangan dari metode binomial, hanya saja terdapat perbedaan pada jumlah nodenya.

Persamaan yang dibutuhkan untuk mencari nilai peluang, yaitu:

$$P_{n,j} = \binom{n}{j} p^{n-j} (1-p)^j j = 0,1,2, \dots, n \qquad (2.30)$$

Keterangan :

$P_{n,j}$ = Nilai Kemungkinan peluang tiap node

p = Probabilitas naik

$1-p$ = Probabilitas turun

n = Jumlah banyaknya node

j = Letaknya node

Setelah didapatkan nilai peluang dari setiap node menggunakan persamaan (2.30), maka persamaan untuk menghitung nilai opsi ekspektasi opsi Bermuda adalah sebagai berikut:

$$E[V(S_n, n)] = \sum_{j=0}^{n} P_{n,j} V(S_n, n) \qquad (2.31)$$

Kemudian akan dicari nilai dari Opsi *Call* Bermuda dan Opsi *Put* Bermuda dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V(t) = e^{-r\Delta t} . E[V(S_n, n)] \qquad (2.32)$$

k. MSE *(Mean Square Eror)*

Mean Squared Error (MSE) adalah metrik evaluasi yang umumnya digunakan dalam statistik dan *machine* *learning* untuk mengukur seberapa akurat sebuah model regresi dalam meprediksi nilai numerik. Lebih kecil MSE maka lebih kecil kesalahannya dan lebih baik estimatornya. Rumus MSE (Liu, 2021):

$$MSE = \frac{1}{n} \times \sum(aktual - perkiraan)^2 \quad (2.33)$$

dimana:

$\sum =$ simbol yang berarti "jumlah"

$n =$ banyaknya sampel

Aktual = nilai data sebenarnaya

Perkiraan = nilai data yang diprediksi

B. Hasil Penelitian yang Relevan

Beberapa hasil penelitian yang relevan yang dapat ditinjau dari penelitian ini meliputi:

1. Penelitian yang dilakukan oleh Nur Roza Fitriana, dkk (2015) yang berjudul "Penentuan Harga Opsi Asia Menggunakan Metode *Lattice* Multinomial". Periode waktu yang digunakan yaitu n =11, 16, 21, 26, 31, 36, 41, 46, dan 51. Adapun kesimpulan yang diperoleh yaitu semakin besar nilai harga kesepakatan maka harga opsi yang dihasilkan akan semakin kecil dan semakin besar nilai suku bunga maka harga opsi yang dihasilkan akan semakin kecil serta semakain besar

nilai n maka waktu yang dibutuhkan untuk memproses nilai opsinya akan semakin lama.

2. Penelitian yang dilakukan oleh Annisa, dkk (2016) yang berjudul “Penentuan Nilai Opsi Vanilla Tipe Eropa Multi Aset Menggunakan Metode *Lattice* Multinomial”. Tujuan penelitian ini yaitu untuk menentukan nilai opsi vanilla tipe Eropa yang bergantung pada multi aset (dua aset) yang menggunakan metode *Lattice* Multinomial. Waktu jatuh tempo penelitian ini yaitu $n =$ 6 dan diperoleh hasilnya sebesar 11,04514. Adapun kesimpulan yang diperoleh yaitu semakin besar nilai harga kesepakatan maka harga opsi yang dihasilkan akan semakin kecil dan semakin besar nilai suku bunga maka harga opsi yang dihasilkan akan semakin kecil pula.
3. Penelitian yang dilakukan oleh Reski Purnawati (2018) yang berjudul “Penentuan Harga Opsi Eropa Menggunakan Metode Multinomial”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui harga Opsi Eropa dengan menggunakan metode Multinomial. Penelitian ini, menggunakan waktu jatuh tempo yaitu 6 dan 12 periode. Adapun hasil perhitungan harga opsi *call* dengan $n = 6$ adalah $n = 12$ sebesar 34,0478 dan sebesar 33,9963. Hal ini dapat disimpulkan bawha

semakin tinggi jumlah periode yang digunakan maka semakin rendah harga opsi yang diperoleh sehingga mendekati harga opsi sebenarnya meskipun perbandingan nilai opsinya tidak terlalu jauh dan semakin banyak nilai n maka waktu yang dibutuhkan juga semakin lama.

4. Penelitian yang dilakukan oleh Jumriana Lestari (2018) yang berjudul "Penerapan Metode *Lattice* Multinomial untuk menentukan Harga Opsi *Call* Asia". Tujuan dari penelitian ini yaitu ada 2, yang pertama untuk mengetahui besar harga opsi *call* saham tipe Eropa menggunakan metode *Lattice* Multinomial dan yang kedua untuk mengetahui besar nilai *error* metode *Lattice* Multinomial dalam mementukan harga opsi Iaham tipe Asia. Penelitian ini menggunakan waktu jatuh tempo yakni 2, 3, 4, 5, dan 6 periode. Maka diperoleh, Harga opsi *call* saham tipe Asia untuk n = 2 sebesar 55,56022, untuk n = 3 sebesar 55,9993, untuk n = 4 sebesar 56,3300, untuk n = 5 sebesar 56,5985 dan untuk n = 6 sebesar 56,8269. Sedangkan untuk model Black Scholes untuk n = 2 sebesar 56,6726 untuk n = 3 sebesar 56,4678, untuk n = 4 sebesar 56,3729, untuk n = 5 sebesar 56,3184 dan untuk n = 6 sebesar 56,2460. Selanjutnya, berdasarkan harga opsi *call* saham yang

diperoleh maka nilai *error* untuk n = 2 sebesar 0,0196, untuk n = 3 sebesar 0,0083, untuk n = 4 sebesar 0,0008, untuk n = 5 sebesar 0,0050, dan untuk n = 6 sebesar 0,0103. Jadi dapat disimpulkan bahwa, semakin tinggi nilai n maka semakin kecil harga opsi dan semakin kecil pula nilai *error*nya.

5. Penelitian yaitu yang dilakukan oleh Ahmad Mutawaslih Idrus (2022) yang berjudul "Penentuan Opsi Bermuda menggunakan Metode Binomial". Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penentuan harga opsi Bermuda menggunakan metode Binomial, untuk mengetahui perbandingan antara hasil dari perhitungan dengan harga di pasar dan untuk mengetahui kekonvergenan metode Binomial dalam menetukan harga opsi Bermuda. Periode waktu yang digunakana yaitu $n = 3, 6, 12, 24,$ dan 98. Adapun kesimpulan dari penelitian ini yaitu, semakin tinggi nilai n maka harga opsi mendekati harga opsi pasar dan nilai galat yang diperoleh akan semakin kecil ketika langkah binomialnya diperbesar serta orde kekonvergenannya juga lebih dari nol, maka metode ini dapat dikatakan konvergen.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian studi literatur *(library reserch)* yaitu serangkaian kegiatan yang berkenaan dengan metode pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat serta mengelolah bahan penelitian (Zed, 2008).

B. Sumber Data

Dalam penelitian ini menggunakan data sekunder pada perusahaan Tesla, Inc (TSLA), Microsoft Corporation (MSFT), Apple Inc (AAPL), Meta Platforms, Inc (META), dan Alphabet Inc (GOOG). Alasan penulis mengambil data dari kelima perusahaan tersebut, dikarenakan perusahaan tersebut merupakan perusahaan yang besar (redaksiana.com). Data diambil dari https://finance.yahoo.com dengan periode 17 Juli 2020 – 17 Juli 2023. Dan pengambilan nilai suku bunga bebas risiko dari *website* https://id.tradingeconomics.com/united-states/interest-rate.

C. Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan teknik dokumentasi. Teknik dokumentasi sendiri merupakan suatu cara yang digunakan untuk memperoleh data dan informasi dalam bentuk buku, arsip, dokumen, tulisan angka dan gambar yang berupa laporan serta keterangan yang dapat mendukung penelitian (Sugiono, 2015).

D. Teknik Analisis Data

Adapun alur penelitian ini adalah:

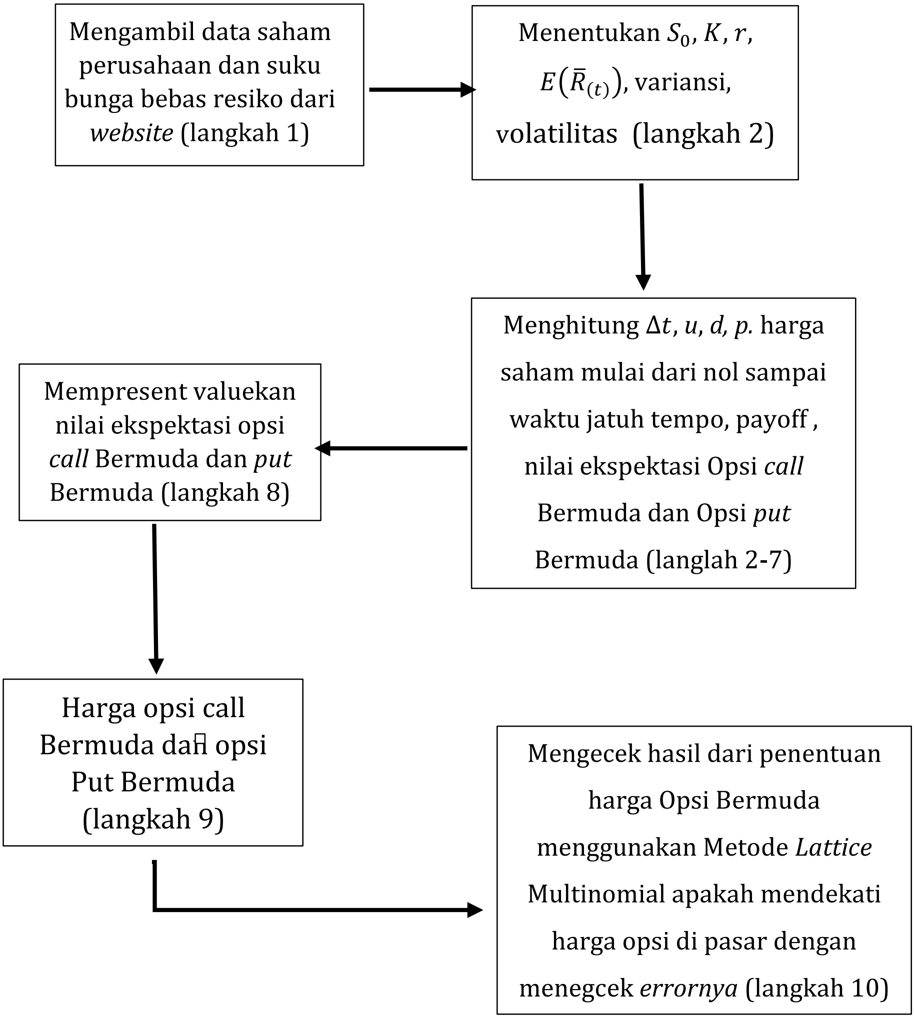
1. Mengambil data historis saham harian perusahaan Tesla, Inc (TSLA), Microsoft Corporation (MSFT), Apple Inc (AAPL), Meta Platforms Inc (META), dan Alphabet Inc (GOOG) di https://finance.yahoo.com selama 3 tahun dari tanggal 17 Juli 2020 – 17 Juli 2023. Dan pengambilan nilai suku bunga bebas resiko dari *website* https://id.tradingeconomics.com/united-states/interest-rate.

2. Menentukan parameter nilai opsi yaitu harga saham awal (S_0), harga kesepakatan (K), suku bunga bebas resiko (r), menghitung nilai ekspektasi *return* ($E\left(\bar{R}_{(t)}\right)$) menggunakan persamaan (2.11), variansi (Var) menggunakan persamaan (2.10) dan Volatilitas (σ) mennggunakan persamaan (2.9).
3. Menghitung Interval waktu (Δt) menggunakan persamaan (2.28).
4. Menghitung nilai parameter kenaikan *(u)*, nilai parameter penurunan *(d)*, dan probabilitas saham *(p)* menggunakan persamaan (2.27).
5. Menghitung harga saham mulai dari nol sampai waktu jatuh tempo.
6. Menghitung payoff Opsi *call* Bermuda menggunakan persamaan (2.3) dan Opsi *put* Bermuda menggunakan persamaan (2.6).
7. Menghitung nilai ekspektasi Opsi *call* Bermuda dan Opsi *put* Bermuda dengan persamaan (2.31).
8. Setelah didapatkan nilai Opsi Bermuda kemudian di *Present Value*kan untuk menentukan nilai Opsi *call*

Bermuda dan Opsi *put* Bermuda menggunakan persamaan (2.32).

9. Harga Opsi *call* Bermuda dan Opsi *put* Bermuda.
10. Mengecek hasil dari penentuan harga Opsi Bermuda menggunakan Metode *Lattice* Multinomial apakah mendekati harga opsi di pasar dengan mengecek *errornya.*

Adapun alur penelitian ini yaitu:



Gambar 3.1 Alur Penelitian (Restianty, Anissa dkk, 2016)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Pengambilan dan Pegolahan data untuk menentukan nilai-nilai variabel yang akan digunakan dalam menentukan harga opsi

1. Harga Saham Tesla, Inc (TSLA)

Tabel 4.1 Harga saham TSLA

T	Tanggal	Harga Penutupan
0	17/07/2020	100,60
1	20/07/2020	109,53
2	21/07/2020	104,56
-	-	-
-	-	-
753	13/07/2023	277,90
754	14/07/2023	281,38
755	17/07/2023	290,38

2. Harga Saham Microsoft Corporation (MSFT)

Tabel 4.2 Harga saham MSFT

T	Tanggal	Harga Penutupan
0	17/07/2020	202,88
1	20/07/2020	211,6
2	21/07/2020	208,75
-	-	-
-	-	-

T	Tanggal	Harga Penutupan
753	13/07/2023	342,66
754	14/07/2023	345,24
755	17/07/2023	354,73

3. Harga Saham Apple Inc (AAPL)

Tabel 4.3 Harga Saham AAPL

T	Tanggal	Harga Penutupan
0	17/07/2020	96,33
1	20/07/2020	98,36
2	21/07/2020	97,00
-	-	-
-	-	-
753	13/07/2023	190,54
754	14/07/2023	190,69
755	17/07/2023	193,99

4. Harga Saham Meta Platforms Inc (META)

Tabel 4.4 Harga Saham META

T	Tanggal	Harga Penutupan
0	17/07/2020	242,03
1	20/07/2020	245,42
2	21/07/2020	241,75
-	-	-
-	-	-
753	13/07/2023	313,41
754	14/07/2023	308,87
755	17/07/2023	310,62

5. Harga Saham Alphabet Inc (GOOG)

Tabel 4.5 Harga Saham GOOG

T	Tanggal	Harga Penutupan
0	17/07/2020	75,78
1	20/07/2020	78,29
2	21/07/2020	77,92
-	-	-
-	-	-
753	13/07/2023	124,83
754	14/07/2023	281,38
755	17/07/2023	290,38

Harga Penutupan masing-masing saham dapat dilihat pada lampiran 1.

A. Menentukan parameter nilai opsi yaitu harga saham awal (S_0), harga kesepakatan (K), dan suku bunga bebas resiko (r)

Adapun harga saham awal (S_0), harga kesepakatan (K) dan harga opsi (pasar) yaitu:

Tabel 4.6 Harga saham awal, harga kesepakatan (K) dan harga opsi (pasar)

Nama Saham	**Harga Saham Awal (S_0)**	**Harga Kesepakatan (K)**	**Harga Opsi *Call* (Pasar)**	**Harga Opsi *Put* (Pasar)**
Tesla Inc (TSLA)	286,66	300,00	15,20	26,20
Microsoft Corporation (MSFT)	345,65	355,00	8,45	16,77
Apple Inc (AAPL)	192,55	200,00	2,26	9,15
Meta Platforms Inc (META)	308,95	315,00	15,65	20,63
Alphabet Inc (GOOG)	124,74	130,00	2,87	7,60

Berdasarkan informasi opsi kelima saham tersebut yang diperdagangkan mulai tanggal 17 Juli 2020 sampai dengnan 17 Juli 2023 atau 755 hari perdagangan, maka harga kesepakatan sudah tertera dalam tabel (sumber: https://finance.yahoo.com). Adapun waktu jatuh tempo 32 hari dan tingkat suku bunga yang digunakan yaitu tingkat suku bunga Bank Amerika sebesar 4,75 % secara lengkap terdapat pada lampiran 2.

B. Menghitung nilai ekspektasi *return* $(E(\bar{R}_{(t)}))$ menggunakan persamaan (2.11), variansi (Var) menggunakan persamaan (2.10) dan Volatilitas (σ) mennggunakan persamaan (2.9).

Sebelum mencari nilai ekspektasi *return*, makan akan dicari terlebih dahulu nilai *return* saham (R_t) menggunakan rumus (2.7), yaitu:

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

1. Saham Tesla, Inc (TSLA)

   Untuk $t = 1$, maka:

   $$R_{(1)} = ln\frac{109,53}{100,06} = 0,090428478$$

   Untuk $t = 2$, maka:

   $$R_{(2)} = ln\frac{104,56}{109,53} = -0,046437415$$

.

.

.

Untuk $t = 751$, maka:

$$R_{(751)} = ln\ \frac{277{,}90}{271{,}99} = 0{,}021496036$$

Untuk $t = 752$, maka:

$$R_{(752)} = ln\ \frac{281{,}38}{277{,}90} = 0{,}012444732$$

Untuk $t = 753$, maka:

$$R_{(753)} = \ ln \frac{290{,}38}{281{,}38} = 0{,}031484341$$

2. Saham Microsoft Corporation (MSFT)

Untuk $t = 1$, maka:

$$R_{(1)} = ln \frac{211{,}60}{202{,}88} = 0{,}042083029$$

Untuk $t = 2$, maka:

$$R_{(2)} = \ ln \frac{208{,}75}{211{,}60} = -0{,}013560336$$

.

.

.

Untuk $t = 751$, maka:

$$R_{(751)} = ln\ \frac{342,66}{337,20} = \ 0,016062476$$

Untuk $t\ = 752$, maka:

$$R_{(752)} = ln\ \frac{345,24}{342,66} = 0,007501125$$

Untuk $t\ = 753$, maka:

$$R_{(753)} = \ ln\frac{345,73}{345,24} = 0,027117109$$

3. Saham Apple Inc (APPL)

Untuk $t\ = 1$, maka:

$$R_{(1)} = ln\frac{98,36}{96,33} = 0,020854421$$

Untuk $t\ = 2$, maka:

$$R_{(2)} = \ ln\frac{97,00}{98,36} = -0,013923239$$

.

.

.

Untuk $t\ = 751$, maka:

$$R_{(751)} = ln\ \frac{190,54}{189,77} = 0,004049334$$

Untuk $t\ = 752$, maka:

$$R_{(752)} = ln\ \frac{190,69}{190,54} = 0,000786927$$

Untuk $t\ = 753$, maka:

$$R_{(753)} = \ ln\frac{193,99}{190,69} = 0,017157538$$

4. Saham Meta Platforms Inc (META)

Untuk $t = 1$, maka:

$$R_{(1)} = ln\frac{345,42}{242,03} = 0,013909343$$

Untuk $t = 2$, maka:

$$R_{(2)} = \ ln\frac{241,75}{245,42} = -0,015066894$$

.

.

.

Untuk $t = 751$, maka:

$$R_{(751)} = ln\ \frac{313,41}{309,34} = 0,013071242$$

Untuk $t = 752$, maka:

$$R_{(752)} = ln\ \frac{308,87}{313,41} = -0,014591761$$

Untuk $t = 753$, maka:

$$R_{(753)} = \ ln\frac{310,62}{308,87} = 0,005649824$$

5. Saham Alphabet Inc (GOOG)

Untuk $t = 1$, maka:

$$R_{(1)} = ln\frac{78{,}29}{75{,}78} = 0{,}032585475$$

Untuk $t = 2$, maka:

$$R_{(2)} = ln\frac{77{,}92}{78{,}42} = -0{,}004737222$$

.

.

.

Untuk $t = 751$, maka:

$$R_{(751)} = ln\frac{124{,}83}{119{,}62} = 0{,}04263276$$

Untuk $t = 752$, maka:

$$R_{(752)} = ln\frac{281{,}38}{124{,}83} = 0{,}812753257$$

Untuk $t = 753$, maka:

$$R_{(753)} = ln\frac{290{,}38}{281{,}38} = 0{,}031484341$$

Sebelum mencari variansi, maka akan dicari terlebih dahulu nilai ekpektasi *return*. Yaitu dengan rumus:

$$E\left(\bar{R}_{(t)}\right) = \frac{\sum_{i=0}^{n}(R_{(t)})}{n}$$

1. Saham Tesla Inc (TSLA)

$$E\left(\bar{R}_{(t)}\right) = \frac{\sum_{i=0}^{n}(R_{(t)})}{n}$$

$$= \frac{\sum_{i=0}^{n}(R_{(ti)}}{n}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n}(R_{(ti)}}{753}$$

$$= \frac{\begin{array}{c}(0{,}090428478+(-0{,}046437415)+\cdots+\\ 0{,}021496036+0{,}012444732+\\ 0{,}031484341)\end{array}}{753}$$

$$= 0{,}001414901$$

2. Saham Microsoft Corporation (MSFT)

$$E\left(\bar{R}_{(t)}\right) = \frac{\sum_{i=0}^{n}(R_{(t)})}{n}$$

$$= \frac{\sum_{i=0}^{n}(R_{(ti)})}{n}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n}(R_{(ti)}}{753}$$

$$= \frac{\begin{array}{c}(0{,}042083029+(-0{,}013560336)+\cdots+\\ 0{,}016062476+0{,}007501125+\\ 0{,}027117109)\end{array}}{753}$$

$$= 0{,}000742022$$

3. Saham Apple Inc (APPL)

$$E\left(\bar{R}_{(t)}\right) = \frac{\sum_{i=0}^{n}\left(R_{(t)}\right)}{n}$$

$$= \frac{\sum_{i=0}^{n}\left(R_{(ti)}\right)}{n}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(R_{(ti)}\right)}{753}$$

$$= \frac{\begin{array}{c}(0{,}020854421+(-0{,}013923239)+\cdots+\\ 0{,}004049334+0{,}000786927+\\ 0{,}017157538)\end{array}}{753}$$

$$= 0{,}00092965$$

4. Saham Meta Platforms Inc (META)

$$E\left(\bar{R}_{(t)}\right) = \frac{\sum_{i=0}^{n}\left(R_{(t)}\right)}{n}$$

$$= \frac{\sum_{i=0}^{n}\left(R_{(ti)}\right)}{n}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(R_{(ti)}\right)}{753}$$

$$= \frac{\begin{array}{c}(0{,}013909343+-0{,}015066894+\cdots+\\ 0{,}013071242+(-0{,}014591761)+\\ 0{,}005649824)\end{array}}{753}$$

$$= 0{,}000331353$$

5. Saham Alphabet Inc (GOOG)

$$E\left(\bar{R}_{(t)}\right) = \frac{\sum_{i=0}^{n}(R_{(t)})}{n}$$

$$= \frac{\sum_{i=0}^{n}(R_{(ti)})}{n}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n}(R_{(ti)})}{753}$$

$$= \frac{(0{,}032585475+(-0{,}004737222)+\cdots+ 0{,}04263276+0{,}812753257+ 0{,}031484341)}{753}$$

$$= 0{,}001784005$$

Tabel 4.7 hasil ekspektasi *return* masing-masing saham

No	Nama Saham	$E\left(\bar{R}_{(t)}\right)$
1	TSLA	0,001414901
2	MSFT	0,000742022
3	AAPL	0,00092965
4	META	0,000331353
5	GOOG	0,001784005

Dari tabel di atas, maka dapat dicari nilai variansi pada masing-masing saham, yaitu menggunakan persamaan 2.10:

$$Var = \frac{\sum_{i=0}^{n}(R_{(t)}-(E(\bar{R}_{(t)})))^2}{n-1}$$

1. Saham Tesla Inc (TSLA)

Tabel 4.8 Perhitungan mencari nilai *return* saham TSLA

T	R_t	$R_t - E(\bar{R}_t)$	$(R_t - E(\bar{R}_t))^2$
0	0	0	0
1	0,090428478	0,089013577	0,007923417
2	-0,046437415	-0,047852316	0,002289844
. . .	. . .	. . .	. . .
751	0,021496036	0,020081135	0,000403252
752	0,012444732	0,011029831	0,000121657
753	0,031484341	0,03006944	0,000904171
Jumlah	**0,001414901**	**1,09288E-15**	**1,377312322**

$$Var = \frac{\sum_{i=0}^{n}(R_{(t)} - (E(\bar{R}_{(t)})))^2}{n-1} = \frac{1,377312322}{753-1}$$

$$= 0,001831532$$

2. Saham Microsoft Corporation (MSFT)

Tabel 4.9 Perhitungan mencari nilai *return* saham MSFT

T	R_t	$R_t - E(\bar{R}_t)$	$(R_t - E(\bar{R}_t))^2$
0	0	0	0
1	0,042083029	0,041341007	0,001709079
2	-0,01356034	-0,014302358	0,000204557
. . .	. . .	. . .	. . .
751	0,016062476	0,015320454	0,000234716
752	0,007501125	0,006759104	4,56855E-05
753	0,027117109	0,026375088	0,000695645
Jumlah	**0,000742022**	**0**	**0,945776287**

$$Var = \frac{\sum_{i=0}^{n}(R_{(t)} - (E(\bar{R}_{(t)})))^2}{n-1} = \frac{0,945776287}{753-1}$$

$$= 0,001257681$$

3. Saham Apple Inc (APPL)

Tabel 4.10 Perhitungan mencari nilai *return* saham AAPL

T	R_t	$R_t - E(\bar{R}_t)$	$(R_t - E(\bar{R}_t))^2$
0	0	0	0
1	0,020854421	0,01992477	0,000396996
2	-0,013923239	-0,014852889	0,000220608
. . .	. . .	. . .	. . .
751	0,004049334	0,003119683	9,73242E-06
752	0,000786927	-0,000142724	2,03701E-08
753	0,017157538	0,016227888	0,000263344
Jumlah	**0,00092965**	**-1,04777E-15**	**7,76972118**

$$Var = \frac{\sum_{i=0}^{n}(R_{(t)} - (E(\bar{R}_{(t)})))^2}{n-1} = \frac{7,76972118}{753-1}$$

$$= 0,010332076$$

4. Saham Meta Platforms Inc (META)

Tabel 4.11 Perhitungan mencari nilai *return* saham META

T	R_t	$R_t - E(\bar{R}_t)$	$(R_t - E(\bar{R}_t))^2$
0	0	0	0
1	0,013909343	0,01357799	0,000184362
2	-0,015066894	-0,015398247	0,000237106

.	.	.	.
.	.	.	.
T	$\boldsymbol{R_t}$	$\boldsymbol{R_t - E(\bar{R}_t)}$	$\boldsymbol{(R_t - E(\bar{R}_t))^2}$
.	.	.	.
751	0,013071242	0,012739889	0,000162305
752	-0,014591761	-0,014923114	0,000222699
753	0,005649824	0,005318471	2,82861E-05
Jumlah	**0,000331353**	**-1,49186E-16**	**0,983475898**

$$Var = \frac{\sum_{i=0}^{n}(R_{(t)} - (E(\bar{R}_{(t)})))^2}{n-1} = \frac{0,983475898}{753-1}$$

$$= 0,001307814$$

5. Saham Alphabet Inc (GOOG)

Tabel 4.12 Perhitungan mencari nilai *return* saham GOOG

T	$\boldsymbol{R_t}$	$\boldsymbol{R_t - E(\bar{R}_t)}$	$\boldsymbol{(R_t - E(\bar{R}_t))^2}$
0	0	0	0
1	0,032585475	0,03080147	0,000948731
2	-0,00473722	-0,006521227	4,25264E-05
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
751	0,04263276	0,040848755	0,001668621
752	0,812753257	0,810969252	0,657671128
753	0,031484341	0,029700336	0,00088211
Jumlah	**0,001784005**	**-3,7817E-16**	**1,422760456**

$$Var = \frac{\sum_{i=0}^{n}(R_{(t)} - (E(\bar{R}_{(t)})))^2}{n-1} = \frac{1,422760456}{753-1}$$

$$= 0{,}001891969$$

Tabel 4.13 Hasil variansi masing-masing saham

No	Nama Saham	Var
1	TSLA	0,001831532
2	MSFT	0,001257681
3	APPL	0,010332076
4	META	0,001307814
5	GOOG	0,001891969

Menghitung volatilitas *return*,

$\sigma = \frac{1}{\sqrt{\tau}}\sqrt{Var}$, dimana

$\tau = \frac{1}{T}$, dengan T adalah jumlah hari aktif perdagangan dalam satu tahun yaitu 252 hari. Sehingga nilai τ adalah $\frac{1}{252}$.

1. Saham Tesla Inc (TSLA)

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{\tau}}\sqrt{Var} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{252}}}\sqrt{0{,}001831532}$$

$$= \frac{0{,}042796406}{0{,}062994079}$$

$$= 0{,}679371879$$

2. Saham Microsoft Corporation (MSFT)

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{\tau}}\sqrt{Var} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{252}}}\sqrt{0{,}001257681}$$

$$= \frac{0{,}035463802}{0{,}062994079}$$

$$= 0{,}562970399$$

3. Saham Apple Inc (APPL)

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{\tau}}\sqrt{Var} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{252}}}\sqrt{0{,}010332076}$$

$$= \frac{0{,}10164682}{0{,}062994079}$$

$$= 1{,}613593245$$

F. Saham Meta Platforms Inc (META)

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{\tau}}\sqrt{Var} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{252}}}\sqrt{0{,}001307814}$$

$$= \frac{0{,}036163707}{0{,}062994079}$$

$$= 0{,}574081049$$

G. Saham Alphabet Inc (GOOG)

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{\tau}}\sqrt{Var} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{252}}}\sqrt{0{,}001891969}$$

$$= \frac{0{,}043496766}{0{,}062994079}$$

$$= 0{,}690489761$$

Tabel 4.14 Hasil volatilitas masing-masing saham

No	Nama Saham	Σ
1	TSLA	0,679371879
2	MSFT	0,562970399
3	APPL	1,613593245
4	META	0,574081049
5	GOOG	0,690489761

Adapun perhitungan *return* saham dapat di lihat pada lampiran 3.

C. Menghitung Interval waktu (Δt) menggunakan persamaan (2.28).

Untuk menghitung interval waktu rumus yang digunakan adalah:

$$\Delta t = \frac{T}{n}$$

1. Untuk $n = 2$

$$\Delta t = \frac{T}{n} = \frac{0{,}087671233}{2} = 0{,}043835616$$

2. Untuk $n = 4$

$$\Delta t = \frac{T}{n} = \frac{0{,}087671233}{4} = 0{,}021917808$$

Jadi, interval waktu untuk $n = 2$ adalah 0,043835616 dan $n = 4$ adalah 0,021917808.

D. Menghitung nilai parameter kenaikan (u), nilai parameter penurunan (d), dan probabilitas saham (p) menggunakan persamaan (2.27).

Persamaan untuk mencari nilai u, d dan p yaitu:

$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}, d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}}$ dan $p = \frac{e^{r\Delta t}-d}{u-d}$

1. Saham Tesla Inc (TSLA)

   n = 2

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}$$
$$= e^{\sqrt{0{,}043835616}}$$
$$= 1{,}152853067$$
$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}}$$
$$= e^{-\sqrt{0{,}043835616}}$$
$$= 0{,}867413228$$
$$p = \frac{e^{r\Delta t} - d}{u - d}$$
$$= \frac{e^{0{,}0475 \times 0{,}043835616} - 0{,}867413228}{1{,}152853067 - 0{,}867413228}$$
$$= 0{,}471802162$$

   n = 4

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}$$
$$= e^{\sqrt{0{,}021917808}}$$
$$= 1{,}105810694$$
$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}}$$
$$= e^{-\sqrt{0{,}021917808}}$$
$$= 0{,}904313917$$

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

$$= \frac{e^{0,0475 \times 0,021917808} - 0,904313917}{1,105810694 - 0,904313917}$$

$$= 0,480045997$$

2. MSFT

$n = 2$

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

$$= e^{\sqrt{0,043835616}}$$

$$= 1,125096568$$

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

$$= e^{-\sqrt{0,043835616}}$$

$$= 0,888812595$$

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

$$= \frac{e^{0,0475 \times 0,043835616} - 0,888812595}{1,125096568 - 0,888812595}$$

$$= 0,479388275$$

$n = 4$

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

$$= e^{\sqrt{0,021917808}}$$

$$= 1,086917684$$

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

$$= e^{-\sqrt{0,021917808}}$$

$$= 0{,}920032874$$

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

$$= \frac{e^{0,0475 \times 0,021917808} - 0{,}920032874}{1{,}086917684 - 0{,}920032874}$$

$$= 0{,}485417243$$

3. AAPL

$n = 2$

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

$$= e^{\sqrt{0,043835616}}$$

$$= 1{,}401912425$$

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

$$= e^{-\sqrt{0,043835616}}$$

$$= 0{,}713311318$$

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

$$= \frac{e^{0,0475 \times 0,043835616} - 0{,}713311318}{1{,}401912425 - 0{,}713311318}$$

$$= 0{,}419361863$$

$n = 4$

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

$$= e^{\sqrt{0,021917808}}$$

$$= 1{,}269835115$$

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

$$= \ e^{-\sqrt{0{,}021917808}}$$

$$= 0{,}787503817$$

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

$$= \frac{e^{0{,}0475 \times 0{,}021917808} - 0{,}787503817}{1{,}269835115 - \ 0{,}787503817}$$

$$= 0{,}442720225$$

4. META

n = 2

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

$$= \ e^{\sqrt{0{,}043835616}}$$

$$= 1{,}12771685$$

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

$$= \ e^{-\sqrt{0{,}043835616}}$$

$$= 0{,}886747414$$

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

$$= \frac{e^{0{,}0475 \times 0{,}043835616} - 0{,}886747414}{1{,}12771685 - \ 0{,}886747414}$$

$$= 0{,}478637246$$

n = 4

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

$$= \ e^{\sqrt{0{,}021917808}}$$

$$= 1{,}08870702$$

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

$$= \ e^{-\sqrt{0{,}021917808}}$$

$$= 0{,}918520761$$

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

$$= \frac{e^{0{,}0475\ \times 0{,}021917808}\ - 0{,}918520761}{1{,}08870702 - \ 0{,}918520761}$$

$$= 0{,}484885664$$

5. GOOG

$n = 2$

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

$$= \ e^{\sqrt{0{,}043835616}}$$

$$= 1{,}155539742$$

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

$$= \ e^{-\sqrt{0{,}043835616}}$$

$$= 0{,}865396458$$

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

$$= \frac{e^{0{,}0475\ \times 0{,}043835616}\ - 0{,}865396458}{1{,}155539742 - \ 0{,}865396458}$$

$$= 0{,}471104832$$

$n = 4$

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

$$= e^{\sqrt{0,021917808}}$$

$$= 1,107632318$$

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

$$= e^{-\sqrt{0,021917808}}$$

$$= 0,902826672$$

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

$$= \frac{e^{0,0475 \times 0,021917808} - 0,902826672}{1,107632318 - 0,902826672}$$

$$= 0,479552042$$

E. Menghitung harga saham mulai dari nol sampai waktu jatuh tempo

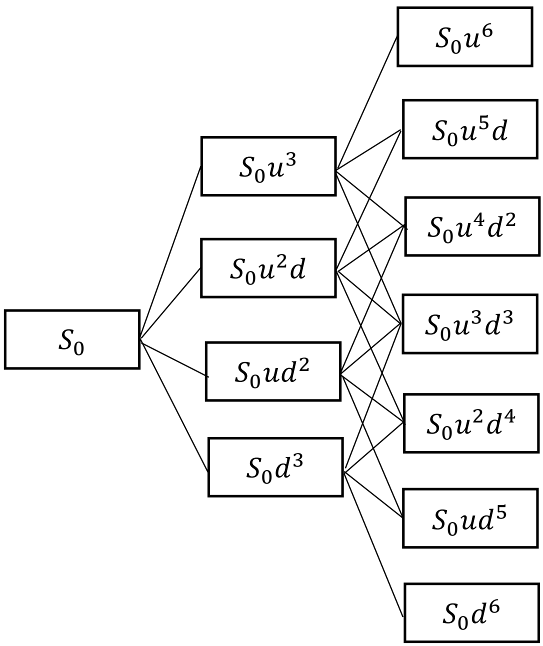
Persamaan rumus yang digunakan yaitu:

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

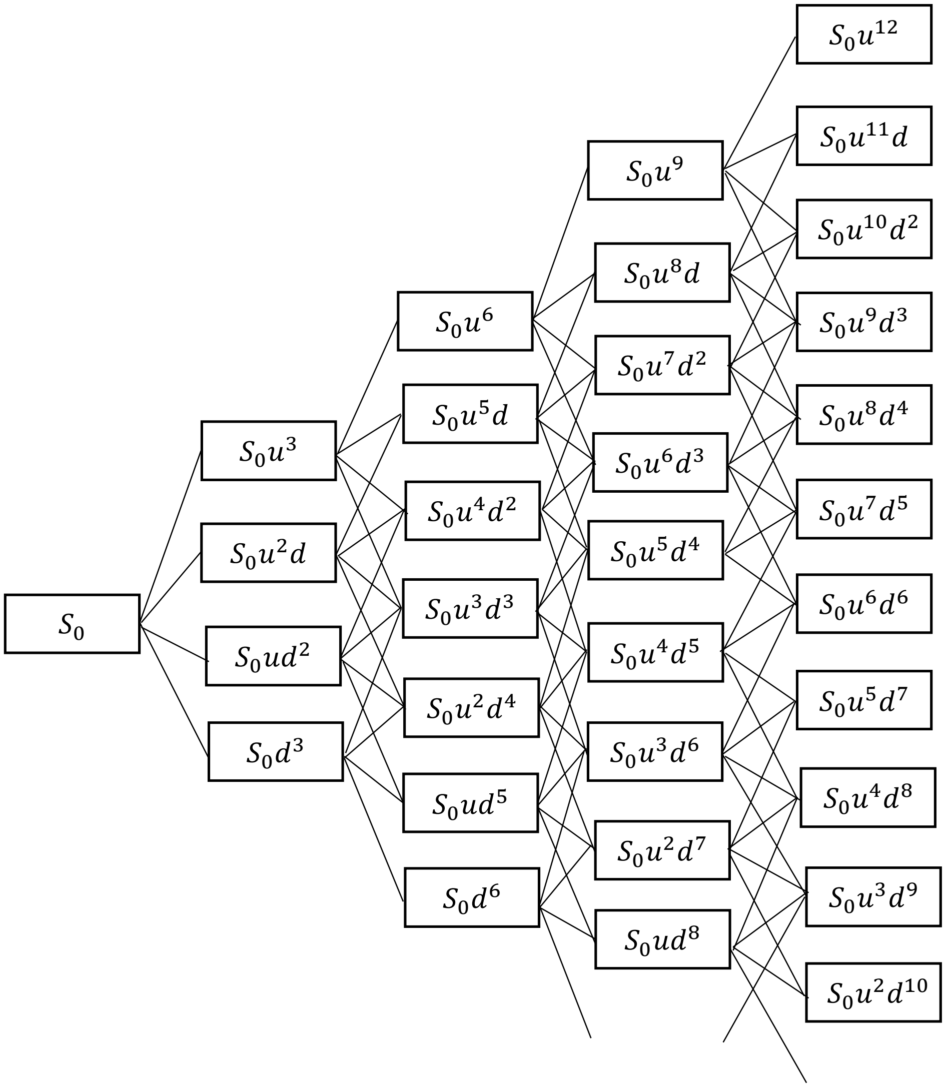
dengan S_{ij} menyatakan harga saham pada saat t_1 dengan telah terjadi kenaikan harga saham sebesar $(i - j)$ kali, untuk $i = 0,1,2, \dots, n$ dan $j = 0,1, . . , i$. i adalah periode atau interval waktu sedangkan j adalah indeks kenaikan harga saham (Lessy,2013).

Misalnya, pada skema menunjukkan saham $S_0 u^3$, yang berarti bahwa harga saham berada di periode 3 $(i = 3)$ dan indeks kenaikan 3 $(j = 3)$. Berikut Hasil

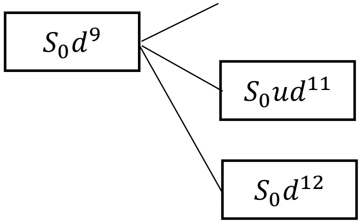
Perhitungan harga opsi saham skema pohon multinomial yang merupakan transformasi dari pohon binomial.



Gambar 4.1 Skema pohon multinomial periode 2



S_0
S_0u^3
S_0u^2d
S_0ud^2
S_0d^3
S_0u^6
S_0u^5d
$S_0u^4d^2$
$S_0u^3d^3$
$S_0u^2d^4$
S_0ud^5
S_0d^6
S_0u^9
S_0u^8d
$S_0u^7d^2$
$S_0u^6d^3$
$S_0u^5d^4$
$S_0u^4d^5$
$S_0u^3d^6$
$S_0u^2d^7$
S_0ud^8
S_0u^{12}
$S_0u^{11}d$
$S_0u^{10}d^2$
$S_0u^9d^3$
$S_0u^8d^4$
$S_0u^7d^5$
$S_0u^6d^6$
$S_0u^5d^7$
$S_0u^4d^8$
$S_0u^3d^9$
$S_0u^2d^{10}$



Gambar 4.2 Skema Pohon Multinomial 4 periode

1. **Perhitungan harga masing-masing saham, selama 2 periode yaitu:**

   a. Saham Tesla Inc (TSLA)

$$S_{00} = S_0u^0d^0 = S_0$$
$$= 286{,}66 \times (1{,}152853067)^0 \times (0{,}867413228)^0$$
$$= 286{,}66$$

.

.

.

$$S_{ij} = S_0u^jd^{i-j} = 286{,}66 \times (1{,}152853067)^j \times (0{,}867413228)^{(i-j)}$$

Hasil dari perhitungan diatas ditampilkan dalam bentuk tabel yaitu:

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan saham TSLA dengan $n = 2$

S_{ji}	$S_0u^jd^{i-j}$	**Harga Saham**
$S_{0,0}$	$S_0u^0d^0$	286,66
$S_{3,1}$	S_0u^3	439,2269445
$S_{2,1}$	S_0u^2d	330,4768601
$S_{1,1}$	S_0ud^2	248,6526759
$S_{0,1}$	S_0d^3	187,0876927
$S_{6,2}$	S_0u^6	672,9934722
S_{ji}	$S_0u^jd^{i-j}$	**Harga Saham**
$S_{5,2}$	S_0u^5d	506,3641299
$S_{4,2}$	$S_0u^4d^2$	380,9912617
$S_{3,2}$	$S_0u^3d^3$	286,66
$S_{2,2}$	$S_0u^2d^4$	215,6846203
$S_{1,2}$	S_0ud^5	162,2823394
$S_{0,2}$	S_0d^6	122,1021585

b. Saham Microsoft Corporation (MSFT)

$$S_{00} = S_0u^0d^0 = S_0$$

$$= 345{,}65 \times (1{,}125096568)^0 \times (0{,}888812595)^0$$

$$= 345{,}65$$

.

.

.

$$S_{ij} = S_0 u^j d^{i-j} = 344{,}65 \times (1{,}125096568)^j$$
$$\times (0{,}888812595)^{(i-j)}$$

Hasil dari perhitungan diatas ditampilkan dalam bentuk tabel yaitu:

Tabel 4.16 Hasil Perhitungan saham MSFT dengan $n = 2$

$\boldsymbol{S_{ji}}$	$\boldsymbol{S_0 u^j d^{i-j}}$	**Harga Saham**
$S_{0,0}$	$S_0 u^0 d^0$	345,65
$S_{3,1}$	$S_0 u^3$	492,2729367
$S_{2,1}$	$S_0 u^2 d$	388,8896286
.	.	.
.	.	.
.	.	.
$S_{2,2}$	$S_0 u^2 d^4$	242,6985389
$S_{1,2}$	$S_0 u d^5$	191,7288919
$S_{0,2}$	$S_0 d^6$	701,0925625

c. Saham Apple Inc (APPL)

$$S_{00} = S_0 u^0 d^0 = S_0$$
$$= 192{,}55 \times (1{,}401912425)^0 \times$$
$$(0{,}713311318)^{0}$$

$$= 192{,}55$$

.

.

.

$$S_{ij} = S_0 u^j d^{i-j} = 192{,}55 \times (1{,}401912425)^j \times (0{,}713311318)^{(i-j)}$$

Hasil dari perhitungan diatas ditampilkan dalam bentuk tabel yaitu:

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan saham AAPL dengan $n = 2$

S_{ji}	$S_0 u^j d^{i-j}$	**Harga Saham**
$S_{0,0}$	$S_0 u^0 d^0$	192,55
$S_{3,1}$	$S_0 u^3$	530,5253953
$S_{2,1}$	$S_0 u^2 d$	269,9382374
.	.	.
.	.	.
.	.	.
$S_{2,2}$	$S_0 u^2 d^4$	97,97195023
$S_{1,2}$	$S_0 u d^5$	49,84940551
$S_{0,2}$	$S_0 d^6$	25,3640274

d. Saham Meta Platforms Inc (META)

$$S_{00} = S_0 u^0 d^0 = S_0$$

$$= 308{,}95 \times (1{,}12771685)^0 \times (0{,}886747414)^{\,0}$$

$$= 308{,}95$$

.

.

.

$$S_{ij} = S_0 u^j d^{i-j} = 308{,}95 \times (1{,}12771685)^j \times (0{,}886747414)^{\,(i-j)}$$

Hasil dari perhitungan diatas ditampilkan dalam bentuk tabel yaitu:

Tabel 4.18 Hasil Perhitungan saham META dengan $n = 2$

$\boldsymbol{S_{ji}}$	$\boldsymbol{S_0 u^j d^{i-j}}$	**Harga Saham**
$S_{0,0}$	$S_0 u^0 d^0$	308,95
$S_{3,1}$	$S_0 u^3$	443,0863876
$S_{2,1}$	$S_0 u^2 d$	348,4081207
.	.	.
.	.	.
.	.	.
$S_{2,2}$	$S_0 u^2 d^4$	242,9338655
$S_{1,2}$	$S_0 u d^5$	191,0239942
$S_{0,2}$	$S_0 d^6$	150,2061735

e. Saham Alphabet Inc (GOOG)

$$S_{00} = S_0 u^0 d^0 = S_0$$

$$= 124{,}74 \times (1{,}155539742)^0 \times (0{,}865396458)^0$$

$$= 124{,}74$$

.

.

.

$$S_{ij} = S_0 u^j d^{i-j} = 124{,}74 \times (1{,}155539742)^j \times (0{,}865396458)^{(i-j)}$$

Hasil dari perhitungan diatas ditampilkan dalam bentuk tabel yaitu:

Tabel 4.19 Hasil Perhitungan saham GOOG dengan $n = 2$

$\boldsymbol{S_{ji}}$	$\boldsymbol{S_0 u^j d^{i-j}}$	**Harga Saham**
$S_{0,0}$	$S_0 u^0 d^0$	124,74
$S_{3,1}$	$S_0 u^3$	192,4688269
$S_{2,1}$	$S_0 u^2 d$	144,1420274
.	.	.
.	.	.
.	.	.
$S_{2,2}$	$S_0 u^2 d^4$	93,4191619
$S_{1,2}$	$S_0 u d^5$	69,96264077

$S_{0,2}$	S_0d^6	52,39579337

2. **Perhitungan harga masing-masing saham, selama 4 periode yaitu:**
   a. Saham Tesla Inc (TSLA)

$$S_{00} = S_0u^0d^0 = S_0$$
$$= 286,66 \times (1,105810694)^0 \times (0,904313917)^{\,0}$$
$$= 286,66$$

.

.

.

$$S_{ij} = S_0u^jd^{i-j} = 286,66 \times (1,105810694)^j \times (0,904313917)^{\,(i-j)}$$

Hasil dari perhitungan diatas ditampilkan dalam bentuk tabel yaitu:

Tabel 4.20 Hasil Perhitungan saham TSLA dengan $n = 4$

$\boldsymbol{S_{ji}}$	$\boldsymbol{S_0u^jd^{i-j}}$	**Harga Saham**
$S_{0,0}$	$S_0u^0d^0$	286,66
$S_{3,1}$	S_0u^3	387,6229
$S_{2,1}$	S_0u^2d	316,9917
.	.	.

.	.	.
.	.	.
$S_{2,4}$	$S_0u^2d^{10}$	128,209679
$S_{1,4}$	S_0ud^{11}	104,8477807
$S_{0,4}$	S_0d^{12}	85,74280187

b. Saham Microsoft Corporation (MSFT)

$$S_{00} = S_0u^0d^0 = S_0$$
$$= 345{,}65 \times (1{,}086917684)^0 \times (0{,}920032874)^{0}$$
$$= 345{,}65$$

.

.

.

$$S_{ij} = S_0u^jd^{i-j} = 344{,}65 \times (1{,}086917684)^j \times (0{,}920032874)^{(i-j)}$$

Hasil dari perhitungan diatas ditampilkan dalam bentuk tabel yaitu:

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan saham MSFT dengan $n = 4$

$\boldsymbol{S_{ji}}$	$\boldsymbol{S_0u^jd^{i-j}}$	**Harga Saham**
$S_{0,0}$	$S_0u^0d^0$	345,65

$S_{3,1}$	S_0u^3	443,8400874
$S_{2,1}$	S_0u^2d	375,6930973
.	.	.
.	.	.
.	.	.
$S_{2,4}$	$S_0u^2d^{10}$	177,4448196
$S_{1,4}$	S_0ud^{11}	150,2000287
$\boldsymbol{S_{ji}}$	$\boldsymbol{S_0u^jd^{i-j}}$	**Harga Saham**
$S_{0,4}$	S_0d^{12}	127,1383897

c. Saham Apple Inc (APPL)

$$S_{00} = S_0u^0d^0 = S_0$$

$$= 192{,}55 \times (1{,}269835115)^0 \times (0{,}787503817)^{\,0}$$

$$= 192{,}55$$

.

.

.

$$S_{ij} = S_0u^jd^{i-j} = 192{,}55 \times (1{,}269835115)^j \times (0{,}787503817)^{\,(i-j)}$$

Hasil dari perhitungan diatas ditampilkan dalam bentuk tabel yaitu:

Tabel 2.22 Hasil Perhitungan saham AAPL dengan $n = 4$

S_{ji}	$S_0 u^j d^{i-j}$	**Harga Saham**
$S_{0,0}$	$S_0 u^0 d^0$	192,55
$S_{3,1}$	$S_0 u^3$	530,5253953
$S_{2,1}$	$S_0 u^2 d$	269,9382374
.	.	.
.	.	.
.	.	.
S_{ji}	$S_0 u^j d^{i-j}$	**Harga Saham**
$S_{2,4}$	$S_0 u^2 d^{10}$	12,90554781
$S_{1,4}$	$S_0 u d^{11}$	6,56651097
$S_{0,4}$	$S_0 d^{12}$	3,341126387

d. Saham Meta Platforms Inc (META)

$$S_{00} = S_0 u^0 d^0 = S_0$$
$$= 308{,}95 \times (1{,}08870702)^0 \times (0{,}918520761)^{\,0}$$
$$= 308{,}95$$

.

.

.

$$S_{ij} = S_0 u^j d^{i-j} = 308{,}95 \times (1{,}08870702)^j \times (0{,}918520761)^{\,(i-j)}$$

Hasil dari perhitungan diatas ditampilkan dalam bentuk tabel yaitu:

Tabel 4.23 Hasil Perhitungan saham META dengan $n = 4$

$\boldsymbol{S_{ji}}$	$\boldsymbol{S_0 u^j d^{i-j}}$	**Harga Saham**
$S_{0,0}$	$S_0 u^0 d^0$	308,95
$S_{3,1}$	$S_0 u^3$	398,6770801
$S_{2,1}$	$S_0 u^2 d$	336,3560337
$\boldsymbol{S_{ji}}$	$\boldsymbol{S_0 u^j d^{i-j}}$	**Harga Saham**
.	.	.
.	.	.
.	.	.
$S_{2,4}$	$S_0 u^2 d^{10}$	156,5308756
$S_{1,4}$	$S_0 u d^{11}$	132,0620299
$S_{0,4}$	$S_0 d^{12}$	111,4181447

e. Saham Alphabet Inc (GOOG)

$$S_{00} = S_0 u^0 d^0 = S_0$$

$$= 124,74 \times (1,107632318)^0 \times (0,902826672)^0$$

$$= 124,74$$

.

.

.

$$S_{ij} = S_0 u^j d^{i-j} = 124{,}74 \times (1{,}107632318)^j \times (0{,}902826672)^{(i-j)}$$

Hasil dari perhitungan diatas ditampilkan dalam bentuk tabel yaitu:

Tabel 4.24 Hasil Perhitungan saham GOOG dengan $n = 4$

S_{ji}	$S_0 u^j d^{i-j}$	Harga Saham
$S_{0,0}$	$S_0 u^0 d^0$	124,74
$S_{3,1}$	$S_0 u^3$	169,5089356
$S_{2,1}$	$S_0 u^2 d$	138,1660554
.	.	.
.	.	.
.	.	.
$S_{2,4}$	$S_0 u^2 d^{10}$	55,06058074
$S_{1,4}$	$S_0 u d^{11}$	44,87965913
$S_{0,4}$	$S_0 d^{12}$	36,58123065

F. Menghitung harga opsi *call* dan opsi *put*

1. Saham TSLA

Opsi *Call* Bermuda dengan n = 2

Nilai opsi pada t = 2

Pada t = 2 (akhir node) nilai opsi dicari dengan menggunakan payoff (persamaan 2.3)

$V_{6,2}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max {672,9934722 – 300, 0} = 372,9934722

$V_{5,2}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max {506,3641299 – 300, 0} = 206,3641299

$V_{4,2}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max {380,9912617 – 300, 0} = 80,9912617

$V_{3,2}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max {286,66 – 300, 0} = 0

$V_{2,2}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max {215,6846203 – 300, 0} = 0

$V_{1,2}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max {162,2823394 – 300, 0} = 0

$V_{0,2}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max {122,1021585 – 300, 0} = 0

Nilai opsi pada t = 1 (waktu eksekusi)

Pada node 1 (waktu eksekusi), nilai opsi dicari dengan membandingkan antara nilai payoff (persamaan 2.3) dengan nilai opsi yang diperoleh dari rumus (persamaan 2.32)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \mathbf{max}\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{3,1}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max {439,2269445– 300, 0}

= 139,2269445

$V_{2,1}$ = max { $S_t - K, 0$} = max {330,4768601 – 300, 0}

= 30,4768601

$V_{1,1}$ = max { $S_t - K, 0$} = max {248,6526759 – 300, 0} = 0

$V_{0,1}$ = max { $S_t - K, 0$} = max {187,0876927 – 300, 0} = 0

Rumus

$$P_{3,0} = \binom{3}{0}(0{,}471802162)^3 = 0{,}105021878$$

$$P_{3,1} = \binom{3}{1}\left((0{,}471802162)^2(1 - 0{,}471802162)\right)$$

$$= 0{,}117575402$$

$$P_{3,2} = \binom{3}{2}(0{,}471802162)(1 - 0{,}471802162)^2$$

$$= 0{,}13162948$$

$$P_{3,3} = \binom{3}{3}(1 - 0{,}471802162)^3 = 0{,}147363476$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{3,1}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{6,2}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right)$$

$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right)$$

$$= ((0{,}105021878 \times 372{,}9934722) +$$

$$(0{,}117575402 \times 206{,}3641299) +$$

$$(0{,}13162948 \times 80{,}99126169) +$$
$$(0{,}147363476 \times 0))$$

$$= 74{,}09665815$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{2,1,}, 2\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right)$$

$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{2,2}, 5\right)$$

$$= ((0{,}105021878 \times 206{,}3641299) +$$

$$(0{,}117575402 \times 80{,}99126169) +$$
$$(0{,}13162948 \times 0) +$$
$$(0{,}147363476 \times 0))$$
$$= 31{,}19532864$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(\ S_{1,1,}, 3\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right)$$
$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{2,2}, 5\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{1,2}, 6\right)$$
$$= ((0{,}105021878 \times 80{,}99126169) +$$
$$(0{,}117575402 \times 0) +$$
$$(0{,}13162948 \times 0) +$$
$$(0{,}147363476 \times 0))$$
$$= 8{,}505854407$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(\ S_{0,1,}, 4\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,2}, 5\right)$$
$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,2}, 6\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,2}, 7\right)$$
$$= ((0{,}105021878 \times 0) +$$
$$(0{,}117575402 \times 0) +$$
$$(0{,}13162948 \times 0) +$$
$$(0{,}147363476 \times 0))$$
$$= 0$$

$$V_{3,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(74{,}09665815)$$
$$= 73{,}94253521$$

$$V_{2,1} = e^{(-0{,}04750{,}043835616)}(31{,}19532864)$$
$$= 31{,}13044156$$

$$V_{1,1} = e^{(-0{,}04750{,}043835616)}(8{,}505854407)$$

$$= 8{,}488162013$$

$$V_{0,1} = e^{(-0{,}04750{,}043835616)}(0) = 0$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{3,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{139{,}2269445; 73{,}94253521\}$$

$$= 139{,}2269445$$

$$V_{2,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{30{,}4768601; 31{,}13044156\}$$

$$= 31{,}13044156$$

$$V_{1,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{0; 8{,}488162013\}$$

$$= 8{,}488162013$$

$$V_{0,1} = \max\{Max(S(t_k) - K), e^{-r\Delta t}\ .E[S_n, n]\}$$

$$= \max\{0; 0\} = 0$$

Nilai opsi pada t = 0

Nilai opsi pada t = 0 diperoleh dengan menggunakan rumus (persamaan 2.32)

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{0,0}, 1\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{3,1}, 1\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{2,1}, 2\big)$$

$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{1,1}, 3\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{0,1}, 4\big)$$

$$= ((0{,}105021878 \times 139{,}2269445) +$$

$$(0{,}117575402 \times 31{,}13044156) +$$

$$(0{,}13162948 \times 8{,}488162013) +$$

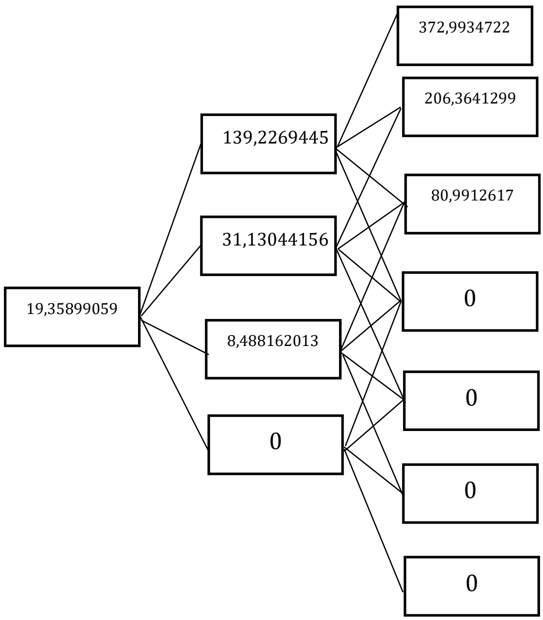
$$(0{,}147363476 \times 0))$$

$$= 19{,}39934171$$

$$V_{0,0} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(19{,}39934171)$$

$$= 19{,}35899059$$

Jadi, nilai opsi *call* Bermuda saham TSLA dengan $n = 2$ adalah 19,35899059 dan berikut adalah skema pohon multinomial-nya.



Gambar 4.3 Skema pohon Multinomial opsi *call* Bermuda saham TSLA dengan $n = 2$

Nilai opsi *call* n=4

Pada n=4 (akhir node) nilai opsi dicari dengan menggunakan payoff (persamaan 2.6)

Nilai opsi pada t = 4

$V_{12,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 958,3773075 – 300, 0}

= 658,3773075

$V_{11,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 783,7453029 – 300, 0}

= 483,7453029

$V_{10,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 640,9341028 – 300, 0}

= 340,9341028

$V_{9,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 524,1454369 – 300, 0}

= 224,1454369

$V_{8,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 428,6375741 – 300, 0}

= 128,6375741

$V_{7,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 350,5328044 – 300, 0}

= 50,53280444

$V_{6,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 286,66 – 300, 0} = 0

$V_{5,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 234,4258642 – 300, 0} = 0

$V_{4,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 191,7096414 – 300, 0} = 0

$V_{3,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 156,7770123 – 300, 0} = 0

$V_{2,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 128,209679 – 300, 0} = 0

$V_{1,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 104,8477807 – 300, 0} = 0

$V_{0,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 85,74280187 – 300, 0} = 0

Nilai opsi pada t = 3 (waktu eksekusi)

Pada node 3 (waktu eksekusi), nilai opsi dicari dengan membandingkan antara nilai payoff (persamaan 2.3) dengan nilai opsi yang diperoleh dari rumus (persamaan 2.32)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{9,3}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 708,7517848 – 300, 0}

= 408,7517848

$V_{8,3}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 579,6056291 – 300, 0}

= 279,6056291

$V_{7,3}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 473,9920131 – 300, 0}

= 173,9920131

$V_{6,3}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 387,6229236 – 300, 0}

= 87,62292364

$V_{5,3}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 316,9916935 – 300, 0}

= 16,99169345

$V_{4,3}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 259,2306275 – 300, 0} = 0

$V_{3,3}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 211,9945715 – 300, 0} = 0

$V_{2,3}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 173,3656967 – 300, 0} = 0

$V_{1,3}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 141,7756341 – 300, 0} = 0

$V_{0,3}$ = max { $S_t - K, 0$} = max { 115,9417971– 300, 0} = 0

Rumus

$$P_{3,0} = \binom{3}{0}(0{,}480045997)^3 = 0{,}110623796$$

$$P_{3,1} = \binom{3}{1}\left((0{,}480045997)^2(1 - 0{,}480045997)\right)$$
$$= 0{,}119820363$$

$$P_{3,2} = \binom{3}{2}(0{,}480045997)(1 - 0{,}480045997)^2$$
$$= 0{,}129781475$$

$$P_{3,3} = \binom{3}{3}(1 - 0{,}480045997)^3 = 0{,}140570691$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{9,3}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{12,4}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{11,4}, 2\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{10,4}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{9,4}, 4\right)$$
$$= ((0{,}110623796 \times 658{,}3773075) + (0{,}119820363 \times 483{,}7453029) + (0{,}129781475 \times 340{,}9341028) + (0{,}140570691 \times 224{,}1454369))$$
$$= 206{,}5499442$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{8,3}, 2\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{11,4}, 2\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{10,4}, 3\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{9,4}, 4\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{8,4}, 5\right)$$
$$= ((0{,}110623796 \times 483{,}7453029) + (0{,}119820363 \times 340{,}9341028) + (0{,}129781475 \times 224{,}1454369) +$$

$(0{,}140570691 \times 128{,}6375741))$

$= 141{,}5371876$

.

.

.

$$\mathrm{E}\big[V(\,S_{0,3},1)\big] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{4,4},10\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,4},11\big)$$
$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{1,4},12\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{0,4},13\big)$$
$$= ((0{,}110623796 \times 0) +$$
$$(0{,}119820363 \times 0) +$$
$$(0{,}129781475 \times 0) +$$
$$(0{,}140570691 \times 0))$$
$$= 0$$

$$V_{9,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(206{,}4862114)$$
$$= 206{,}3350178$$
$$V_{8,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(\,141{,}4842086)$$
$$= 141{,}3899105$$

.

.

.

$$V_{0,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(0) = 0$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{9,3} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.\,E[V(S_n,n)]\}$$

$$= \max\{ 408{,}7517848; 206{,}3350178\}$$

$$= 408{,}7517848$$

$$V_{8,3} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{279{,}6056291; 141{,}3899105\}$$

$$= 279{,}6056291$$

.

.

.

$$V_{0,3} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{0; 0\} = 0$$

Nilai opsi pada t = 2

Nilai opsi pada t = 2 diperoleh dengan menggunakan rumus (persamaan 2.32)

$$\mathrm{E}\big[V\big(S_{6,2}, 1\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{9,3}, 1\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{8,3}, 2\big) + P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{7,3}, 3\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{6,3}, 4\big)$$

$$= ((0{,}110623796 \times 408{,}7517848) + (0{,}119820363 \times 279{,}6056291) + (0{,}129781475 \times 173{,}9920131) + (0{,}140570691 \times 87{,}62292364))$$

$$= 114{,}5501317$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(S_{5,2,}, 2\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{8,3}, 2\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{7,3}, 3\big) + P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{6,3}, 4\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{5,3}, 5\big)$$

$$= ((0{,}110623796 \times 279{,}6056291) +$$
$$(0{,}119820363 \times 173{,}9920131) +$$
$$(0{,}129781475 \times 87{,}62292364) +$$
$$(0{,}140570691 \times 46{,}71877769))$$
$$= 70{,}15926898$$

.

.

.

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{0,2,}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{3,3}, 10\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,3}, 11\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,3}, 12\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,3}, 13\right)$$
$$= ((0{,}110623796 \times 0) +$$
$$(0{,}119820363 \times 0) +$$
$$(0{,}129781475 \times 0) +$$
$$(0{,}140570691 \times 0))$$
$$= 0$$

$$V_{6,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(114{,}5501317\,)$$
$$= 114{,}4309361$$
$$V_{5,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(70{,}15926898\,)$$
$$= 70{,}08626446$$

.

.

.

$$V_{0,2} = e^{(-0,0475)0,021917808}(0\ ) = 0$$

Nilai opsi pada t = 1 (waktu eksekusi)

Pada node 1 (waktu eksekusi), nilai opsi dicari dengan membandingkan antara nilai payoff (persamaan 2.3) dengan nilai opsi yang diperoleh dari rumus (persamaan 2.32)

Opsi *put* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{3,1}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max {387,6229236 – 300, 0}

= 87,62292364

$V_{2,1}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max {316,9916935 – 300, 0}

= 16,99169345

$V_{1,1}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max {259,2306275 – 300, 0} = 0

$V_{0,1}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max {211,9945715 – 300, 0} = 0

Rumus:

$$\begin{aligned}\mathrm{E}\big[V\big(\ S_{3,1}, 1\big)\big] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{6,2}, 1\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{5,2}, 2\big) \\ &\quad + P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{4,2}, 3\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big) \\ &= ((0,110623796 \times 114,4309361) + \\ &\quad (0,119820363 \times 70,08626446) + \\ &\quad (0,129781475 \times 37,00015802) + \\ &\quad (0,140570691 \times 16,05930418))\end{aligned}$$

$$= 28{,}11594872$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{2,1,}, 2\big)\big] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{5,2}, 2\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{4,2}, 3\big) + P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,2}, 5\big)$$

$$= ((0{,}110623796 \times 70{,}08626446) + (0{,}119820363 \times 37{,}00015802) + (0{,}129781475 \times 16{,}05930418) + (0{,}140570691 \times 5{,}83124898))$$

$$= 15{,}09048385$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{1,1,}, 3\big)\big] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{4,2}, 3\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big) + P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,2}, 5\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{1,2}, 6\big)$$

$$= ((0{,}110623796 \times 37{,}00015802) + (0{,}119820363 \times 16{,}05930418) + (0{,}129781475 \times 5{,}83124898) + (0{,}140570691 \times 0{,}61711518))$$

$$= 6{,}860865981$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{0,1,}, 4\big)\big] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,2}, 5\big) + P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{1,2}, 6\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{0,2}, 7\big)$$

$$= ((0{,}110623796 \times 16{,}05930418) + (0{,}119820363 \times 5{,}83124898) + (0{,}129781475 \times 0{,}61711518) + (0{,}140570691 \times 0))$$

$$= 2{,}555333674$$

$$V_{3,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(28{,}11594872)$$

$$= 28{,}08669255$$

$$V_{2,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(\ 15{,}09048385)$$

$$= 15{,}07478139$$

$$V_{1,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(6{,}860865981\ )$$

$$= 6{,}853726879$$

$$V_{0,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(2{,}555333674\ )$$

$$= 2{,}552674711$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{3,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$

$$= \max\{87{,}62292364; 28{,}08669255\}$$

$$= 87{,}62292364$$

$$V_{2,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$

$$= \max\{16{,}99169345; 15{,}07478139\}$$

$$= 16{,}99169345$$

$$V_{1,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$

$$= \max\{0; 6{,}853726879\}$$

$$= 6{,}853726879$$

$$V_{0,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$

$$= \max\{0; 2{,}552674711\}$$

$$= 2{,}552674711$$

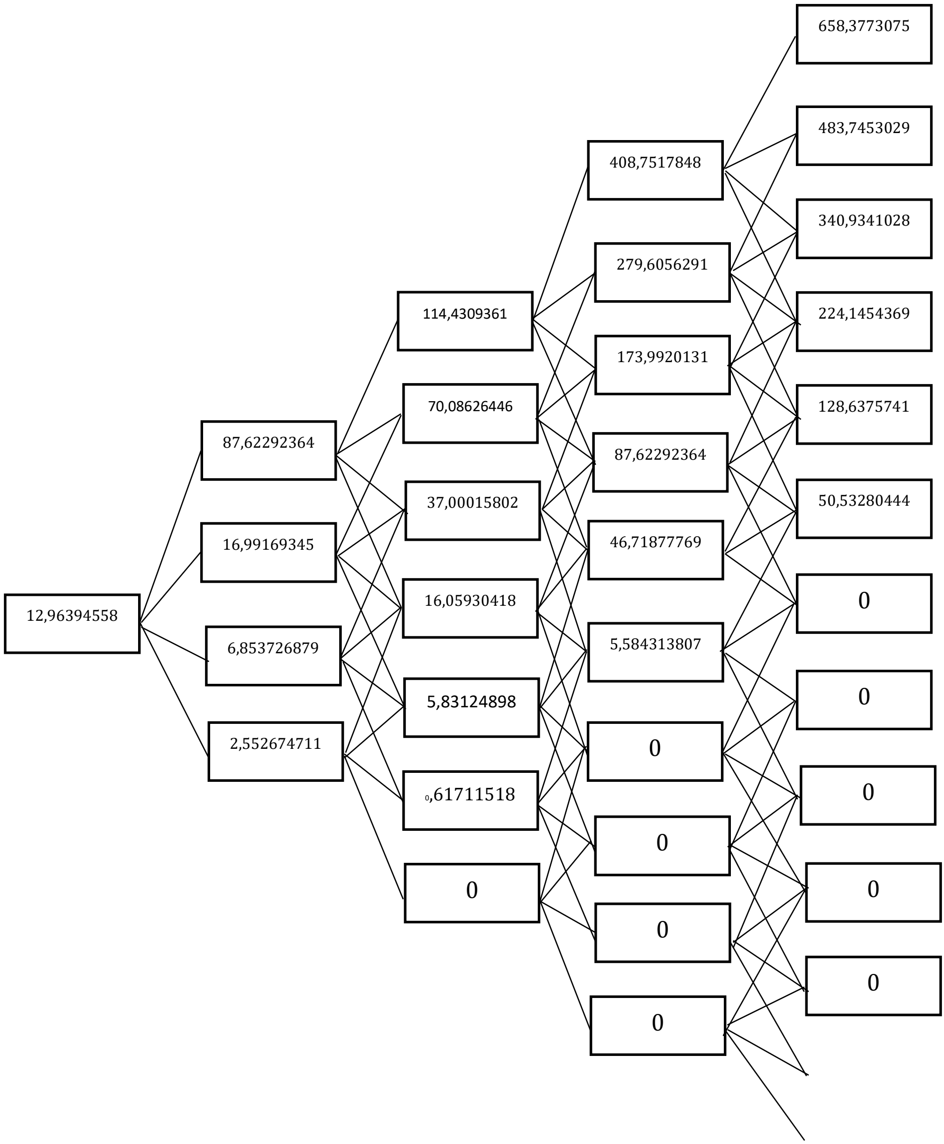
Nilai Opsi pada $t = 0$

Nilai opsi pada t = 0 diperoleh dengan menggunakan rumus (persamaan 2.32)

$$\begin{aligned} \mathrm{E}\left[V\left(S_{0,0},1\right)\right] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{3,1},1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,1},2\right) \\ &\quad + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,1},3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,1},4\right) \\ &= ((0{,}110623796 \times 87{,}62292364) + \\ &\quad (0{,}119820363 \times 16{,}99169345) + \\ &\quad (0{,}129781475 \times 6{,}853726879) + \\ &\quad (0{,}140570691 \times 2{,}552674711)) \\ &= 12{,}97744932 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{0,0} &= e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(12{,}97744932) \\ &= 12{,}96394558 \end{aligned}$$

Jadi, nilai opsi *call* Bermuda saham TSLA dengan $n = 4$ adalah 12,96394558 dan berikut adalah skema pohon multinomialnya.



658,3773075
483,7453029
408,7517848
340,9341028
279,6056291
114,4309361
224,1454369
173,9920131
70,08626446
128,6375741
87,62292364
87,62292364
37,00015802
50,53280444
16,99169345
46,71877769
12,96394558
16,05930418
0
6,853726879
5,584313807
5,83124898
0
2,552674711
0
0
,61711518
0
0
0
0
0
0
0
0

0

0

Gambar 4.4 skema pohon Multinomial opsi *call* Bermuda saham TSLA dengan $n = 4$

Opsi *Put* Bermuda dengan $n = 2$

Pada $n = 2$ (akhir node) nilai opsi dicari dengan menggunakan rumus (persamaan 2.6)

payoff

Nilai opsi pada t = 2

$V_{6,2}$ = max { $K - S_{tk}, 0\}$ = max {300 - 672,9934722, 0} = 0

$V_{5,2}$ = max { $K - S_{tk}, 0\}$ = max {300 - 506,3641299, 0} = 0

$V_{4,2}$ = max { $K - S_{tk}, 0\}$ = max {300 - 380,9912617, 0} = 0

$V_{3,2}$ = max {$K - S_{tk}, 0\}$ = max {300 - 286,66, 0} = 13,34

$V_{2,2}$ = max {K $-S_{tk}, 0\}$ = max {300 - 215,6846203, 0}

= 84,31537974

$V_{1,2}$ = max { $K - S_{tk}, 0\}$ = max {300 - 162,2823394, 0}

= 137,7176606

$V_{0,2}$ = max { $K - S_{tk}, 0\}$ = max {300 - 122,1021585, 0}

= 177,8978415

Nilai opsi pada t = 1 (waktu eksekusi)

Opsi *put* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}. E[V(S_n, n)]\}}$$

Payoff

$V_{3,1}$ = max { $K - S_{tk}, 0\}$ = max {300 – 439,2269445, 0} = 0

$V_{2,1}$ = max { $K - S_{tk}, 0\}$ = max {300 - 330,4768601, 0} = 0

$V_{1,1}$ = max { $K - S_{tk}, 0\}$ = max {300 - 248,6526759, 0}

= 51,34732408

$V_{0,1}$ = max { $K - S_{tk}, 0\}$ = max {300 - 187,0876927, 0}

= 112,9123073

Rumus

$$P_{3,1} = \binom{3}{1}\left((0{,}471802162)^2(1 - 0{,}471802162)\right)$$

$$= 0{,}117575402$$

$$P_{3,2} = \binom{3}{2}(0{,}471802162)(1 - 0{,}471802162)^2$$

$$= 0{,}13162948$$

$$P_{3,3} = \binom{3}{3}(1 - 0{,}471802162)^3 = 0{,}147363476$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{3,1}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{6,2}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right)$$

$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right)$$

$$= ((0{,}105021878 \times 0) +$$

$$(0{,}117575402 \times 0) +$$

$$(0{,}13162948 \times 0) +$$

$$(0{,}147363476 \times 13{,}34))$$

$$= 1{,}965828772$$

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\big[V\big(\, S_{2,1,}, 2\big)\big] &= P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{5,2}, 2\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{4,2}, 3\big) \\
&\quad + P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,2}, 5\big) \\
&= ((0{,}105021878 \times 0) + \\
&\quad (0{,}117575402 \times 0) + \\
&\quad (0{,}13162948 \times 13{,}34) + \\
&\quad (0{,}147363476 \times 84{,}31537974)) \\
&= 14{,}18094471
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\big[V\big(\, S_{1,1,}, 3\big)\big] &= P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{4,2}, 3\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big) \\
&\quad + P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,2}, 5\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{1,2}, 6\big) \\
&= ((0{,}105021878 \times 0) + \\
&\quad (0{,}117575402 \times 13{,}34) + \\
&\quad (0{,}13162948 \times 84{,}31537974) + \\
&\quad (0{,}147363476 \times 137{,}7176606)) \\
&= 32{,}96139863
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\big[V\big(\, S_{0,1,}, 4\big)\big] &= P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,2}, 5\big) \\
&\quad + P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{1,2}, 6\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{0,2}, 7\big) \\
&= ((0{,}105021878 \times 13{,}34) + \\
&\quad (0{,}117575402 \times 84{,}31537974) + \\
&\quad (0{,}13162948 \times 137{,}7176606) + \\
&\quad (0{,}147363476 \times 177{,}8978415)) \\
&= 55{,}65775488
\end{aligned}$$

$$V_{3,1} = e^{(-0,0475)0,043835616}(1,965828772)$$
$$= 1,961739798$$
$$V_{2,1} = e^{(-0,04750,043835616)}(14,18094471)$$
$$= 14,15144799$$
$$V_{1,1} = e^{(-0,04750,043835616)}(32,96139863)$$
$$= 32,89283808$$
$$V_{0,1} = e^{(-0,04750,043835616)}(55,65775488)$$
$$= 55,54198533$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{3,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{0; 1,961739798\} = 1,961739798$$
$$V_{2,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{0; 14,15144799\} = 14,15144799$$
$$V_{1,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{51,34732408; 32,89283808\}$$
$$= 51,34732408$$
$$V_{0,1} = \max\{max(K - S(t_k)), e^{-r\Delta t}.E[S_n, n]\}$$
$$= \max\{112,9123073; 55,54198533\}$$
$$= 112,9123073$$

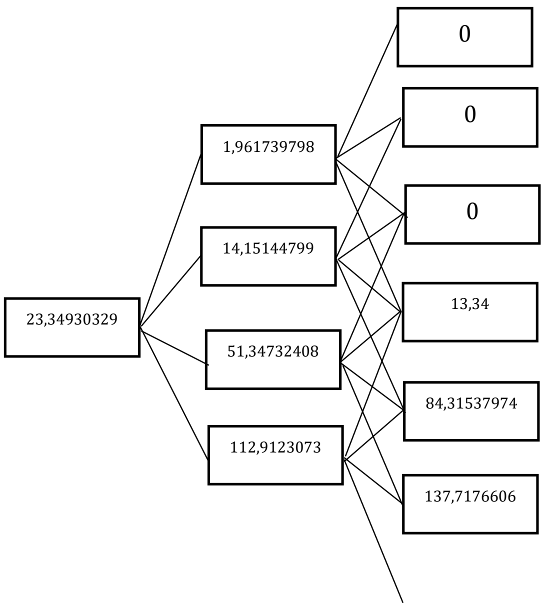
Nilai opsi pada t = 0

Nilai opsi pada t = 0 diperoleh dengan menggunakan rumus (persamaan 2.32)

$$
\begin{aligned}
\mathrm{E}\left[V\left(S_{0,0},1\right)\right] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{3,1},1\right)+P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,1},2\right) \\
&\quad + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,1},3\right)+P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,1},4\right) \\
&= ((0{,}105021878\times 0)+ \\
&\quad (0{,}117575402\times 0)+ \\
&\quad (0{,}13162948\times 51{,}34732408)+ \\
&\quad (0{,}147363476\times 112{,}9123073)) \\
&= 23{,}39797167
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
V_{0,0} &= e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(23{,}39797167) \\
&= 23{,}34930329
\end{aligned}
$$

Jadi, nilai opsi *put* Bermuda saham TSLA dengan $n = 2$ adalah 23,34930329 dan berikut adalah skema pohom multinomialnya.



177,8978415

Gambar 4.5 Skema pohon Multinomial opsi *put* Bermuda saham TSLA dengan $n = 2$

Nilai opsi *put* n=4

Pada n=4 (akhir node) nilai opsi dicari dengan menggunakan rumus (persamaan 2.6)

payoff

Nilai opsi pada t = 4

$V_{12,4}$ = max { $K - S_t, 0$} = max {300 - 958,3773075, 0} = 0

$V_{11,4}$ = max { $K - S_t, 0$}= max {300 - 783,7453029, 0} = 0

$V_{10,4}$ = max { $K - S_t, 0$}= max { 300 - 640,9341028, 0} = 0

$V_{9,4}$ = max { $K - S_t, 0$}= max {300 - 524,1454369, 0} = 0

$V_{8,4}$ = max { $K - S_t, 0$}= max {300 - 428,6375741, 0} = 0

$V_{7,4}$ = max { $K - S_t, 0$}= max {300 - 350,5328044, 0} = 0

$V_{6,4}$ = max { $K - S_t, 0$} = max {300 - 286,66 , 0} = 13,34

$V_{5,4}$ = max { $K - S_t, 0$}= max {300 - 234,4258642, 0} = 65,57413583

$V_{4,4}$ = max { $K - S_t, 0$}= max {300 - 191,7096414, 0} = 108,2903586

$V_{3,4}$ = max { $K - S_t, 0$} = max {300 - 156,7770123, 0} =143,2229877

$V_{2,4}$ = max { $K - S_t, 0$}= max {300 - 128,209679, 0} =171,790321

$V_{1,4}$ = max { $K - S_t, 0$}= max {300 - 104,8477807, 0} = 195,1522193

$V_{0,4}$ = max { $K - S_t, 0$}= max {300 - 85,74280187, 0} = 214,2571981

Nilai opsi pada t = 3 (waktu eksekusi)

Pada node 3 (waktu eksekusi), nilai opsi dicari dengan membandingkan antara nilai payoff (persamaan 2.6) dengan nilai opsi yang diperoleh dari rumus (persamaan 2.32)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{9,3}$ = max { $K - S_t, 0$}= max {300 - 708,7517848, 0} = 0

$V_{8,3}$ = max { $K - S_t, 0$}= max {300 - 579,6056291, 0} = 0

$V_{7,3}$ = max { $K - S_t, 0$}= max {300 - 473,9920131, 0} = 0

$V_{6,3}$ = max { $K - S_t, 0$}= max {300 - 387,6229236, 0} = 0

$V_{5,3}$ = max { $K - S_t, 0$}= max {300 - 316,9916935, 0} =0

$V_{4,3}$ = max { $K - S_t, 0$} = max {300 - 259,2306275, 0}

=40,76937252

$V_{3,3}$ = max { $K - S_t, 0$} = max {300 -211,9945715, 0}

= 88,0054285

$V_{2,3}$ = max { $K - S_t, 0$} = max {300 - 173,3656967, 0}

= 126,6343033

$V_{1,3}$ = max { $K - S_t, 0$}= max {300 - 141,7756341, 0}

= 158,2243659

$V_{0,3}$ = max { $K - S_t, 0$}= max {300 - 115,9417971, 0}

= 184,0582029

Rumus

$$P_{3,0} = \binom{3}{0}(0{,}480045997)^3 = 0{,}110623796$$

$$P_{3,1} = \binom{3}{1}\left((0{,}480045997)^2(1 - 0{,}480045997)\right)$$

$$= 0{,}119820363$$

$$P_{3,2} = \binom{3}{2}(0{,}480045997)(1 - 0{,}480045997)^2$$

$$= 0{,}129781475$$

$$P_{3,3} = \binom{3}{3}(1 - 0{,}480045997)^3 = 0{,}140570691$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{9,3}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{12,4}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{11,4}, 2\right)$$

$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{10,4}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{9,4}, 4\right)$$

$$= ((0{,}110623796 \times 0) +$$

$$(0{,}119820363 \times 0) +$$

$$(0{,}129781475 \times 0) +$$

$$(0{,}140570691 \times 0))$$

$$= 0$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{8,3}, 2\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{11,4}, 2\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{10,4}, 3\right)$$
$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{9,4}, 4\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{8,4}, 5\right)$$

$$= ((0{,}110623796 \times 0) +$$

$$(0{,}119820363 \times 0) +$$

$$(0{,}129781475 \times 0) +$$

$$(0{,}140570691 \times 0))$$

$$= 0$$

.

.

.

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{0,3},1\big)\big] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,4},10\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,4},11\big)$$
$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{1,4},12\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{0,4},13\big)$$
$$= ((0{,}110623796 \times 143{,}2229877) +$$
$$(0{,}119820363 \times 171{,}790321) +$$
$$(0{,}129781475 \times 195{,}1522193) +$$
$$(0{,}140570691 \times 214{,}2571981))$$
$$= 91{,}87327438$$

$$V_{9,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(0) = 0$$
$$V_{8,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(\,0) = 0$$

.

.

.

$$V_{0,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(\,91{,}87327438)$$
$$= 91{,}77767526$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{9,3} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.\,E[V(S_n,n)]\}$$
$$= \max\{\,0;0\} = 0$$
$$V_{8,3} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.\,E[V(S_n,n)]\}$$
$$= \max\{\,0;0\} = 0$$

.

.

.

$$V_{0,3} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{91,77767526; 91,87327438\}$$
$$= 91,87327438$$

Nilai opsi pada t = 2

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{6,2}, 1\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{9,3}, 1\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{8,3}, 2\big)$$
$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{7,3}, 3\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{6,3}, 4\big)$$
$$= ((0,110623796 \times 0) +$$
$$(0,119820363 \times 0) +$$
$$(0,129781475 \times 0) +$$
$$(0,140570691 \times 46,71877769))$$
$$= 6,06323187$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{5,2,}, 2\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{8,3}, 2\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{7,3}, 3\big)$$
$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{6,3}, 4\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{5,3}, 5\big)$$
$$= ((0,110623796 \times 0) +$$
$$(0,119820363 \times 0) +$$
$$(0,129781475 \times 46,71877769) +$$
$$(0,140570691 \times 10,94908646))$$
$$= 7,988279447$$

.

.

.

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{0,2,}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{3,3}, 10\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,3}, 11\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,3}, 12\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,3}, 13\right)$$

$$= ((0{,}110623796 \times 43{,}51987498) + (0{,}119820363 \times 62{,}96582457) + (0{,}129781475 \times 78{,}86840442) + (0{,}140570691 \times 91{,}87327438))$$

$$= 35{,}36895686$$

$$V_{6,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(6{,}06323187\ )$$

$$= 6{,}056922749$$

$$V_{5,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(7{,}988279447)$$

$$= 7{,}97996721$$

.

.

.

$$V_{0,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(\ 35{,}36895686)$$

$$= 35{,}33215355$$

Nilai opsi pada t = 1 (waktu eksekusi)

Pada node 1 (waktu eksekusi), nilai opsi dicari dengan membandingkan antara nilai payoff (persamaan 2.6) dengan nilai opsi yang diperoleh dari rumus (persamaan 2.32)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}. E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{3,1}$ = max $\{K - S_t, 0\}$ = max {300 - 387,6229236, 0} = 0

$V_{2,1}$ = max $\{K - S_t, 0\}$ = max {300 - 316,9916935, 0} = 0

$V_{1,1}$ = max $\{K - S_t, 0\}$ = max {300 - 259,2306275, 0}

= 40,76937252

$V_{0,1}$ max $\{K - S_t, 0\}$ = max {300 - 211,9945715, 0}

= 88,0054285

Rumus:

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\left[V\left(S_{3,1}, 1\right)\right] &= P_{3,0}. \mathrm{V}\left(S_{6,2}, 1\right) + P_{3,1}. \mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right) \\
&\quad + P_{3,2}. \mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) + P_{3,3}. \mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right) \\
&= ((0{,}110623796 \times 6{,}056922749) + \\
&\quad (0{,}119820363 \times 7{,}97996721) + \\
&\quad (0{,}129781475 \times 10{,}41364989) + \\
&\quad (0{,}140570691 \times 15{,}67269929)) \\
&= 5{,}180823362
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\left[V\left(S_{2,1,}, 2\right)\right] &= P_{3,0}. \mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right) + P_{3,1}. \mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) \\
&\quad + P_{3,2}. \mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right) + P_{3,3}. \mathrm{V}\left(S_{2,2}, 5\right) \\
&= ((0{,}110623796 \times 7{,}97996721) + \\
&\quad (0{,}119820363 \times 10{,}41364989) +
\end{aligned}$$

$$(0{,}129781475 \times 15{,}67269929) +$$

$$(0{,}140570691 \times 18{,}51654749))$$

$$= 6{,}767451475$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\, S_{1,1,}, 3\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{4,2}, 3\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big)$$

$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{2,2}, 5\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{1,2}, 6\big)$$

$$= ((0{,}110623796 \times 10{,}41364989) +$$

$$(0{,}119820363 \times 15{,}67269929) +$$

$$(0{,}129781475 \times 18{,}51654749) +$$

$$(0{,}140570691 \times 27{,}07540107))$$

$$= 9{,}239018674$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\, S_{0,1,}, 4\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{2,2}, 5\big)$$

$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{1,2}, 6\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{0,2}, 7\big)$$

$$= ((0{,}110623796 \times 15{,}67269929) +$$

$$(0{,}119820363 \times 18{,}51654749) +$$

$$(0{,}129781475 \times 27{,}07540107) +$$

$$(0{,}140570691 \times 35{,}33215355))$$

$$= 12{,}43298365$$

$$V_{3,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(5{,}180823362)$$

$$= 5{,}175432435$$

$$V_{2,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(6{,}767451475\,)$$

$$= 6{,}760409576$$

$$V_{1,1} = e^{(-0,0475)0,021917808}(9,239018674)$$
$$= 9,229404975$$

$$V_{0,1} = e^{(-0,0475)0,021917808}(\ 12,43298365)$$
$$= 12,42004645$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{3,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{0; 5,175432435\}$$
$$= 5,175432435$$
$$V_{2,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{0; 6,760409576\}$$
$$= 6,760409576$$
$$V_{1,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{40,76937252; 9,229404975\}$$
$$= 40,76937252$$
$$V_{0,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{88,0054285; 12,42004645\}$$
$$= 88,0054285$$

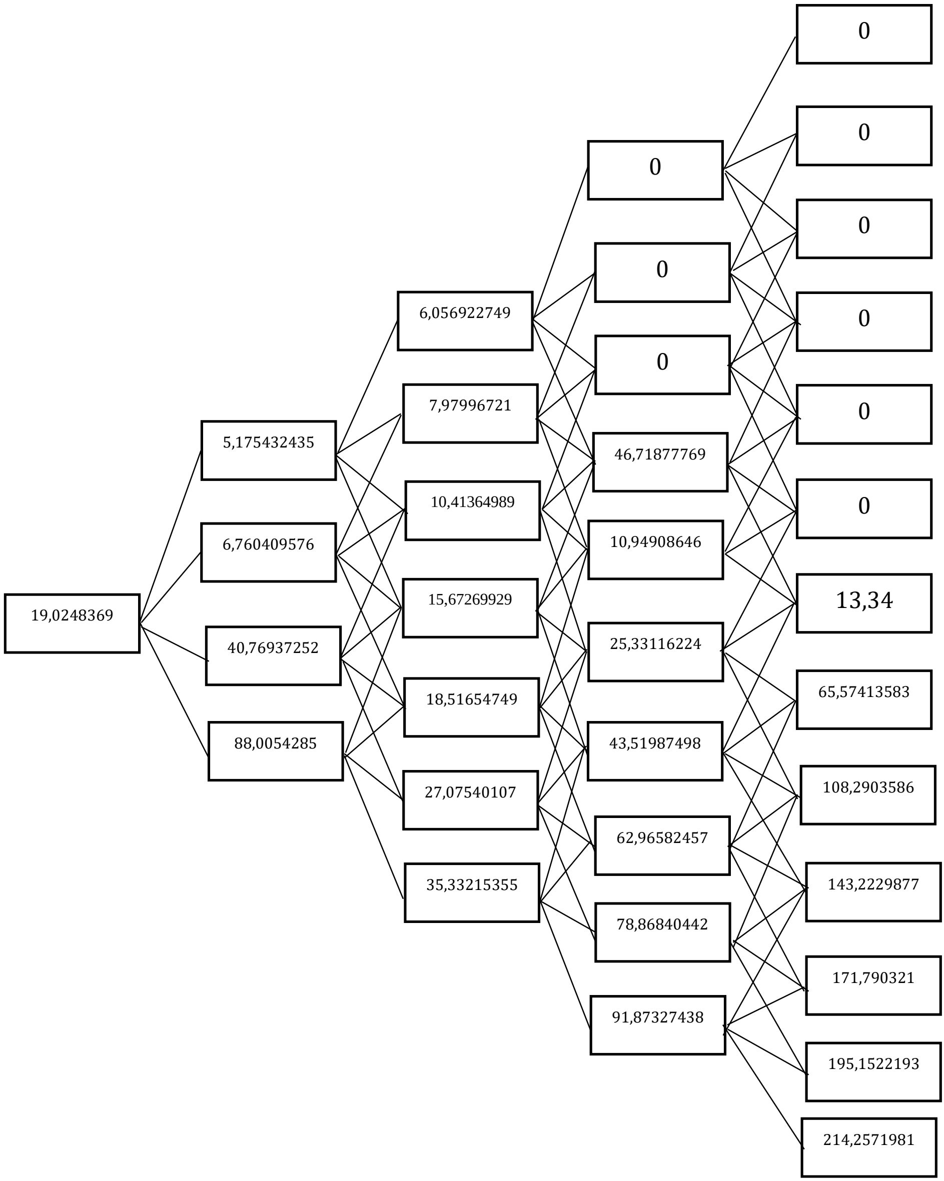
Nilai Opsi pada $t = 0$

Pada node 0, nilai opsi dicari dari rumus (persamaan 2.32)

$$\mathrm{E}\left[V\left(\ S_{0,0}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{3,1}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,1}, 2\right)$$
$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,1}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,1}, 4\right)$$
$$= ((0,110623796 \times 5,175432435) +$$

$$(0{,}119820363 \times 6{,}760409576) +$$
$$(0{,}129781475 \times 40{,}76937252) +$$
$$(0{,}140570691 \times 88{,}0054285))$$
$$= 19{,}04465389$$
$$V_{0,0} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(19{,}04465389)$$
$$= 19{,}0248369$$

Jadi, nilai opsi *put* Bermuda saham TSLA dengan $n = 4$ adalah 19,0248369 dan berikut adalah skema pohon multinomialnya.


19,0248369
5,175432435
6,760409576
40,76937252
88,0054285
6,056922749
7,97996721
10,41364989
15,67269929
18,51654749
27,07540107
35,33215355
0
0
0
46,71877769
10,94908646
25,33116224
43,51987498
62,96582457
78,86840442
91,87327438
0
0
0
0
0
0
13,34
65,57413583
108,2903586
143,2229877
171,790321
195,1522193
214,2571981

Gambar 4.6 Skema pohon multinomial opsi *put* Bermuda saham TSLA dengan $n = 4$

2. Saham MSFT

   Opsi Call Bermuda dengan n = 2

   Nilai opsi pada t = 2

   $V_{6,2}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{701{,}0925625 - 355, 0\}$

   $= 346{,}0925625$

   $V_{5,2}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{553{,}8545914 - 355, 0\}$

   $= 198{,}8545914$

   $V_{4,2}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{437{,}5383864 - 355, 0\}$

   $= 82{,}53838635$

   $V_{3,2}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{345{,}65 - 355, 0\} = 0$

   $V_{2,2}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{273{,}0592931 - 355, 0\} = 0$

   $V_{1,2}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{215{,}7135182 - 355, 0\} = 0$

   $V_{0,2}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{170{,}411054 - 355, 0\} = 0$

   Nilai opsi pada t = 1 (waktu eksekusi)

   Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

   $$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]}$$

   Payoff

   $V_{3,1}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\ (492{,}2729367 - 355, 0)$

   $= 137{,}2729367$

   $V_{2,1}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\ (388{,}8896286 - 355, 0)$

$$= 33{,}88962861$$

$V_{1,1}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\ (307{,}2180735 - 355, 0) = 0$

$V_{0,1}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\ (242{,}6985389 - 355, 0) = 0$

Rumus

$$P_{3,0} = \binom{3}{0}(0{,}479388275)^3 = 0{,}110169714$$

$$P_{3,1} = \binom{3}{1}\left((0{,}479388275)^2(1 - 0{,}479388275)\right)$$

$$= 0{,}119643404$$

$$P_{3,2} = \binom{3}{2}(0{,}479388275)(1 - 0{,}479388275)^2$$

$$= 0{,}129931753$$

$$P_{3,3} = \binom{3}{3}(1 - 0{,}479388275)^3 = 0{,}141104815$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{3,1}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{6,2}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right)$$

$$= ((0{,}110169714 \times 346{,}0925625) + (0{,}119643404 \times 198{,}8545914) + (0{,}129931753 \times 82{,}53838635) + (0{,}141104815 \times 0))$$

$$= 72{,}64491609$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{2,1,}, 2\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 5\right)$$

$$= ((0{,}110169714 \times 198{,}8545914) +$$

$$(0{,}119643404 \times 82{,}53838635) +$$

$$(0{,}129931753 \times 0) +$$

$$(0{,}141104815 \times 0))$$

$$= 31{,}78292699$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{1,1,},3\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{4,2},3\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{3,2},4\big)$$

$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{2,2},5\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{1,2},6\big)$$

$$= ((0{,}110169714 \times 82{,}5383863) +$$

$$(0{,}119643404 \times 0) +$$

$$(0{,}129931753 \times 0) +$$

$$(0{,}141104815 \times 0))$$

$$= 9{,}093230432$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{0,1,},4\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{3,2},4\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{2,2},5\big)$$

$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{1,2},6\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{0,2},7\big)$$

$$= ((0{,}110169714 \times 0) +$$

$$(0{,}119643404 \times 0) +$$

$$(0{,}129931753 \times 0) +$$

$$(0{,}141104815 \times 0))$$

$$= 0$$

$$V_{3,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(72{,}64491609)$$

$$= 72{,}49381281$$

$$V_{2,1} = e^{(-0{,}04750{,}043835616)}(31{,}78292699)$$

$$= 31{,}71681769$$

$$V_{1,1} = e^{(-0{,}04750{,}043835616)}(9{,}093230432)$$

$$= 9{,}07431628$$

$$V_{0,1} = e^{(-0{,}04750{,}043835616)}(0) = 0$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{3,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n,n)]\}$$

$$= \max\{137{,}2729367; 72{,}49381281\}$$

$$= 137{,}2729367$$

$$V_{2,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n,n)]\}$$

$$= \max\{33{,}88962861; 31{,}71681769\}$$

$$= 33{,}88962861$$

$$V_{1,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n,n)]\}$$

$$= \max\{0; 9{,}07431628\} = 9{,}07431628$$

$$V_{0,1} = \max\{Max(S(t_k) - K), e^{-r\Delta t}.E[S_n,n]\}$$

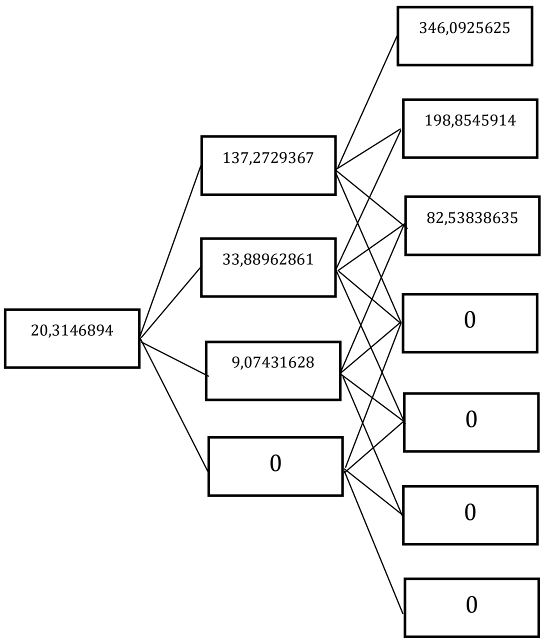
$$= \max\{0; 0\} = 0$$

Nilai opsi pada t = 0

$$\begin{aligned} \mathrm{E}\big[V\big(S_{0,0},1\big)\big] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{3,1},1\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{2,1},2\big) \\ &\quad + P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{1,1},3\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{0,1},4\big) \\ &= ((0{,}110169714 \times 137{,}2729367) + \\ &\quad (0{,}119643404 \times 33{,}88962861) + \\ &\quad (0{,}129931753 \times 9{,}07431628) + \\ &\quad (0{,}141104815 \times 0)) \end{aligned}$$

$$= 20{,}35703254$$

$$V_{0,0} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(20{,}35703254)$$
$$= 20{,}3146894$$



Gambar 4.7 Skema pohon multinomial opsi *call* Bermuda saham MSFT dengan $n = 2$

Nilai opsi *call* Bermuda dengan $n = 4$

Nilai opsi pada t = 4

$V_{12,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\}$ = max {939,7155553 – 355 , 0}

= 584,7155553

$V_{11,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 795,4320883 – 355 , 0}

= 440,4320883

$V_{10,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 673,3018343 – 355 , 0}

= 318,3018343

$V_{9,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 569,9233998 – 355 , 0}

= 214,9233998

$V_{8,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 482,4176396 – 355 , 0}

= 127,4176396

$V_{7,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 408,3474711 – 355 , 0}

= 53,34747109

$V_{6,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 345,65 – 355 , 0} = 0

$V_{5,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 292,579068 – 355 , 0} = 0

$V_{4,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 247,6566209 – 355 , 0} = 0

$V_{3,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 209,6315444 – 355 , 0} = 0

$V_{2,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 177,4448196 – 355 , 0} = 0

$V_{1,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 150,2000287 – 355 , 0} = 0

$V_{0,4}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 127,1383897– 355 , 0} =0

Nilai opsi pada t = 3 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}. E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{9,3}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 731,8236701 – 355, 0}

= 376,8236701

$V_{8,3}$ = max { $S_t - K, 0$} = max { 619,4598216 – 355, 0}

= 264,4598216

$V_{7,3}$ = max { $S_t - K, 0$} = max { 524,3482634 – 355, 0}

= 169,3482634

.

.

.

$V_{2,3}$ = max { $S_t - K, 0$} = max { 227,8522326– 355, 0} = 0

$V_{1,3}$ = max { $S_t - K, 0$} = max {192,8679122 – 355, 0} = 0

$V_{0,3}$ = max { $S_t - K, 0$} = max {163,2550673 – 355, 0} = 0

Rumus

$$P_{3,0} = \binom{3}{0}(0{,}485417243)^3 = 0{,}114378816$$

$$P_{3,1} = \binom{3}{1}\left((0{,}485417243)^2(1-0{,}485417243)\right)$$

$$= 0{,}121251083$$

$$P_{3,2} = \binom{3}{2}(0{,}485417243)(1-0{,}485417243)^2$$

$$= 0{,}12853626$$

$$P_{3,3} = \binom{3}{3}(1-0{,}485417243)^3 = 0{,}136259154$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{9,3},1\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{12,4},1\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{11,4},2\big)$$

$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{10,4},3\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{9,4},4\big)$$

$$= ((0{,}114378816 \times 584{,}7155553) +$$

$$(0{,}121251083 \times 440{,}4320883) +$$

$$(0{,}12853626 \times 318{,}3018343) +$$
$$(0{,}136259154 \times 214{,}9233998))$$
$$= 190{,}4805488$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\, S_{8,3}, 1\big)\big] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{11,4}, 2\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{10,4}, 3\big)$$
$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{9,4}, 4\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{8,4}, 5\big)$$
$$= ((0{,}114378816 \times 440{,}4320883) +$$
$$(0{,}121251083 \times 318{,}3018343) +$$
$$(0{,}12853626 \times 214{,}9233998) +$$
$$(0{,}136259154 \times 127{,}4176396))$$
$$= 133{,}9578129$$

.

.

.

$$\mathrm{E}\big[V\big(\, S_{0,3}, 1\big)\big] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{4,4}, 10\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,4}, 11\big)$$
$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{1,4}, 12\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{0,4}, 13\big)$$
$$= ((0{,}114378816 \times 0) +$$
$$(0{,}121251083 \times 0) +$$
$$(0{,}12853626 \times 0) +$$
$$(0{,}136259154 \times 0))$$
$$= 0$$

$$V_{9,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(190{,}4805488)$$
$$= 190{,}2823435$$

$$V_{8,3} = e^{(-0,0475)0,021917808}(133,9578129)$$
$$= 133,8184225$$

.

.

.

$$V_{0,3} = e^{(-0,0475)0,021917808}(0)$$
$$= 0$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{9,3} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{376,8236701; 190,2823435\}$$
$$= 376,8236701$$
$$V_{8,3} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{264,4598216; 133,8184225\}$$
$$= 264,4598216$$

.

.

.

$$V_{0,3} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{0; 0\} = 0$$

Nilai opsi pada t = 2

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{6,2}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{9,3}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{8,3}, 2\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{7,3}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{6,3}, 4\right)$$

$$= ((0{,}114378816 \times 376{,}8236701) +$$
$$(0{,}121251083 \times 264{,}4598216) +$$
$$(0{,}12853626 \times 169{,}3482634) +$$
$$(0{,}136259154 \times 88{,}84008737))$$
$$= 109{,}0393527$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{5,2,},1\big)\big] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{8,3},2\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{7,3},3\big)$$
$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{6,3},4\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{5,3},5\big)$$
$$= ((0{,}114378816 \times 264{,}4598216) +$$
$$(0{,}121251083 \times 169{,}3482634) +$$
$$(0{,}12853626 \times 88{,}84008737) +$$
$$(0{,}136259154 \times 20{,}69309733))$$
$$= 65{,}02105822$$

.

.

.

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{0,2,},1\big)\big] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,3},7\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,3},8\big)$$
$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{1,3},9\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{0,3},10\big)$$
$$= ((0{,}114378816 \times 0) +$$
$$(0{,}121251083 \times 0) +$$
$$(0{,}12853626 \times 0) +$$
$$(0{,}136259154 \times 0))$$
$$= 0$$

$$V_{6,2} = e^{(-0,0475)0,021917808}(109,6611089)$$
$$= 109,5470006$$
$$V_{5,2} = e^{(-0,0475)0,021917808}(65,58942329)$$
$$= 65,52117394$$

.

.

.

$$V_{0,2} = e^{(-0,0475)0,021917808}(0\ ) = 0$$

Nilai opsi pada t = 1 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{3,1}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 443,8400874 – 355, 0}

= 88,84008737

$V_{2,1}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 375,6930973 – 355, 0}

= 20,69309733

$V_{1,1}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 318,0093628 – 355, 0} = 0

$V_{0,1}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max {269,1823607 – 355, 0} = 0

Rumus:

$$\mathrm{E}\big[V\big(\ S_{3,1}, 1\big)\big] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{6,2}, 1\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{5,2}, 2\big) + P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{4,2}, 3\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big)$$

$$= ((0{,}114378816 \times 109{,}5470006) +$$
$$(0{,}121251083 \times 65{,}52117394) +$$
$$(0{,}12853626 \times 33{,}75436488) +$$
$$(0{,}136259154 \times 13{,}52664683))$$
$$= 26{,}65615883$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\, S_{2,1,}, 1\big)\big] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{5,2}, 2\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{4,2}, 3\big)$$
$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,2}, 5\big)$$
$$= ((0{,}114378816 \times 65{,}52117394) +$$
$$(0{,}121251083 \times 33{,}75436488) +$$
$$(0{,}12853626 \times 13{,}52664683) +$$
$$(0{,}136259154 \times 3{,}140102608))$$
$$= 13{,}75351994$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\, S_{1,1,}, 1\big)\big] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{4,2}, 3\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big)$$
$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,2}, 5\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{1,2}, 6\big)$$
$$= ((0{,}114378816 \times 33{,}75436488) +$$
$$(0{,}121251083 \times 13{,}52664683) +$$
$$(0{,}12853626 \times 3{,}140102608) +$$
$$(0{,}136259154 \times 0{,}696467326))$$
$$= 5{,}999421972$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\, S_{0,1,}, 1\big)\big] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,2}, 5\big)$$
$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{1,2}, 6\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{0,2}, 7\big)$$

$$= ((0{,}114378816 \times 0) +$$
$$(0{,}121251083 \times 0) +$$
$$(0{,}12853626 \times 0) +$$
$$(0{,}136259154 \times 0))$$
$$= 2{,}017424$$

$$V_{3,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(26{,}65615883)$$
$$= 26{,}62842166$$
$$V_{2,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(13{,}75351994)$$
$$= 13{,}73920866$$
$$V_{1,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(5{,}999421972)$$
$$= 5{,}993179249$$
$$V_{0,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(2{,}017424)$$
$$= 2{,}015324761$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{3,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{88{,}84008737; 26{,}62842166\}$$
$$= 88{,}84008737$$
$$V_{2,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{20{,}69309733; 13{,}73920866\}$$
$$= 20{,}69309733$$
$$V_{1,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$

$$= \max\{0; 5{,}993179249\}$$

$$= 5{,}993179249$$

$$V_{0,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}. E[V(S_n, n)]$$

$$= \max\{0; 2{,}015324761\}$$

$$= 2{,}015324761$$

Nilai Opsi pada $t = 0$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{0,0}, 1\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{3,1}, 1\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{2,1}, 2\big)$$

$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{1,1}, 3\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{0,1}, 4\big)$$

$$= ((0{,}114378816 \times 88{,}84008737) +$$

$$(0{,}121251083 \times 20{,}69309733) +$$

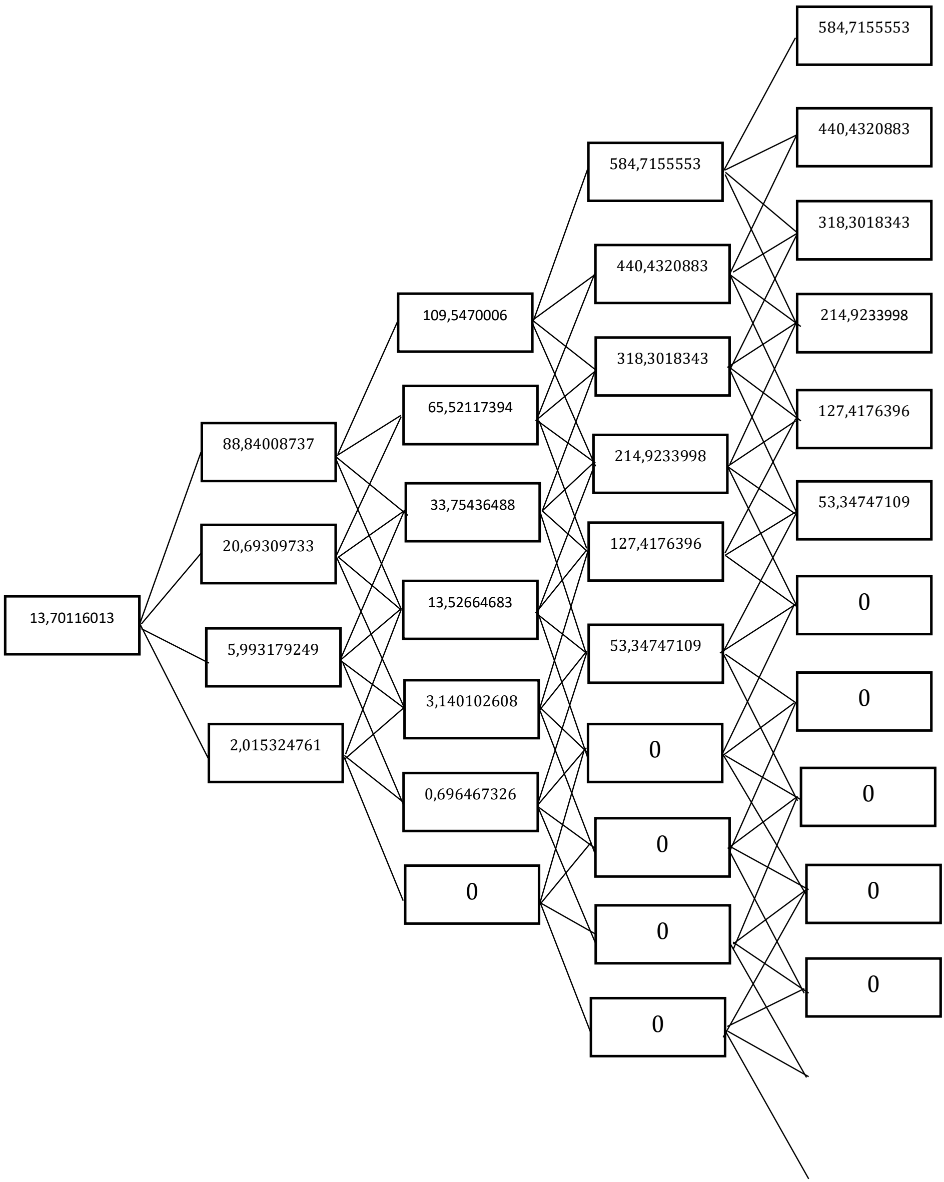
$$(0{,}12853626 \times 5{,}993179249) +$$

$$(0{,}136259154 \times 2{,}015324761))$$

$$= 13{,}71543178$$

$$V_{0,0} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(13{,}71543178)$$

$$= 13{,}70116013$$


13,70116013
88,84008737
20,69309733
5,993179249
2,015324761
109,5470006
65,52117394
33,75436488
13,52664683
3,140102608
0,696467326
0
584,7155553
440,4320883
318,3018343
214,9233998
127,4176396
53,34747109
0
0
0
0
584,7155553
440,4320883
318,3018343
214,9233998
127,4176396
53,34747109
0
0
0
0
0

0

0

Gambar 4.8 Skema pohon multinomial opsi *call* Bermuda saham MSFT dengan $n = 4$

Opsi *put* Bermuda dengan n = 2

Nilai opsi pada t = 2

$V_{6,2}$ = max $\{ K - S_t, 0\} =$ max $\{ 355 - 701{,}0925625{,}0\} = 0$

$V_{5,2}$ = max $\{ K - S_t, 0\} =$ max $\{355 - 553{,}8545914{,}0\} = 0$

$V_{4,2}$ = max $\{ K - S_t, 0\} =$ max $\{355 - 437{,}5383864{,}0\} = 0$

$V_{3,2}$ = max $\{ K - S_t, 0\} =$ max $\{355 - 345{,}65{,}0\} = 9{,}35$

$V_{2,2}$ = max $\{ K - S_t, 0\} =$ max $\{355 - 273{,}0592931{,}0\}$

$= 81{,}94070686$

$V_{1,2}$ = max $\{ K - S_t, 0\} =$ max$\{355 - 215{,}7135182{,}0\}$

$= 139{,}2864818$

$V_{0,2}$ = max $\{ K - S_t, 0\} =$ max $\{355 - 170{,}411054{,}0\}$

$= 184{,}588946$

Nilai opsi pada t = 1 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{3,1} = \max\{ K - S_t, 0\} = \max\{355 - 492{,}2729367{,}0 \} = 0$

$V_{2,1} = \max\{ K - S_t, 0\} = \max\{355 - 388{,}8896286{,}0 \} = 0$

$V_{1,1} = \max\{ K - S_t, 0\} = \max\{355 - 307{,}2180735{,}0 \}$

$= 47{,}78192652$

$V_{0,1} = \max\{ K - S_t, 0\} = \max\{355 - 242{,}6985389{,}0 \}$

$= 112{,}3014611$

Rumus

$$P_{3,0} = \binom{3}{0}(0{,}479388275)^3 = 0{,}110169714$$

$$P_{3,1} = \binom{3}{1}\left((0{,}479388275)^2(1 - 0{,}479388275)\right)$$

$$= 0{,}119643404$$

$$P_{3,2} = \binom{3}{2}(0{,}479388275)(1 - 0{,}479388275)^2$$

$$= 0{,}129931753$$

$$P_{3,3} = \binom{3}{3}(1 - 0{,}479388275)^3 = 0{,}141104815$$

$$\begin{aligned}\mathrm{E}\left[V\left(S_{3,1}, 1\right)\right] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{6,2}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right) \\ &\quad + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right) \\ &= ((0{,}110169714 \times 0) + \\ &\quad (0{,}119643404 \times 0) + \\ &\quad (0{,}129931753 \times 0) + \\ &\quad (0{,}141104815 \times 9{,}35))\end{aligned}$$

$$= 1{,}319330025$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{2,1,},2\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{5,2},2\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{4,2},3\big) + P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{3,2},4\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{3,2},5\big)$$

$$= ((0{,}110169714 \times 0) + (0{,}119643404 \times 0) + (0{,}129931753 \times 9{,}35) + (0{,}141104815 \times 81{,}94070686))$$

$$= 12{,}77709021$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{1,1,},3\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{4,2},3\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{3,2},4\big) + P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{2,2},5\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{1,2},6\big)$$

$$= ((0{,}110169714 \times 0) + (0{,}119643404 \times 9{,}35) + (0{,}129931753 \times 81{,}94070686) + (0{,}141104815 \times 139{,}2864818))$$

$$= 31{,}41935882$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{0,1,},4\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{3,2},4\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{2,2},5\big) + P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{1,2},6\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{0,2},7\big)$$

$$= ((0{,}110169714 \times 9{,}35) + (0{,}119643404 \times 81{,}94070686) + (0{,}129931753 \times 139{,}2864818) + (0{,}141104815 \times 184{,}588946))$$

$$= 54{,}97787782$$

$$V_{3,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(1{,}319330025)$$

$$= 1{,}316585785$$

$$V_{2,1} = e^{(-0{,}04750{,}043835616)}(12{,}77709021)$$

$$= 12{,}75051354$$

$$V_{1,1} = e^{(-0{,}04750{,}043835616)}(31{,}41935882)$$

$$= 31{,}35400575$$

$$V_{0,1} = e^{(-0{,}04750{,}043835616)}(54{,}97787782)$$

$$= 54{,}86352243$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{3,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{0; 1{,}316585785\}$$

$$= 1{,}316585785$$

$$V_{2,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{0; 12{,}75051354\}$$

$$= 12{,}75051354$$

$$V_{1,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{47{,}78192652; 31{,}35400575\}$$

$$= 47{,}78192652$$

$$V_{0,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

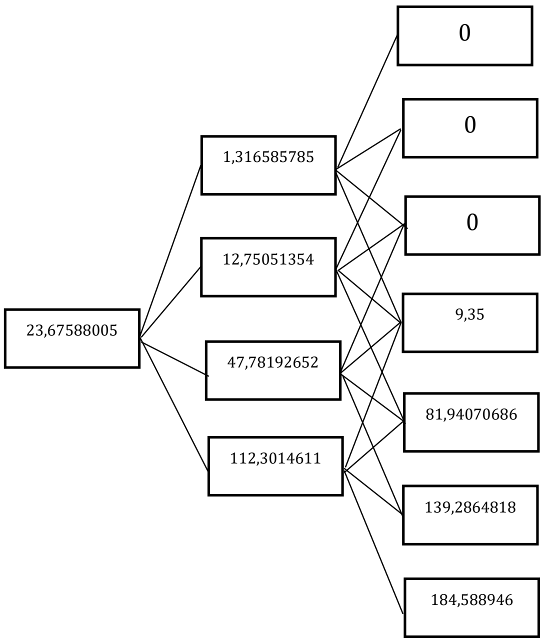
$$= \max\{112{,}3014611; 54{,}86352243\}$$

$$= 112{,}3014611$$

Nilai opsi pada t = 0

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{0,0},1\big)\big] &= P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,1},1\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,1},2\big)\\
&\quad + P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{1,1},3\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{0,1},4\big)\\
&= ((0{,}110169714 \times 1{,}316585785) +\\
&\quad (0{,}119643404 \times 12{,}75051354) +\\
&\quad (0{,}129931753 \times 47{,}78192652) +\\
&\quad (0{,}141104815 \times 112{,}3014611))\\
&= 23{,}72522913
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{0,0} &= e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(23{,}72522913)\\
&= 23{,}67588005
\end{aligned}$$



Gambar 4.10 Skema pohon Multinomial opsi *put* Bermuda saham MSFT dengan $n = 2$

Nilai opsi *put* n=4

Nilai opsi pada t = 4

$V_{12,4}$ = max { $K - S_t, 0\} =$ max $\{355 -$ $939{,}7155553, 0\} = 0$

$V_{11,4}$ = max { $K - S_t, 0\} =$ max $\{355 -$ $795{,}4320883, 0\} = 0$

$V_{10,4}$ = max { $K - S_t, 0\} =$ max $\{355 -$ $673{,}3018343\ , 0\} = 0$

$V_{9,4}$ = max { $K - S_t, 0\} =$ max $\{355 -$ $569{,}9233998, 0\} = 0$

$V_{8,4}$ = max { $K - S_t, 0\} =$ max $\{355 -$ $482{,}4176396\ , 0\} = 0$

$V_{7,4}$ = max { $K - S_t, 0\} =$ max $\{355 -$ $408{,}3474711\ , 0\} = 0$

$V_{6,4}$ = max { $K - S_t, 0\} =$ max $\{355 -$ $345{,}65, 0\} = 9{,}35$

$V_{5,4}$ = max { $K - S_t, 0\} =$ max$\{355 - 292{,}579068\ , 0\}$

$= 62{,}42093203$

$V_{4,4}$ = max { $K - S_t, 0\} =$ max$\{355 - 247{,}6566209\ , 0\}$

$= 107{,}3433791$

$V_{3,4}$ = max { $K - S_t, 0\} =$ max$\{355 - 209{,}6315444, 0\}$

$= 145{,}3684556$

$V_{2,4}$ = max { $K - S_t, 0\} =$ max$\{355 - 177{,}4448196, 0\}$

$= 177{,}5551804$

$V_{1,4}$ = max { $K - S_t, 0\}$ = max$\{355 - 150{,}2000287, 0\}$

$= 204{,}7999713$

$V_{0,4}$ = max { $K - S_t, 0\}$ = max$\{355 - 127{,}1383897\ , 0\}$

$= 227{,}8616103$

Nilai opsi pada t = 3 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}. E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{9,3}$ = max { $K - S_t, 0\}$ = max$\{355 - 731{,}8236701, 0\} = 0$

$V_{8,3}$ = max { $K - S_t, 0\}$ = max$\{355 - 619{,}4598216\ , 0\} = 0$

$V_{7,3}$ = max { $K - S_t, 0\}$ = max$\{355 - 524{,}3482634, 0\} = 0$

.

.

.

.

$V_{2,3}$ = max { $K - S_t, 0\}$ = max$\{355 - 227{,}8522326, 0\}$

$= 127{,}1477674$

$V_{1,3}$ = max { $K - S_t, 0\}$ = max$\{355 - 192{,}8679122, 0\}$

$= 162{,}1320878$

$V_{0,3}$ = max { $K - S_t, 0\}$ = max$\{355 - 163{,}2550673, 0\}$

$= 191{,}7449327$

Rumus

$$P_{3,0} = \binom{3}{0}(0{,}485417243)^3 = 0{,}114378816$$

$$P_{3,1} = \binom{3}{1}\left((0{,}485417243)^2(1-0{,}485417243)\right)$$

$$= 0{,}121251083$$

$$P_{3,2} = \binom{3}{2}(0{,}485417243)(1-0{,}485417243)^2$$

$$= 0{,}12853626$$

$$P_{3,3} = \binom{3}{3}(1-0{,}485417243)^3 = 0{,}136259154$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(\,S_{9,3},1\right)\right] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\left(S_{12,4},1\right) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\left(S_{11,4},2\right)$$

$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\left(S_{10,4},3\right) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\left(S_{9,4},4\right)$$

$$= ((0{,}114378816 \times 0) +$$

$$(0{,}121251083 \times 0) +$$

$$(0{,}12853626 \times 0) +$$

$$(0{,}136259154 \times 0))$$

$$= 0$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(\,S_{8,3},1\right)\right] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\left(S_{11,4},2\right) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\left(S_{10,4},3\right)$$

$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\left(S_{9,4},4\right) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\left(S_{8,4},5\right)$$

$$= ((0{,}114378816 \times 0) +$$

$$(0{,}121251083 \times 0) +$$

$$(0{,}12853626 \times 0) +$$

$$(0{,}136259154 \times 0))$$

$$= 0$$

.

.

.

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{0,3},1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{3,4},10\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,4},11\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,4},12\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,4},13\right)$$

$$= ((0{,}114378816 \times 145{,}3684556) + (0{,}121251083 \times 177{,}5551804) + (0{,}12853626 \times 204{,}7999713) + (0{,}136259154 \times 227{,}8616103))$$

$$= 95{,}52828247$$

$$V_{9,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(0) = 0$$

$$V_{8,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(0) = 0$$

.

.

.

$$V_{0,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(95{,}52828247)$$

$$= 95{,}42888012$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{9,3} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{0; 0\} = 0$$

$$V_{8,3} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{0; 0\} = 0$$

.

.

.

$$V_{0,3} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}. E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{191{,}7449327; 95{,}42888012\}$$
$$= 191{,}7449327$$

Nilai opsi pada t = 2

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{6,2}, 1\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{9,3}, 1\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{8,3}, 2\big) + P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{7,3}, 3\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{6,3}, 4\big)$$
$$= ((0{,}114378816 \times 0) + (0{,}121251083 \times 0) + (0{,}12853626 \times 0) + (0{,}136259154 \times 1{,}272697402))$$
$$= 0{,}163587764$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{5,2,}, 2\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{8,3}, 2\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{7,3}, 3\big) + P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{6,3}, 4\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{5,3}, 5\big)$$
$$= ((0{,}114378816 \times 0) + (0{,}121251083 \times 0) + (0{,}12853626 \times 1{,}272697402) + (0{,}136259154 \times 9{,}697136529))$$

$$= 1{,}419850332$$

.

.

.

$$\mathrm{E}\big[V\big(\ S_{0,2,},1\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{3,3},10\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{2,3},11\big) + P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{1,3},12\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{0,3},13\big)$$

$$= ((0{,}114378816 \times 85{,}81763928) + (0{,}121251083 \times 127{,}1477674) + (0{,}12853626 \times 162{,}1320878) + (0{,}136259154 \times 191{,}7449327))$$

$$= 71{,}97068217$$

$$V_{6,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808)}(0{,}163587764)$$

$$= 0{,}163417542$$

$$V_{5,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808)}(1{,}419850332)$$

$$= 1{,}418372901$$

.

.

.

$$V_{0,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(71{,}97068217)$$

$$= 71{,}89579278$$

Nilai opsi pada t = 1 (waktu eksekusi)

Opsi *put* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}. E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{3,1} = \max \{ K - S_t, 0\} = \max\{355 - 443{,}8400874, 0\} = 0$

$V_{2,1} = \max \{ K - S_t, 0\} = \max\{355 - 375{,}6930973, 0\} = 0$

$V_{1,1} = \max \{ K - S_t, 0\} = \max\{355 - 318{,}0093628 , 0\}$

$= 36{,}99063717$

$V_{0,1} = \max \{ K - S_t, 0\} = \max\{355 - 269{,}1823607, 0\}$

$= 85{,}81763928$

Rumus:

$$\begin{aligned}\mathrm{E}\big[V\big(S_{3,1}, 1\big)\big] &= P_{3,0}. \mathrm{V}\big(S_{6,2}, 1\big) + P_{3,1}. \mathrm{V}\big(S_{5,2}, 2\big) \\ &\quad + P_{3,2}. \mathrm{V}\big(S_{4,2}, 3\big) + P_{3,3}. \mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big) \\ &= ((0{,}114378816 \times 0{,}163417542) + \\ &\quad (0{,}121251083 \times 1{,}418372901) + \\ &\quad (0{,}12853626 \times 6{,}223794769) + \\ &\quad (0{,}136259154 \times 17{,}37425156)) \\ &= 3{,}354560643\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mathrm{E}\big[V\big(S_{2,1,}, 2\big)\big] &= P_{3,0}. \mathrm{V}\big(S_{5,2}, 2\big) + P_{3,1}. \mathrm{V}\big(S_{4,2}, 3\big) \\ &\quad + P_{3,2}. \mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big) + P_{3,3}. \mathrm{V}\big(S_{2,2}, 5\big) \\ &= ((0{,}114378816 \times 1{,}418372901) + \\ &\quad (0{,}121251083 \times 6{,}223794769) + \\ &\quad (0{,}12853626 \times 17{,}37425156) + \\ &\quad (0{,}136259154 \times 33{,}59584453))\end{aligned}$$

$$= 7{,}719795114$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{1,1,},3\big)\big] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{4,2},3\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,2},4\big) + P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,2},5\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{1,2},6\big)$$

$$= ((0{,}114378816 \times 6{,}223794769) + (0{,}121251083 \times 17{,}37425156) + (0{,}12853626 \times 33{,}59584453) + (0{,}136259154 \times 52{,}74638379))$$

$$= 14{,}30907407$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{0,1,},4\big)\big] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,2},4\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,2},5\big) + P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{1,2},6\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{0,2},7\big)$$

$$= ((0{,}114378816 \times 17{,}37425156) + (0{,}121251083 \times 33{,}59584453) + (0{,}12853626 \times 52{,}74638379) + (0{,}136259154 \times 71{,}89579278))$$

$$= 22{,}61350659$$

$$V_{3,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(3{,}358054881)$$

$$= 3{,}354560643$$

$$V_{2,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(7{,}727836346)$$

$$= 7{,}719795114$$

$$V_{1,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(14{,}32397895)$$

$$= 14{,}30907407$$

$$V_{0,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(22{,}63706168)$$

$= 22{,}61350659$

Membandingkan payoff dan rumus

$V_{3,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$

$= \max\{0; 3{,}354560643\}$

$= 3{,}354560643$

$V_{2,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$

$= \max\{0; 7{,}719795114\}$

$= 7{,}719795114$

$V_{1,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$

$= \max\{36{,}99063717; 14{,}30907407\}$

$= 36{,}99063717$

$V_{0,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$

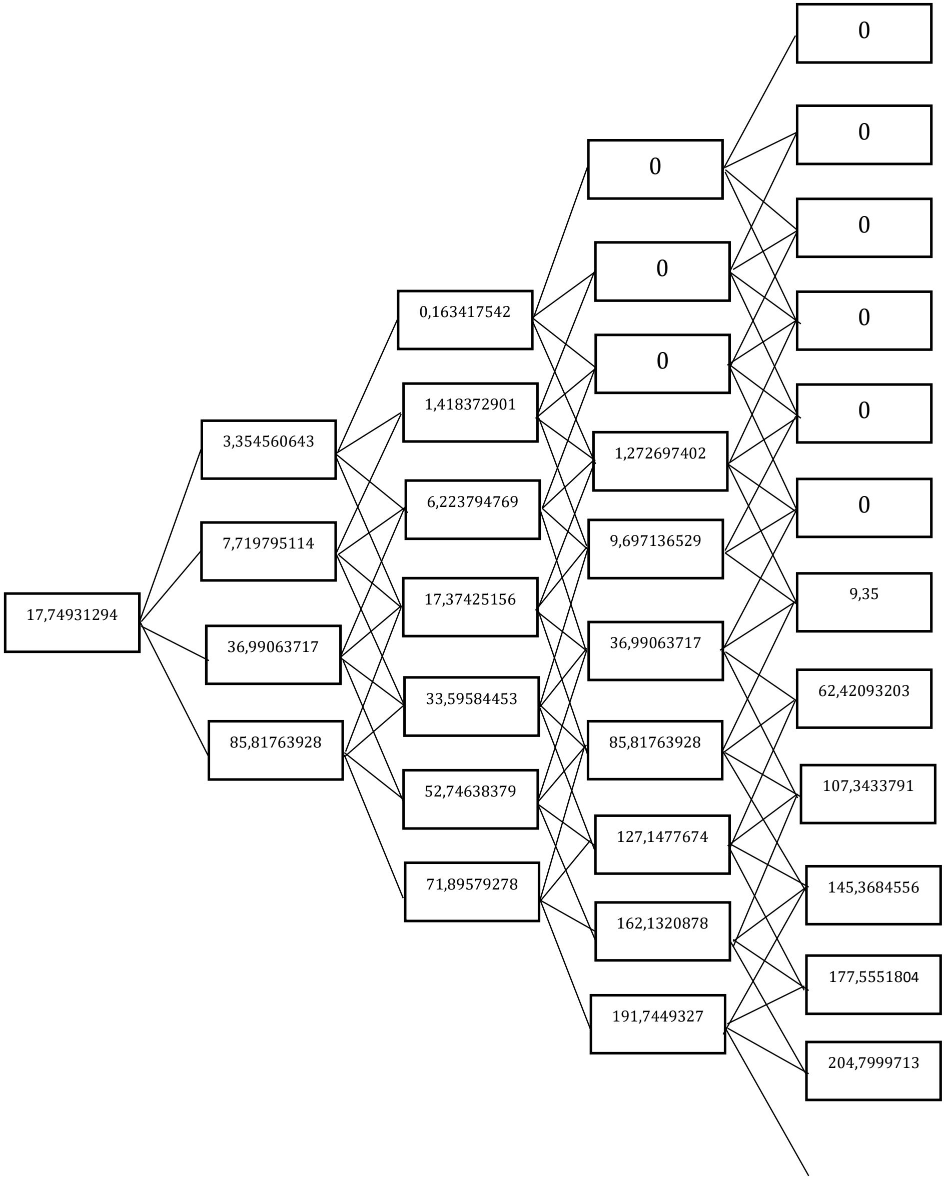
$= \max\{85{,}81763928; 22{,}61350659\}$

$= 85{,}81763928$

Nilai Opsi pada $t = 0$

$$\begin{aligned}\mathrm{E}\big[V\big(S_{0,0}, 1\big)\big] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{3,1}, 1\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{2,1}, 2\big) \\ &\quad + P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{1,1}, 3\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{0,1}, 4\big) \\ &= ((0{,}114378816 \times 3{,}354560643) + \\ &\quad (0{,}121251083 \times 7{,}719795114) + \\ &\quad (0{,}12853626 \times 36{,}99063717) + \\ &\quad (0{,}136259154 \times 85{,}81763928)) \\ &= 17{,}76780129\end{aligned}$$

$$V_{0,0} = e^{(-0,0475)0,021917808}(17,76780129)$$
$$= 17,74931294$$



227,8616103

Gambar 4.10 Skema pohon multinomial opsi *putl* Bermuda saham MSFT dengan $n = 4$

3. Saham AAPL

Opsi *Call* Bermuda dengan n = 2

Nilai opsi pada t = 2

$V_{6,2}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 1461,735627 – 200, 0}

= 1261,735627

$V_{5,2}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 743,7501434 – 200, 0}

= 543,7501434

$V_{4,2}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 378,4297691 – 200, 0}

=178,4297691

$V_{3,2}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 192,55 – 200, 0} = 0

$V_{2,2}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 97,97195023 – 200, 0} = 0

$V_{1,2}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 49,84940551 – 200, 0} = 0

$V_{0,2}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max { 25,3640274 – 200, 0} = 0

Nilai opsi pada t = 1 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{3,1}$ = max { $S_t - K, 0\}$ = max {530,5253953 – 200, 0}

$= 330{,}5253953$

$V_{2,1}$ = max $\{ S_t - K, 0\}$ = max {269,9382374 – 200, 0}

$= 69{,}93823745$

$V_{1,1}$ = max $\{ S_t - K, 0\}$ = max {137,3480943 – 200, 0} = 0

$V_{0,1}$ = max $\{ S_t - K, 0\}$ = max {69,88450097 – 200, 0} = 0

Rumus:

$$P_{3,0} = \binom{3}{0}(0{,}419361863)^3 = 0{,}073750811$$

$$P_{3,1} = \binom{3}{1}\left((0{,}419361863)^2(1 - 0{,}419361863)\right)$$

$$= 0{,}102113561$$

$$P_{3,2} = \binom{3}{2}(0{,}419361863)(1 - 0{,}419361863)^2$$

$$= 0{,}14138393$$

$$P_{3,3} = \binom{3}{3}(1 - 0{,}419361863)^3 = 0{,}195756717$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{3,1}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{6,2}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right)$$

$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right)$$

$$= ((0{,}073750811 \times 1261{,}735627) +$$

$$(0{,}102113561 \times 543{,}7501434) +$$

$$(0{,}14138393 \times 178{,}4297691) +$$

$$(0{,}195756717 \times 0))$$

$$= 173{,}8053907$$

$$
\begin{aligned}
\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{2,1,},2\big)\big] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{5,2},2\big)+P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{4,2},3\big)\\
&\quad +P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{3,2},4\big)+P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{3,2},5\big)\\
&= ((0{,}073750811\times 543{,}7501434)+\\
&\quad (0{,}102113561\times 178{,}4297691)+\\
&\quad (0{,}14138393\times 0)+\\
&\quad (0{,}195756717\times 0))\\
&= 58{,}32211299
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{1,1,},3\big)\big] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{4,2},3\big)+P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{3,2},4\big)\\
&\quad +P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{2,2},5\big)+P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{1,2},6\big)\\
&= ((0{,}073750811\times 178{,}4297691)+\\
&\quad (0{,}102113561\times 0)+\\
&\quad (0{,}14138393\times 0)+\\
&\quad (0{,}195756717\times 0))\\
&= 13{,}1593401
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{0,1,},4\big)\big] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{3,2},4\big)+P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{2,2},5\big)\\
&\quad +P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{1,2},6\big)+P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{0,2},7\big)\\
&= ((0{,}073750811\times 0)+\\
&\quad (0{,}102113561\times 0)+\\
&\quad (0{,}14138393\times 0)+\\
&\quad (0{,}195756717\times 0))\\
&= 0
\end{aligned}
$$

$$V_{3,1} = e^{(-0,0475)0,043835616}(173,8053907)$$
$$= 173,4438711$$
$$V_{2,1} = e^{(-0,0475)0,043835616}(58,32211299)$$
$$= 58,2008015$$
$$V_{1,1} = e^{(-0,0475)0,043835616}(13,1593401)$$
$$= 13,13196833$$
$$V_{0,1} = e^{(-0,0475)0,043835616}(0) = 0$$

Membandingkan payoff dan rumus

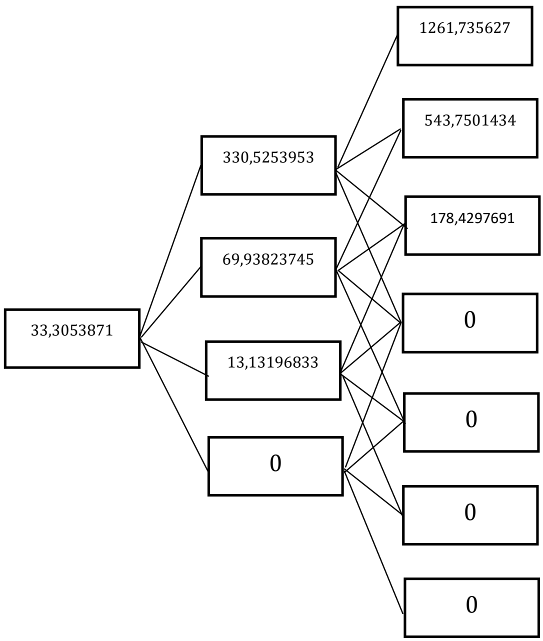
$$V_{3,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{330,5253953; 173,4438711\}$$
$$= 330,5253953$$
$$V_{2,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{69,93823745; 58,2008015\}$$
$$= 69,93823745$$
$$V_{1,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{0; 13,13196833\}$$
$$= 13,13196833$$
$$V_{0,1} = \max\{Max(S(t_k) - K), e^{-r\Delta t}\ .E[S_n, n]\}$$
$$= \max\{0; 0\} = 0$$

Nilai opsi pada t = 0

$$\mathrm{E}\big[V\big(\ S_{0,0}, 1\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{3,1}, 1\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{2,1}, 2\big)$$
$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{1,1}, 3\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{0,1}, 4\big)$$
$$= ((0,073750811 \times 330,5253953) +$$

$$
\begin{aligned}
&(0{,}102113561 \times 69{,}93823745) + \\
&(0{,}14138393 \times 13{,}13196833) + \\
&(0{,}195756717 \times 0)) \\
&= 33{,}3748076
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
V_{0,0} &= e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(33{,}3748076) \\
&= 33{,}30538714
\end{aligned}
$$



Gambar 4.11 Skema pohon multinomial opsi *call* Bermuda saham AAPL dengan $n = 2$

Nilai opsi *call* Bermuda n=4

Nilai opsi pada t = 4

$V_{12,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{3384{,}632456 \; - 200, 0\}$

$= 3184{,}632456$

$V_{11,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{2099{,}021318 - \; 200, 0\}$

$= 1899{,}021318$

$V_{10,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{1301{,}733807 - \; 200, 0\}$

$= 1101{,}733807$

$V_{9,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{807{,}2861819 - \; 200, 0\}$

$= 607{,}2861819$

$V_{8,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{500{,}6484242 - \; 200, 0\}$

$= 300{,}6484242$

$V_{7,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{310{,}4832589 - \; 200, 0\}$

$= \; 110{,}4832589$

$V_{6,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{192{,}55 - \; 200, 0\} = \; 0$

$V_{5,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{119{,}4122434 - \; 200, 0\} = \; 0$

$V_{4,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{74{,}05496694 - \; 200, 0\} = \; 0$

$V_{3,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{45{,}92609577 - \; 200, 0\} = 0$

$V_{2,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{28{,}48163141 - \; 200, 0\} = 0$

$V_{1,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{17{,}66323295 - \; 200, 0\} = \; 0$

$V_{0,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{10{,}95407049 - \; 200, 0\} = \; 0$

Nilai opsi pada t = 3 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k)} = \mathbf{max}\{\boldsymbol{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}. E}[\boldsymbol{V(S_n, n)}]$$

Payoff

$V_{9,3}$ = max $\{ S_t - K, 0\}$ = max $\{1652{,}9873 - \ 200, 0\}$

$= \ 1452{,}9873$

$V_{8,3}$ = max $\{ S_t - K, 0\}$ = max $\{1025{,}120342 - \ 200, 0\}$

$= \ 825{,}1203418$

$V_{7,3}$ = max $\{ S_t - K, 0\}$ = max $\{635{,}7409494 - \ 200, 0\}$

$= 435{,}7409494$

.

.

.

$V_{2,3}$ = max $\{ S_t - K, 0\}$ = max $\{58{,}31856912 - \ 200, 0\} = \ 0$

$V_{1,3}$ = max $\{ S_t - K, 0\}$ = max $\{36{,}16697571 - \ 200, 0\} = \ 0$

$V_{0,3}$ = max $\{ S_t - K, 0\}$ = max $\{22{,}42939344 - \ 200, 0\} = 0$

Rumus

$$P_{3,0} = \binom{3}{0} (0{,}485417243)^3 = 0{,}114378816$$

$$P_{3,1} = \binom{3}{1} \left((0{,}485417243)^2 (1 - 0{,}485417243)\right)$$

$$= 0{,}121251083$$

$$P_{3,2} = \binom{3}{2} (0{,}485417243)(1 - 0{,}485417243)^2$$

$$= 0{,}12853626$$

$$P_{3,3} = \binom{3}{3}(1 - 0{,}485417243)^3 = 0{,}136259154$$

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\big[V(\,S_{9,3},1)\big] &= P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{12,4},1\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{11,4},2\big) \\
&\quad + P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{10,4},3\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{9,4},4\big) \\
&= ((0{,}086773695 \times 3184{,}632456) + \\
&\quad (0{,}109227503 \times 1899{,}021318) + \\
&\quad (0{,}137491524 \times 1101{,}733807) + \\
&\quad (0{,}173069223 \times 607{,}2861819)) \\
&= 740{,}3492895
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\big[V(\,S_{8,3},1)\big] &= P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{11,4},2\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{10,4},3\big) \\
&\quad + P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{9,4},4\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{8,4},5\big) \\
&= ((0{,}086773695 \times 1899{,}021318) + \\
&\quad (0{,}109227503 \times 1101{,}733807) + \\
&\quad (0{,}137491524 \times 607{,}2861819) + \\
&\quad (0{,}173069223 \times 300{,}6484242)) \\
&= 420{,}6544209
\end{aligned}$$

.

.

.

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\big[V(\,S_{0,3},1)\big] &= P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{4,4},10\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,4},11\big) \\
&\quad + P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{1,4},12\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{0,4},13\big) \\
&= ((0{,}086773695 \times 0) +
\end{aligned}$$

$$(0{,}109227503 \times 0) +$$

$$(0{,}137491524 \times 0) +$$

$$(0{,}173069223 \times 0))$$

$$= 0$$

$$V_{9,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(740{,}3492895)$$

$$= 739{,}578916$$

$$V_{8,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(420{,}6544209)$$

$$= 420{,}2167072$$

.

.

.

$$V_{0,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(0)$$

$$= 0$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{9,3} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{1452{,}9873; 739{,}578916\}$$

$$= 1452{,}9873$$

$$V_{8,3} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{825{,}1203418; 420{,}2167072\}$$

$$= 825{,}1203418$$

.

.

.

$$V_{0,3} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{0; 0\} = 0$$

Nilai opsi pada t = 2

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{6,2}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{9,3}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{8,3}, 2\right)$$
$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{7,3}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{6,3}, 4\right)$$
$$= ((0{,}086773695 \times 1452{,}9873) +$$
$$(0{,}109227503 \times 825{,}1203418) +$$
$$(0{,}137491524 \times 435{,}7409494) +$$
$$(0{,}173069223 \times 194{,}2625449))$$
$$= 318{,}3297121$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{5,2,}, 2\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{8,3}, 2\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{7,3}, 3\right)$$
$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{6,3}, 4\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{5,3}, 5\right)$$
$$= ((0{,}086773695 \times 825{,}1203418) +$$
$$(0{,}109227503 \times 435{,}7409494) +$$
$$(0{,}137491524 \times 194{,}2625449) +$$
$$(0{,}173069223 \times 44{,}50675145))$$
$$= 158{,}9338054$$

.

.

.

$$
\begin{aligned}
\mathrm{E}\left[V\left(S_{0,2,},1\right)\right] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{3,3},7\right)+P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,3},8\right)\\
&\quad +P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,3},9\right)+P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,3},10\right)\\
&= ((0{,}086773695\times 0)+\\
&\quad (0{,}109227503\times 0)+\\
&\quad (0{,}137491524\times 0)+\\
&\quad (0{,}173069223\times 0))\\
&= 0
\end{aligned}
$$

$$V_{6,2}=e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(318{,}3297121)$$

$$=317{,}9984728$$

$$V_{5,2}=e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(158{,}9338054)$$

$$=158{,}7684262$$

.

.

.

$$V_{0,2}=e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(0\ )=0$$

Nilai opsi pada t = 1 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k)=\max\{S(t_k)-K,e^{-r\Delta t}.E[V(S_n,n)]}$$

Payoff

$V_{3,1}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max \{394{,}2625449 - 200, 0\}$

$= 194{,}2625449$

$V_{2,1}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max \{244{,}5067515 - 200, 0\}$

$= 44{,}50675145$

$V_{1,1}$ = max $\{ S_t - K, 0 = \max\{151{,}6338599 - 200,\ 0\} = 0$

$V_{0,1}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max \{94{,}03759748 - 200, 0\} = 0$

Rumus:

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\left[V\left(S_{3,1}, 1\right)\right] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{6,2}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right) \\
&\quad + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right) \\
&= ((0{,}086773695 \times 317{,}9984728) + \\
&\quad (0{,}109227503 \times 158{,}7684262) + \\
&\quad (0{,}137491524 \times 67{,}97837013) + \\
&\quad (0{,}173069223 \times 23{,}35141152)) \\
&= 58{,}32364153
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\left[V\left(S_{2,1,}, 2\right)\right] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) \\
&\quad + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{2,2}, 5\right) \\
&= ((0{,}086773695 \times 158{,}7684262) + \\
&\quad (0{,}109227503 \times 67{,}97837013) + \\
&\quad (0{,}137491524 \times 23{,}35141152) + \\
&\quad (0{,}173069223 \times 4{,}902986991)) \\
&= 25{,}26120789
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\left[V\left(\,S_{1,1,},3\right)\right] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{4,2},3\right)+P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{3,2},4\right)\\
&\quad +P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{2,2},5\right)+P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{1,2},6\right)\\
&= ((0{,}086773695\times 67{,}97837013)+\\
&\quad (0{,}109227503\times 23{,}35141152)+\\
&\quad (0{,}137491524\times 4{,}902986991)+\\
&\quad (0{,}173069223\times 0{,}830172551))\\
&= 9{,}267147182
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\left[V\left(\,S_{0,1,},4\right)\right] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{3,2},4\right)+P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,2},5\right)\\
&\quad +P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,2},6\right)+P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,2},7\right)\\
&= ((0{,}086773695\times 23{,}35141152)+\\
&\quad (0{,}109227503\times 4{,}902986991)+\\
&\quad (0{,}137491524\times 0{,}830172551)+\\
&\quad (0{,}173069223\times 0))\\
&= 2{,}675970969
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{3,1} &= e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(58{,}32364153)\\
&= 58{,}26295263
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{2,1} &= e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(25{,}26120789)\\
&= 25{,}23492223
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{1,1} &= e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(9{,}267147182)\\
&= 9{,}257504214
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{0,1} &= e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(2{,}675970969)\\
&= 2{,}673186477
\end{aligned}$$

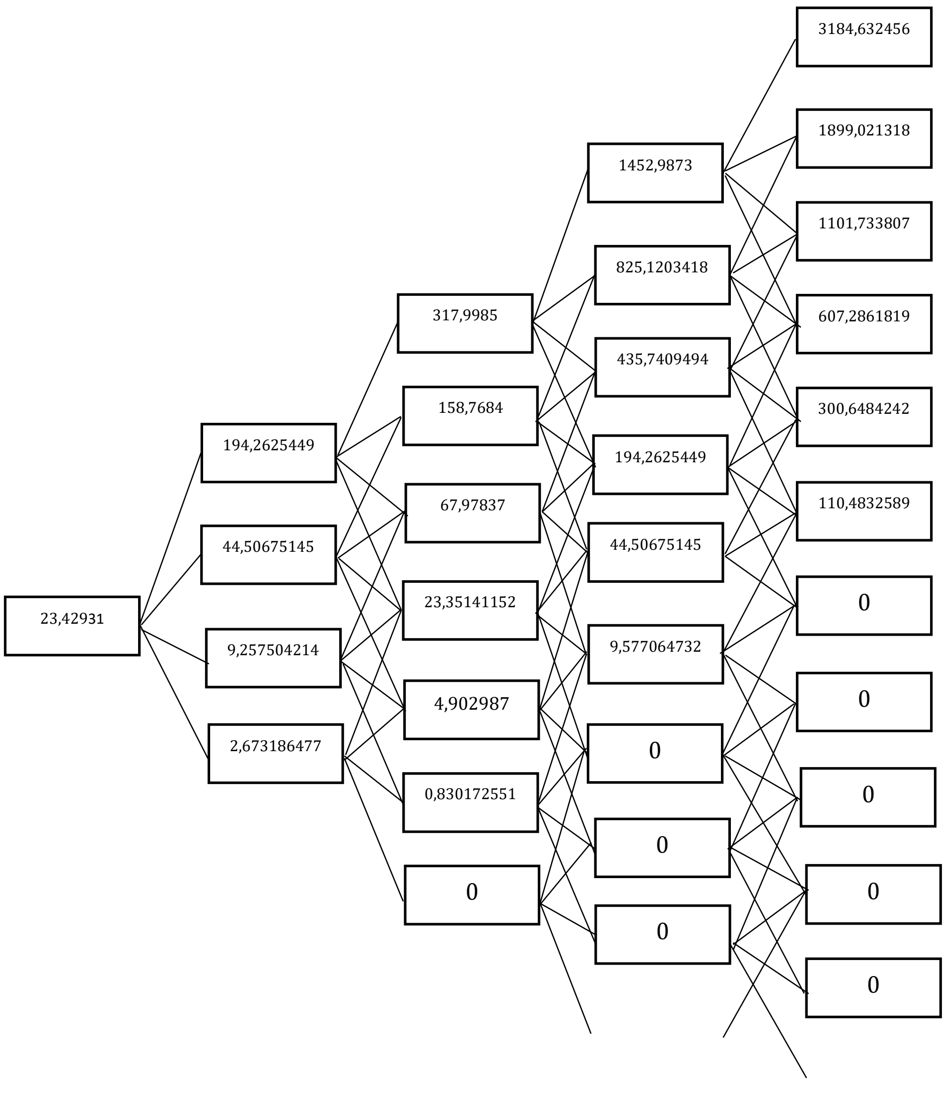
Membandingkan payoff dan rumus

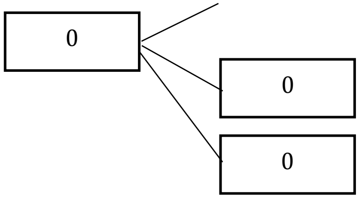
$$V_{3,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{194{,}2625449; 58{,}26295263\}$$
$$= 194{,}2625449$$
$$V_{2,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{44{,}50675145; 25{,}23492223\}$$
$$= 44{,}50675145$$
$$V_{1,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{0; 9{,}257504214\}$$
$$= 9{,}257504214$$
$$V_{0,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{0; 2{,}673186477\}$$
$$= 2{,}673186477$$

Nilai Opsi pada $t = 0$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{0,0}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{3,1}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,1}, 2\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,1}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,1}, 4\right)$$
$$= ((0{,}086773695 \times 194{,}2625449) + (0{,}109227503 \times 44{,}50675145) + (0{,}137491524 \times 9{,}257504214) + (0{,}173069223 \times 2{,}673186477))$$
$$= 23{,}45371476$$
$$V_{0,0} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(23{,}45371476)$$

$$= 23{,}4293099$$


3184,632456
1899,021318
1452,9873
1101,733807
825,1203418
317,9985
607,2861819
435,7409494
158,7684
300,6484242
194,2625449
194,2625449
67,97837
110,4832589
44,50675145
44,50675145
23,42931
23,35141152
0
9,257504214
9,577064732
4,902987
0
2,673186477
0
0
0,830172551
0
0
0
0
0
0



Gambar 4.12 Skema pohon multinomial opsi *call* Bermuda saham AAPL dengan $n = 4$

Opsi *Put* Bermuda dengan n = 2

Nilai opsi pada t = 2

$V_{6,2}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = $ max $\{ 315 \ - 635{,}4605824, 0\} = 0$

$V_{5,2}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = $ max $\{ 315 \ - 499{,}6759852, 0\} = 0$

$V_{4,2}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = $ max $\{ 315 \ - 392{,}9057083, 0\} = 0$

$V_{3,2}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = $ max $\{ 315 \ - 308{,}95, 0\} = 6{,}05$

$V_{2,2}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = $ max$\{ 315 \ - 242{,}9338655, 0\}$

$= 72{,}06613451$

$V_{1,2}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = $ max$\{ 315 \ - 191{,}0239942, 0\}$

$= 123{,}9760058$

$V_{0,2}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = $ max$\{ 315 \ - 150{,}2061735, 0\}$

$= 164{,}7938265$

Nilai opsi pada t = 1 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \mathbf{max}\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$$V_{3,1} = \max\{K - S_t, 0\} = \max\{315 - 443{,}0863876, 0\} = 0$$

$$V_{2,1} = \max\{K - S_t, 0\} = \max\{315 - 348{,}4081207, 0\} = 0$$

$$V_{1,1} = \max\{K - S_t, 0\} = \max\{315 - 273{,}9606135, 0\}$$
$$= 41{,}03938651$$

$$V_{0,1} = \max\{K - S_t, 0\} = \max\{315 - 215{,}4209769, 0\}$$
$$= 99{,}57902305$$

Rumus:

$$P_{3,0} = \binom{3}{0}(0{,}419361863)^3 = 0{,}073750811$$

$$P_{3,1} = \binom{3}{1}\left((0{,}419361863)^2(1 - 0{,}419361863)\right)$$
$$= 0{,}102113561$$

$$P_{3,2} = \binom{3}{2}(0{,}419361863)(1 - 0{,}419361863)^2$$
$$= 0{,}14138393$$

$$P_{3,3} = \binom{3}{3}(1 - 0{,}419361863)^3 = 0{,}195756717$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{3,1}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{6,2}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right)$$
$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right)$$
$$= ((0{,}073750811 \times 0) +$$
$$(0{,}102113561 \times 0) +$$
$$(0{,}14138393 \times 0) +$$
$$(0{,}195756717 \times 7{,}45))$$

$$= 1{,}458387542$$

$$E\left[V\left(\ S_{2,1,},2\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{5,2},2\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{4,2},3\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{3,2},4\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{2,2},5\right)$$

$$= ((0{,}073750811 \times 0) + (0{,}102113561 \times 0) + (0{,}14138393 \times 7{,}45) + (0{,}195756717 \times 102{,}0280498))$$

$$= 21{,}02598634$$

$$E\left[V\left(\ S_{1,1,},3\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{4,2},3\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{3,2},4\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{2,2},5\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{1,2},6\right)$$

$$= ((0{,}073750811 \times 0) + (0{,}102113561 \times 7{,}45) + (0{,}14138393 \times 102{,}0280498) + (0{,}195756717 \times 150{,}1505945))$$

$$= 44{,}57886006$$

$$E\left[V\left(\ S_{0,1,},4\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{3,2},4\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,2},5\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,2},6\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,2},7\right)$$

$$= ((0{,}073750811 \times 7{,}45) + (0{,}102113561 \times 102{,}0280498) + (0{,}14138393 \times 150{,}1505945) + (0{,}195756717 \times))$$

$$= 66{,}38293679$$

$$V_{3,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(1{,}458387542)$$
$$= 1{,}455354058$$
$$V_{2,1} = e^{(-0{,}04750{,}043835616)}(\ 21{,}02598634)$$
$$= 20{,}98225175$$
$$V_{1,1} = e^{(-0{,}04750{,}043835616)}(44{,}57886006)$$
$$= 44{,}4861349$$
$$V_{0,1} = e^{(-0{,}04750{,}043835616)}(66{,}38293679)$$
$$= 44{,}57886006$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{3,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{0; 1{,}455354058\}$$
$$= 1{,}455354058$$
$$V_{2,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{0; 20{,}98225175\}$$
$$= 20{,}98225175$$
$$V_{1,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{62{,}65190567; 44{,}4861349\}$$
$$= 62{,}65190567$$
$$V_{0,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{130{,}115499; 66{,}24485859\}$$
$$= 130{,}115499$$

Nilai opsi pada t = 0

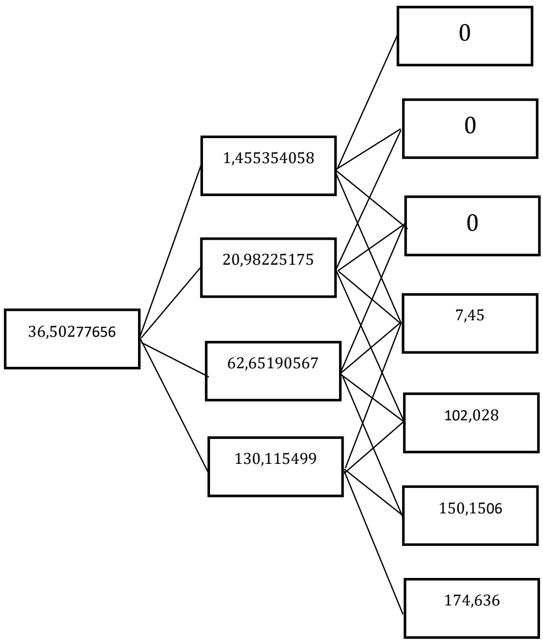
$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{0,0},1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{3,1},1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,1},2\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,1},3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,1},4\right)$$

$$= ((0{,}073750811 \times 1{,}455354058) + (0{,}102113561 \times 20{,}98225175) + (0{,}14138393 \times 62{,}65190567) + (0{,}195756717 \times 130{,}115499))$$

$$= 36{,}57886153$$

$$V_{0,0} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(36{,}57886153)$$

$$= 36{,}50277656$$



Gambar 4.13 Skema pohon multinomial opsi *put* Bermuda saham AAPL dengan $n = 2$

Nilai opsi *put* Bermuda $n = 4$

Nilai opsi pada t = 4

$V_{12,4}$ = max $\{K - S_t, 0\} = \max\{200 - 3384{,}632456, 0\} = 0$

$V_{11,4}$ = max $\{K - S_t, 0\} = \max\{200 - 2099{,}021318, 0\} = 0$

$V_{10,4}$ = max $\{K - S_t, 0\} = \max\{200 - 1301{,}733807, 0\} = 0$

$V_{9,4}$ = max $\{K - S_t, 0\} = \max\{200 - 807{,}2861819, 0\} = 0$

$V_{8,4}$ = max $\{K - S_t, 0\} = \max\{200 - 500{,}6484242, 0\} = 0$

$V_{7,4}$ = max $\{K - S_t, 0\} = \max\{200 - 310{,}4832589, 0\} = 0$

$V_{6,4}$ = max $\{K - S_t, 0\} = \max\{200 - 192{,}55, 0\} = 7{,}45$

$V_{5,4}$ = max $\{K - S_t, 0\} = \max\{200 - 119{,}4122434, 0\}$

$= 80{,}58775656$

$V_{4,4}$ = max $\{K - S_t, 0\} = \max\{200 - 74{,}05496694, 0\}$

$= 125{,}9450331$

$V_{3,4}$ = max $\{K - S_t, 0\} = \max\{200 - 45{,}92609577, 0\}$

$= 154{,}0739042$

$V_{2,4}$ = max $\{K - S_t, 0\} = \max\{200 - 28{,}48163141, 0\}$

$= 171{,}5183686$

$V_{1,4}$ = max $\{K - S_t, 0\} = \max\{200 - 17{,}66323295, 0\}$

$= 182{,}3367671$

$V_{0,4}$ = max { $K - S_t, 0\} = \max\{200\ - 10{,}95407049, 0\}$

$= 189{,}0459295$

Nilai opsi pada t = 3 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}. E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{9,3}$ = max { $K - S_t, 0\} = \max\{200\ -\ 1652{,}9873, 0\} = 0$

$V_{8,3}$ = max { $K - S_t, 0\} = \max\{200 -\ 025{,}120342\ 0\} = 0$

$V_{7,3}$ = max { $K - S_t, 0\} = \max\{200\ - 635{,}7409494\ , 0\} = 0$

.

.

.

$V_{2,3}$ = max { $K - S_t, 0\} = \max\{200\ - 58{,}31856912, 0\}$

$= 141{,}6814309$

$V_{1,3}$ = max { $K - S_t, 0\} = \max\{200\ -\ 36{,}16697571, 0\}$

$= 163{,}8330243$

$V_{0,3}$ = max { $K - S_t, 0\} = \max\{200\ - 22{,}42939344\ \ , 0\}$

$= 177{,}5706066$

Rumus

$$P_{3,0} = \binom{3}{0}(0{,}442720225)^3 = 0{,}086773695$$

$$P_{3,1} = \binom{3}{1}\left((0{,}442720225)^2(1 - 0{,}442720225)\right)$$

$$= 0{,}109227503$$

$$P_{3,2} = \binom{3}{2}(0{,}442720225)(1 - 0{,}442720225)^2$$
$$= 0{,}137491524$$
$$P_{3,3} = \binom{3}{3}(1 - 0{,}442720225)^3 = 0{,}173069223$$

$$\begin{aligned}\mathrm{E}\big[V\big(S_{9,3}, 1\big)\big] &= P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{12,4}, 1\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{11,4}, 2\big) \\ &\quad + P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{10,4}, 3\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{9,4}, 4\big) \\ &= ((0{,}086773695 \times 0) + \\ &\quad (0{,}109227503 \times 0) + \\ &\quad (0{,}137491524 \times 0) + \\ &\quad (0{,}173069223 \times 0)) \\ &= 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mathrm{E}\big[V\big(S_{8,3}, 2\big)\big] &= P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{11,4}, 2\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{10,4}, 3\big) \\ &\quad + P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{9,4}, 4\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{8,4}, 5\big) \\ &= ((0{,}086773695 \times 0) + \\ &\quad (0{,}109227503 \times 0) + \\ &\quad (0{,}137491524 \times 0) + \\ &\quad (0{,}173069223 \times 0)) \\ &= 0\end{aligned}$$

.

.

.

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{0,3},1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{3,4},10\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,4},11\right)$$
$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,4},12\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,4},13\right)$$
$$= ((0{,}086773695 \times 154{,}0739042) +$$
$$(0{,}109227503 \times 171{,}5183686) +$$
$$(0{,}137491524 \times 182{,}3367671) +$$
$$(0{,}173069223 \times 189{,}0459295))$$
$$= 89{,}89187724$$

$$V_{9,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(0) = 0$$
$$V_{8,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(0) = 0$$

.

.

.

$$V_{0,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808)}(89{,}89187724)$$
$$= 89{,}79833988$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{9,3} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n,n)]\}$$
$$= \max\{0; 0\} = 0$$
$$V_{8,3} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n,n)]\}$$
$$= \max\{0; 0\} = 0$$

.

.

.

$$V_{0,3} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{177{,}5706066; 89{,}79833988\}$$
$$= 177{,}5706066$$

Nilai opsi pada t = 2

$$\mathrm{E}\left[V\left(\, S_{6,2}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\left(S_{9,3}, 1\right) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\left(S_{8,3}, 2\right)$$
$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\left(S_{7,3}, 3\right) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\left(S_{6,3}, 4\right)$$
$$= ((0{,}086773695 \times 0) +$$
$$(0{,}109227503 \times 0) +$$
$$(0{,}137491524 \times 0) +$$
$$(0{,}173069223 \times 1{,}288024057))$$
$$= 0{,}177092391$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(\, S_{5,2,}, 2\right)\right] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\left(S_{8,3}, 2\right) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\left(S_{7,3}, 3\right)$$
$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\left(S_{6,3}, 4\right) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\left(S_{5,3}, 5\right)$$
$$= ((0{,}086773695 \times 0) +$$
$$(0{,}109227503 \times 0) +$$
$$(0{,}137491524 \times 1{,}288024057) +$$
$$(0{,}173069223 \times 14{,}95599354))$$
$$= 2{,}279239668$$

.

.

.

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{0,2,},1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{3,3},10\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,3},11\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,3},12\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,3},13\right)$$

$$= ((0{,}086773695 \times 105{,}9624025) + (0{,}109227503 \times 141{,}6814309) + (0{,}137491524 \times 163{,}8330243) + (0{,}173069223 \times 177{,}5706066))$$

$$= 77{,}92791725$$

$$V_{6,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(0{,}177092391)$$

$$= 0{,}176908116$$

$$V_{5,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(2{,}279239668)$$

$$= 2{,}276867996$$

.

.

.

$$V_{0,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(77{,}43916568)$$

$$= 77{,}35858604$$

Nilai opsi pada t = 1 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{3,1}$ = max { $K - S_t, 0\} = \max\{200 - 394{,}2625449, 0\} = 0$

$V_{2,1}$ = max { $K - S_t, 0\} = \max\{200 - 244{,}5067515, 0\} = 0$

$V_{1,1}$ = max { $K - S_t, 0 = \max\{151{,}6338599 - 200,\ 0\}$

$= \ 48{,}36614008$

$V_{0,1}$ = max { $K - S_t, 0\} = \max\{94{,}03759748 - 200, 0\}$

$= 105{,}9624025$

Rumus:

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{3,1}, 1\big)\big] &= P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{6,2}, 1\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{5,2}, 2\big) \\
&\quad + P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{4,2}, 3\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big) \\
&= ((0{,}086773695 \times 0) + \\
&\quad (0{,}109227503 \times 0) + \\
&\quad (0{,}137491524 \times 0) + \\
&\quad (0{,}173069223 \times 7{,}45)) \\
&= 1{,}289365712
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{2,1,}, 2\big)\big] &= P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{5,2}, 2\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{4,2}, 3\big) \\
&\quad + P_{,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,2}, 5\big) \\
&= ((0{,}086773695 \times 0) + \\
&\quad (0{,}109227503 \times 0) + \\
&\quad (0{,}137491524 \times 7{,}45) + \\
&\quad (0{,}173069223 \times 80{,}58775656)) \\
&= 14{,}97157227
\end{aligned}$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(\,S_{1,1,},3\right)\right]=P_{3,0}.\,\mathrm{V}\left(S_{4,2},3\right)+P_{3,1}.\,\mathrm{V}\left(S_{3,2},4\right)$$
$$+P_{3,2}.\,\mathrm{V}\left(S_{2,2},5\right)+P_{3,3}.\,\mathrm{V}\left(S_{1,2},6\right)$$
$$=((0{,}086773695\times 0)+$$
$$(0{,}109227503\times 7{,}45)+$$
$$(0{,}137491524\times 80{,}58775656)+$$
$$(0{,}173069223\times 125{,}9450331))$$
$$=33{,}69108739$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(\,S_{0,1,},4\right)\right]=P_{3,0}.\,\mathrm{V}\left(S_{3,2},4\right)+P_{3,1}.\,\mathrm{V}\left(S_{2,2},5\right)$$
$$+P_{3,2}.\,\mathrm{V}\left(S_{1,2},6\right)+P_{3,3}.\,\mathrm{V}\left(S_{0,2},7\right)$$
$$=((0{,}086773695\times 7{,}45)+$$
$$(0{,}109227503\times 80{,}58775656)+$$
$$(0{,}137491524\times 125{,}9450331)+$$
$$(0{,}173069223\times 154{,}0739042))$$
$$=53{,}43068893$$

$$V_{3,1}=e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(58{,}32364153)$$
$$=58{,}26295263$$

$$V_{2,1}=e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(25{,}26120789)$$
$$=25{,}23492223$$

$$V_{1,1}=e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(9{,}267147182)$$
$$=9{,}257504214$$

$$V_{0,1}=e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(2{,}675970969)$$
$$=2{,}673186477$$

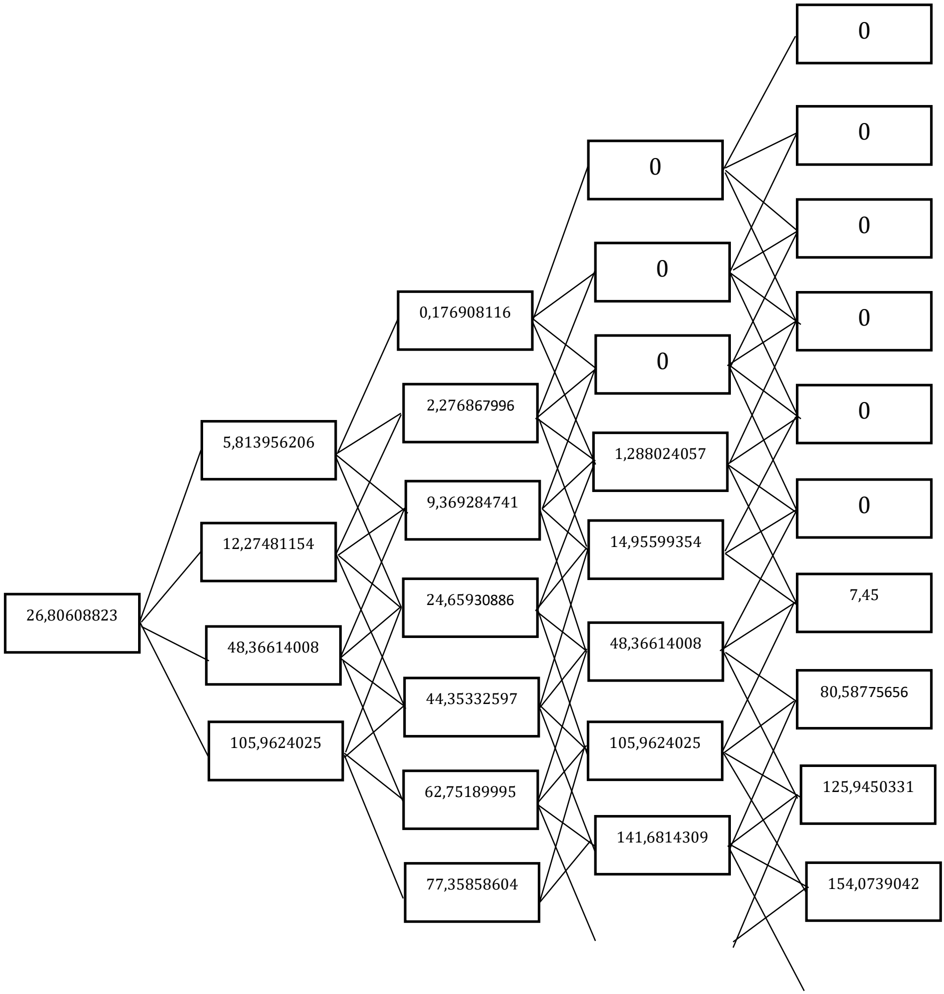
Membandingkan payoff dan rumus

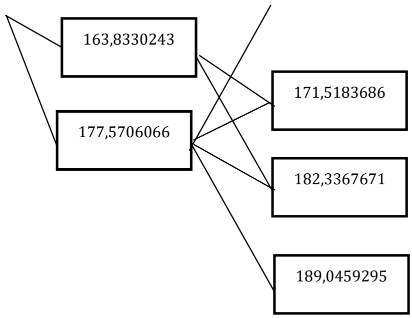
$$V_{3,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{194{,}2625449; 58{,}26295263\}$$
$$= 194{,}2625449$$
$$V_{2,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{44{,}50675145; 25{,}23492223\}$$
$$= 44{,}50675145$$
$$V_{1,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{0; 9{,}257504214\}$$
$$= 9{,}257504214$$
$$V_{0,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{0; 2{,}673186477\}$$
$$= 2{,}673186477$$

Nilai Opsi pada $t = 0$

$$\mathrm{E}\big[V\big(S_{0,0}, 1\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{3,1}, 1\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{2,1}, 2\big)$$
$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{1,1}, 3\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{0,1}, 4\big)$$
$$= ((0{,}086773695 \times 5{,}813956206) +$$
$$(0{,}109227503 \times 12{,}27481154) +$$
$$(0{,}137491524 \times 48{,}36614008) +$$
$$(0{,}173069223 \times 105{,}9624025))$$
$$= 26{,}83401047$$
$$V_{0,0} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(26{,}83401047)$$

$$= 26{,}80608823$$


0
0
0
0
0
0
0
0
0
0,176908116
2,276867996
5,813956206
1,288024057
9,369284741
12,27481154
14,95599354
24,65930886
7,45
26,80608823
48,36614008
48,36614008
44,35332597
80,58775656
105,9624025
105,9624025
62,75189995
125,9450331
141,6814309
77,35858604
154,0739042



Gambar 4.14 Skema pohon multinomial opsi *put* Bermuda saham AAPL dengan $n = 4$

4. Saham META

Opsi *Call* Bermuda dengan n = 2

Nilai opsi pada t = 2

$V_{6,2}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{635{,}4605824 - 315\ , 0\}$

$= 320{,}4605824$

$V_{5,2}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{499{,}6759852 - 315\ , 0\}$

$= 184{,}6759852$

$V_{4,2}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{392{,}9057083 - 315\ , 0\}$

$= 77{,}90570833$

$V_{3,2}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{308{,}95 - 315\ , 0\} = 0$

$V_{2,2}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{242{,}9338655 - 315\ , 0\} = 0$

$V_{1,2}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{191{,}0239942 - 315\ , 0\} = 0$

$V_{0,2}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{150{,}2061735 - 315\ , 0\} = 0$

Nilai opsi pada t = 1 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}. E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{3,1}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{443{,}0863876 - 315, 0\}$

$= 128{,}0863876$

$V_{2,1}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{348{,}4081207 - 315$

$= 33{,}40812073$

$V_{1,1}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{273{,}9606135 - 315, 0\} = 0$

$V_{0,1}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{215{,}4209769 - 315, 0\} = 0$

Rumus:

$$P_{3,0} = \binom{3}{0}(0{,}478637246)^3 = 0{,}109652736$$

$$P_{3,1} = \binom{3}{1}\left((0{,}478637246)^2(1 - 0{,}478637246)\right)$$

$$= 0{,}119440877$$

$$P_{3,2} = \binom{3}{2}(0{,}478637246)(1 - 0{,}478637246)^2$$

$$= 0{,}130102756$$

$$P_{3,3} = \binom{3}{3}(1 - 0{,}478637246)^3 = 0{,}141716365$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{3,1}, 1\right)\right] = P_{3,0}. \mathrm{V}\left(S_{6,2}, 1\right) + P_{3,1}. \mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right)$$

$$+ P_{3,2}. \mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) + P_{3,3}. \mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right)$$

$$= ((0{,}109652736 \times 320{,}4605824) +$$

$$(0{,}119440877 \times 184{,}6759852) +$$

$$(0{,}130102756 \times 77{,}90570833) +$$

$$(0{,}141716365 \times 0))$$

$$= 67{,}33298874$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(\,S_{2,1,},2\right)\right] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\left(S_{5,2},2\right) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\left(S_{4,2},3\right)$$

$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\left(S_{3,2},4\right) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\left(S_{3,2},5\right)$$

$$= ((0{,}109652736 \times 184{,}6759852) +$$

$$(0{,}119440877 \times 77{,}90570833) +$$

$$(0{,}130102756 \times 0) +$$

$$(0{,}141716365 \times 0))$$

$$= 29{,}55535325$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(\,S_{1,1,},3\right)\right] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\left(S_{4,2},3\right) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\left(S_{3,2},4\right)$$

$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\left(S_{2,2},5\right) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\left(S_{1,2},6\right)$$

$$= ((0{,}109652736 \times 77{,}90570833) +$$

$$(0{,}119440877 \times 0) +$$

$$(0{,}130102756 \times 0) +$$

$$(0{,}141716365 \times 0))$$

$$= 8{,}542574092$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(\,S_{0,1,},4\right)\right] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\left(S_{3,2},4\right) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\left(S_{2,2},5\right)$$

$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\left(S_{1,2},6\right) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\left(S_{0,2},7\right)$$

$$= ((0{,}109652736 \times 0) +$$

$$(0{,}119440877 \times 0) +$$

$$(0{,}130102756 \times 0) +$$

$$(0{,}141716365 \times 0))$$

$$= 0$$

$$V_{3,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(67{,}33298874)$$

$$= 67{,}1929344$$

$$V_{2,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(29{,}55535325)$$

$$= 29{,}49387736$$

$$V_{1,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(8{,}542574092)$$

$$= 8{,}52480532$$

$$V_{0,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(0) = 0$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{3,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{128{,}0863876; 67{,}1929344\}$$

$$= 128{,}0863876$$

$$V_{2,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{33{,}40812073; 29{,}49387736\}$$

$$= 33{,}40812073$$

$$V_{1,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{0; 8{,}52480532\}$$

$$= 8{,}52480532$$

$$V_{0,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{0; 0\} = 0$$

Nilai opsi pada t = 0

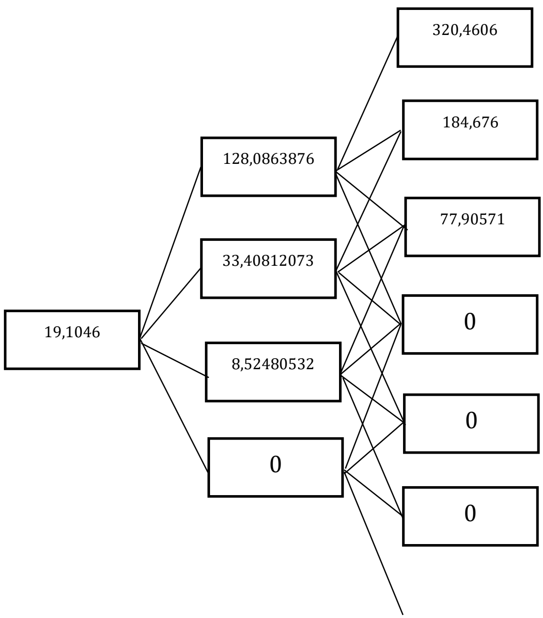
$$\mathrm{E}\big[V(\,S_{0,0},1)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{3,1},1\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{2,1},2\big) + P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{1,1},3\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{0,1},4\big)$$

$$= ((0{,}109652736 \times 128{,}0863876) + (0{,}119440877 \times 33{,}40812073) + (0{,}130102756 \times 8{,}52480532) + (0{,}141716365 \times 0))$$

$$= 19{,}1444188$$

$$V_{0,0} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(19{,}1444188)$$

$$= 19{,}10459792$$



0

Gambar 4.15 Skema pohon multinomial opsi *call* Bermuda saham META dengan $n = 2$

Nilai opsi *call* n=4

Nilai opsi pada t = 4

$V_{12,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{ 856{,}683647 - 315, 0\}$

$= 541{,}683647$

$V_{11,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{722{,}7671918 \; - 315, 0\}$

$= 407{,}7671918$

$V_{10,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{609{,}7845049 - 315, 0\}$

$= 294{,}7845049$

$V_{9,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{514{,}4632278 - 315, 0\}$

$= 199{,}4632278$

$V_{8,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{434{,}0425357 - 315, 0\}$

$= 119{,}0425357$

$V_{7,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{366{,}193175 - 315, 0\}$

$= 51{,}19317498$

$V_{6,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{ 308{,}95 - 315, 0\} = 0$

$V_{5,4}$ = max { $S_t - K, 0\} = \max\{260{,}6550559 - 315, 0\} = 0$

$V_{4,4}$ = max { $S_t - K, 0\} = \max\{219{,}9095587 - 315, 0\} = 0$

$V_{3,4}$ = max { $S_t - K, 0\} = \max\{185{,}5333819 - 315, 0\} = 0$

$V_{2,4}$ = max { $S_t - K, 0\} = \max\{156{,}5308756 - 315, 0\} = 0$

$V_{1,4}$ = max { $S_t - K, 0\} = \max\{132{,}0620299 - 315, 0\} = 0$

$V_{0,4}$ = max { $S_t - K, 0\} = \max\{111{,}4181447 - 315, 0\} = 0$

Nilai opsi pada t = 3 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{9,3}$ = max { $S_t - K, 0\} = \max\{663{,}8766709 - 315, 0\}$

$= 348{,}8766709$

$V_{8,3}$ = max { $S_t - K, 0\} = \max\{560{,}0997274 - 315, 0\}$

$= 245{,}0997274$

$V_{7,3}$ = max { $S_t - K, 0\} = \max\{472{,}5451554 - 315, 0\}$

$= 157{,}5451554$

.

.

.

$V_{2,3}$ = max { $S_t - K, 0\} = \max\{201{,}9914952 - 315, 0\} = 0$

$V_{1,3}$ = max { $S_t - K, 0\} = \max\{170{,}4162631 - 315, 0\} = 0$

$V_{0,3}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{143{,}776859 - 315, 0\} = 0$

Rumus:

$$P_{3,0} = \binom{3}{0}(0{,}484885664)^3 = 0{,}11400346$$

$$P_{3,1} = \binom{3}{1}\left((0{,}484885664)^2(1 - 0{,}484885664)\right)$$

$$= 0{,}121110647$$

$$P_{3,2} = \binom{3}{2}(0{,}484885664)(1 - 0{,}484885664)^2$$

$$= 0{,}12866091$$

$$P_{3,3} = \binom{3}{3}(1 - 0{,}484885664)^3 = 0{,}136681869$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{9,3}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{12,4}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{11,4}, 2\right)$$

$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{10,4}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{9,4}, 4\right)$$

$$= ((0{,}11400346 \times 348{,}8766709) +$$

$$(0{,}121110647 \times 245{,}0997274) +$$

$$(0{,}12866091 \times 157{,}5451554) +$$

$$(0{,}136681869 \times 83{,}67708013))$$

$$= 101{,}7568699$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{8,3}, 2\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{11,4}, 2\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{10,4}, 3\right)$$

$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{9,4}, 4\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{8,4}, 5\right)$$

$$= ((0{,}11400346 \times 245{,}0997274) +$$

$$(0{,}121110647 \times 157{,}5451554) +$$

$$(0{,}12866091 \times 83{,}67708013) +$$

$$(0{,}136681869 \times 21{,}35603371))$$

$$= 61{,}20743923$$

.

.

.

$$\mathrm{E}\left[V\left(\,S_{0,3},1\right)\right] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\left(S_{4,4},10\right) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\left(S_{2,4},11\right)$$
$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\left(S_{1,4},12\right) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\left(S_{0,4},13\right)$$
$$= ((0{,}11400346 \times 0) +$$
$$(0{,}121110647 \times 0) +$$
$$(0{,}12866091 \times 0) +$$
$$(0{,}136681869 \times 0))$$
$$= 0$$

$$V_{9,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(101{,}7568699)$$
$$= 101{,}7568699$$
$$V_{8,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(61{,}20743923)$$
$$= 61{,}20743923$$

.

.

.

$$V_{0,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(0)$$
$$= 0$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{9,3} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.\, E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{348{,}8766709; 176{,}1455281\}$$
$$= 176{,}1455281$$
$$V_{8,3} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{245{,}0997274; 123{,}9933335\}$$
$$= 245{,}0997274$$

.

.

.

$$V_{0,3} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{0; 0\} = 0$$

Nilai opsi pada t = 2

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{6,2}, 1\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{9,3}, 1\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{8,3}, 2\big)$$
$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{7,3}, 3\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{6,3}, 4\big)$$
$$= ((0{,}11400346 \times 348{,}8766709) +$$
$$(0{,}121110647 \times 245{,}0997274) +$$
$$(0{,}12866091 \times 157{,}5451554) +$$
$$(0{,}136681869 \times 83{,}67708013))$$
$$= 101{,}7568699$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{5,2,}, 2\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{8,3}, 2\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{7,3}, 3\big)$$
$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{6,3}, 4\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{5,3}, 5\big)$$
$$= ((0{,}11400346 \times 245{,}0997274) +$$
$$(0{,}121110647 \times 157{,}5451554) +$$

$$(0{,}12866091 \times 83{,}67708013) +$$

$$(0{,}136681869 \times 21{,}35603371))$$

$$= 61{,}20743923$$

.

.

.

$$\mathrm{E}\big[V\big(\ S_{0,2,},1\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{3,3},7\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{2,3},8\big) + P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{1,3},9\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{0,3},10\big)$$

$$= ((0{,}11400346 \times 0) +$$

$$(0{,}121110647 \times 0) +$$

$$(0{,}12866091 \times 0) +$$

$$(0{,}136681869 \times 0))$$

$$= 0$$

$$V_{6,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(101{,}7568699)$$

$$= 101{,}7568699$$

$$V_{5,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(61{,}20743923)$$

$$= 61{,}20743923$$

.

.

.

$$V_{0,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(0\ ) = 0$$

Nilai opsi pada t = 1 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{3,1}$ = max { $S_t - K, 0\} = \max\{ 398{,}6770801 - 315, 0\}$

$= 83{,}67708013$

$V_{2,1}$ = max { $S_t - K, 0\} = \max\{336{,}3560337 \ - 315, 0\}$

$= 21{,}35603371$

$V_{1,1}$ = max { $S_t - K, 0\} = \max\{ 283{,}7769891 - 315, 0\} = 0$

$V_{0,1}$ = max { $S_t - K, 0\} = \max\{ 239{,}4170803 - 315, 0\} = 0$

Rumus:

$$\begin{aligned}\mathrm{E}\big[V\big(\ S_{3,1}, 1\big)\big] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{6,2}, 1\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{5,2}, 2\big) \\ &\quad + P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{4,2}, 3\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big) \\ &= ((0{,}11400346 \times 101{,}7568699) + \\ &\quad (0{,}121110647 \times 61{,}20743923) + \\ &\quad (0{,}12866091 \times 31{,}73091803) + \\ &\quad (0{,}136681869 \times 12{,}90934543)) \\ &= 24{,}8605101\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mathrm{E}\big[V\big(\ S_{2,1,}, 2\big)\big] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{5,2}, 2\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{4,2}, 3\big) \\ &\quad + P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{2,2}, 5\big) \\ &= ((0{,}11400346 \times 61{,}20743923) + \\ &\quad (0{,}121110647 \times 31{,}73091803) +\end{aligned}$$

$$(0{,}12866091 \times 12{,}90934543) +$$

$$(0{,}136681869 \times 3{,}137483978))$$

$$= 12{,}91057719$$

$$\mathrm{E}\big[V(\, S_{1,1,}, 3)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{4,2}, 3\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big)$$

$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{2,2}, 5\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{1,2}, 6\big)$$

$$= ((0{,}11400346 \times 31{,}73091803) +$$

$$(0{,}121110647 \times 12{,}90934543) +$$

$$(0{,}12866091 \times 3{,}137483978) +$$

$$(0{,}136681869 \times 0{,}663962953))$$

$$= 5{,}675316875$$

$$\mathrm{E}\big[V(\, S_{0,1,}, 4)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{2,2}, 5\big)$$

$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{1,2}, 6\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{0,2}, 7\big)$$

$$= ((0{,}11400346 \times 12{,}90934543) +$$

$$(0{,}121110647 \times 3{,}137483978) +$$

$$(0{,}12866091 \times 0{,}663962953) +$$

$$(0{,}136681869 \times 0))$$

$$= 1{,}937118843$$

$$V_{3,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(24{,}8605101)$$

$$= 24{,}8346414$$

$$V_{2,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(12{,}91057719)$$

$$= 12{,}89714304$$

$$V_{1,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(5{,}675316875)$$

$$= 5{,}669411401$$

$$V_{0,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(1{,}937118843)$$

$$= 1{,}935103166$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{3,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$

$$= \max\{83{,}67708013; 24{,}8346414\}$$

$$= 83{,}67708013$$

$$V_{2,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$

$$= \max\{21{,}35603371; 12{,}89714304\}$$

$$= 21{,}35603371$$

$$V_{1,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$

$$= \max\{0; 5{,}669411401\}$$

$$= 5{,}669411401$$

$$V_{0,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$

$$= \max\{0; 1{,}935103166\}$$

$$= 1{,}935103166$$

Nilai Opsi pada $t = 0$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{0,0}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{3,1}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,1}, 2\right)$$

$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,1}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,1}, 4\right)$$

$$= ((0{,}11400346 \times 83{,}67708013) +$$

$$(0{,}121110647 \times 21{,}35603371) +$$

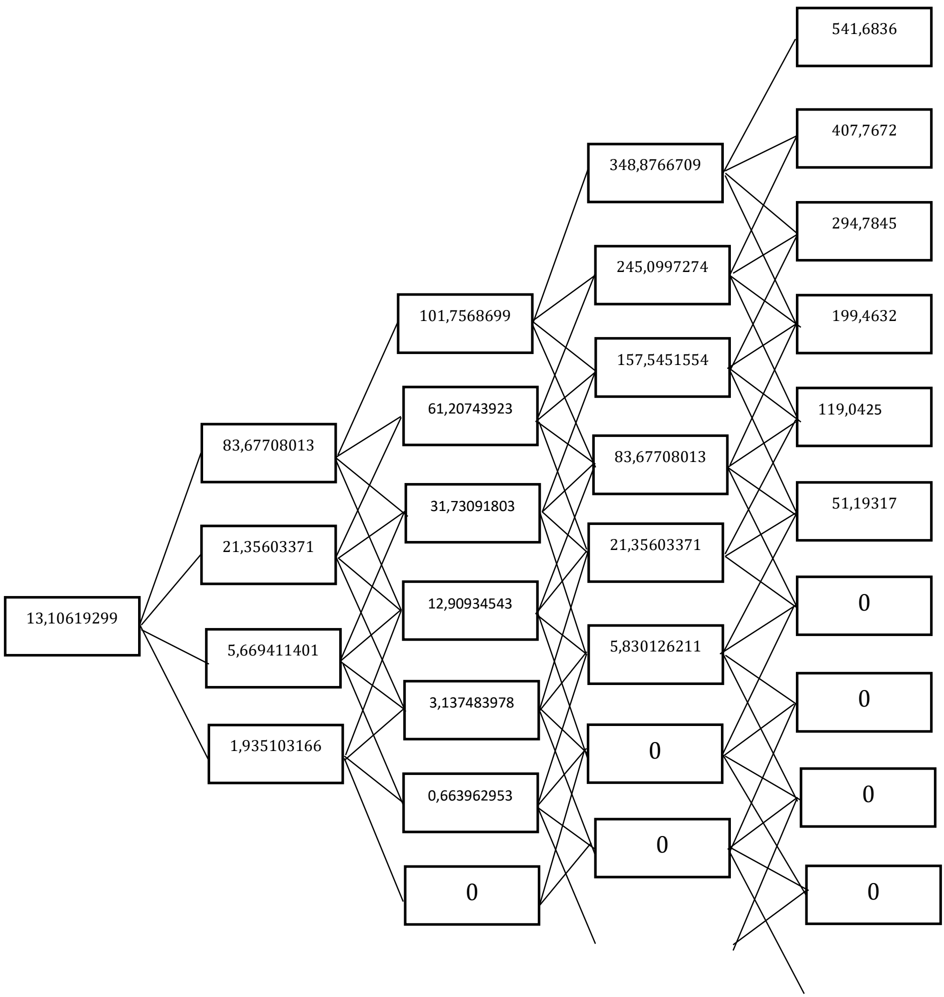
$$(0{,}12866091 \times 5{,}669411401) +$$

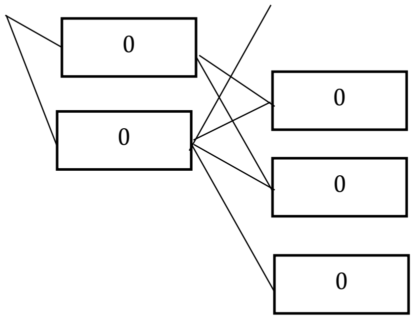
$$(0{,}136681869 \times 1{,}935103166))$$

$$= 13{,}11984489$$

$$V_{0,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(13{,}11984489)$$

$$= 13{,}10619299$$





Gambar 4.16 Skema pohon multinomial opsi *call* Bermuda saham META dengan $n = 4$

Opsi *put* Bermuda dengan n = 2

Nilai opsi pada t = 2

$V_{6,2}$ = max $\{K - S_t, 0\} =$ max $\{315 - 635{,}4605824, 0\} = 0$

$V_{5,2}$ = max $\{K - S_t, 0\} =$ max $\{315 - 499{,}6759852, 0\} = 0$

$V_{4,2}$ = max $\{K - S_t, 0\} =$ max $\{315 - 392{,}9057083, 0\} = 0$

$V_{3,2}$ = max $\{K - S_t, 0\} =$ max $\{315 - 308{,}95, 0\} = 6{,}05$

$V_{2,2}$ = max $\{K - S_t, 0\} =$ max$\{315 - 242{,}9338655, 0\}$

$= 72{,}06613451$

$V_{1,2}$ = max $\{K - S_t, 0\} =$ max$\{315 - 191{,}0239942, 0\}$

$= 123{,}9760058$

$V_{0,2}$ = max $\{K - S_t, 0\} =$ max$\{315 - 150{,}2061735, 0\}$

$= 164{,}7938265$

Nilai opsi pada t = 1 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$$V_{3,1} = \max\{K - S_t, 0\} = \max\{315 - 443{,}0863876, 0\} = 0$$

$$V_{2,1} = \max\{K - S_t, 0\} = \max\{315 - 348{,}4081207, 0\} = 0$$

$$V_{1,1} = \max\{K = -S_t, 0\} = \max\{315 - 273{,}9606135, 0\}$$
$$= 41{,}03938651$$

$$V_{0,1} = \max\{K - S_t, 0\} = \max\{315 - 215{,}4209769, 0\}$$
$$= 99{,}57902305$$

Rumus:

$$P_{3,0} = \binom{3}{0}(0{,}478637246)^3 = 0{,}109652736$$

$$P_{3,1} = \binom{3}{1}\left((0{,}478637246)^2(1 - 0{,}478637246)\right)$$
$$= 0{,}119440877$$

$$P_{3,2} = \binom{3}{2}(0{,}478637246)(1 - 0{,}478637246)^2$$
$$= 0{,}130102756$$

$$P_{3,3} = \binom{3}{3}(1 - 0{,}478637246)^3 = 0{,}141716365$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{3,1}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{6,2}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right)$$
$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right)$$
$$= ((0{,}109652736 \times 0) +$$

$$(0{,}119440877 \times 0) +$$

$$(0{,}130102756 \times 6{,}05) +$$

$$(0{,}141716365 \times 0))$$

$$= 0{,}857384011$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{2,1,}, 2\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{5,2}, 2\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{4,2}, 3\big)$$

$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 5\big)$$

$$= ((0{,}109652736 \times 0) +$$

$$(0{,}119440877 \times 0) +$$

$$(0{,}130102756 \times 6{,}05) +$$

$$(0{,}141716365 \times 72{,}06613451))$$

$$= 11{,}00007232$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{1,1,}, 3\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{4,2}, 3\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big)$$

$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{2,2}, 5\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{1,2}, 6\big)$$

$$= ((0{,}109652736 \times 0) +$$

$$(0{,}119440877 \times 6{,}05) +$$

$$(0{,}130102756 \times 72{,}06613451) +$$

$$(0{,}141716365 \times 123{,}9760058))$$

$$= 27{,}66804893$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{0,1,}, 4\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{3,2}, 4\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{2,2}, 5\big)$$

$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{1,2}, 6\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{0,2}, 7\big)$$

$$= ((0{,}109652736 \times 6{,}05) +$$

$$(0{,}119440877 \times 72{,}06613451) +$$

$$(0{,}130102756 \times 123{,}9760058) +$$

$$(0{,}141716365 \times 164{,}7938265))$$

$$= 48{,}75464349$$

$$V_{3,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(0{,}857384011)$$

$$= 0{,}85560063$$

$$V_{2,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(\ 11{,}00007232\ )$$

$$= 10{,}97719189$$

$$V_{1,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(27{,}66804893)$$

$$= 27{,}61049869$$

$$V_{0,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(48{,}75464349)$$

$$= 48{,}65323259$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{3,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{0; 0{,}85560063\}$$

$$= 0{,}85560063$$

$$V_{2,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{0; 10{,}97719189\}$$

$$= 10{,}97719189$$

$$V_{1,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{41{,}03938651; 27{,}61049869\}$$

$$= 41{,}03938651$$

$$V_{0,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{99{,}57902305; 48{,}65323259\}$$

$$= 99{,}57902305$$

Nilai opsi pada t = 0

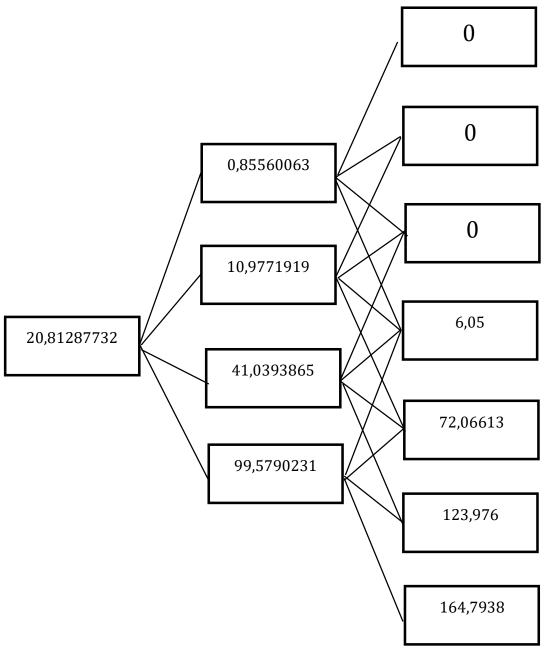
$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{0,0},1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{3,1},1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,1},2\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,1},3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,1},4\right)$$

$$= ((0{,}109652736 \times 0{,}85560063) + (0{,}119440877 \times 10{,}97719189) + (0{,}130102756 \times 41{,}03938651) + (0{,}141716365 \times 99{,}57902305))$$

$$= 20{,}85625887$$

$$V_{0,0} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(20{,}85625887)$$

$$= 20{,}81287732$$



Gambar 4.17 Skema pohon multinomial opsi *put* Bermuda saham META dengan $n = 2$

Nilai opsi *put* n=4

Nilai opsi pada t = 4

$V_{12,4}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{315 - 856{,}683647,\ 0\} = 0$

$V_{11,4}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{315 - 722{,}7671918, 0\} = 0$

$V_{10,4}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{315 - 609{,}7845049, 0\} = 0$

$V_{9,4}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{315 - 514{,}4632278, 0\} = 0$

$V_{8,4}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{315 - 434{,}0425357, 0\} = 0$

$V_{7,4}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{315 - 366{,}193175, 0\} = 0$

$V_{6,4}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{315 - 308{,}9, 0\} = 6{,}05$

$V_{5,4}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{315 - 260{,}6550559{,}0\}$

$$= 54{,}34494408$$

$V_{4,4}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{315 - 219{,}9095587{,}0\}$

$$= 95{,}09044126$$

$V_{3,4}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{315 - 185{,}5333819, 0\}$

$= 129{,}4666181$

$V_{2,4}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{315 - 156{,}5308756, 0\}$

$= 158{,}4691244$

$V_{1,4}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{315 - 132{,}0620299, 0\}$

$= 182{,}9379701$

$V_{0,4}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{ 315 - 111{,}4181447, 0\}$

$= 203{,}5818553$

Nilai opsi pada t = 3 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}. E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{9,3}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{315 - 663{,}8766709, 0\} = 0$

$V_{8,3}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{315 - 560{,}0997274, 0\} = 0$

$V_{7,3}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{315 - 472{,}5451554, 0\} = 0$

.

.

.

$V_{2,3}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{315 - 201{,}9914952, 0\}$

$= 113{,}0085048$

$V_{1,3}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{315 - 170{,}4162631, 0\}$

$= 144{,}5837369$

$V_{0,3}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{315 - 143{,}776859, 0\}$

$$= 171{,}223141$$

Rumus

$$P_{3,0} = \binom{3}{0}(0{,}484885664)^3 = 0{,}11400346$$

$$P_{3,1} = \binom{3}{1}\left((0{,}484885664)^2(1 - 0{,}484885664)\right)$$

$$= 0{,}121110647$$

$$P_{3,2} = \binom{3}{2}(0{,}484885664)(1 - 0{,}484885664)^2$$

$$= 0{,}12866091$$

$$P_{3,3} = \binom{3}{3}(1 - 0{,}484885664)^3 = 0{,}136681869$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(\, S_{9,3}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\left(S_{12,4}, 1\right) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\left(S_{11,4}, 2\right)$$

$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\left(S_{10,4}, 3\right) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\left(S_{9,4}, 4\right)$$

$$= ((0{,}11400346 \times 0) +$$

$$(0{,}121110647 \times 0) +$$

$$(0{,}12866091 \times 0) +$$

$$(0{,}136681869 \times 0))$$

$$= 0$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(\, S_{8,3}, 2\right)\right] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\left(S_{11,4}, 2\right) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\left(S_{10,4}, 3\right)$$

$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\left(S_{9,4}, 4\right) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\left(S_{8,4}, 5\right)$$

$$= ((0{,}11400346 \times 0) +$$

$$(0{,}121110647 \times 0) +$$

$$(0{,}12866091 \times 0) +$$

$$(0{,}136681869 \times 0))$$

$$= 0$$

.

.

.

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{0,3},1\big)\big] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,4},10\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,4},11\big)$$

$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{1,4},12\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{0,4},13\big)$$

$$= ((0{,}11400346 \times 129{,}4666181) +$$

$$(0{,}121110647 \times 158{,}4691244) +$$

$$(0{,}12866091 \times 182{,}9379701) +$$

$$(0{,}136681869 \times 203{,}5818553))$$

$$= 85{,}31485482$$

$$V_{9,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(0) = 0$$

$$V_{8,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(0) = 0$$

.

.

.

$$V_{0,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808)}(85{,}31485482)$$

$$= 85{,}22608009$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{9,3} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.\,E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{0; 0\} = 0$$

$$V_{8,3} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.\,E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{0; 0\} = 0$$

.

.

.

$$V_{0,3} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}. E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{171{,}223141; 85{,}22608009\}$$
$$= 171{,}223141$$

Nilai opsi pada t = 2

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{6,2}, 1\right)\right] = P_{3,0}. \mathrm{V}\left(S_{9,3}, 1\right) + P_{3,1}. \mathrm{V}\left(S_{8,3}, 2\right) + P_{3,2}. \mathrm{V}\left(S_{7,3}, 3\right) + P_{3,3}. \mathrm{V}\left(S_{6,3}, 4\right)$$
$$= ((0{,}11400346 \times 0) + (0{,}121110647 \times 0) + (0{,}12866091 \times 0) + (0{,}136681869 \times 0{,}826064848))$$
$$= 0{,}106282255$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{5,2,}, 2\right)\right] = P_{3,0}. \mathrm{V}\left(S_{8,3}, 2\right) + P_{3,1}. \mathrm{V}\left(S_{7,3}, 3\right) + P_{3,2}. \mathrm{V}\left(S_{6,3}, 4\right) + P_{3,3}. \mathrm{V}\left(S_{5,3}, 5\right)$$
$$= ((0{,}11400346 \times 0) + (0{,}121110647 \times 0) + (0{,}12866091 \times 0{,}826064848) + (0{,}136681869 \times 8{,}197827867))$$
$$= 1{,}167648077$$

.

.

.

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{0,2,},1\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{3,3},10\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{2,3},11\big) + P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{1,3},12\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{0,3},13\big)$$

$$= ((0{,}11400346 \times 75{,}58291972) + (0{,}121110647 \times 113{,}0085048) + (0{,}12866091 \times 144{,}5837369) + (0{,}136681869 \times 171{,}223141))$$

$$= 64{,}09494802$$

$$V_{6,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(0{,}106282255)$$

$$= 0{,}106171662$$

$$V_{5,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(1{,}167648077)$$

$$= 1{,}166433076$$

.

.

.

$$V_{0,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(64{,}09494802)$$

$$= 64{,}02825375$$

Nilai opsi pada t = 1 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{3,1} = \max\{ K - S_t, 0\} = \max\{315 - 398{,}6770801, 0\} = 0$

$V_{2,1} = \max\{ K - S_t, 0\} = \max\{315 - 336{,}3560337, 0\} = 0$

$V_{1,1} = \max\{ K - S_t, 0 = \max\{315 - 283{,}7769891, 0\}$

$= 31{,}22301093$

$V_{0,1} = \max\{ K - S_t, 0\} = \max\{315 - 239{,}4170803, 0\}$

$= 75{,}58291972$

Rumus:

$$
\begin{aligned}
\mathrm{E}\left[V\left(S_{3,1}, 1\right)\right] &= P_{3,0}.\,\mathrm{V}\left(S_{6,2}, 1\right) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right) \\
&\quad + P_{3,2}.\,\mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right) \\
&= ((0{,}11400346 \times 0{,}106171662\ ) + \\
&\quad (0{,}121110647 \times 1{,}166433076) + \\
&\quad (0{,}12866091 \times 5{,}232270537) + \\
&\quad (0{,}136681869 \times 15{,}06351445)) \\
&= 2{,}885469398
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\mathrm{E}\left[V\left(S_{2,1,}, 2\right)\right] &= P_{3,0}.\,\mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) \\
&\quad + P_{3,2}.\,\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\left(S_{2,2}, 5\right) \\
&= ((0{,}11400346 \times 1{,}166433076) + \\
&\quad (0{,}121110647 \times 5{,}232270537) + \\
&\quad (0{,}12866091 \times 15{,}06351445) + \\
&\quad (0{,}136681869 \times 29{,}55582509))
\end{aligned}
$$

$$= 6{,}744491965$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(\ S_{1,1,},3\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{4,2},3\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{3,2},4\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{2,2},5\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{1,2},6\right)$$

$$= ((0{,}11400346 \times 5{,}232270537) + (0{,}121110647 \times 15{,}06351445) + (0{,}12866091 \times 29{,}55582509) + (0{,}136681869 \times 46{,}71325807))$$

$$= 12{,}6083837$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(\ S_{0,1,},4\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{3,2},4\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,2},5\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,2},6\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,2},7\right)$$

$$= ((0{,}11400346 \times 15{,}06351445) + (0{,}121110647 \times 29{,}55582509) + (0{,}12866091 \times 46{,}71325807) + (0{,}136681869 \times 64{,}02825375))$$

$$= 20{,}05848955$$

$$V_{3,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(2{,}885469398)$$

$$= 2{,}882466911$$

$$V_{2,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(6{,}744491965)$$

$$= 6{,}737473956$$

$$V_{1,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(12{,}6083837)$$

$$= 12{,}59526399$$

$$V_{0,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(20{,}05848955)$$

$$= 20{,}0376176$$

Membandingkan payoff dan rumus

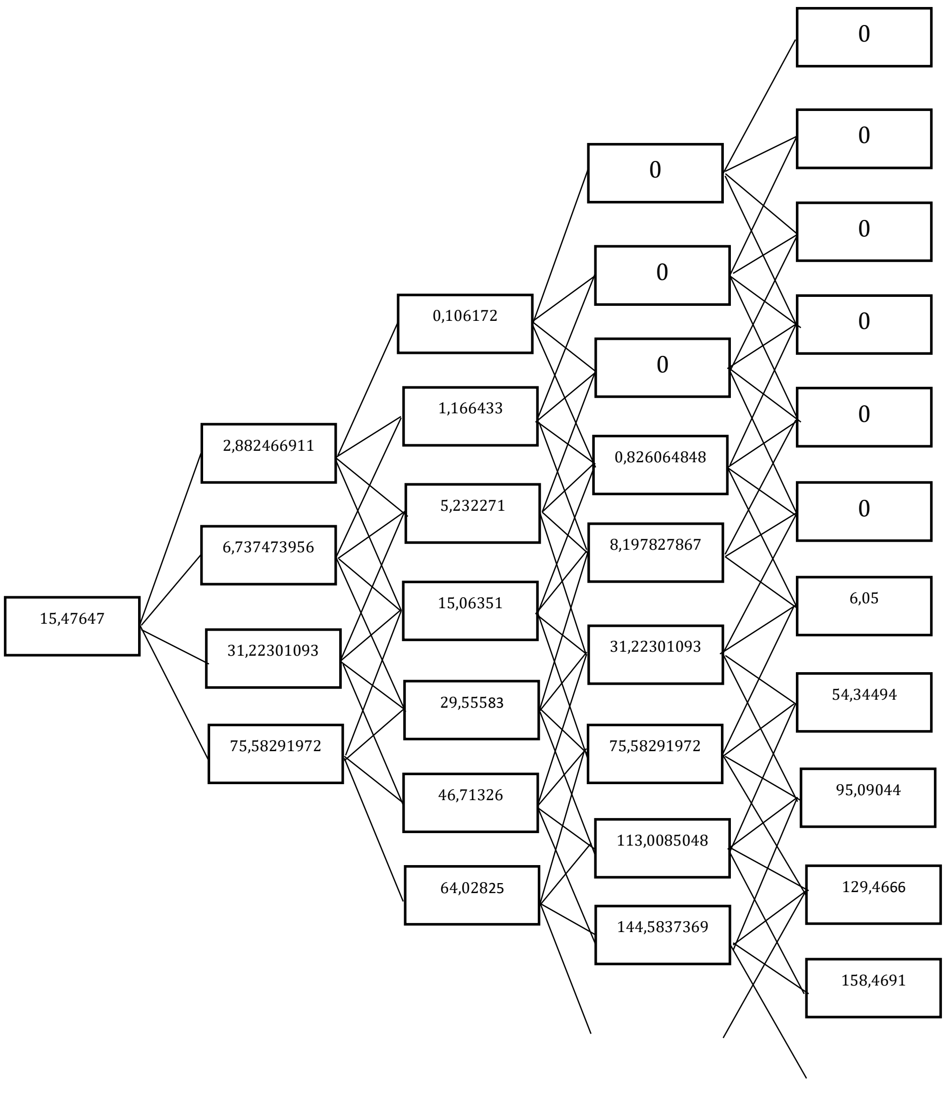
$$V_{3,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{0; 2{,}882466911\}$$
$$= 2{,}882466911$$
$$V_{2,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{0; 6{,}737473956\}$$
$$= 6{,}737473956$$
$$V_{1,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{31{,}22301093; 12{,}59526399\}$$
$$= 31{,}22301093$$
$$V_{0,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{75{,}58291972; 20{,}0376176\}$$
$$= 75{,}58291972$$

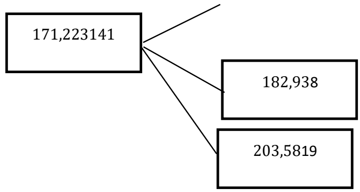
Nilai Opsi pada $t = 0$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{0,0}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{3,1}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,1}, 2\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,1}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,1}, 4\right)$$
$$= ((0{,}11400346 \times 2{,}882466911) + (0{,}121110647 \times 6{,}737473956) + (0{,}12866091 \times 31{,}22301093) + (0{,}136681869 \times 75{,}58291972))$$
$$= 15{,}49258676$$

$$V_{0,0} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(15{,}49258676)$$

$$= 15{,}47646588$$


0
0
0
0
0
0
0
0
0
0,106172
0,826064848
1,166433
2,882466911
5,232271
8,197827867
6,737473956
6,05
15,47647
15,06351
31,22301093
31,22301093
54,34494
29,55583
75,58291972
75,58291972
46,71326
95,09044
113,0085048
64,02825
129,4666
144,5837369
158,4691



Gambar 4.18 Skema pohon multinomial opsi *put* Bermuda saham META dengan $n = 4$

5. Saham GOOG

Opsi *Call* Bermuda dengan n = 2

Nilai opsi pada t = 2

$V_{6,2} = \max\{S_t - K, 0\} = \max\{296{,}9716956 - 130, 0\}$

$= 166{,}9716956$

$V_{5,2} = \max\{S_t - K, 0\} = \max\{222{,}4053785 - 130, 0\}$

$= 92{,}40537849$

$V_{4,2} = \max\{S_t - K, 0\} = \max\{166{,}5618411 - 130, 0\}$

$= 36{,}56184111$

$V_{3,2} = \max\{S_t - K, 0\} = \max\{124{,}74 - 130, 0\} = 0$

$V_{2,2} = \max\{S_t - K, 0\} = \max\{93{,}4191619 - 130, 0\} = 0$

$V_{1,2} = \max\{S_t - K, 0\} = \max\{69{,}96264077 - 130, 0\} = 0$

$V_{0,2} = \max\{S_t - K, 0\} = \max\{52{,}39579337 - 130, 0\} = 0$

Nilai opsi pada t = 1 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{3,1} = \max\{ S_t - K, 0\} = \max\{192{,}4688269 - 130, 0\}$

$= 62{,}46882686$

$V_{2,1} = \max\{ S_t - K, 0\} = \max\{144{,}1420274 - 130, 0\}$

$= 14{,}14202739$

$V_{1,1} = \max\{ S_t - K, 0\} = \max\{107{,}9495542 - 130, 0\} = 0$

$V_{0,1} = \max\{ S_t - K, 0\} = \max\{80{,}84461185 - 130, 0\} = 0$

Rumus:

$$P_{3,0} = \binom{3}{0}(0{,}471104832)^3 = 0{,}104556894$$

$$P_{3,1} = \binom{3}{1}\left((0{,}471104832)^2(1 - 0{,}471104832)\right)$$

$$= 0{,}117382868$$

$$P_{3,2} = \binom{3}{2}(0{,}471104832)(1 - 0{,}471104832)^2$$

$$= 0{,}131782201$$

$$P_{3,3} = \binom{3}{3}(1 - 0{,}471104832)^3 = 0{,}147947898$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{3,1}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{6,2}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right)$$

$$= ((0{,}104556894 \times 166{,}9716956) + (0{,}117382868 \times 92{,}40537849) + (0{,}131782201 \times 36{,}56184111) +$$

$$(0{,}147947898 \times 0))$$

$$= 33{,}1230502$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(\ S_{2,1,},2\right)\right] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\left(S_{5,2},2\right) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\left(S_{4,2},3\right)$$

$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\left(S_{3,2},4\right) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\left(S_{2,2},5\right)$$

$$= ((0{,}104556894 \times 92{,}40537849) +$$

$$(0{,}117382868 \times 36{,}56184111) +$$

$$(0{,}131782201 \times 0) +$$

$$(0{,}147947898 \times 0))$$

$$= 13{,}95335317$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(\ S_{1,1,},3\right)\right] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\left(S_{4,2},3\right) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\left(S_{3,2},4\right)$$

$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\left(S_{2,2},5\right) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\left(S_{1,2},6\right)$$

$$= ((0{,}104556894 \times 36{,}56184111) +$$

$$(0{,}117382868 \times 0) +$$

$$(0{,}131782201 \times 0) +$$

$$(0{,}147947898 \times 0))$$

$$= 3{,}822792561$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(\ S_{0,1,},4\right)\right] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\left(S_{3,2},4\right) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\left(S_{2,2},5\right)$$

$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\left(S_{1,2},6\right) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\left(S_{0,2},7\right)$$

$$= ((0{,}104556894 \times 0) +$$

$$(0{,}117382868 \times 0) +$$

$$(0{,}131782201 \times 0) +$$

$$(0{,}147947898 \times 0))$$

$$= 0$$

$$V_{3,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(33{,}1230502)$$
$$= 33{,}05415341$$
$$V_{2,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(13{,}95335317)$$
$$= 13{,}92432984$$
$$V_{1,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(3{,}822792561)$$
$$= 3{,}814841055$$
$$V_{0,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(0) = 0$$

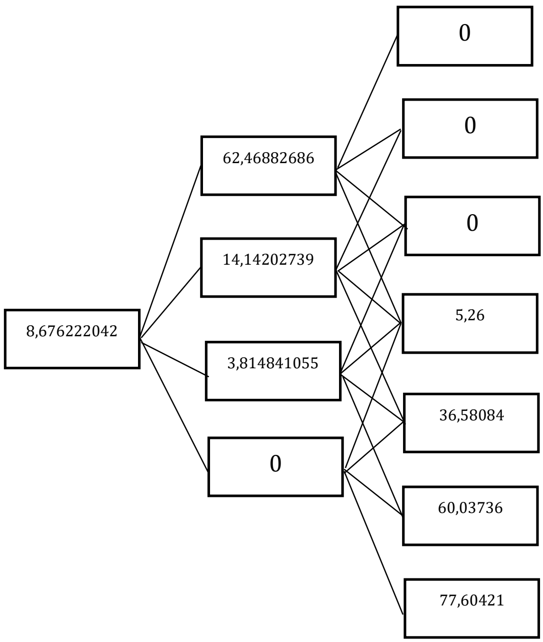
Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{3,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{62{,}46882686; 33{,}05415341\}$$
$$= 62{,}46882686$$
$$V_{2,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{14{,}14202739; 13{,}92432984\}$$
$$= 14{,}14202739$$
$$V_{1,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{0; 3{,}814841055\}$$
$$= 3{,}814841055$$
$$V_{0,1} = \max\{Max(S(t_k) - K), e^{-r\Delta t}\ .E[S_n, n]\}$$
$$= \max\{0; 0\} = 0$$

Nilai opsi pada t = 0

$$
\begin{aligned}
\mathrm{E}\left[V\left(\, S_{0,0}, 1\right)\right] &= P_{3,0}.\,\mathrm{V}\left(S_{3,1}, 1\right) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\left(S_{2,1}, 2\right) \\
&\quad + P_{3,2}.\,\mathrm{V}\left(S_{1,1}, 3\right) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\left(S_{0,1}, 4\right) \\
&= ((0{,}104556894 \times 62{,}46882686) + \\
&\quad (0{,}117382868 \times 14{,}14202739) + \\
&\quad (0{,}131782201 \times 3{,}814841055\ ) + \\
&\quad (0{,}147947898 \times 0))
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
V_{0,0} &= e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(8{,}694306421) \\
&= 8{,}676222042
\end{aligned}
$$



Gambar 4.19 Skema pohon multinomial opsi *call* Bermuda saham GOOG dengan $n = 2$

Nilai opsi *call* Bermuda n=4

Nilai opsi pada t = 4

payoff

$V_{12,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{425{,}356592 - 130, 0\}$

$= 295{,}356592$

$V_{11,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{346{,}7064568 - 130, 0\}$

$= 216{,}7064568$

$V_{10,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{282{,}5990462 - 130, 0\}$

$= 152{,}5990462$

.

.

.

$V_{2,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{55{,}06058074 - 130, 0\} = 0$

$V_{1,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{44{,}87965913 - 130, 0\} = 0$

$V_{0,4}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{36{,}58123065 - 130, 0\} = 0$

Nilai opsi pada t = 3 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}. E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{9,3}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{313{,}0158366 - 130, 0\}$

$= 183{,}0158366$

$V_{8,3}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{255{,}1379565 - 130, 0\}$

$= 125{,}1379565$

$V_{7,3}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{207{,}9619278 - 130, 0\}$

$= 77{,}96192781$

.

.

.

$V_{2,3}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{74{,}82171263 - 130, 0\} = 0$

$V_{1,3}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{60{,}98687869 - 130, 0\} = 0$

$V_{0,3}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{49{,}71016089 - 130, 0\} = 0$

Rumus

$$P_{3,0} = \binom{3}{0}(0{,}479552042)^3 = 0{,}11028266$$

$$P_{3,1} = \binom{3}{1}\left((0{,}479552042)^2(1 - 0{,}479552042)\right)$$

$$= 0{,}119687501$$

$$P_{3,2} = \binom{3}{2}(0{,}479552042)(1 - 0{,}479552042)^2$$

$$= 0{,}12989438$$

$$P_{3,3} = \binom{3}{3}(1 - 0{,}479552042)^3 = 0{,}140971697$$

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\left[V\left(S_{9,3},1\right)\right] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{12,4},1\right)+P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{11,4},2\right)\\
&\quad +P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{10,4},3\right)+P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{9,4},4\right)\\
&= ((0{,}11028266\times 295{,}356592)+\\
&\quad (0{,}119687501\times 216{,}7064568)+\\
&\quad (0{,}12989438\times 152{,}5990462)+\\
&\quad (0{,}140971697\times 100{,}3453522))\\
&= 92{,}47737799
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\left[V\left(S_{8,3},2\right)\right] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{11,4},2\right)+P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{10,4},3\right)\\
&\quad +P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{9,4},4\right)+P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{8,4},5\right)\\
&= ((0{,}11028266\times 216{,}7064568)+\\
&\quad (0{,}119687501\times 152{,}5990462)+\\
&\quad (0{,}12989438\times 100{,}3453522)+\\
&\quad (0{,}140971697\times 57{,}75357525))\\
&= 63{,}33907984
\end{aligned}$$

.

.

.

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\left[V\left(S_{0,3},1\right)\right] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{4,4},10\right)+P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,4},11\right)\\
&\quad +P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,4},12\right)+P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,4},13\right)\\
&= ((0{,}11028266\times 0)+\\
&\quad (0{,}119687501\times 0)+
\end{aligned}$$

$$(0{,}12989438 \times 0) +$$

$$(0{,}140971697 \times 0))$$

$$= 0$$

$$V_{9,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(92{,}47737799)$$

$$= 92{,}38115027$$

$$V_{8,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(63{,}33907984)$$

$$= 63{,}27317209$$

.

.

.

$$V_{0,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(0)$$

$$= 0$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{9,3} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{183{,}015836692{,}38115027;\}$$

$$= 183{,}0158366$$

$$V_{8,3} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$

$$= \max\{125{,}1379565; 63{,}27317209\}$$

$$= 125{,}1379565$$

.

.

.

$$V_{0,3} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}. E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{0; 0\} = 0$$

Nilai opsi pada t = 2

$$\mathrm{E}\big[V\big(\, S_{6,2}, 1\big)\big] = P_{3,0}. \mathrm{V}\big(S_{9,3}, 1\big) + P_{3,1}. \mathrm{V}\big(S_{8,3}, 2\big)$$
$$+ P_{3,2}. \mathrm{V}\big(S_{7,3}, 3\big) + P_{3,3}. \mathrm{V}\big(S_{6,3}, 4\big)$$
$$= ((0{,}11028266 \times 183{,}0158366) +$$
$$(0{,}119687501 \times 125{,}1379565) +$$
$$(0{,}12989438 \times 77{,}96192781) +$$
$$(0{,}140971697 \times 39{,}50893556))$$
$$= 51{,}28333653$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\, S_{5,2,}, 2\big)\big] = P_{3,0}. \mathrm{V}\big(S_{8,3}, 2\big) + P_{3,1}. \mathrm{V}\big(S_{7,3}, 3\big)$$
$$+ P_{3,2}. \mathrm{V}\big(S_{6,3}, 4\big) + P_{3,3}. \mathrm{V}\big(S_{5,3}, 5\big)$$
$$= ((0{,}11028266 \times 125{,}1379565) +$$
$$(0{,}119687501 \times 77{,}96192781) +$$
$$(0{,}12989438 \times 39{,}50893556) +$$
$$(0{,}140971697 \times 9{,}116984803))$$
$$= 29{,}8855018$$

.

.

.

$$\mathrm{E}\big[V\big(\,S_{0,2,},1\big)\big] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,3},7\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,3},8\big) + P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{1,3},9\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{0,3},10\big)$$

$$= ((0{,}11028266 \times 0) + (0{,}119687501 \times 0) + (0{,}12989438 \times 0) + (0{,}140971697 \times 0))$$

$$= 0$$

$$V_{6,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(51{,}28333653)$$

$$= 101{,}7568699$$

$$V_{5,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(29{,}8855018)$$

$$= 61{,}20743923$$

.

.

.

$$V_{0,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(0\,) = 0$$

Nilai opsi pada t = 1 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{3,1}$ = max $\{\,S_t - K, 0\} = \max\{169{,}5089356 - 130, 0\}$

$$= 39{,}50893556$$

$V_{2,1}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{138{,}1660554 - 130, 0\}$

$$= 8{,}166055375$$

$V_{1,1}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{112{,}6185991 - 130, 0\} = 0$

$V_{0,1}$ = max $\{ S_t - K, 0\} = \max\{91{,}79496968 - 130, 0\} = 0$

Rumus:

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\left[V\left(S_{3,1}, 1\right)\right] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{6,2}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right) \\
&\quad + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right) \\
&= ((0{,}11028266 \times 101{,}7568699) + \\
&\quad (0{,}119687501 \times 61{,}20743923) + \\
&\quad (0{,}12989438 \times 14{,}92593053) + \\
&\quad (0{,}140971697 \times 5{,}800078415)) \\
&= 21{,}30422513
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\left[V\left(S_{2,1,}, 2\right)\right] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) \\
&\quad + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{2,2}, 5\right) \\
&= ((0{,}11028266 \times 61{,}20743923) + \\
&\quad (0{,}119687501 \times 14{,}92593053) + \\
&\quad (0{,}12989438 \times 5{,}800078415) + \\
&\quad (0{,}140971697 \times 1{,}307844979)) \\
&= 9{,}474333267
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\left[V\left(\, S_{1,1,}, 3\right)\right] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right) \\
&\quad + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{2,2}, 5\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{1,2}, 6\right) \\
&= ((0{,}11028266 \times 14{,}92593053) + \\
&\quad (0{,}119687501 \times 5{,}800078415) + \\
&\quad (0{,}12989438 \times 1{,}307844979) + \\
&\quad (0{,}140971697 \times 0{,}279601601)) \\
&= 2{,}549565841
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\left[V\left(\, S_{0,1,}, 4\right)\right] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,2}, 5\right) \\
&\quad + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,2}, 6\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,2}, 7\right) \\
&= ((0{,}11028266 \times 5{,}800078415) + \\
&\quad (0{,}119687501 \times 1{,}307844979) + \\
&\quad (0{,}12989438 \times 0{,}279601601) + \\
&\quad (0{,}140971697 \times 0)) \\
&= 0{,}832499451
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{3,1} &= e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(21{,}30422513) \\
&= 21{,}28205693
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{2,1} &= e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(9{,}474333267) \\
&= 9{,}46447471
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{1,1} &= e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(2{,}549565841) \\
&= 2{,}54691288
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{0,1} &= e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(0{,}832499451) \\
&= 0{,}83163319
\end{aligned}$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{3,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{39{,}50893556; 21{,}28205693\}$$
$$= 39{,}50893556$$

$$V_{2,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{8{,}166055375; 9{,}46447471\}$$
$$= 9{,}46447471$$

$$V_{1,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{0; 2{,}54691288\}$$
$$= 2{,}54691288$$

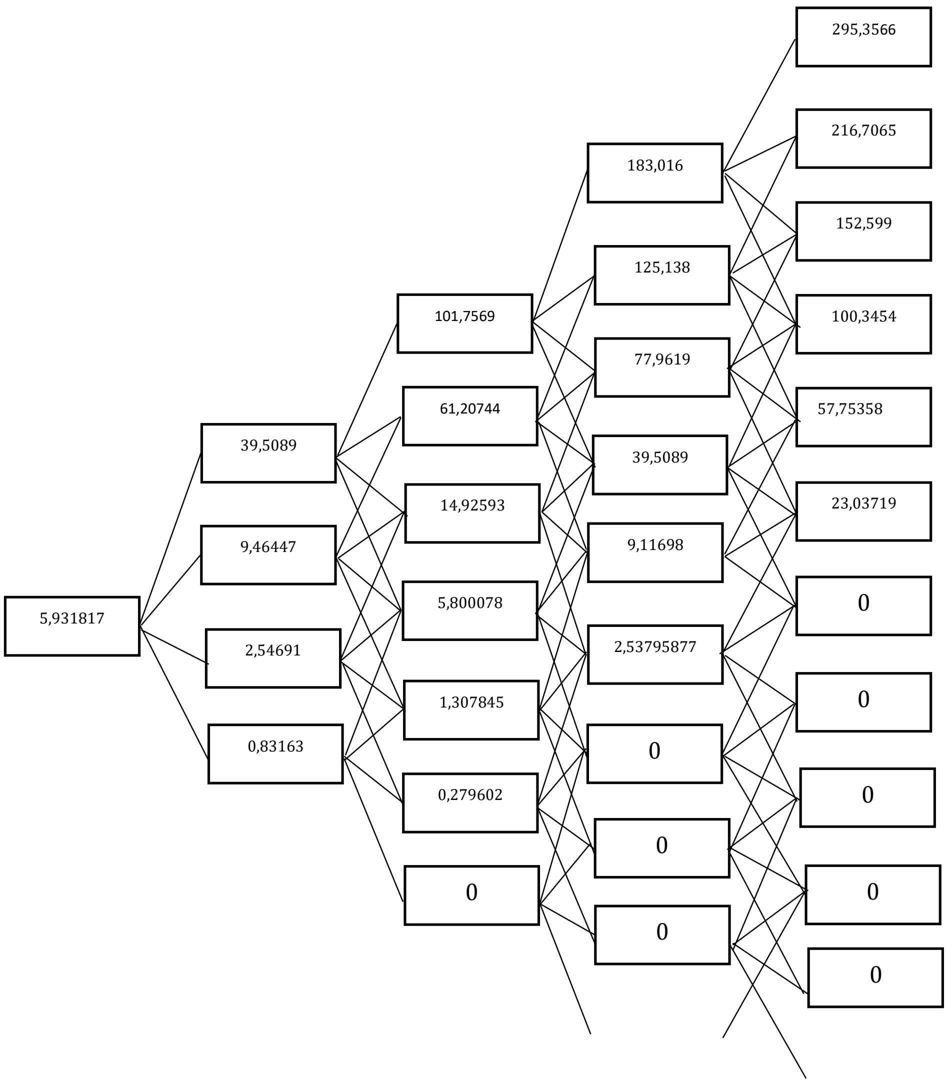
$$V_{0,1} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{0; 0{,}83163319\}$$
$$= 0{,}83163319$$

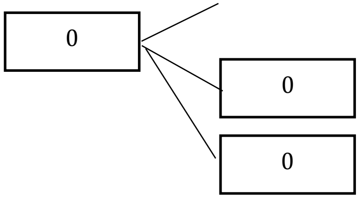
Nilai Opsi pada $t = 0$

$$\mathrm{E}\big[V\big(S_{0,0}, 1\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{3,1}, 1\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{2,1}, 2\big) + P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{1,1}, 3\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{0,1}, 4\big)$$
$$= ((0{,}11028266 \times 39{,}50893556) + (0{,}119687501 \times 9{,}46447471) + (0{,}12989438 \times 2{,}54691288) + (0{,}140971697 \times 0{,}83163319))$$
$$= 5{,}937996254$$

$$V_{0,0} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(5{,}937996254)$$

$$= 5{,}931817448$$


295,3566
216,7065
183,016
152,599
125,138
101,7569
100,3454
77,9619
61,20744
57,75358
39,5089
39,5089
14,92593
23,03719
9,46447
9,11698
5,931817
5,800078
0
2,54691
2,53795877
1,307845
0
0
0,83163
0
0,279602
0
0
0
0
0
0



Gambar 4.20 Skema pohon multinomial opsi *call* Bermuda saham GOOG dengan $n = 4$

Opsi *put* Bermuda dengan n = 2

Nilai opsi pada t = 2

$V_{6,2}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{130 - 296{,}9716956, 0\} = 0$

$V_{5,2}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{130 - 222{,}4053785, 0\} = 0$

$V_{4,2}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{130 - 166{,}5618411, 0\} = 0$

$V_{3,2}$= max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{130 - 124{,}74, 0\} = 5{,}26$

$V_{2,2} = \max\{ K - S_t, 0\} = \max\{93{,}4191619 - 130, 0\}$

$= 36{,}5808381$

$V_{1,2}$ = max $\{ K - S_t, 0\} = \max\{130 - 69{,}96264077, 0\}$

$= 60{,}03735923$

$V_{0,2} = \max\{ K - S_t, 0\} = \max\{130 - 52{,}39579337, 0\}$

$= 77{,}60420663$

Nilai opsi pada t = 1 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]}$$

Payoff

$V_{3,1} = \max\{K - S_t, 0\} = \max\{130 - 192{,}4688269, 0\} = 0$

$V_{2,1} = \max\{K - S_t, 0\} = \max\{130 - 144{,}1420274, 0\} = 0$

$V_{1,1} = \max\{K - S_t, 0\} = \max\{130 - 107{,}9495542, 0\}$

$= 22{,}05044579$

$V_{0,1} = \max\{K - S_t, 0\} = \max\{130 - 80{,}84461185, 0\}$

$= 49{,}15538815$

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\left[V\left(S_{3,1}, 1\right)\right] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{6,2}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right) \\
&\quad + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right) \\
&= ((0{,}104556894 \times 0) + \\
&\quad (0{,}117382868 \times 0) + \\
&\quad (0{,}131782201 \times 0) + \\
&\quad (0{,}147947898 \times 5{,}26)) \\
&= 0{,}778205943
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathrm{E}\left[V\left(S_{2,1,}, 2\right)\right] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) \\
&\quad + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 5\right) \\
&= ((0{,}104556894 \times 0) + \\
&\quad (0{,}117382868 \times 0) + \\
&\quad (0{,}131782201 \times 5{,}26) + \\
&\quad (0{,}147947898 \times 36{,}5808381)) \\
&= 6{,}105232476
\end{aligned}$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\ S_{1,1,},3\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{4,2},3\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{3,2},4\big)$$
$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{2,2},5\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{1,2},6\big)$$
$$= ((0{,}104556894 \times 0) +$$
$$(0{,}117382868 \times 5{,}26) +$$
$$(0{,}131782201 \times 36{,}5808381) +$$
$$(0{,}147947898 \times 60{,}03735923))$$
$$= 14{,}32053834$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\ S_{0,1,},1\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{3,2},4\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{2,2},5\big)$$
$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{1,2},6\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{0,2},7\big)$$
$$= ((0{,}104556894 \times 5{,}26) +$$
$$(0{,}117382868 \times 36{,}5808381) +$$
$$(0{,}131782201 \times 60{,}03735923) +$$
$$(0{,}147947898 \times 77{,}60420663))$$
$$= 24{,}23716754$$

$$V_{3,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(0{,}778205943)$$
$$= 0{,}776587254$$

$$V_{2,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(6{,}105232476)$$
$$= 6{,}092533437$$

$$V_{1,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(14{,}32053834)$$
$$= 14{,}29075126$$

$$V_{0,1} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(24{,}23716754)$$
$$= 24{,}18675362$$

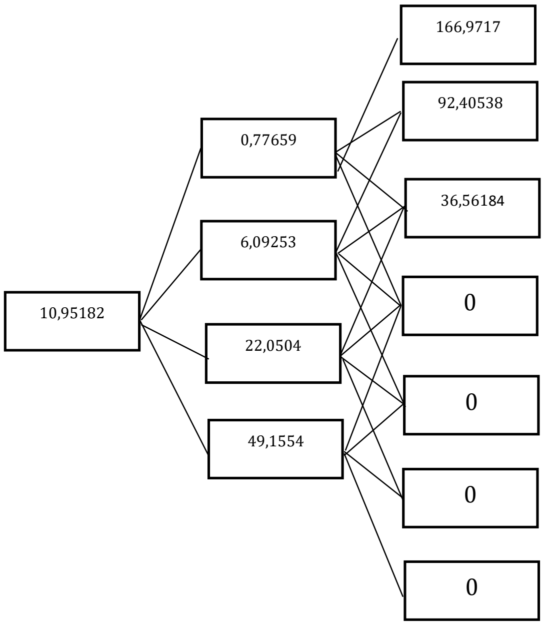
Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{3,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{0; 0{,}776587254\}$$
$$= 0{,}776587254$$
$$V_{2,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{0; 6{,}092533437\}$$
$$= 6{,}092533437$$
$$V_{1,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{22{,}05044579; 14{,}29075126\}$$
$$= 22{,}05044579$$
$$V_{0,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{49{,}15538815; 24{,}18675362\}$$
$$= 49{,}15538815$$

Nilai opsi pada t = 0

$$\mathrm{E}\big[V\big(S_{0,0}, 1\big)\big] = P_{3,0}.\mathrm{V}\big(S_{3,1}, 1\big) + P_{3,1}.\mathrm{V}\big(S_{2,1}, 2\big)$$
$$+ P_{3,2}.\mathrm{V}\big(S_{1,1}, 3\big) + P_{3,3}.\mathrm{V}\big(S_{0,1}, 4\big)$$
$$= (0{,}104556894 \times 0{,}776587254) +$$
$$(0{,}117382868 \times 6{,}092533437) +$$
$$(0{,}131782201 \times 22{,}05044579) +$$
$$(0{,}147947898 \times 49{,}15538815))$$
$$= 10{,}97464923$$
$$V_{0,0} = e^{(-0{,}0475)0{,}043835616}(10{,}97464923)$$

$$= 10,95182168$$



Gambar 4.21 Skema pohon multinomial opsi *putl* Bermuda saham GOOG dengan $n = 2$

Nilai opsi *put* Bermuda n=4

Nilai opsi pada t = 4

$V_{12,4}$ = max { $K - S_t, 0\} =$ max $\{130 –$ $425{,}356592, 0\} = 0$

$V_{11,4}$ = max { $K - S_t, 0\} =$ max $\{130 – 346{,}7064568, 0\} = 0$

$V_{10,4}$ = max { $K - S_t, 0\} =$ max $\{130 – 282{,}5990462\ , 0\} = 0$

.

.

.

$V_{2,4}$ = max { $K - S_t, 0\} =$ max$\{130 - 55{,}06058074\ , 0\}$

$= 74{,}93941926$

$V_{1,4}$ = max { $K - S_t, 0\} =$ max$\{130 -$ $44{,}87965913, 0\}$

$= 85{,}12034087$

$V_{0,4}$ = max { $K - S_t, 0\} =$ max$\{130\ - 36{,}58123065\ , 0\}$

$= 93{,}41876935$

Nilai opsi pada t = 3 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

$$\boldsymbol{V(t_k) = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}. E[V(S_n, n)]}]$$

Payoff

$V_{9,3}$ = max { $K - S_t, 0\} =$ max$\{130 - 313{,}0158366\ , 0\} = 0$

$V_{8,3}$ = max { $K - S_t, 0\} =$ max$\{130 - 255{,}1379565\ \ , 0\} = 0$

$V_{7,3}$ = max { $K - S_t, 0\} =$ max$\{130 - 207{,}9619278\ , 0\} = 0$

.

.

.

$V_{2,3} = \max\{K - S_t, 0\} = \max\{130 - 74{,}82171263, 0\}$

$= 55{,}17828737$

$V_{1,3} = \max\{K - S_t, 0\} = \max\{130 - 60{,}98687869, 0\}$

$= 69{,}01312131$

$V_{0,3} = \max\{K - S_t, 0\} = \max\{130 - 49{,}71016089, 0\}$

$= 80{,}28983911$

Rumus

$$P_{3,0} = \binom{3}{0}(0{,}479552042)^3 = 0{,}11028266$$

$$P_{3,1} = \binom{3}{1}\left((0{,}479552042)^2(1 - 0{,}479552042)\right)$$

$$= 0{,}119687501$$

$$P_{3,2} = \binom{3}{2}(0{,}479552042)(1 - 0{,}479552042)^2$$

$$= 0{,}12989438$$

$$P_{3,3} = \binom{3}{3}(1 - 0{,}479552042)^3$$

$$= 0{,}140971697$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{9,3}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{12,4}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{11,4}, 2\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{10,4}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{9,4}, 4\right)$$

$$= ((0{,}11028266 \times 0) + (0{,}119687501 \times 0) + (0{,}12989438 \times 0) + (0{,}140971697 \times 0))$$

$$= 0$$

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{8,3}, 2\right)\right] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\left(S_{11,4}, 2\right) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\left(S_{10,4}, 3\right)$$

$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\left(S_{9,4}, 4\right) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\left(S_{8,4}, 5\right)$$

$$= ((0{,}11028266 \times 0) +$$

$$(0{,}119687501 \times 0) +$$

$$(0{,}12989438 \times 0) +$$

$$(0{,}140971697 \times 0))$$

$$= 0$$

.

.

.

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{0,3}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\left(S_{3,4}, 10\right) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\left(S_{2,4}, 11\right)$$

$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\left(S_{1,4}, 12\right) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\left(S_{0,4}, 13\right)$$

$$= ((0{,}11028266 \times 62{,}44896217) +$$

$$(0{,}119687501 \times 74{,}93941926) +$$

$$(0{,}12989438 \times 85{,}12034087) +$$

$$(0{,}140971697 \times 93{,}41876935))$$

$$= 40{,}08240582$$

$$V_{9,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(0) = 0$$

$$V_{8,3} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(0) = 0$$

.

.

.

$$V_{0,3} = e^{(-0,0475)0,021917808}(40,08240582)$$
$$= 40,04069791$$

Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{9,3} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{0; 0\} = 0$$
$$V_{8,3} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{0; 0\} = 0$$

.

.

.

$$V_{0,3} = \max\{S(t_k) - K, e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]\}$$
$$= \max\{80,28983911; 40,04069791\}$$
$$= 80,28983911$$

Nilai opsi pada t = 2

$$\mathrm{E}\left[V\left(S_{6,2}, 1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{9,3}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{8,3}, 2\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{7,3}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{6,3}, 4\right)$$
$$= ((0,11028266 \times 0) + (0,119687501 \times 0) + (0,12989438 \times 0) + (0,140971697 \times 0,740739542))$$
$$= 0,096217904$$

$$E\left[V\left(S_{5,2,},1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{8,3},2\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{7,3},3\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{6,3},4\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{5,3},5\right)$$

$$= ((0{,}11028266 \times 0) + (0{,}119687501 \times 0) + (0{,}12989438 \times 0{,}096217904) + (0{,}140971697 \times 4{,}671391267))$$

$$= 0{,}711210784$$

.

.

.

$$E\left[V\left(S_{0,2,},1\right)\right] = P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{3,3},10\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,3},11\right) + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,3},12\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,3},13\right)$$

$$= ((0{,}11028266 \times 38{,}20503032) + (0{,}119687501 \times 55{,}17828737) + (0{,}12989438 \times 69{,}01312131) + (0{,}140971697 \times 80{,}28983911))$$

$$= 30{,}97559939$$

$$V_{6,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(0{,}096217904)$$

$$= 0{,}096117784$$

$$V_{5,2} = e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(0{,}711210784)$$

$$= 0{,}710470731$$

.

.

.

$$V_{0,2} = e^{(-0,0475)0,021917808}(30,97559939)$$
$$= 30,9433676$$

Nilai opsi pada t = 1 (waktu eksekusi)

Opsi *call* pada waktu eksekusi t_k

Payoff

$V_{3,1} = \max\{K - S_t, 0\} = \max\{130 - 169,5089356, 0\} = 0$

$V_{2,1} = \max\{K - S_t, 0\} = \max\{130 - 138,1660554, 0\} = 0$

$V_{1,1} = \max\{K - S_t, 0\} = \max\{130 - 112,6185991, 0\}$
$= 17,3814009$

$V_{0,1} = \max\{K - S_t, 0\} = \max\{130 - 91,79496968, 0\}$
$= 38,20503032$

Rumus:

$$\begin{aligned} \mathrm{E}\left[V\left(S_{3,1}, 1\right)\right] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{6,2}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{5,2}, 2\right) \\ &\quad + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{4,2}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{3,2}, 4\right) \\ &= ((0,11028266 \times 0,096117784) + \\ &\quad (0,119687501 \times 0,710470731) + \\ &\quad (0,12989438 \times 3,001810716) + \\ &\quad (0,140971697 \times 8,045321873)) \end{aligned}$$

$$= 1{,}619715608$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\ S_{2,1,},2\big)\big] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{,52},2\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{4,2},3\big)$$
$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,2},4\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,2},5\big)$$
$$= ((0{,}11028266 \times 0{,}710470731) +$$
$$(0{,}119687501 \times 3{,}001810716) +$$
$$(0{,}12989438 \times 8{,}045321873) +$$
$$(0{,}140971697 \times 15{,}13292425))$$
$$= 3{,}61598793$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\ S_{1,1,},3\big)\big] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{4,2},3\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,2},4\big)$$
$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,2},5\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{1,2},6\big)$$
$$= ((0{,}11028266 \times 3{,}001810716) +$$
$$(0{,}119687501 \times 8{,}045321873) +$$
$$(0{,}12989438 \times 15{,}13292425) +$$
$$(0{,}140971697 \times 23{,}20835044))$$
$$= 6{,}531374495$$

$$\mathrm{E}\big[V\big(\ S_{0,1,},4\big)\big] = P_{3,0}.\,\mathrm{V}\big(S_{3,2},4\big) + P_{3,1}.\,\mathrm{V}\big(S_{2,2},5\big)$$
$$+ P_{3,2}.\,\mathrm{V}\big(S_{1,2},6\big) + P_{3,3}.\,\mathrm{V}\big(S_{0,2},7\big)$$
$$= ((0{,}11028266 \times 8{,}045321873) +$$
$$(0{,}119687501 \times 15{,}13292425) +$$
$$(0{,}12989438 \times 23{,}20835044) +$$
$$(0{,}140971697 \times 30{,}9433676))$$
$$= 10{,}07525471$$

$$V_{3,1} = e^{(-0,0475)0,021917808}(1,619715608)$$
$$= 1,618030207$$
$$V_{2,1} = e^{(-0,0475)0,021917808}(3,61598793)$$
$$= 3,612225299$$
$$V_{1,1} = e^{(-0,0475)0,021917808}(6,531374495)$$
$$= 6,524578246$$
$$V_{0,1} = e^{(-0,0475)0,021917808}(10,07525471)$$
$$= 10,06477086$$

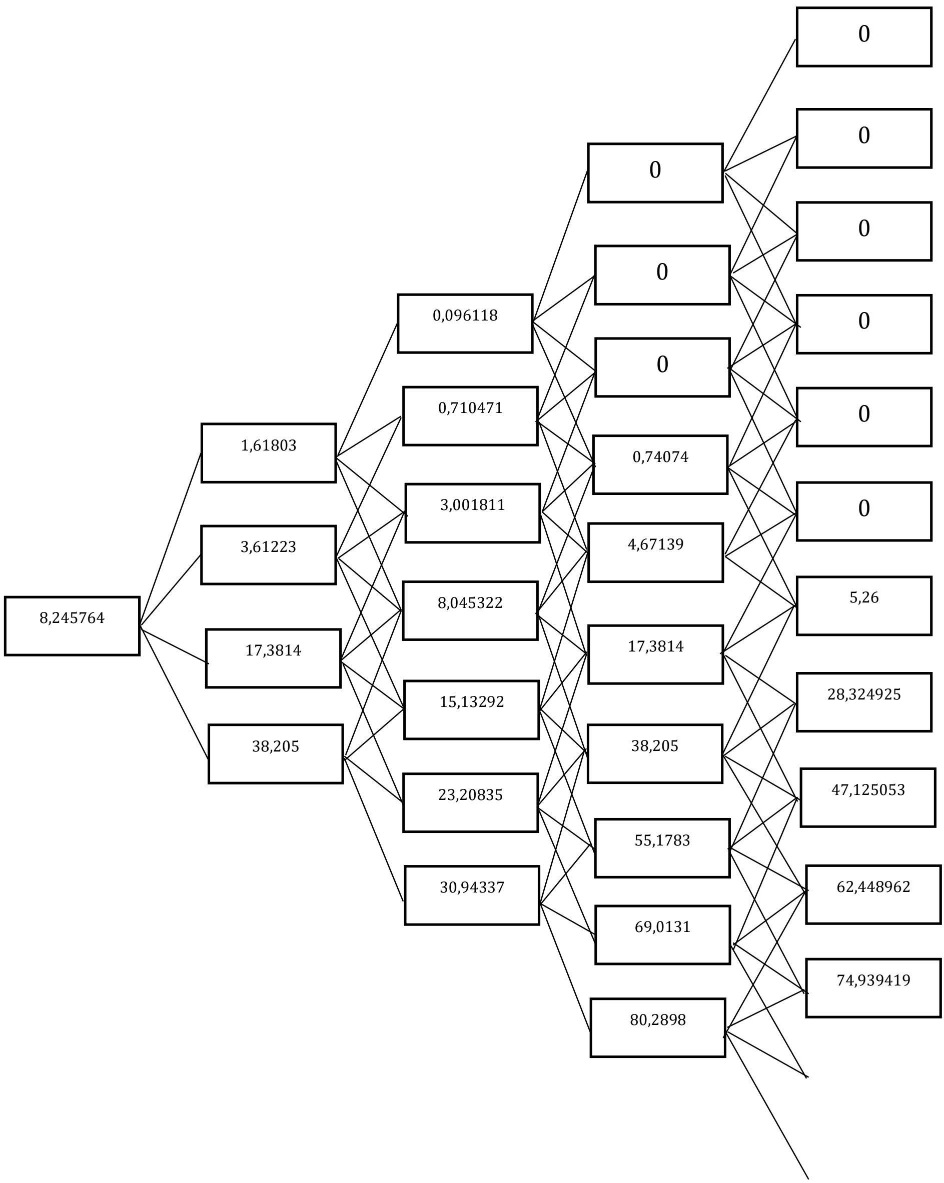
Membandingkan payoff dan rumus

$$V_{3,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{0; 1,618030207\}$$
$$= 1,618030207$$
$$V_{2,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{0; 3,612225299\}$$
$$= 3,612225299$$
$$V_{1,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{17,3814009; 6,524578246\}$$
$$= 17,3814009$$
$$V_{0,1} = \max\{K - S(t_k), e^{-r\Delta t}.E[V(S_n, n)]$$
$$= \max\{38,20503032; 10,06477086\}$$
$$= 38,20503032$$

Nilai Opsi pada $t = 0$

$$\begin{aligned} \mathrm{E}\left[V\left(S_{0,0}, 1\right)\right] &= P_{3,0}.\mathrm{V}\left(S_{3,1}, 1\right) + P_{3,1}.\mathrm{V}\left(S_{2,1}, 2\right) \\ &\quad + P_{3,2}.\mathrm{V}\left(S_{1,1}, 3\right) + P_{3,3}.\mathrm{V}\left(S_{0,1}, 4\right) \\ &= ((0{,}11028266 \times 1{,}618030207) + \\ &\quad (0{,}119687501 \times 3{,}612225299) + \\ &\quad (0{,}12989438 \times 17{,}3814009) + \\ &\quad (0{,}140971697 \times 38{,}20503032)) \\ &= 8{,}254353137 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{0,0} &= e^{(-0{,}0475)0{,}021917808}(8{,}254353137) \\ &= 8{,}245764036 \end{aligned}$$


0
0
0
0
0
0
0
0
0
0,096118
0,710471
1,61803
0,74074
3,001811
3,61223
4,67139
5,26
8,245764
8,045322
17,3814
17,3814
28,324925
15,13292
38,205
38,205
47,125053
23,20835
55,1783
62,448962
30,94337
69,0131
74,939419
80,2898

85,120341

93,418769

Gambar 4.20 Skema pohon multinomial opsi *put* Bermuda saham GOOG dengan $n = 4$

G. Mengecek hasil dari penentuan harga Opsi Bermuda menggunakan Metode *Lattice* Multinomial apakah mendekati harga opsi di pasar.

Tabel 4.25 Harga opsi *call* dengan $n = 2$ menggunakan metode *Lattice M*ultinomial dan harga opsi di pasar

No	Saham	Nilai Opsi *call* Bermuda (V_0)	Opsi Pasar	$error^2$
1	TSLA	19,35899059	15,2	17,29720272
2	MSFT	20,3146894	8,45	140,7708545
3	AAPL	33,30538714	2,26	963,816063
4	META	19,10459792	15,65	11,93424677
5	GOOG	8,676222042	2,87	33,7122144
MSE				233,5061163

Tabel 4.26 Harga opsi *call* dengan $n = 4$ menggunakan metode *Lattice M*ultinomial dan harga opsi di pasar

No	Saham	Nilai Opsi *call* Bermuda (V_0)	Opsi Pasar	$error^2$
1	TSLA	12,96395	15,2	4,999939359
2	MSFT	13,70116	8,45	27,57468276
3	AAPL	23,42931	2,26	448,1396816
No	**Saham**	**Nilai Opsi *call* Bermuda (V_0)**	**Opsi Pasar**	$error^2$
4	META	13,10619	15,65	6,470954125
5	GOOG	5,931817	2,87	9,374726084
MSE				99,31199678

Tabel 4.27 Harga opsi *put* dengan $n = 2$ menggunakan metode *Lattice M*ultinomial dan harga opsi di pasar

No	Saham	Nilai Opsi *put* Bermuda (V_0)	Opsi Pasar	$error^2$
1	TSLA	23,34930329	26,2	8,126471742
2	MSFT	23,67588005	16,77	47,69117927
3	AAPL	36,50277656	9,15	748,1743857
4	META	20,81287732	20,63	0,033444114
5	GOOG	10,95182168	7,6	11,23470856
MSE				163,0520379

Tabel 4.28 Harga opsi *put* dengan $n = 4$ menggunakan metode *Lattice M*ultinomial dan harga opsi di pasar

No	Saham	Nilai Opsi *put* Bermuda (V_0)	Opsi Pasar	$error^2$
1	TLA	19,0248369	26,2	51,48296551
2	MSFT	17,74931294	16,77	0,959053826
3	AAPL	26,80608823	9,15	311,7374517
4	META	15,47646588	20,63	26,5589139
5	GOOG	8,245764036	7,6	0,41701119
MSE				78,23107922

Berdasarkan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa harga masing-masing opsi jauh dengan harga opsi di pasar. Hal ini dikarenakan jumlah langkah atau node (pergerakan saham) yang digunakan pada penelitian masih sedikit yaitu hanya 2 langkah dan 4 langkah saja. Sedangkan pergerakan saham sendiri sangat banyak, cepat dan dinamis.

B. Pembahasan

Pada penelitian ini penulis menggunakan lima data saham yang cukup familiar, yaitu: Tesla Inc, Microsoft Coorporation, Apple Inc, Meta Platmorf, dan Alpabeth Inc untuk dihitung nilai opsinya. Penulis menggambil data selama kurung waktu 3 tahun sebelumnya, yaitu dimulai pada tanggal 17 Juli 2020 sampai 17 Juli 2023. Penulis menggunakan data harga penutupan saham harian dari masing-masing kelima saham tersebut. Adapun harga awal masing-masing saham dapat dilihat pada lampiran 1 dan suku bunga dari Bank Amerika yang digunakan yaitu sebesar 4,75%. Kemudian akan dicari nilai variansi *return* pada masing-masing saham dengan mengunakan hasil perhitungan nilai ekpektasi *return* yang sudah terhitung pada tabel masing-masing saham. Sebelum menghitung harga opsi Bermuda pada setiap sahamnya, akan dicari nilai $\Delta t, u, d$ dan p-nya terlebih dahulu menggunakan persamaan 2.28 dan 2.27. Waktu eksekusi pada penelitian ini yaitu 2 dan 4 periode. Hasil awal hingga waktu eksekusi dari perhitungan masing-masing saham dapat dilihat pada tabel masing-masing saham. Dengan menggunakan persamaan 2.31 maka akan diperoleh nilai ekspektasi opsi Bermuda pada masing-masing saham. Setelah didapatkan hasilnya, menggunakan persamaan 2.32 dapat dipresent *value*kan untuk menentukan nilai opsi bermuda pada masing-masing saham.

Berdasarkan Tabel 4.25, 4.26, 4.27 dan 4.28 nilai MSE yang lebih kecil baik untuk opsi *call* dan opsi *put* adalah harga opsi Bermuda menggunakan metode Multinomial dengan $n = 4$.

Semakin besar n maka semakin kecil *error* yang diperoleh. Namun, nilai opsi Bermuda menggunakan metode Multinomial baik $n = 2$ maupun $n = 4$ masih jauh dari harga opsi pasar. Hal ini dikarenakan jumlah langkah atau node (pergerakan saham) yang digunakan pada penelitian masih sedikit yaitu hanya 2 langkah dan 4 langkah saja. Sedangkan pergerakan saham sendiri sangat banyak, cepat dan dinamis.

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan pada hasil dan pembahasan diatas maka dapat ditarik kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Harga opsi Bermuda menggunakan metode *Lattice* Multinomial untuk masing-masing saham, yaitu:
   a. Harga opsi *call* TSLA untuk $n = 2$ adalah 19,35899059 dan untuk $n = 4$ adalah 12,96395 sedangkan harga opsi *put* TSLA untuk $n = 2$ adalah 23,34930329 dan untuk $n = 4$ adalah 19,0248369.
   b. Harga opsi *call* MSFT untuk $n = 2$ adalah 20,3146894 dan untuk $n = 4$ adalah 13,70116 sedangkan harga opsi *put* MSFT untuk $n = 2$ adalah 23,67588005 dan untuk $n = 4$ adalah 17,74931294.
   c. Harga opsi *call* AAPL untuk $n = 2$ adalah 33,30538714 dan untuk $n = 4$ adalah 23,42931 sedangkan harga opsi *put* AAPL untuk $n = 2$ adalah 36,50277656 dan untuk $n = 4$ adalah 26,80608823.
   d. Harga opsi *call* META untuk $n = 2$ adalah 19,10459792 dan untuk $n = 4$ adalah 13,10619 sedangkan harga opsi *put* META untuk $n = 2$ adalah 20,81287732 dan untuk $n = 4$ adalah 15,47646588.
   e. Harga opsi *call* GOOG untuk $n = 2$ adalah 8,676222042 dan untuk $n = 4$ adalah 5,931817 sedangkan harga opsi *put*

GOOG untuk $n = 2$ adalah 10,95182168 dan untuk $n = 4$ adalah 8,245764036.

2. Berdasarkan Tabel 4.25, 4.26, 4.27, dan 4.28 dapat disimpulkan bahwa Perhitungan harga opsi Bermuda menggunakan metode *Lattice* Multinomial ini, belum mendekati harga opsi di pasar. Dilihat pula pada hasil perhitungan yang diperoleh semakin kecil nilai n maka nilai opsinya semakin besar. Hal ini berlawanan dengan hasil dari beberapa penelitian sebelumnya mereka menyimpulkan bahwa semakin tinggi nilai n maka nilai opsi semakin besar. Penulis menyarankan agar peneliti selanjutnya dapat menggunakan beberapa langkah agar hasil penelitian yang diperoleh dapat mendekati harga opsi di pasar, karena pergerakan saham sendiri begitu banyak, cepat dan dinamis serta opsi dengan $n = 4$ mempunyai nilai MSE yang lebih kecil baik untuk opsi *call* dan opsi *put*. Semakin besar n maka semakin kecil *error* yang diperoleh.

B. Saran

Dalam skripsi ini membahas mengenai penentuan harga opsi Bermuda dengan metode *Lattice* Multinomial yang merupakan transformasi dari metode binomial. Diharapkan bagi pembaca yang tertarik dengan topik ini atau peneliti selanjutnya dapat menggunakan metode lain. Dan juga dapat menambahkan pergerakan saham dengan jumlah langkah atau node yang lebih banyak agar harga opsi saham dapat lebih mendekati harga opsi di pasar.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Qur'an dan Terjemahan. Kementrian Agama Republik Indonesia. 2022

Agustina, Fitriana. 2004. "*Kekonvergenan Model Binomial dalam Penentuan Harga Opsi Eropa".* h.8

Binatari, N., Kusumawati R., dan Latif, A. 2013. "*Penentuan Harga Opsi Saham Tipe Amerika dengan Pembagian Deviden Menggunakan Finite Element Method".* Jurnal Penulisan Saintek. Vol. 18. No. 2., pp. 59-72.

Dewi, Syanti. 2018. "*Opsi Saham pada Saat Pasar Modal di Indanesia (Studi Pasar Opsi Saat Pasar Opsi Masih Berlangsung di Bursa Efek Indonesia)*". Jurnal Muara Ilmu Ekonomi dan Bisnis. Vol. 2. No 02. 2579-6232.

Fahria, Izma. 2016. "*Bermuda Style Option Pricing Though Binomial Tree Method".* Yogyakarta:Universitas Gajah Mada.

Fahria, Izma. 2018. "*Pricing Bermuda-Type Call Option Through Binomial Tree Method"* . Jurnal *AFEBI Accounting Review* (AAR).

Fitriyana Roza, Nur., Deni Saefudin, dan Irma Palupi. 2015. "*Penentuan Harga Opsi (call) Aia Menggunakan Metode Lattice Multinomial". e-Proceeding of Engineering:* Vol.2, No.3.

Idrus Mutawaslih, Ahmad. 2022. *"Penentuan Harga Opsi Bermuda Menggunakan Metode Binomial".* Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi. Semarang:Universitas Walisongo Semarang.

Lessy, Djaffar.2013.*"Penentuan Harga Opsi Eropa dengan Model Binomial".* Jurnal Matematika dan Pembelajarannya. Vol.1.no.1z

Lestari, Jumriana. 2018. *"Penerapan Metode Lattice Multinomial untuk Menentukan Harga Opsi Call Asia"*. Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi. Makassar:Universitas Alauddin Makassar.

Liu. B., Mohandes, M., Nuha, H., Deriche, M., Fekri., & McClellan,. J.H. 2021*. A multitone model-bassed seismic data compression. IEEE Transactions on Sytems, Man adnd Cybernetics: Systems, 52(2).* 1030-1040.

Muslim, A. 2017. "*Peramalan Ekspor dengan Hibrida ARIMA-ANFIS"*. Kajian Ekonomi & Keuangan, 1(2), 128-142.

Nadia, Syarifah dkk. 2018. "*Penentuan Harga Opsi Eropa dengan Metode Binomial"*. Bimaster.

Nur Roza Fitriana, Deni Saepudi dan Irma Palupi. 2015*. "Penentuan Harga Opsi (Call) Asia Menggunakan Metode Lattice Multinomial".*

Purwanti, Reski. 2018. *"Penentuan Harga Opsi Eropa Mnggunakan Metode Multinomial"*. Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi. Makassar:Universitas Alauddin Makassar.

Prihandoko, Dedy. 2016. "*Penentuan Nilai Opsi Bermuda Menggunakan Metode Binomial (Studi Kasus Saham Pada Bursa Efek Indonesia).* FakultasMatematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Bogor:Institut Pertanian Bogor.

Resnianty, Annisa dkk. 2016. *"Penentuan Nilai Opsi Vanilia Tipe Eropa Multi Aset Menggunakan Metode Lattice Multinomial".* Prodi Ilmu Komputasi. Bandung:Telkom University.

Rusgiyano, A., Mooy M. N, dan R. Rahmawati. *"Penentuan Harga Opsi Put dan Call Tipe EropaTerhadap Saham Menggunakan Model Black-Scholes".* Jurnal Gaussian. Vol. 6. No. 3. Pp. 407-417, Aug.2017.

Sunariyah. 2011. *Pengantar Pengetahuan Pasar Modal*. Yogyakarta: Unit Penerbit dan Percetakan Sekolah Tinggi Ilmu Manajemen YKPN.

Tendelilin, Eduardus. 2017. *Pasar Modal: Manajemen Portofolio & Investasi*. Yogyakarta: Kanisius.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1. Harga Penutupan Masing-Masing Saham

T	Tanggal	Harga Penutupan Masing-masing Saham				
		TSLA	MSFT	AAPL	META	GOOG
0	17/07/2020	100,06	202,88	96,33	242,03	75,78
1	20/07/2020	109,53	211,6	98,36	245,42	78,29
2	21/07/2020	104,56	208,75	97	241,75	77,92
3	22/07/2020	106,16	211,75	97,27	239,87	78,42
4	23/07/2020	100,87	202,54	92,85	232,6	75,78
5	24/07/2020	94,47	201,3	92,61	230,71	75,59
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
748	10/07/2023	269,61	331,83	188,61	294,1	116,87
749	11/07/2023	269,79	332,47	188,08	298,29	117,71
750	12/07/2023	271,99	337,2	189,77	309,34	119,62
751	13/07/2023	277,9	342,66	190,54	313,41	124,83
752	14/07/2023	281,38	345,24	190,69	308,87	281,38
753	17/07/2023	290,38	354,73	193,99	310,62	290,38

Sumber: https://finance.yahoo.com, diakses 17-18 Juli 2023

Lampiran 2. Harga Suku Bunga

Negara	Terakhir	Sebelum ini	Referensi	Satuan
Jepang	-0,1	-0,1	2023-03	%
Swiss	1	1	2023-02	%
Kawasan Euro	3,5	3	2023-03	%
Korea Selatan	3,5	3,5	2023-02	%
Australia	3,6	3,35	2023-03	%
Tiongkok	3,65	3,65	2023-03	%
Singapura	3,79	3,35	2023-03	%
Inggris Raya	4	3,5	2023-02	%
Kanada	4,5	4,5	2023-03	%
Amerika Serikat	4,75	4,5	2023-02	%
Arab Saudi	5,25	5	2023-02	%
Indonesia	5,75	5,75	2023-03	%
India	6,5	6,25	2023-02	%
Afrika Selatan	7,25	7,25	2023-02	%
Rusia	7,5	7,5	2023-03	%
Turki	8,5	9	2023-02	%
Meksiko	11	10,5	2023-02	%
Brazil	13,75	13,75	2023-02	%
Argentina	78	75	2023-03	%

Sumber; https://id.tradingeconomics.com/united-states/interest-rate, diakses 23 Maret pukul 00.09 WIB

Lampiran 3. Nilai *Return* pada masing-masing saham

Perhitungan data pada tanggal 17 Juli 2020 – 17 Juli 2023 pada masing-masing saham

1. Saham Tesla Inc (TSLA)

T	R_t	$R_t - E(\bar{R}_t)$	$(R_t - E(\bar{R}_t))^2$
0	0	0	0
1	0,090428478	0,089013577	0,007923417
2	-0,046437415	-0,047852316	0,002289844
3	0,015186321	0,01377142	0,000189652
4	-0,051114831	-0,052529732	0,002759373
5	-0,065550235	-0,066965136	0,004484329
6	0,082945397	0,081530496	0,006647222
7	-0,041882085	-0,043296986	0,001874629
8	0,01522437	0,013809469	0,000190701
9	-0,007734457	-0,009149358	8,37107E-05
10	-0,038966636	-0,040381537	0,001630669
11	0,037250937	0,035836036	0,001284221
12	0,00131227	-0,000102631	1,05331E-08
13	-0,00131227	-0,002727171	7,43746E-06
14	0,003126421	0,00171152	2,9293E-06
15	-0,025082881	-0,026497782	0,000702132
16	-0,023823089	-0,02523799	0,000636956
17	-0,031581572	-0,032996473	0,001088767
19	0,12326111	0,121846209	0,014846499
20	0,041759326	0,040344425	0,001627673
. . .	. . .	. . .	. . .
740	-0,062514071	-0,063928972	0,004086913
741	0,037296184	0,035881283	0,001287467

T	R_t	$R_t - E(\bar{R}_t)$	$(R_t - E(\bar{R}_t))^2$
742	0,02381394	0,022399039	0,000501717
743	0,004905215	0,003490314	1,21823E-05
744	0,016446536	0,015031635	0,00022595
745	0,066680284	0,065265383	0,00425957
746	0,009461212	0,008046311	6,47431E-05
747	-0,021252276	-0,022667177	0,000513801
748	-0,007659257	-0,009074158	8,23403E-05
749	-0,017719749	-0,01913465	0,000366135
750	0,000667408	-0,000747493	5,58745E-07
751	0,008121422	0,020081135	0,000403252
752	0,012444732	0,011029831	0,000121657
753	0,031484341	0,03006944	0,000904171
Jumlah	**0,001414901**	**1,09288E-15**	**1,377312322**

2. Saham crosoft Corporation (MSFT)

T	R_t	$R_t - E(\bar{R}_t)$	$(R_t - E(\bar{R}_t))^2$
0	0	0	0
1	0,042083029	0,041341007	0,001709079
2	-0,01356034	-0,014302358	0,000204557
3	0,01426897	0,013526948	0,000182978
4	-0,04446894	-0,045210957	0,002044031
5	-0,00614107	-0,006883087	4,73769E-05
6	0,012588097	0,011846075	0,000140329
7	-0,00901773	-0,009759748	9,52527E-05
8	0,010047366	0,009305344	8,65894E-05
9	-0,00078439	-0,001526412	2,32993E-06
10	0,005429081	0,004687059	2,19685E-05
11	0,054716529	0,053974508	0,002913247
12	-0,01512255	-0,015864567	0,000251684
13	-0,00164231	-0,002384328	5,68502E-06
14	0,015887031	0,015145009	0,000229371

T	R_t	$R_t - E(\bar{R}_t)$	$(R_t - E(\bar{R}_t))^2$
15	-0,0180496	-0,018791622	0,000353125
16	-0,02010859	-0,020850607	0,000434748
17	-0,02366313	-0,024405152	0,000595611
19	0,02816678	0,027424758	0,000752117
20	-0,00234512	-0,003087137	9,53042E-06
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
740	0,01800492	0,017262898	0,000298008
741	0,003818506	0,003076485	9,46476E-06
742	-0,00238486	-0,003126879	9,77737E-06
743	0,016252819	0,015510797	0,000240585
744	-0,00751628	-0,008258305	6,81996E-05
745	0,000473275	-0,000268747	7,22249E-08
746	0,009184369	0,008442347	7,12732E-05
747	-0,01193842	-0,012680438	0,000160794
748	-0,01611275	-0,016854768	0,000284083
749	0,001926841	0,001184819	1,4038E-06
750	0,014126596	0,013384574	0,000179147
751	0,016062476	0,015320454	0,000234716
752	0,007501125	0,006759104	4,56855E-05
753	0,027117109	0,026375088	0,000695645
Jumlah	**0,000742022**	**0**	**0,945776287**

Saham Apple Inc

3. Saham AAPL

T	R_t	$R_t - E(\bar{R}_t)$	$(R_t - E(\bar{R}_t))^2$
0	0	0	0
1	0,020854421	0,01992477	0,000396996
2	-0,013923239	-0,014852889	0,000220608
3	0,002779638	0,001849988	3,42246E-06
4	-0,046505329	-0,04743498	0,002250077
T	R_t	$R_t - E(\bar{R}_t)$	$(R_t - E(\bar{R}_t))^2$
5	-0,002588161	-0,003517811	1,2375E-05
6	0,023477762	0,022548111	0,000508417
7	-0,01659083	-0,017520481	0,000306967
8	0,019013797	0,018084147	0,000327036
9	0,012027547	0,011097896	0,000123163
10	0,099563519	0,098633868	0,00972864
11	0,024908351	0,0239787	0,000574978
12	0,006678585	0,005748934	3,30502E-05
13	0,003549815	0,002620164	6,86526E-06
14	0,034295199	0,033365548	0,00111326
15	-0,024800169	-0,025729819	0,000662024
16	0,014474877	0,013545227	0,000183473
17	-0,030167521	-0,031097172	0,000967034
19	0,032648252	0,031718602	0,00100607
20	0,017542771	0,01661312	0,000275996
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
740	0,01494684	0,01401719	0,000196482
741	0,006307831	0,005378181	2,89248E-05
742	0	-0,00092965	8,6425E-07
743	0,024634616	0,023704965	0,000561925
744	-0,007815168	-0,008744818	7,64719E-05
745	-0,005888654	-0,006818305	4,64893E-05
746	0,002505613	0,001575962	2,48366E-06
747	-0,005908668	-0,006838319	4,67626E-05

748	-0,010915239	-0,01184489	0,000140301
749	-0,002813987	-0,003743637	1,40148E-05
750	0,008945408	0,008015758	6,42524E-05
751	0,004049334	0,003119683	9,73242E-06
752	0,000786927	-0,000142724	2,03701E-08
753	0,017157538	0,016227888	0,000263344
T	$\boldsymbol{R_t}$	$\boldsymbol{R_t - E(\bar{R}_t)}$	$\boldsymbol{(R_t - E(\bar{R}_t))^2}$
Jumlah	**0,00092965**	**-1,04777E-15**	**7,76972118**

4. Saham Meta Platforms (META)

T	$\boldsymbol{R_t}$	$\boldsymbol{R_t - E(\bar{R}_t)}$	$\boldsymbol{(R_t - E(\bar{R}_t))^2}$
0	0	0	0
1	0,013909343	0,01357799	0,000184362
2	-0,015066894	-0,015398247	0,000237106
3	-0,007807024	-0,008138377	6,62332E-05
4	-0,03077687	-0,031108223	0,000967722
5	-0,00815873	-0,008490082	7,20815E-05
6	0,012020567	0,011689214	0,000136638
7	-0,014581165	-0,014912518	0,000222383
8	0,013681403	0,01335005	0,000178224
9	0,005173273	0,00484192	2,34442E-05
10	0,078578622	0,078247269	0,006122635
11	-0,006763865	-0,007095218	5,03421E-05
12	-0,008489658	-0,008821011	7,78102E-05
13	-0,002845978	-0,003177331	1,00954E-05
14	0,062851164	0,062519811	0,003908727
15	0,011841553	0,011510201	0,000132485
16	-0,020473393	-0,020804746	0,000432837
17	-0,026468904	-0,026800257	0,000718254
19	0,014573336	0,014241984	0,000202834
20	0,005410708	0,005079355	2,57998E-05
.	.	.	.
.	.	.	.

.	.	.	.
740	0,030346083	0,03001473	0,000900884
741	-0,00615021	-0,006481563	4,20107E-05
742	0,00615021	0,005818857	3,38591E-05
743	-0,002651134	-0,002982486	8,89522E-06
T	$\boldsymbol{R_t}$	$\boldsymbol{R_t - E(\bar{R}_t)}$	$\boldsymbol{(R_t - E(\bar{R}_t))^2}$
744	0,002407244	0,002075891	4,30932E-06
745	0,025424953	0,0250936	0,000629689
746	-0,008117924	-0,008449277	7,13903E-05
747	-0,005012714	-0,005344067	2,8559E-05
748	0,012213004	0,011881652	0,000141174
749	0,014146322	0,013814969	0,000190853
750	0,036374828	0,036043475	0,001299132
751	0,013071242	0,012739889	0,000162305
752	-0,014591761	-0,014923114	0,000222699
753	0,005649824	0,005318471	2,82861E-05
Jumlah	**0,000331353**	**-1,49186E-16**	**0,983475898**

5. Saham Alphabet Inc (GOOG)

T	$\boldsymbol{R_t}$	$\boldsymbol{R_t - E(\bar{R}_t)}$	$\boldsymbol{(R_t - E(\bar{R}_t))^2}$
0	0	0	0
1	0,032585475	0,03080147	0,000948731
2	-0,00473722	-0,006521227	4,25264E-05
3	0,006396338	0,004612332	2,12736E-05
4	-0,03424459	-0,036028597	0,00129806
5	-0,00251041	-0,004294412	1,8442E-05
6	0,012097452	0,010313447	0,000106367
7	-0,01966671	-0,021450712	0,000460133

8	0,01429352	0,012509515	0,000156488
9	0,00615709	0,004373085	1,91239E-05
10	-0,03211529	-0,033899292	0,001149162
11	-0,00581594	-0,007599941	5,77591E-05
12	-0,00639588	-0,00817989	6,69106E-05
13	0,005853144	0,004069139	1,65579E-05
14	0,017756722	0,015972716	0,000255128
15	-0,00374032	-0,005524325	3,05182E-05
16	0,001203772	-0,000580233	3,36671E-07
T	$\boldsymbol{R_t}$	$\boldsymbol{R_t - E(\bar{R}_t)}$	$(\boldsymbol{R_t - E(\bar{R}_t)})^2$
17	-0,01061624	-0,012400244	0,000153766
19	0,017543135	0,01575913	0,00024835
20	0,007801692	0,006017687	3,62126E-05
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
740	-0,00067199	-0,002455992	6,0319E-06
741	0,017243961	0,015459956	0,00023901
742	-0,00887641	-0,010660417	0,000113644
743	0,007967508	0,006183503	3,82357E-05
744	-0,00339503	-0,005179032	2,68224E-05
745	0,017024137	0,015240132	0,000232262
746	-0,01395983	-0,015743831	0,000247868
747	-0,00655414	-0,008338142	6,95246E-05
748	-0,02759552	-0,029379529	0,000863157
749	0,007161766	0,005377761	2,89203E-05
750	0,016096079	0,014312074	0,000204835
751	0,04263276	0,040848755	0,001668621
752	0,812753257	0,810969252	0,657671128
753	0,031484341	0,029700336	0,00088211
Jumlah	**0,001784005**	**-3,7817E-16**	**1,422760456**

RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama Lengkap : Siti Cholifatul Ma'rifah
2. TTL : Grobogan, 15 Januari 2001
3. Alamat Rumah : Dsn. Pejaren RT 0005/RW01 Ds. Boloh, Kec. Toroh, Kab. Grobogan
4. No. HP : 088229951775
5. E-Mail : siticholifah0415@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal
   a. TK Dharma Wanita 2
   b. SD N 2 Boloh
   c. MTs YPI Boloh Toroh
   d. MA Shofa Marwa Plosoharjo Toroh
2. Pendidikan Non-Formal
   a. Pondok Pesantren Fadhlul Fadhlan Mijen Semarang

Semarang, 27 Desember 2023

Siti Cholifatul M

NIM. 1908046018