ANALISIS METODE BINOMIAL DIPERCEPAT PADA PERHITUNGAN HARGA OPSI EROPA

SKRIPSI

Oleh:
ISTIQOMAH
NIM. 10610062

JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2014

ANALISIS METODE BINOMIAL DIPERCEPAT PADA PERHITUNGAN HARGA OPSI EROPA

SKRIPSI

Diajukan Kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Oleh:
ISTIQOMAH
NIM. 10610062

JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2014

ANALISIS METODE BINOMIAL DIPERCEPAT
PADA PERHITUNGAN HARGA OPSI EROPA

SKRIPSI

Oleh:
ISTIQOMAH
NIM. 10610062

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal: 13 Mei 2014

Dosen Pembimbing I,	Dosen Pembimbing II,
Abdul Aziz, M.Si	Dr. H. Ahmad Barizi, M.A
NIP. 197680318 200604 1 002	NIP. 19731212 199803 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika

Dr. Abdussakir, M.Pd
NIP. 19751006 200312 1 001

ANALISIS METODE BINOMIAL DIPERCEPAT PADA PERHITUNGAN HARGA OPSI EROPA

SKRIPSI

Oleh:
ISTIQOMAH
NIM. 10610062

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan Dinyatakan diterima sebagai Salah Satu Persyaratan untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 23 Mei 2014

Penguji Utama	: Dr. Sri Harini, M.Si NIP. 19731014 200112 2 002	________________
Ketua Penguji	: Ari Kusumastuti, S.Si, M.Pd NIP. 19770521 200501 2 004	________________
Sekretaris Penguji	: Abdul Aziz, M.Si NIP. 19760318 200604 1 002	________________
Anggota Penguji	: Dr. H. Ahmad Barizi, M.A NIP. 19731212 199803 1 001	________________

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Matematika

Dr. Abdussakir, M.Pd
NIP. 19751006 200312 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : ISTIQOMAH

NIM : 10610062

Jurusan : Matematika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul : Analisis Metode Binomial Dipercepat pada Perhitungan Harga Opsi Eropa

menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 13 Mei 2014

Yang membuat Pernyataan,

Istiqomah

NIM. 10610062

MOTTO

بِسۡمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحۡمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

فَإِنَّ مَعَ ٱلۡعُسۡرِ يُسۡرًا ٥ إِنَّ مَعَ ٱلۡعُسۡرِ يُسۡرًا ٦

"Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan,
Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan"

(QS. Alam Nasyrah: 05-06)

GOD NEVER SLEEP

(Penulis)

PERSEMBAHAN

بِسۡمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحۡمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

ٱلۡحَمۡدُ لِلَّهِ رَبِّ ٱلۡعَٰلَمِينَ

DENGAN IRINGAN DO'A SERTA RASA SYUKUR YANG TIDAK TERBATAS, KARYA INI PENELITI PERSEMBAHKAN KEPADA:

*Ibunda tercinta **Asiyah**,*

*Ayahanda tersayang **Kamsi**, dan*

*Kakak terbaik **Ahmad Yanto**, serta semua Saudara yang selalu memberi dorongan dan semangat pada peneliti baik secara moril maupun materiil*

KATA PENGANTAR

Syukur *alhamdulillah* ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, hidayah, dan inayah-Nya sehingga skripsi dengan judul "**Analisis Metode Binomial Dipercepat Pada Perhitungan Harga Opsi Eropa**" ini dapat diselesaikan dengan baik. Sholawat serta salam semoga dicurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah mengantarkan manusia ke jalan kebenaran.

Keberhasilan penelitian skripsi ini tidak lepas dari bimbingan, arahan, dan bantuan dari berbagai pihak, baik berupa pikiran, motivasi, tenaga, maupun doa. Karena itu, peneliti mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Mudjia Rahardjo, M.Si, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. drh. Hj. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Abdussakir, M.Pd, selaku Ketua Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan bimbingan dan petunjuk dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Abdul Aziz, M.Si, selaku dosen pembimbing matematika yang telah memberikan bimbingan dan petunjuk dalam menyelesaikan skripsi serta yang dengan sabar telah meluangkan waktunya demi memberikan bimbingan dan arahan kepada peneliti dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Dr. Ahmad Barizi, M.A, selaku dosen pembimbing agama yang telah memberikan bimbingan dan petunjuk dalam menyelesaikan skripsi serta

yang dengan sabar telah meluangkan waktunya demi memberikan bimbingan dan arahan kepada peneliti dalam penyelesaian skripsi ini.

6. Dr. Usman Pagalay, M.Si, selaku dosen wali yang selalu memberi arahan dan bimbingan kepada peneliti dalam penelitian skripsi ini.
7. Bapak dan Ibu dosen serta staf Jurusan Matematika maupun Fakultas yang selalu membantu dan memberikan dorongan semangat semasa kuliah.
8. Bapak Kamsi, ibu Siti Asiyah, saudara-saudara tercinta serta segenap keluarga yang tidak pernah berhenti memberikan doa, inspirasi, dan motivasi secara moril maupun spiritual serta dukungan kepada peneliti semasa kuliah hingga akhir pengerjaan skripsi ini.
9. Sahabat-sahabat peneliti, diantaranya Wildan Hakim, Khurotul Lisnaini, Edi Suprianto, Silvi Kamaliyah, dan Abdul Hapiz. Beberapa teman Jurusan Matematika angkatan 2009 di antaranya Agus Maulana, Misbakhul Choeroni, dan Imam Mutamakin. Semua teman Jurusan Matematika angkatan 2010. Tidak lupa teman sepembimbing Wahyudi, dan Mahatva Cahyaningtyas. Terima kasih atas semua pengalaman dan motivasinya yang diberikan dalam penyelesaian penelitian ini.
10. Semua pihak yang tidak dapat peneliti sebutkan satu persatu, atas keikhlasan bantuan, sehingga peneliti dapat menyelesaikan skripsi ini.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan mereka semua. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak terutama dalam pengembangan ilmu matematika di bidang statistika dan metode numerik. Amin.

Malang, Mei 2014

Peneliti

DAFTAR ISI

DAFTAR SIMBOL

Simbol-simbol yang digunakan di skripsi ini antara lain:

S	=	Harga saham
K	=	Harga ketentuan
u	=	Faktor perubahan naik
d	=	Faktor perubahan turun
p	=	Peluang naik
$q=(1-p)$	=	Peluang turun
$e^{r\Delta t}$	=	Bunga
$e^{-r\Delta t}$	=	Diskon
r	=	Suku bunga bebas resiko
σ	=	Volatilitas (tingkat perubahan dalam variabel)
S_M	=	Harga saham pada waktu jatuh tempo
Δt	=	Perubahan harga saham
T	=	Partisi waktu
M	=	Banyaknya partisi waktu
i	=	Indeks waktu
j	=	Indeks banyaknya harga saham
$E(S)$	=	Ekspektasi harga saham
V_M	=	Nilai opsi (*payoff*) pada waktu jatuh tempo
V_0	=	Harga opsi saham

DAFTAR GAMBAR

ABSTRAK

Istiqomah. 2014. **Analisis Metode Binomial Dipercepat pada Perhitungan Harga Opsi Eropa.** Skripsi. Jurusan Matematika. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
Pembimbing: (I) Abdul Aziz, M.Si,
(II) Dr. H. Ahmad Barizi, M.A

Kata Kunci: Opsi Eropa, Binomial,Binomial Dipercepat, *Middle of Tree* (MOT)

Opsi merupakan sebuah instrumen keuangan yang di antaranya memungkinkan seseorang untuk melakukan spekulasi berkaitan dengan naik turunnya harga saham. Opsi juga merupakan suatu perjanjian antara dua pihak yaitu *writer* dan *holder*. Opsi Eropa di *exercised* pada waktu jatuh tempo. Model umum yang digunakan dalam perhitungan harga opsi Eropa adalah model Black Scholes. Kemudian ditemukan suatu metode baru yang merupakan aproksimasi dari model Black Scholes yaitu metode Binomial. Metode binomial untuk perhitungan harga opsi didasarkan pada perhitungan harga saham. Harga saham pasar bebas kenyataannya selalu mengalami perubahan naik atau turun setiap detiknya atau dengan perubahan waktu. Kemungkinan dua arah perubahan inilah yang digunakan sebagai dasar metode binomial. Akan tetapi, perhitungan harga opsi Eropa menggunakan metode Binomial membutuhkan partisi waktu yang banyak untuk bisa mendekati model kontinu Black Scholes.

Semakin banyak partisi waktu yang digunakan maka aproksimasi harga opsi akan semakin lambat untuk menuju kekonvergenan terhadap Black Scholes. Untuk mempercepat kekonvergenan aproksimasi harga opsi Eropa maka digunakan pengembangan dari model Binomial yaitu Binomial Dipercepat. Langkah yang dilakukan dalam metode Binomial Dipercepat adalah melakukan pemulusan kurva harga opsi yang disebut dengan *Middle of Tree* (MOT). Akan tetapi, sebelum melakukan pemulusan kurva tersebut yang dilakukan terlebih dahulu adalah memisahkan partisi waktu yang digunakan yaitu partisi waktu ganjil dan genap. Asumsi yang digunakan pada MOT adalah dengan meletakkan harga ketentuan di tengah pohon binomial pada saat jatuh tempo. Dari asumsi tersebut didapatkan parameter yang akan digunakan dalam pemulusan kurva MOT yaitu

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t} + \frac{\ln(\frac{K}{S_0})}{M}}, d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t} + \frac{\ln(\frac{K}{S_0})}{M}}$$

Dengan menggunakan parameter MOT tersebut diperoleh hasil dari harga opsi Eropa yang bisa mendekati harga kekonvergenan Black Scholes dengan partisi yang lebih sedikit dibandingkan dengan menggunakan metode Binomial. Penelitian ini hanya di batasi pada opsi tipe Eropa, untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan pemulusan kurva MOT ini pada opsi Asia ataupun opsi Amerika.

ABSTRACT

Istiqomah. 2014. **Accelerated Binomial Method Analysis in The Price of European Option Calculation.** Thesis. Department of Mathematics. Faculty of Science and Technology. The State of Islamic University Maulana Malik Ibrahim Malang.
Advisor: (I) Abdul Aziz, M.Si,
(II) Dr. H. Ahmad Barizi, M.A

Keywords: European Option, Binomial, Accelerated Binomial, Middle of Tree (MOT)

Option is a financial instrument which produces a possibility to do a speculation related to the regulation of stock price. Option is also an agreement between two parties who are writer and holder. European option is exercised on the maturity. A common model which is used the calculation of the price of European option is Black Scholes Model. Afterwards, there is a new model which in approximation of Black Scholes Model. This model is called as Binomial Model. Binomial Model of European Option depends on the calculation of stock price. In fact, there is always an up and down regulation of free market's stock price in every seconds or in the time regulation. The possibility of these two regulations is used as the base of Binomial Model. But then, the calculation of the price of European Option with Binomial Model requires many iterations to approach the Continue Model of Black Scholes.

The greater the the number of time partitions the slower the approximation converges to the Black Scholes Model. The development of Binomial Model, Accelerated Binomial, is used accelerate the convergence of the approximation of European Option. On of steps in the Accelerated Binomial Method is the *Middle of Tree* (MOT). MOT is the smoothing of option price's curve. Before doing the smoothing of curve, the first step that must be done is separating the used time; odd and even time. The assumption that is used in MOT is placing the price provision among the binomial tree on the maturity time. The result the assumption that will be applied in the smoothing of curve is $u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t} + \frac{\ln(\frac{K}{S_0})}{M}}, d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t} + \frac{\ln(\frac{K}{S_0})}{M}}$.

The using of MOT parameter produces a result from the price of European Option that convergences to Black Scholes faster than using Binomial Model. This research is limited to the European Option. The next research is expected to use the smoothing of MOT curve in Asian or American Option.

ملخص البحث

إستقامة,٢٠١٤, دراسة تسارع ذي الحدين في حساب الأسعار الأوروبي, الرسالة الجامعية الأخيرة. قسم الرياضيات. كلية العلوم و التكنولوجيا. جامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك إبراهيم مالانج.

المشرف: (١) عبدالعزيزالماجستير

(٢) الدكتور الحاج أحمد بارزي الماجستير

كلمات البحث : الخيار الأوروبي, الطريقة ذو أسمين, تسارع ذي الحدين, وسط الشجرة

الخيار هو الأدوات المالية لتعريف رفع و حفض الأسعار الأسهم. الخيار هو المعاهدة بين طرفين، يعني الكاتب و المالك. وتمارس الخيار الأوروبي في يوم تصفيته. والطريقة أو المنهج بلاك سجلوس هي التي استخدمت كثيرا لحساب الأسعار الخيار الأوروبي و من المنهج العموم. و أوجد طريقة جديدية التي هي اعتماد من المنهج بلاك سجلوس يعني الطريقة ذو أسمين. الطريقة ذو أسمين تستخدم لحساب الأسعار الخيار من الأسعار الأسهم. في الواقع أن الأسعار الأسهم تتغير حسب الوقت في المدة محددة حتى في الدقبقة، و اختلاف سعرين هي الأساس الطريقة ذو أسمين. لكن حساب الأسعار الخيار الأوروبي يحتاج الى جزء من الوقت الكثير لتحصيل المنهج بلاك سجلوس.

كلما زاد الوقت التي إستخدمها زاد في امهال لتقريب الى نتيجة بلاك سجلوس. لزيادة تسرع تقريب الأسعار الخيار الأوروبي تستخدم الطريقة ذو أسمين. الخطوة التي استخدمها في منهج تسارع ذي الحدين لنجاح سعر الخيار سمى وسط الشجرة. لكن قبل هذه كله، أن تفرق بين أجزاء الوقت، هي الوقت الوتر والوقت الثنائي. الإقتراضات التي استخدم في وسط الشجرة بوضع السعر المحدد وسط شجرة الطريقة ذو أسمين حين يوم تصفيته. و من هذه الإقتراضات نجد المعلمة لنجاح سعر وسط الشجرة يعني

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}+\frac{\ln(K/S_0)}{M}}, d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}+\frac{\ln(K/S_0)}{M}}$$

باستخدام هذه المعلمة وسط الشجرة ينتج من الأسعار الخيار الأوروبي التي قربة الأسعار المنهج بلاك سجلوس بجزء الأقل من الأجزاء التي استخدم في الطريقة ذو أسمين. هذه الدراسة تحدد في نوع الخيار الأوروبي، و احسن للدراسة التالية أن يقوم بهذه الطريقة في نوع الخيار آسيا و أمريكا لنجاح سعر وسط الشجرة.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LatarBelakang

Pada penelitian sebelumnya tentang perhitungan harga opsi Eropa menggunakan metode Binomial telah dijelaskan beberapa bentuk yang digunakan untuk menghitung harga opsi Eropa. Salah satu bentuk yang digunakan dalam perhitungan harga opsi Eropa adalah metode Binomial bentuk CRR.

Metode Binomial bentuk CRR ini untuk pertama kali dikembangkan secara simultan oleh Cox, Ross dan Rubinstein (1979) serta Rendlemen dan Bartter (1979) dengan mengasumsikan bahwa dalam suatu interval waktu, harga saham akan naik sebesar faktor u (*up*) dan akan turun sebesar faktor d (*down*) karena dipengaruhi oleh faktor suku bunga. Selanjutnya CRR mempertimbangkan bahwa pergerakan harga saham juga dipengaruhi faktor volatilitas.

Semakin banyak partisi waktu yang digunakan pada metode Binomial CRR, maka harga opsi yang didapat akan semakin mendekati model kontinyu Black Scholes (Seydel, 2008). Akan tetapi, untuk mendapatkan harga opsi yang mendekati model kontinyu Black Scholes diperlukan waktu yang cukup lama karena dengan partisi waktu yang semakin banyak maka proses perhitungan harga opsi juga akan semakin banyak.

Setiap partisi waktu yang berubah pada metode Binomial CRR mengakibatkan keadaan *strike price* selalu berubah terhadap node pada waktu jatuh tempo. Ini menyebabkan terjadinya osilasi (naik turun) harga opsi terhadap partisi waktu, sehingga kekonvergenan terhadap Black Scholes sangat lambat (Klassen, 2001). Keadaan ini telah dibuktikan pada penelitian sebelumnya tentang perhitungan opsi Eropa dengan metode Binomial CRR. Jika menggunakan partisi waktu kecil maka harga saham pada waktu jatuh tempo yang diperoleh sangat kecil sehingga akan menyebabkan keadaan dimana antara opsi *call* dan opsi *put* tidak saling imbang.

Di dalam sejarah Islam, pada masa klasik kebanyakan ilmuwan Muslim tidak hanya menekuni satu bidang ilmu, karena pada masa itu tidak dibedakan antara ilmu agama dan ilmu umum. Karena itu, kita sering kali mendapati seorang ulama (ahli ilmu agama) sekaligus juga filosof atau ilmuwan, seperti Ibn Sina, al-Farabi, Ibn Rusyd, dan lain-lain. Kitab Mulia al-Qur'an mengajarkan pembacanya bahwa "Tuhan menciptakan sesuatu dengan hitungan teliti' sebagaimana firman Allah SWT dalam surat al-Jin ayat 28:

لِّيَعۡلَمَ أَن قَدۡ أَبۡلَغُواْ رِسَٰلَٰتِ رَبِّهِمۡ وَأَحَاطَ بِمَا لَدَيۡهِمۡ وَأَحۡصَىٰ كُلَّ شَيۡءٍ عَدَدَۢا ٢٨

Artinya: *"supaya Dia mengetahui, bahwa Sesungguhnya Rasul-rasul itu telah menyampaikan risalah-risalah Tuhannya, sedang (sebenarnya) ilmu-Nya meliputi apa yang ada pada mereka, dan Dia menghitung segala sesuatu satu persatu."*

Dalam pandangan al-Qur'an, tidak ada peristiwa yang terjadi secara kebetulan. Semua terjadi dengan "hitungan", baik dengan hukum-hukum alam yang telah dikenal manusia maupun yang belum. Pada ayat yang telah disebutkan di atas juga telah dijelaskan dalam lafadz " وَأَحۡصَىٰ كُلَّ شَيۡءٍ عَدَدَۢا" bahwa Allah sangat teliti dalam menciptakan semua ciptaan-Nya.

Dalam pengembangan ilmu perhitungan harga opsi ini dilakukan juga dilakukan dengan perhitungan yang sangat teliti dengan ide-ide pengembangan yang didapatkan dari metode yang telah digunakan sebelumnya.

Dalam Islam sendiri sistem perhitungan sangatlah dibutuhkan, salah satunya adalah digunakan pada ilmu falak atau ilmu hisab. Ilmu falak itu sendiri adalah ilmu yang berkaitan dengan pelaksanaan ibadah yaitu tentang perhitungan arah kiblat, waktu-waktu shalat, awal bulan, dan perhitungan gerhana (Rachim, 2004). Seperti dijelaskan dalam al-Qur'an surat al-An'am ayat 96:

فَالِقُ ٱلۡإِصۡبَاحِ وَجَعَلَ ٱلَّيۡلَ سَكَنًا وَٱلشَّمۡسَ وَٱلۡقَمَرَ حُسۡبَانًاۚ ذَٰلِكَ تَقۡدِيرُ ٱلۡعَزِيزِ ٱلۡعَلِيمِ ﴿٩٦﴾

Artinya: "*Dia menyingsingkan pagi dan menjadikan malam untuk beristirahat, dan (menjadikan) matahari dan bulan untuk perhitungan. Itulah ketentuan Allah yang Maha Perkasa lagi Maha mengetahui.*"

Pada ayat dijelaskan bahwa tujuan Allah menciptakan matahari dan bulan adalah sebagai sarana atau alat yang digunakan dalam ilmu falak. Begitupun dalam perhitungan harga opsi ini dilakukan dengan menggunakan dan mengembangkan sarana yang ada pada metode Binomial CRR.

Salah satu metode yang digunakan untuk mempercepat kekonvergenan harga opsi metode Binomial CRR terhadap harga opsi metode Black Scholes adalah dengan melakukan pemulusan kurva terhadap pohon Binomial CRR atau biasa disebut dengan *Middle of Tree* (MOT). Dengan melakukan pemulusan kurva

Binomial CRR maka peneliti akan mendapat harga saham pada waktu jatuh tempo yang lebih besar dari metode Binomial CRR. Dengan nilai harga saham pada waktu jatuh tempo yang lebih besar maka dengan partisi waktu berapapun akan didapatkan nilai K yang selalu ada di tengah pohon Binomial pada saat jatuh tempo. Hal ini menyebabkan nilai opsi *call* ataupun *put* selalu tidak nol sehingga kedua opsi tersebut dapat memiliki peluang untuk mendapatkan untung.

Dalam penelitian ini peneliti ingin mencari harga opsi Eropa yang lebih akurat dan cepat dengan parameter-parameter yang berbeda dari metode Binomial CRR. Berdasarkan latar belakang tersebut peneliti mengambil judul **"Analisis Metode Binomial Dipercepat pada Perhitungan Harga Opsi Eropa"**.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana perhitungan harga opsi Eropa dengan menggunakan metode Binomial Dipercepat?
2. Bagaimana pengaruh parameter-parameter yang digunakan pada metode Binomial Dipercepat?
3. Bagaimana analisa keakuratan dan kecepatan harga opsi Eropa metode CRR dengan metode Binomial Dipercepat terhadap model Black Scholes?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui cara menghitung harga opsi Eropa dengan menggunakan metode Binomial Dipercepat.
2. Mengetahui pengaruh parameter-parameter yang digunakan pada metode Binomial Dipercepat.
3. Menganalisa keakuratan dan kecepatan harga opsi Eropa metode CRR dengan metode Binomial Dipercepat terhadap model Black Scholes.

1.4 Batasan Masalah

Agar tidak terjadi kerancuan terhadap maksud dan isi dari penelitian ini, maka perlu adanya pembatasan masalah. Pada penelitian ini peneliti hanya membahas perhitungan harga opsi Eropa dengan metode Binomial, dengan menggunakan asumsi:

1. Waktu *exercised* opsi menggunakan tipe Eropa,
2. Aset dasar yang digunakan berupa saham,
3. Harga aset saham setiap periode waktu hanya dapat berubah dalam dua kemungkinan yaitu naik atau turun,
4. Ekspektasi harga saham secara acak kontinu, dengan suku bunga bebas resiko $\left(r\right)$ adalah:

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

5. Harga saham secara acak kontinu, dengan faktor suku bunga $\left(r\right)$ didasarkan pada tingkat perubahan yang terjadi pada data real yaitu $\left(r+\dfrac{\sigma^2}{2}\right)$, jadi pada saat ekspektasi harga saham kuadrat secara perubahan acak kontinu adalah:

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

6. Tidak ada pembayaran *dividen* $\left(\delta\right)$, selama periode waktu tersebut,

7. Perbandingan harga opsi yang dipakai dalam opsi Eropa adalah *Black Scholes*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penulisan skripsi ini diharapkan memberikan manfaat:

1.1 Bagi Peneliti penelitian ini merupakan kesempatan untuk mengaplikasikan pengetahuan tentang perhitungan nilai opsi Eropa dengan menggunakan metode Binomial Dipercepat.

1.2 Bagi Pembaca

a. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan rujukan dan pengembangan pembelajaran komputasi keuangan.
b. Sebagai contoh studi kasus mata kuliah pilihan komputasi keuangan yang pernah dipelajari di bangku kuliah khususnya metode perhitungan Binomial.
c. Penelitian ini dapat memberikan metode alternative untuk membuat prediksi atau perkiraan dalam penentuan harga opsi saham.

1.3 Bagi Lembaga

a. Penelitian ini dapat meningkatkan pengembangan wawasan keilmuan Matematika.
b. Membandingkan penelitian yang sudah ada dengan metode lain. Menerapkan dan mengaktualisasikan ilmu matematika khususnya pada komputasi keuangan.

1.6 Metode Penelitian

Metode yang digunakan adalah beberapa studi literatur, yaitu literature utama untuk metode Binomial Dipercepat Timothy R. Klassen (2001) yang berjudul "*Simple, Fast and Flexible Pricing of Asian Option*" dengan menelaah literature pendamping berupa buku, jurnal, dan referensi lain yang bersangkutan. Secara umum langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menjelaskan kembali konstruksi model Binomial harga saham perhitungan harga opsi Eropa.
2. Melakukan pemulusan kurva Binomial dengan merubah parameter-parameter u,d,dan p dalam model Binomial sebelumnya.
3. Membuat algoritma perhitungan harga opsi Eropa.
4. Membuat simulasi model harga saham opsi Eropa dengan menggunakan MATLAB.
5. Menganalisis model harga opsi Eropa dengan menggunakan metode Binomial Dipercepat.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Pada bab ini akan diuraikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Bagian ini menjelaskan tentang gambaran umum dari teori yang mendasari pembahasan seperti *options* (opsi), *European option*, metode Binomial, dan metode Binomial Dipercepat.

Bab III Pembahasan

Bab ini merupakan bab inti dari penulisan yang menjabarkan tentang gambaran objek penelitian dan hasil dari penelitian yaitu analisis metode Binomial Dipercepat pada perhitungan harga opsi eropa.

Bab IV Penutup

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Distribusi Data Binomial

Suatu eksperimen mungkin terjadi dari serangkaian percobaaan yang bersifat independen dan tiap percobaaan dapat menghasilkan dua macam hasil yang berbeda. Analisa statistik, dalam eksperimen atau peristiwa yang memiliki dua hasil alternatif disebut dengan percobaan binomial (Dajan, 1986).

Definisi 2.1.1

Eksperimen Binomial: Suatu atau serangkaian eksperimen dinamakan eksperimen binomial bila dan hanya bila eksperimen yang bersangkutan terdiri dari percobaan-percobaan binomial.

Anggaplah p adalah probabilitas bahwa suatu kejadian akan terjadi dalam suatu percobaan tunggal sembarang (disebut peluang keberhasilan), maka $q = 1-p$ adalah probabilitas bahwa suatu kejadian akan gagal dalam setiap satu percobaan (disebut peluang kegagalan). Probabilitas bahwa suatu kejadian akan terjadi tepat x kali dalam n percobaan (artinya, keberhasilan-keberhasilan (sukses) dan $n - x$ kegagalan akan terjadi) ditentukan oleh fungsi probabilitas

$$f(x) = P(X = x) = \binom{n}{x} p^x q^{n-x} = \frac{n!}{x!(n-x)!} \tag{2.1}$$

dimana variabel acak X melambangkan jumlah keberhasilan dalam n percobaan dan $x = 0, 1, \ldots, n$. Fungsi probabilitas diskrit (I) seringkali disebut distribusi binomial karena untuk $x = 0, 1, \ldots, n,$ fungsi tersebut bersesuaian dengan suku-suku yang berurutan dalam ekspansi binomial

$$(q+p)^n = q^n + \binom{n}{1} q^{n-1} p + \binom{n}{2} q^{n-2} p^2 + \ldots + p^n \tag{2.2}$$

Kasus-kasus dari suatu distribusi binomial dengan $n = 1$ juga disebut distribusi *Bernouli* (Schiller, dkk, 2004).

2.2 Opsi

2.2.1 Pengertian Opsi

Opsi adalah sebuah hak atau suatu kontrak antara *writer* dan *holder* (pemegang opsi) yang memberikan hak, kepada *holder* (pemegang opsi) untuk membeli atau menjual suatu aset pokok (*underlying asset*) pada atau sebelum suatu tanggal tertentu untuk suatu harga tertentu. Opsi merupakan sebuah instrumen keuangan yang di antaranya memungkinkan seseorang untuk melakukan spekulasi berkaitan dengan naik atau turunnya harga dari suatu aset yang mendasari (*underlying asset)*, misalnya saham perusahaan, mata uang, komoditas pertanian, dan sebaginya. Opsi merupakan suatu perjanjian antara dua pihak yaitu *writer*, sebagai penyusun kontrak opsi yang seringkali adalah sebuah *bank*, dan *holder* (pemegang opsi), sebagai pembeli opsi dengan harga pasar yang telah disepakati (*premium*) (Rudiger, 2002).

2.2.2 Jenis-Jenis Opsi

Ada dua tipe dasar opsi yaitu *call* dan *put*. Opsi *call* adalah hak untuk membeli sejumlah tertentu suatu *underlying asset* dengan harga sebesar *strike* (*exercise*) *price*, pada waktu *expiration* (*maturity*) *date*. Sedangkan opsi *put* adalah hak untuk menjual sejumlah tertentu suatu *underlying asset* dengan harga sebesar *strike* (*exercise*) *price*, pada waktu *expiration* (*maturity*) *date* (Bodie, 2005: 690).

2.2.3 Kontrak Opsi

Kontrak opsi adalah suatu perjanjian yang memberikan hak kepada holder untuk menjual suatu *underlying asset* pada tingkat harga tertentu (*striking price*) dan pada saat tanggal tertentu (*expiration date*). Opsi saham adalah kontrak opsi dimana *underlying asset* yang diperjual belikan adalah saham. Seorang *holder* suatu opsi harus membuat suatu keputusan apa yang akan ia lakukan terhadap tanggungan kontrak hak opsi ini. Keputusannya akan ditentukan pada situasi pasar, dan tipe opsi ini. Misalkan pada opsi *call* Eropa, dia dapat mengabaikan opsi ini bila harga saham (*stock price*) di pasar pada waktu jatuh tempo (*maturity date)* lebih rendah dari pada harga pada opsi *call* (*exercise* atau *strike price*), karena tidak dapat memberikan keuntungan. Ia lebih baik membeli saham serupa di pasar dengan harga yang lebih rendah dari pada membelinya pada *writer* dengan harga *strike price.* Sebaliknya, *holder* tentu akan menjadikan kontrak (*exercise*) pada opsi *put* bila situasi harga pasar seperti di atas. Dengan menjual saham seharga *exercise price* yang lebih tinggi dari harga pasar, ia akan mendapatkan keuntungan dengan membeli saham di pasar kemudian menjualnya pada *writer*. *Writer* harus bersedia untuk membeli saham dari *holder* yang telah membeli opsi *put*-nya sebagai risiko transaksi. Opsi yang hanya dapat digagalkan (*expire*) atau dijadikan (*exercise*) kontraknya pada waktu jatuh tempo seperti di atas dinamakan sebagai opsi Eropa (Bodie, 2005:698).

Jika S_T adalah harga saham di pasar pada waktu T, dan K adalah *exercise price* maka keuntungan atau nilai *payoff* untuk kedua jenis opsi di atas diberikan oleh:

$$C(S_T,T) = S_T - K, \text{ jika } S_T > K \text{ (opsi di-}\textit{exercise}\text{), atau} \tag{2.3}$$

$$C(S_T,T) = 0, \text{ jika } S_T \geq K \text{ (opsi di-}\textit{exercise}\text{)} \tag{2.4}$$

untuk opsi *call*. Sedangkan untuk opsi *put* diberikan oleh:

$$P(S_T,T) = K - S_T, \text{ jika } S_T < K \text{ (opsi di-}\textit{exercise}\text{), atau} \tag{2.5}$$

$$P(S_T,T) = 0, \text{ jika } S_T \leq K \text{ (opsi di-}\textit{exercise}\text{)} \tag{2.6}$$

sehingga, untuk singkatnya nilai *payoff* untuk kedua opsi di atas adalah:

$$C = \max(S_T - K, 0)^+ \text{ atau } C = (S_T - K) \tag{2.7}$$

$$P = \max(K - S_T, 0)^+ \text{ atau } P = (K - S_T) \tag{2.8}$$

2.2.4 Keuntungan dan Kerugian Pihak yang Terlibat

Harga saham bebas dipasar bebas pada waktu tertentu yang akan datang tidak dapat dipastikan oleh seseorang. Harga saham dapat mengalami perubahan naik turun setiap detiknya. Padahal, harga saham sangat diperlukan *holder* dan *writer* dalam pembuatan perjanjian opsi. Mereka dapat menentukan harga opsi yang mungkin menguntungkan bagi kedua pihak, memperkirakan harga saham di pasar bebas pada waktu tertentu dengan cara memodelkan gerakan fluktasi harga saham (Aziz, 2004).

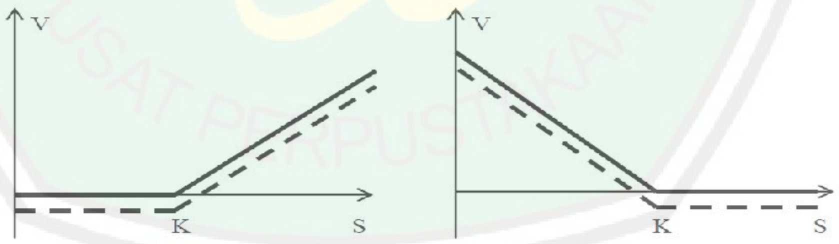
Writer memperoleh keuntungan dari biaya atau harga opsi dari *holder*, baik *holder* melaksanakan haknya maupun tidak melaksanakan haknya. *Holder* (pemegang opsi) akan mendapatkan untung jika menggunakan hak opsinya. Dari nilai opsi yang diperoleh dari selisih harga saham pada pasar bebas dengan harga saham pada opsi, yang diistilahkan dengan *payoff* (V), setelah dikurangi dengan harga opsi (*option price*), yang diistilahkan dengan *profit* atau keuntungan. Keuntungan atau kerugian yang diperoleh holder atau pemegang (*call* opsi) pada waktu T:

$$Profit = payoff - biaya\ \text{opsi} = V_c - c = \max(K - S_T, 0) - C$$

sebaliknya, bagi pemegang *put* opsi akan mendapatkan keuntungan atau kerugian:

$$Profit = payoff - biaya\ \text{opsi} = V_p - c = \max(K - S_T, 0) - P$$

Artinya, jika *profit* bernilai positif maka pemegang opsi mendapatkan keuntungan, dan sebaliknya jika negatif merupakan kerugian yang maksimal sebesar *biaya* opsi. Berikut ini adalah gambar kurva fungsi *payoff* dan *profit* untuk opsi *call* dan *put*. *Profit* diperoleh dari pengurangan biaya transaksi pada saat membeli opsi terhadap nilai *payoff* yang diperoleh (Aziz, 2004:1).

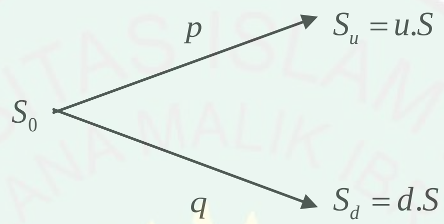


Gambar 2.1 Kurva *payoff* (garis tebal) dan *profit* (garis putus-putus) untuk opsi *Call* dan *Put*

2.3 Metode Binomial Eropa

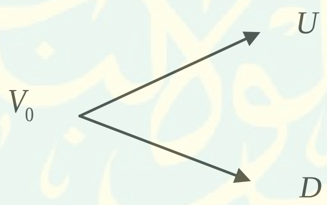
2.3.1 Model Binomial Harga Saham

Pada kenyataannya harga saham di pasar bebas akan selalu berubah naik atau turun dengan perubahan waktu. kemungkinan dua arah perubahan inilah yang digunakan sebagai dasar model binomial. Misalkan harga saham pada saat t = 0, saat pembuatan opsi, adalah S_0, pada saat t = T akan naik dengan peluang p menjadi S_u atau akan turun dengan peluang q menjadi S_d .



Gambar 2.2. Grafik Perubahan Harga Saham

Sehingga nilai opsi pada saat t = 0 saat pembuatan opsi, adalah V_0 dan pada saat t = T akan naik menjadi U atau akan turun menjadi D (Aziz, 2004).

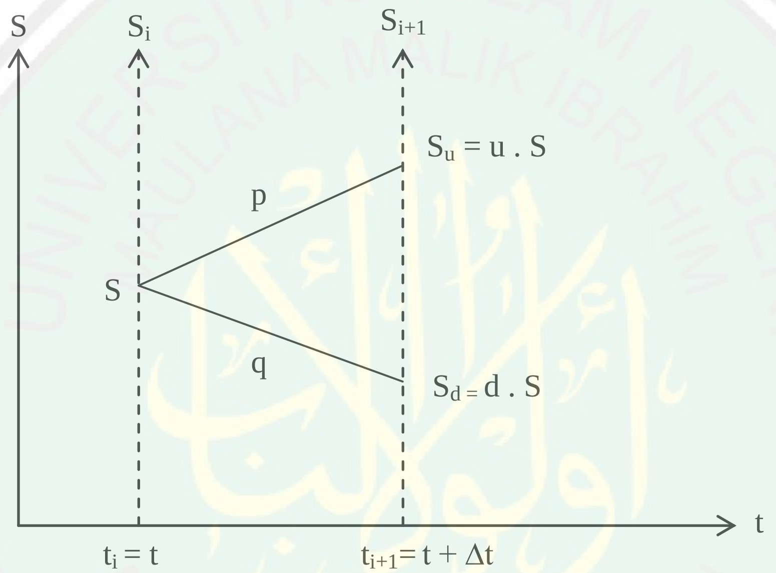


Gambar 2.3. Grafik Perubahan Harga Opsi

Pemodelan matematika diharapkan dapat membantu untuk memahami keadaan sekarang dan prediksinya pada waktu yang akan datang. Oleh karena itu, agar model binomial ini dapat berhasil dengan lebih baik maka harus sesuai dengan keadaan dunia nyata. Masalah yang dihadapi sekarang adalah bagaimana kita memilih p, u, dan d sedemikian hingga model binomial ini mendekati pada keadaan dunia nyata (Aziz, 2004).

Memulai dengan diskritisasi, yaitu menjadikan waktu kontinu t menjadi diskrit dengan menggantikan t oleh waktu yang sama lamanya katakanlah t_i.

bidang *(S,t)* diwakili oleh garis-garis lurus paralel dengan jarak Δt. Mengganti nilai-nilai kontinu S_i sepanjang paralel $t = t_i$ dengan nilai-nilai diskrit S_{ji}, untuk semua i dan j yang sesuai. Untuk lebih memahami lihat gambar 2.4. Gambar ini menunjukkan sebuah hubungan grid, katakanlah perubahan dari t ke $t+\Delta t$, atau dari t_i ke t_{i+1}.



Gambar 2.4. Prinsip Metode Binomial

Misalkan digunakan notasi sebagai berikut:

M = banyaknya selang waktu

i = indeks waktu, t_i = waktu ke i

j = indeks kemungkinan harga saham

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

$$t_i : i\Delta t, \qquad i = 0,1,2,3,\ldots,M \qquad j = 0,1,2,3,\ldots,i$$

$$S_i : S(t_i)$$

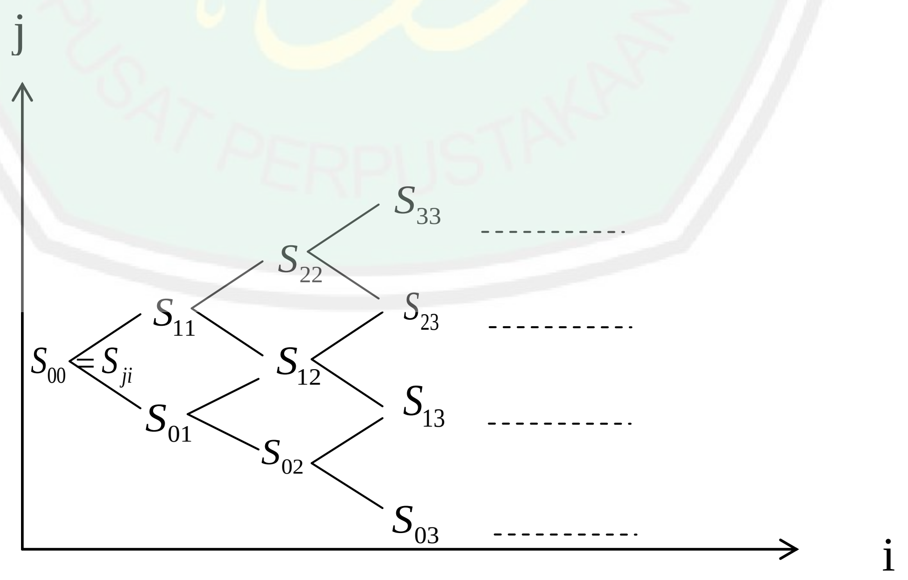
Asumsi-asumsi yang digunakan dalam pemodelan ini adalah:

1. Harga *S*, sebagai harga awal, selama setiap periode waktu Δt hanya dapat berubah dalam dua kemungkinan yaitu naik menjadi S_u atau turun menjadi S_d dengan $0 < d < u$. Di sini *u* dan *d* masing-masing merupakan faktor perubahan naik dan turun yang konstan untuk setiap Δt.
2. Peluang perubahan naik adalah *p*, P(naik) = *p*. Sehingga P(turun) = $q=(1-p)$.
3. Ekspektasi harga saham secara acak kontinu, dengan suku bunga bebas resiko (r), dari harga saham ke i pada waktu ke i menjadi harga saham ke $i+1$ pada waktu ke $i+1$ adalah:

$$E(S_{i+1}) = S_i.e^{r\Delta t} \tag{2.9}$$

4. Tidak ada pembayaran dividen (δ) selama periode waktu tersebut.

Dengan model binomial kita dapat membangun skema (*tree)* untuk fluktuasi harga saham secara diskrit (Aziz, 2004).



Gambar 2.5. Skema Perubahan Harga Saham Secara Binomial

Dari skema diatas dimisalkan harga saham pada saat $t = t_0$ adalah $S_0 = S_{00} = S$, dan harga saham pada saat $t = t_1$ adalah $S_{01} = Sd$ dan $S_{11} = Su$. Sehingga secara umum harga saham pada saat $t = t_i$ terdapat $i+1$ kemungkinan dengan rumus umum:

$$S_{ji} = S_0 u^j d^{i-j},\ i = 0,1,\ldots,M,\ j = 0,1,\ldots,i \text{ dan } i \geq j \tag{2.10}$$

2.4 Model Opsi Eropa

Pada opsi Eropa untuk mencari harga saham pada waktu jatuh tempo menggunakan rumus (2.27) dan untuk mencari nilai opsi (*payoff*) pada jatuh tempo menggunakan rumus:

untuk menemukan nilai opsi *call*

$$V_M = \max\left(S_{jM} - k, 0\right) \tag{2.11}$$

dan untuk menemukan harga saham dari *payoff call* yang disimbolkan V_0 dengan cara

$$V_0 = e^{-r\Delta t}\left(pV_{j+1,i+1} + qV_{j,i+1}\right) \tag{2.12}$$

untuk menemukan nilai opsi *put*

$$V_M = \max\left(k - S_{jM}, 0\right) \tag{2.13}$$

dan untuk menemukan harga saham dari *payoff put* yang disimbolkan V_0 dengan cara

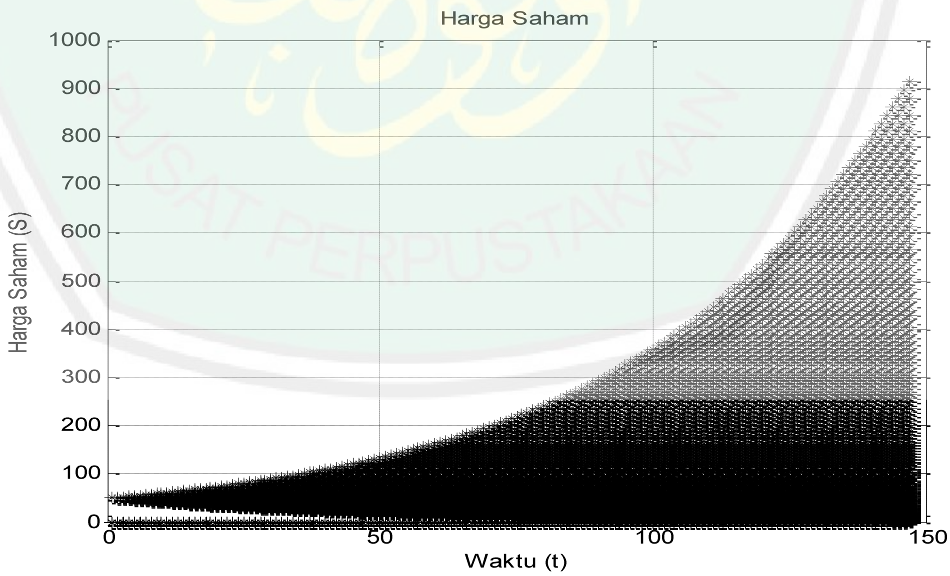
$$V_0 = e^{-r\Delta t}\left(pV_{j+1,i+1} + qV_{j,i+1}\right) \tag{2.14}$$

dan untuk perbandingan harga opsi eropa menggunakan Black Scholes (Aziz, 2004).

2.5 Hasil Penelitian Terdahulu

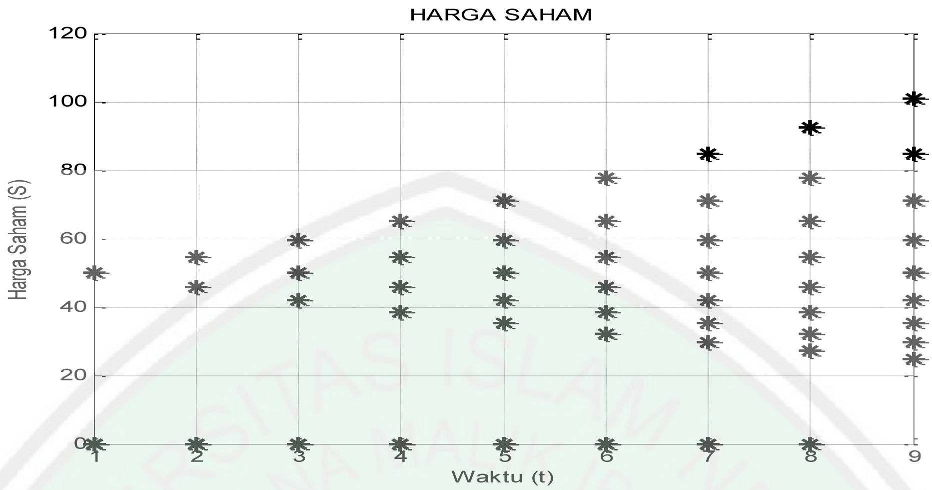
Berikut adalah hasil simulasi penelitian terdahulu yaitu skripsi dari Mahatva Cahyaningtyas (2014) yang berjudul "*Metode Binomial Untuk Perhitungan Harga Opsi Eropa dan Opsi Asia*". Dalam hal ini hasil simulasi yang diambil hanya simulasi untuk harga opsi Eropa.

Untuk menentukan harga opsi *call* dan harga opsi *put* dari model opsi Eropa dengan perbandingan model Black Scholes, harga saham awal yang diberikan untuk perusahaan X, perusahaan Y, dan perusahaan Z adalah 50 (satuan mata uang) perlembar, waktu jatuh tempo yang ditentukan pada hari ke-146. Misalkan tingkat suku bunga bebas resiko 15% pertahun dan standar deviasi saham tersebut sebesar 0,24, untuk mengetahui harga saham dapat dilihat pada gambar (2.6).



Gambar 2.6 Grafik Hasil Simulasi Harga saham (Cahyaningtyas, 2014)

Supaya grafik lebih jelas maka akan diperbesar dengan gambar (2.7).



Gambar 2.7 Perbesaran Grafik Hasil Simulasi Harga saham (Cahyaningtyas, 2014)

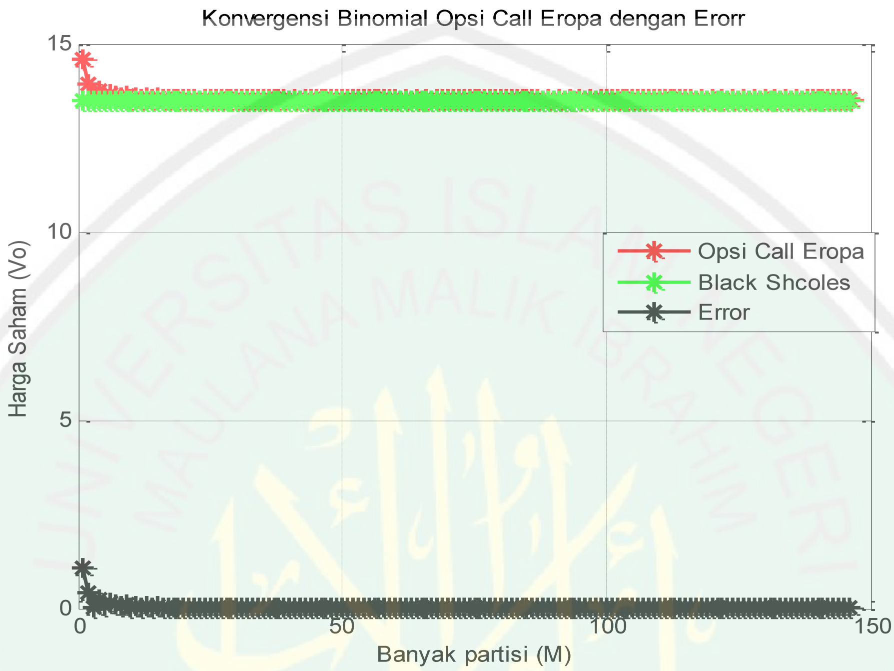
Untuk menghitung harga opsi kondisi yang digunakan ada 3 yaitu $S_0 > K,\ S_0 = K,$ dan $S_0 < K$. Berikut adalah hasil dari simulasi perhitungan harga opsi *call* maupun *put* Eropa.

2.5.1 Harga Saham Lebih Besar dari Harga Ketentuan

Misalkan harga saham perusahaan X saat ini 50 (satuan mata uang) perlembar. Sementara itu, waktu jatuh tempo ditentukan pada hari ke-146, kemudian dijual dengan *strike price* 43 (satuan mata uang) perlembar. Misalkan tingkat suku bunga bebas resiko 15% pertahun dan standar deviasi tingkat keuntungan saham tersebut sebesar 0,24. Berdasarkan data tersebut, maka harga opsi *call* dan opsi *put* dapat dihitung, menggunakan MATLAB, dan hasilnya sebagai berikut:

a) Perbandingan Harga Opsi *Call* Eropa dan Black Scholes

Partisi waktu yang digunakan dalam perhitungan harga opsi Eropa ini adalah sebanyak 146. Harga opsi Eropa pada waktu yang pertama bernilai 14,5925 dengan perhitungan kontinu sampai harga opsi Eropa pada waktu jatuh tempo (hari ke-146) yaitu 13,5095 dan pada Black Scholes yaitu 13,5056. Hal ini dapat dilihat pada gambar (2.8) (Cahyaningtyas, 2014)

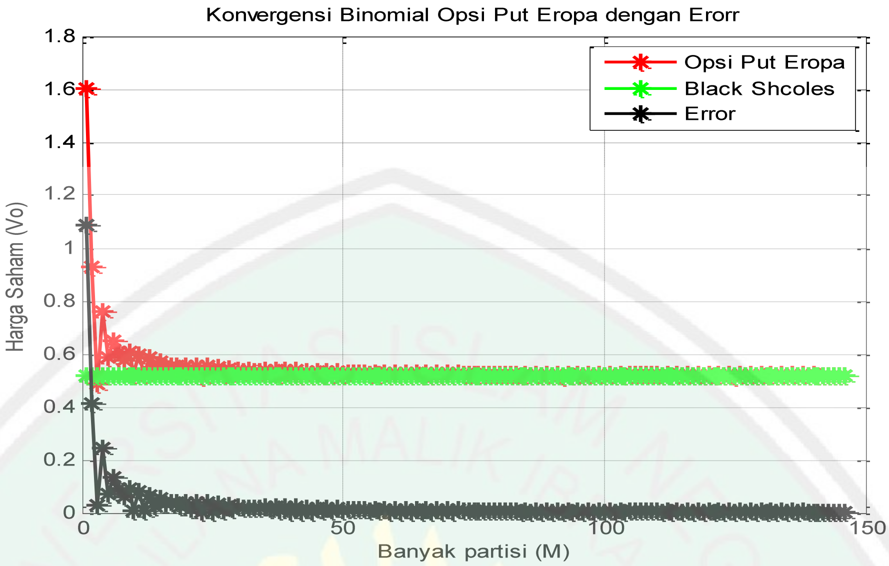


Gambar 2.8 Grafik Hasil Simulasi Opsi *Call* Eropa (Cahyaningtyas, 2014)

Pergerakan *error* opsi *call* Eropa yang naik turun, dapat dilihat pada gambar (.8) yang berwarna hitam. Pergerakan gambar (2.8) pada hari ke-146 *error*nya bernilai 0,0040 (Cahyaningtyas, 2014).

b) Perbandingan Harga Opsi put Eropa dan Black Scholes

Pada gambar (2.9) menunjukkan bahwa semakin banyak partisi opsi *put* akan semakin mendekati Black Scholes. Jadi opsi *put* Eropa akan konvergen, jika opsi *put* Eropa semakin mendekati Black Scholes. Harga opsi Eropa pada waktu yang pertama bernilai 1,6029 dengan perhitungan kontinu sampai harga opsi Eropa pada waktu jatuh tempo (hari ke-146) yaitu 0,5200 dan pada Black Scholes yaitu 0,5160 (Cahyaningtyas, 2014).



Gambar 2.9 Grafik Hasil Simulasi Opsi *Put* Eropa (Cahyaningtyas, 2014)

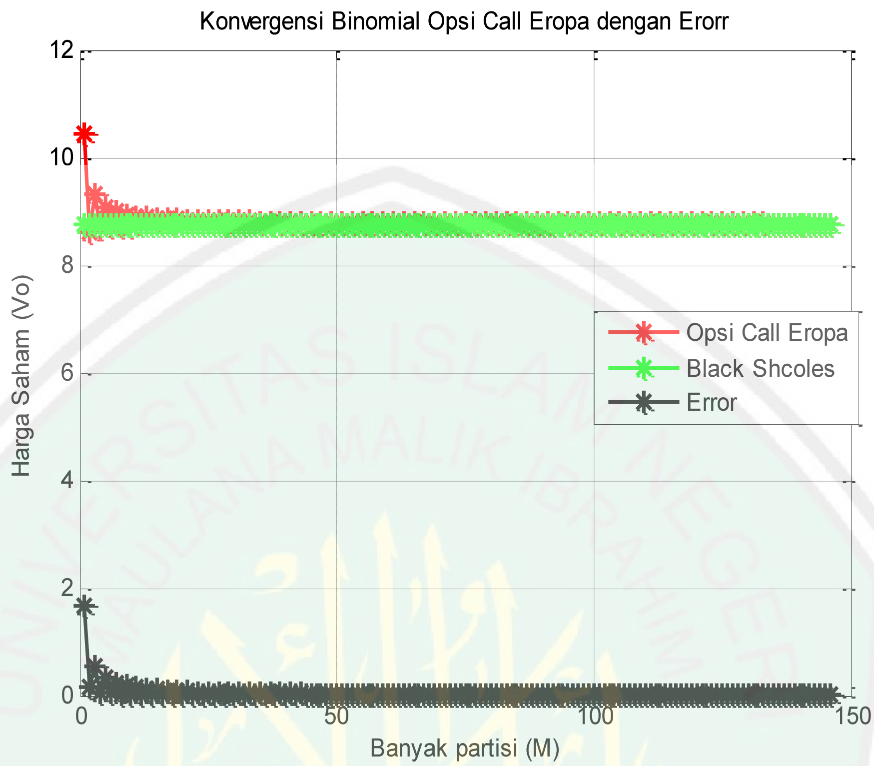
Pergerakan *error* opsi *Put* Eropa yang naik turun, dapat dilihat pada gambar (2.9) yang berwarna hitam. Pergerakan gambar (2.9) pada hari ke-146 *error*nya bernilai 0,0040 (Cahyaningtyas, 2014).

2.5.2 Harga Saham Sama Dengan Harga Ketentuan

Dengan menggunakan parameter berikut yakni $S_0 = 50$, $K = 50$, $r = 0.15$, σ =0.24, $M = 146$ akan didapatkan hasil dari penelitian terdahulu yaitu:

a) Perbandingan Harga Opsi *Call* Eropa dan Black Scholes

Gambar (2.10) menunjukkan bahwa semakin banyak partisi opsi *call* akan semakin mendekati Black Scholes. Jadi opsi *call* Eropa akan konvergen, jika opsi *call* Eropa semakin mendekati Black Scholes. Harga opsi Eropa pada waktu yang pertama bernilai 10,4361 dengan perhitungan kontinu sampai harga opsi Eropa pada waktu jatuh tempo (hari ke-146) yaitu 8,7585 dan pada Black Scholes yaitu 8,7602 (Cahyaningtyas, 2014).

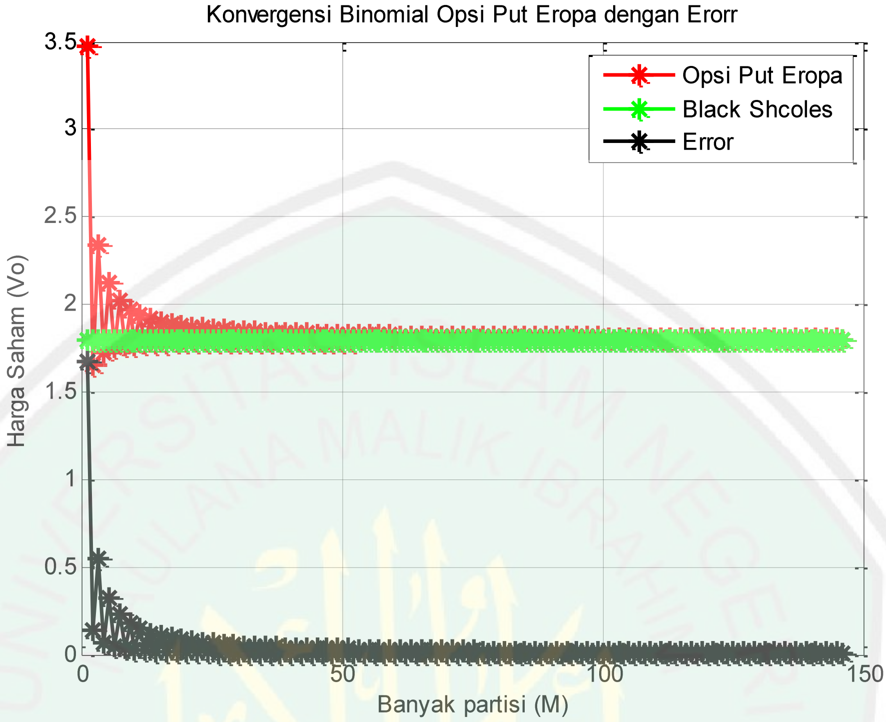


Gambar 3.10 Grafik Hasil Simulasi Opsi *Call* Eropa (Cahyaningtyas, 2014)

Pergerakan *error* opsi *call* Eropa yang naik turun, dapat dilihat pada gambar (2.10) yang berwarna hitam. Pergerakan gambar (2.10) pada hari ke-146 *error*nya bernilai 0,0107 (Cahyaningtyas, 2014).

b) Perbandingan Harga Opsi *Put* Eropa dan Black Scholes

Pada gambar (3.11) menunjukkan bahwa semakin banyak partisi opsi *put* akan semakin mendekati Black Scholes. Jadi opsi *put* Eropa akan konvergen, jika opsi *put* Eropa semakin mendekati Black Scholes. Harga opsi Eropa pada waktu yang pertama bernilai 3,4715 dengan perhitungan kontinu sampai harga opsi Eropa pada waktu jatuh tempo (hari ke-146) yaitu 1,7939 dan pada Black Scholes yaitu 1,7956. Pergerakan *error* ditunjukkan oleh titik-titik warna hitam dimana pada hari ke-146 *error*nya bernilai 0,0107 (Cahyaningtyas, 2014).



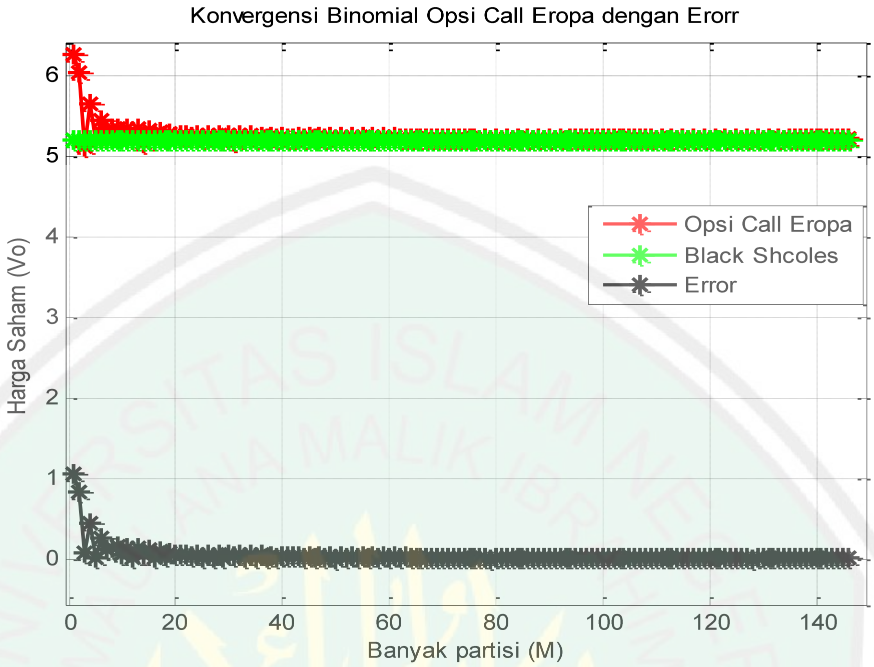
Gambar 2.11 Grafik hasil simulasi opsi *put* Eropa (Cahyaningtyas, 2014)

2.5.3 Harga Saham Kurang Dari Harga Ketentuan

Misalkan, $S_0 = 50$, $K = 57$, $r = 0.15$, $\sigma = 0.24$, $M = 146$ maka hasil harga opsi Eropa adalah sebagai berikut:

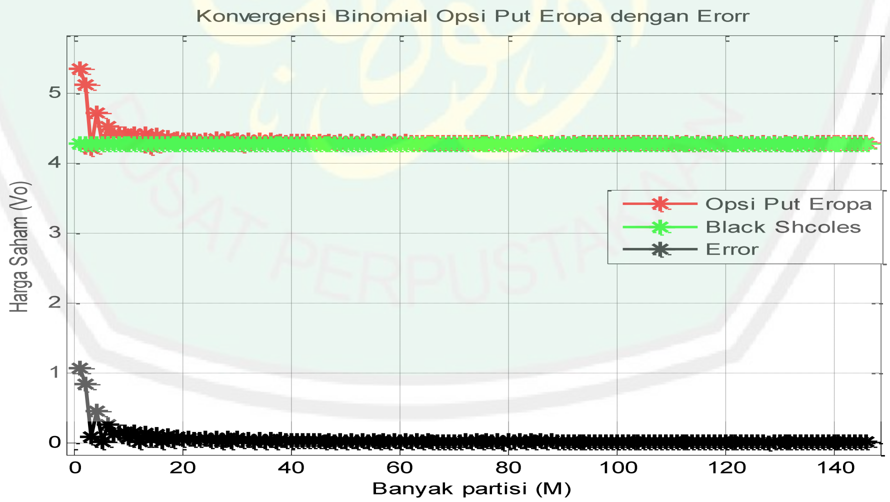
a) Perbandingan Harga Opsi *Call* Eropa dan Black Scholes

Pada gambar (2.12) menunjukkan bahwa semakin banyak partisi opsi *call* akan semakin mendekati Black Scholes. Jadi opsi *call* Eropa akan konvergen, jika opsi *call* Eropa semakin mendekati Black Scholes. Harga opsi Eropa pada waktu yang pertama bernilai 6,2797 dengan perhitungan kontinu sampai harga opsi Eropa pada waktu jatuh tempo (hari ke-146) yaitu 5,2241 dan pada Black Scholes yaitu 5,2155. pergerakan error opsi *call* Eropa yang naik turun, dapat dilihat pada gambar (2.12) yang berwarna hitam. Pergerakan gambar (2.12) pada hari ke-146 *error*nya bernilai 0,0086 (Cahyaningtyas, 2014).



Gambar 2.12 Grafik Hasil Simulasi Opsi *Call* Eropa (Cahyaningtyas, 2014)

b) Perbandingan Harga Opsi *Put* Eropa dan Black Scholes



Gambar 2.13 Grafik Hasil Simulasi Opsi *Put* Eropa (Cahyaningtyas, 2014)

Pada gambar (2.13) menunjukkan bahwa semakin banyak partisi opsi *put* akan semakin mendekati Black Scholes. Jadi opsi *put* Eropa akan konvergen, jika opsi *put* Eropa semakin mendekati Black Scholes. Harga opsi Eropa pada waktu yang pertama bernilai 5,3401 dengan perhitungan kontinu sampai harga opsi Eropa pada waktu jatuh tempo (hari ke-146) yaitu 4,2844 dan pada Black Scholes yaitu 4,2758. Pergerakan *error* opsi *Put* Eropa yang naik turun, dapat dilihat pada gambar (2.13) yang berwarna hitam. Pergerakan gambar (2.13) pada hari ke-146 *error*nya bernilai 0,0086 (Cahyaningtyas, 2014).

2.6 Perspektif Jual-Beli dalam Islam

Hubungan manusia sebagai makhluk sosial dalam Islam dikenal dengan istilah *mu'amalat* (Basyir, 2000). Macam-macam bentuk mu'amalat misalnya jual-beli, gadai, pemindahan hutang, sewa-menyewa, upah dan lain sebagainya. Salah satu bidang mu'amalat yang paling sering digunakan pada umumnya adalah jual beli. Jual beli dapat diartikan tukar-menukar suatu barang dengan barang lain atau uang dengan barang lain atau sebaliknya dengan syarat-syarat tertentu (Basori, 2007). Manusia muslim, individu maupun kelompok, dalam lapangan ekonomi atau bisnis disatu sisi diberi kebebasan untuk mendapatkan keuntungan sebesar-besarnya. Namun, di sisi lain ia terikat dengan iman dan etika, sehingga ia tidak bebas mutlak dalam menginvestasikan modalnya atau membelanjakan hartanya (Qardawi, 1997).

Dalam praktek jual beli tersebut akan melibatkan harga atas suatu benda. Islam telah mengatur mekanisme harga berdasarkan kebebasan pasar, bahwa harga suatu barang ditentukan oleh penawaran dan permintaan, karena Islam mengakui bahwa pengawasan atau peraturan datangnya dari masyarakat itu sendiri yaitu masyarakat yang sudah dipengaruhi oleh nilai-nilai Islam. Disyaratkan dalam akad jual beli, adanya *ijab* dari pihak penjual dan *qobul* dari pembeli, serta harga yang disepakati berikut mekanisme pembayarannya (Al-Mishri, 2006).

Jual beli yang diperbolehkan dalam Islam adalah jual beli yang saling menguntungkan antara pihak penjual ataupun pembeli, dan antara penjual dan pembeli tidak boleh saling menzalimi serta terhindar dari unsur *riba*, seperti yang telah difirmankan oleh Allah SWT dalam al-Qur'an surat an-Nisa' ayat 29:

يَـٰٓأَيُّهَا ٱلَّذِينَ ءَامَنُواْ لَا تَأۡكُلُوٓاْ أَمۡوَٰلَكُم بَيۡنَكُم بِٱلۡبَٰطِلِ إِلَّآ أَن تَكُونَ تِجَٰرَةً عَن تَرَاضٖ مِّنكُمۡۚ وَلَا تَقۡتُلُوٓاْ أَنفُسَكُمۡۚ إِنَّ ٱللَّهَ كَانَ بِكُمۡ رَحِيمٗا ٢٩

Artinya: *" Hai orang-orang yang beriman, janganlah kamu saling memakan harta sesamamu dengan jalan yang batil, kecuali dengan jalan perniagaan yang Berlaku dengan suka sama-suka di antara kamu. dan janganlah kamu membunuh dirimu. Sesungguhnya Allah adalah Maha Penyayang kepadamu."*

Ayat tersebut menjelaskan tentang aturan-aturan yang perlu diketahui dalam melakukan perdagangan. Jual beli saham dalam al-Quran disebutkan sebagai bagian dari perdagangan (تِجَٰرَةً). Dalam proses melakukan jual beli tersebut juga harus dipertimbangkan berbagai macam hal misalnya, pada kata عَن تَرَاضٖ مِّنكُمۡ diartikan bahwa dalam menentukan harga ketentuan (K) yaitu harga perjanjian awal antara *holder* dan *writter* haruslah dengan sistem adil yaitu tidak ada unsur paksaan antara kedua pelaku jual beli saham ini.

Kemudian disebutkan juga pada lafadz وَلَا تَقۡتُلُوٓاْ أَنفُسَكُمۡ yang diartikan bahwa dalam proses jual-beli haruslah ada aspek saling menguntungkan antara kedua belah pihak, bukan hanya salah satu pihak saja yang diuntungkan. Karena dalam lafadz tersebut terdapat kata "*kum*" yang ditujukan untuk kedua belah pihak yaitu dalam sistem perhitungan harga opsi disebut *holder* (pembeli) dan *writer* (penjual).

Pada proses jual beli saham ini *holder* (pembeli) dan *writer* (penjual) akan melakukan perjanjian awal yaitu menentukan harga kesepakatan yang akan menjadi acuan bagi kedua pihak untuk memilih opsi *call* atau opsi *put.* Dalam menentukan harga kesepakatan tersebut harus mempertimbangkan segala aspek yang terkait dengan transaksi ini. Salah satu aspek yang tidak boleh dilupakan adalah menetapkan harga kesepakatan berdasarkan rasa keadilan. Islam memberikan pembahasan yang panjang lebar tentang pembahasan keadilan yaitu keadilan dalam segala segi kehidupan, termasuk keadilan dalam menetapkan harga. Seperti yang telah difirmankan Allah SWT dalam al-Qur'an surat al-Ma'idah ayat 8:

يَٰٓأَيُّهَا ٱلَّذِينَ ءَامَنُواْ كُونُواْ قَوَّٰمِينَ لِلَّهِ شُهَدَآءَ بِٱلۡقِسۡطِۖ وَلَا يَجۡرِمَنَّكُمۡ شَنَـَٔانُ قَوۡمٍ عَلَىٰٓ أَلَّا تَعۡدِلُواْۚ ٱعۡدِلُواْ هُوَ أَقۡرَبُ لِلتَّقۡوَىٰۖ وَٱتَّقُواْ ٱللَّهَۚ إِنَّ ٱللَّهَ خَبِيرُۢ بِمَا تَعۡمَلُونَ ۝٨

Artinya: "*Hai orang-orang yang beriman hendaklah kamu Jadi orang-orang yang selalu menegakkan (kebenaran) karena Allah, menjadi saksi dengan adil. dan janganlah sekali-kali kebencianmu terhadap sesuatu kaum, mendorong kamu untuk Berlaku tidak adil. Berlaku adillah, karena adil itu lebih dekat kepada takwa. dan bertakwalah kepada Allah, Sesungguhnya Allah Maha mengetahui apa yang kamu kerjakan.*"

Dalam surat al-Ma'idah ayat 8 ini telah jelas disebutkan bahwa Allah sangatlah menganjurkan umatnya untuk berbuat adil dalam segala hal, termasuk dalam hal jual-beli saham seperti yang telah disebutkan dalam lafadz "ٱعۡدِلُواْ".

Sikap adil tersebut akan menimbulkan banyak hal-hal positif di antaranya terciptanya hubungan baik antara pihak-pihak yang melakukan transaksi jual beli-saham ini, menambah banyak relasi yang dapat diajak untuk bertransaksi sehingga dapat memperbanyak saham yang dimiliki, dan pastinya akan menambah ketakwaan kepada Allah SWT.

Sikap adil tersebut akan sangat berpengaruh dalam menetapkan harga ketentuan bagi pihak yang akan mengadakan kontrak opsi. Setelah didapatkan harga ketentuan maka antara *holder* dan *writter* dapat memilih opsi mana yang akan dipilih yaitu opsi *call* atau opsi *put.* Kemudian, setelah mengetahui harga saham awal dan menetapkan harga ketentuan maka kedua pihak yaitu *holder* dan *writter* dapat memodelkan gerakan fruktasi harga saham dengan menggunakan metode Binomial atau Binomial Dipercepat supaya dapat memperkirakan harga saham di pasar bebas pada waktu tertentu.

Harga saham dan harga opsi merupakan suatu prediksi yang didapatkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan metode Binomial atau Binomial Dipercepat. Sehingga dalam hal ini kedua pihak *holder* dan *writter* dapat mengetahui atau memprediksi seberapa keuntungan yang didapatkan dalam perdagangan harga saham ini. Karena pelaksanaan jual beli saham ini tidak dilakukan secara tunai melainkan melalui perjanjian yang disebut dengan kontrak opsi maka harus disertai dengan pencatatan, saksi dan neraca atau takaran. Seperti firman Allah dalam surat al-Baqarah ayat 282, yang berbunyi:

يَـٰٓأَيُّهَا ٱلَّذِينَ ءَامَنُوٓاْ إِذَا تَدَايَنتُم بِدَيۡنٍ إِلَىٰٓ أَجَلٖ مُّسَمّٗى فَٱكۡتُبُوهُۚ وَلۡيَكۡتُب
بَّيۡنَكُمۡ كَاتِبُۢ بِٱلۡعَدۡلِ........... ﴿٢٨٢﴾

Artinya : *"Hai orang-orang yang beriman, apabila kamu bermu'amalah[179] tidak secara tunai untuk waktu yang ditentukan, hendaklah kamu menuliskannya. dan hendaklah seorang penulis di antara kamu menuliskannya dengan benar."*

Maksud ayat diatas adalah bahwa nasihat dan bimbingan dari Allah SWT. Kepada hamba-hamba-Nya yang beriman, jika mereka melakukan mu`amalah secara tidak tunai, hendaklah mereka menuliskannya supaya dapat menjaga jumlah dan batas waktu mu`amalah tersebut, serta lebih menguatkan saksi.

Transaksi jual beli saham ini dikatakan tidak dilakukan secara tunai karena dalam pelaksanaanya terlebih dahulu dilakukan kontrak opsi yaitu suatu perjanjian yang melibatkan masing-masing pemegang opsi yaitu *holder* dan *writter*. Dalam melakukan kontrak opsi harus sesuai dengan aturan mu'amalah yang telah disebutkan pada surat al-Baqarah di atas. Aturan-aturan tersebut adalah dalam melakukan kontrak opsi harus disertai dengan pencatatan, saksi dan neraca atau takaran. Hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya kesalahfahaman antar pemegang opsi karena semua transaksi telah dicatat dengan benar dan telah disaksikan oleh para saksi.

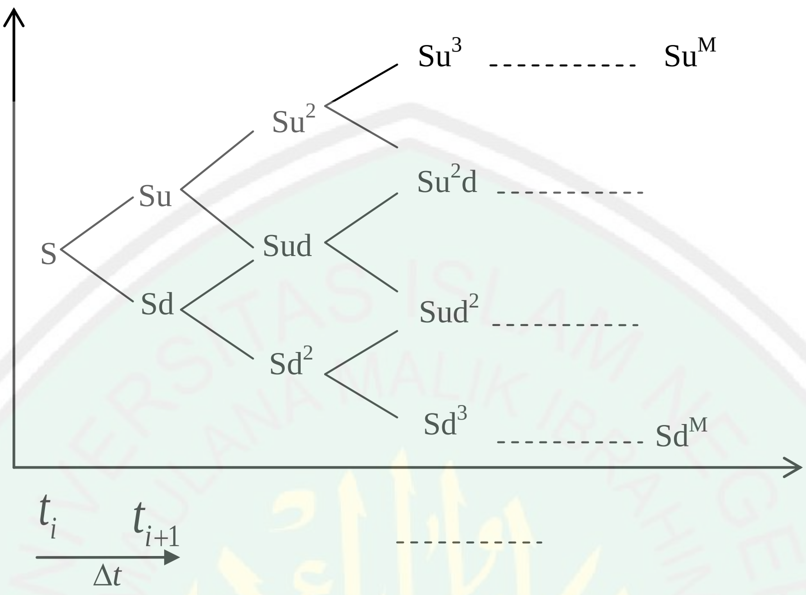
BAB III

PEMBAHASAN

3.1 Konstruksi Model Binomial Perhitungan Harga Saham

Berdasarkan penelitian tentang metode Binomial untuk perhitungan harga opsi Eropa, yang didasarkan pada perhitungan harga saham. Harga saham pada waktu tertentu sangat diperlukan oleh *holder* (pembeli) dan *writer* (penjual) untuk memprediksi nilai opsi. Untuk menghitung harga opsi Eropa yang dilakukan terlebih dulu adalah mencari *payoff* atau nilai opsi. Mencari nilai opsi Eropa pada kontrak opsi yang dilakukan *holder* (pembeli) dan *writer* (penjual). Saat pertama kali melakukan perjanjian, *holder* (pembeli) harus menentukan opsi *call* (hak untuk membeli) atau opsi *put* (hak untuk menjual). Pada kontrak opsi Eropa hal yang harus dilakukan adalah menentukan harga saham perjanjian *(strike price)* dalam waktu jatuh tempo (*maturity date*), sedangkan harga saham awal S_0 telah diketahui sebelumnya.

Menentukan harga saham pada waktu jatuh tempo berdasarkan harga saham awal dapat diperoleh dengan metode Binomial. Harga saham di pasar bebas pada waktu tertentu yang akan datang, tidak dapat dipastikan. Harga saham pasar bebas kenyataannya selalu mengalami perubahan naik atau turun setiap detiknya atau dengan perubahan waktu. kemungkinan dua arah perubahan inilah yang digunakan sebagai dasar metode Binomial. Pada metode Binomial, diketahui harga saham awal, untuk mengetahui harga saham sampai dengan jatuh tempo menggunakan persamaan (2.10).



Gambar 3.1 : Skema Fluktuasi Harga Saham Secara Binomial

$$S_{ji} = S_0 u^j d^{i-j} \text{ , } i = 0,1,\ldots,M \quad j = 0,1,\ldots i. \quad \text{dan } i \geq j \tag{3.1}$$

Persamaan (3.1) digunakan untuk mengetahui harga saham pada waktu jatuh tempo. Dalam waktu yang ke-t terdapat ekspektasi harga saham pada persamaan diskrit.

$$\begin{aligned} E(S_1) &= p.S_0 u + q.S_0 d \\ &= (pu + qd) S_0 \end{aligned} \tag{3.2}$$

$$\begin{aligned} E(S_2) &= p.S_1 u + q.S_1 d \\ &= pu(p.S_0 u + q.S_0 d) + qd(p.S_0 u + q.S_0 d) \\ &= p^2 S_0 u^2 + pqS_0 ud + pqS_0 ud + q^2 S_0 d^2 \\ &= p^2 S_0 u^2 + 2pqS_0 ud + q^2 S_0 d^2 \\ &= (pu + qd)^2 S_0 \end{aligned} \tag{3.3}$$

$$
\begin{aligned}
E\left(S_3\right) &= p.S_2u + q.S_2d \\
&= p\left(p^2S_0u^2 + 2pqS_0ud + q^2S_0d^2\right)u + q\left(p^2S_0u^2 + 2pqS_0ud + q^2S_0d^2\right)d \\
&= p^3S_0u^3 + 2p^2qS_0u^2d + pq^2S_0ud^2 + p^2qS_0u^2d + 2pq^2S_0ud^2 + q^3S_0d^3 \\
&= p^3S_0u^3 + 3p^2qS_0u^2d + 3pq^2S_0ud^2 + q^3S_0d^3 \\
&= \left(pu + qd\right)^3 S_0
\end{aligned} \tag{3.4}
$$

dari ekspektasi di atas didapatkan rumus diskrit harga saham pada waktu $t = M$ sebagai berikut:

$$E\left(S_M\right) = \left(pu + qd\right)^M S_0 \tag{3.5}$$

Persamaan (3.1) adalah tidak rekursif, artinya perhitungan yang memerlukan waktu relatif lama, sehingga perlu adanya bentuk rekursif yang diperoleh sebagai berikut, dengan bantuan persamaan

$$E\left(S_1\right) = S_0e^{r\Delta t} \tag{3.6}$$

$$
\begin{aligned}
E\left(S_2\right) &= S_1e^{r\Delta t} \\
&= S_0e^{r\Delta t}e^{r\Delta t} \\
&= S_0e^{2r\Delta t}
\end{aligned} \tag{3.7}
$$

$$
\begin{aligned}
E\left(S_3\right) &= S_2e^{r\Delta t} \\
&= S_0e^{2r\Delta t}e^{r\Delta t} \\
&= S_0e^{3r\Delta t}
\end{aligned} \tag{3.8}
$$

dari ekspektasi di atas didapatkan rumus acak kontinu harga saham pada waktu $t = M$ sebagai berikut:

$$E\left(S_M\right) = S_0e^{Mr\Delta t} \tag{3.9}$$

untuk menghitung harga saham awal dari harga saham jatuh tempo menggunakan diskon $(e^{-r\Delta t})$ dari persamaan (3.6) dengan rumus:

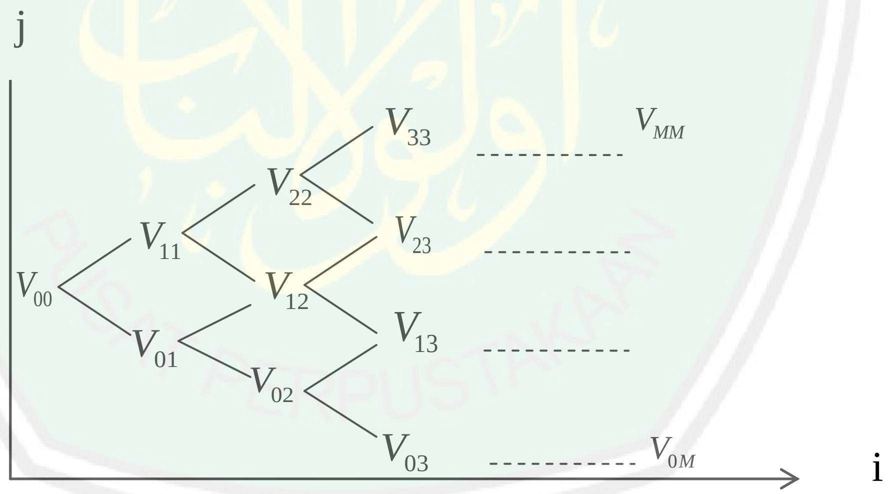
$$S_{ji} = e^{-r\Delta t}\left(pS_{j+1,i+1} + qS_{j,i+1}\right) \tag{3.10}$$

Dari langkah-langkah ini, dapat menemukan dari harga opsi awal sampai jatuh tempo.

3.1.1 Perhitungan Harga Opsi Eropa

Model yang dipakai dalam perhitungan harga opsi adalah menggunakan opsi Eropa. Setelah menemukan harga saham waktu jatuh tempo, maka akan dapat diperoleh nilai opsi Eropa pada awal tempo. Sebelum menghitung nilai opsi, menentukan jenis opsi terlebih dahulu, yaitu opsi *call* atau opsi *put*. Nilai opsi *call* (*call payoff*) pada jatuh tempo yaitu

$$V_{jM} = \max\left(S_{jM} - K, 0\right) \text{ dengan } j = 0,1,2,\ldots,M \tag{3.11}$$



Gambar 3.2 : Skema Perubahan Harga Opsi Secara Binomial Mundur

Dari beberapa nilai opsi ini diperoleh secara binomial mundur harga opsi awal,

$$V_{ji} = e^{-r\Delta t}\left(pV_{j+1,i+1} + qV_{j,i+1}\right) \text{ dengan } j = 0,1,\ldots,1 \text{ dan } i = 0,1,\ldots,M-1 \tag{3.12}$$

Sedangkan untuk menghitung nilai opsi *put* (*put payoff*) pada waktu jatuh tempo yaitu

$$V_{jM} = \max\left(K - S_{jM}, 0\right) \quad , \tag{3.13}$$

terdapat beberapa nilai $j = 0,1,2,3,...,i$ dan $i = 0,1,2,3,...,M$. Dari beberapa nilai opsi ini diperoleh secara binomial mundur harga opsi awal,

$$V_{ji} = e^{-r\Delta t}\left(pV_{j+1,i+1} + qV_{j,i+1}\right) \text{ dengan } j = 0,1,...,1 \text{ dan } i = 0,1,...,M-1 \tag{3.14}$$

3.1.2 Parameter-parameter *u,d,* dan *p*

Untuk menentukan tiga parameter yang belum diketahui, *u, d,* dan *p*, diperlukan tiga persamaan, yaitu:

1. Menyamakan ekspektasi harga saham model diskrit dengan model kontinu.
2. Menyamakan variansi model diskrit dengan model kontinu.
3. Menyamakan $u \,.\, d = 1$.

Persamaan pertama menyamakan ekspektasi harga saham model diskrit dengan model kontinu yaitu menggunakan persamaan (3.5) dan persamaan (3.9) pada waktu jatuh tempo (Aziz, 2004):

$$E\left(S_M\right) = \left(pu + qd\right)^M S_0 \quad \text{dan} \quad E\left(S_M\right) = S_0 e^{Mr\Delta t}$$

sehingga diperoleh

$$\begin{aligned} E\left(S_M\right) &= S_0 . e^{Mr\Delta t} \\ S_M\left(pu + qd\right)^M &= S_M . e^{Mr\Delta t} \\ \left(pu + qd\right)^M &= e^{Mr\Delta t} \\ e^{r\Delta t} &= pu + qd \qquad (3.15) \\ &= pu + qd \\ &= pu + \left(1 - p\right)d \\ &= pu + d - pd \\ &= p(u - d) + d \end{aligned}$$

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

$$p = \frac{e^{r\Delta t} - d}{u-d} \tag{3.16}$$

Karena p merupakan peluang yang harus memenuhi $0 \leq p \leq 1$ maka haruslah $e^{r\Delta t} \leq u$ dan $d \leq u$, sehingga diperoleh

$$d \leq e^{r\Delta t} \leq u \tag{3.17}$$

Pertidaksamaan ini berhubungan dengan gerakan naik dan turunnya harga saham terhadap suku bunga bebas resiko (r). Pertidaksamaan terakhir ini bukanlah merupakan asumsi baru tetapi merupakan prinsip *no-arbitrage* bahwa $0 < d < u$.

Selanjutnya dengan menghitung variansi, dari model kontinu diterapkan hubungan

$$E(S_1^2) = S_0^2 e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} \tag{3.18}$$

Persamaan (3.9) dan (3.18) menghasilkan

$$\begin{aligned} Var(S_1) &= E(S_1^2) - \left(E(S_1)\right)^2 \\ &= S_0^2 e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} - S_0^2 e^{2r\Delta t} \\ &= S_0^2 e^{2r\Delta t}(e^{\sigma^2 \Delta t} - 1) \end{aligned} \tag{3.19}$$

Di sisi lain, dengan menggunakan persamaan (3.2) dan (3.6), variansi untuk model diskrit memenuhi

$$\begin{aligned} Var(S_1) &= E(S_1^2) - \left(E(S_1)\right)^2 \\ &= p\left(S_0 u\right)^2 + q\left(S_0 d\right)^2 - \left(S_0\left(pu+qd\right)\right)^2 \\ &= S_0^2\left(pu^2 + qd^2\right) - \left(S_0 e^{r\Delta t}\right)^2 \end{aligned}$$

$$= S_0^2\left(pu^2 + qd^2 - e^{2r\Delta t}\right) \tag{3.20}$$

Sehingga dengan menyamakan hasil kedua variansi tersebut, persamaan (3.18) dan (3.19) menghasilkan

$$Var(S_1) = S_0^2 e^{2r\Delta t}\left(e^{\sigma^2\Delta t} - 1\right) = S_0^2\left(pu^2 + qd^2 - e^{2r\Delta t}\right)$$

$$S_0^2 e^{2r\Delta t}\left(e^{\sigma^2\Delta t} - 1\right) = S_0^2\left(pu^2 + qd^2 - e^{2r\Delta t}\right)$$

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

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

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

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

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

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

$$p = \frac{e^{\left(2r+\sigma^2\right)\Delta t} - d^2}{u^2 - d^2} \qquad (3.21)$$

Selanjutnya, dengan menyamakan persamaan (3.16) dan (3.21) dihasilkan

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

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

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

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

$$ue^{r\Delta t} + de^{r\Delta t} - ud - d^2 = e^{\left(2r+\sigma^2\right)\Delta t} - d^2$$

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

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

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

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

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

supaya dapat diselesaikan secara kuadrat maka persamaan dikalikan dengan u menjadi:

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

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

sehingga diperoleh

$$u^2-u\left(e^{-r\Delta t}+e^{(r+\sigma^2)\Delta t}\right)+1=0 \tag{3.22}$$

Dengan memisalkan $\beta=e^{-r\Delta t}+e^{(r+\sigma^2)\Delta t}$ persamaan (3.22) menjadi persamaan kuadrat yang lebih sederhana yaitu:

$$u^2-\beta u+1=0 \tag{3.23}$$

untuk menemukan akar-akar persamaan kuadrat pada persamaan (3.23) dengan menggunakan rumua abc maka diperoleh

$$\begin{aligned} u&=\frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a} \\ &=\frac{-(-\beta)\pm\sqrt{(-\beta)^2-4.1.1}}{2.1} \\ &=\frac{\beta\pm\sqrt{\beta^2-4}}{2} \end{aligned}$$

Pada asumsi (1) faktor perubahan naik (u) harus bilangan riil positif sehingga diperoleh nilai untuk u, d dan p yaitu:

$$u=\frac{\beta+\sqrt{\beta^2-4}}{2},\ d=\frac{1}{u}\ ,\ p=\frac{e^{r\Delta t}-d}{u-d}\ \text{dengan}\ \beta=e^{-r\Delta t}+e^{(r+\sigma^2)\Delta t} \tag{3.24}$$

3.2 Metode Binomial Dipercepat

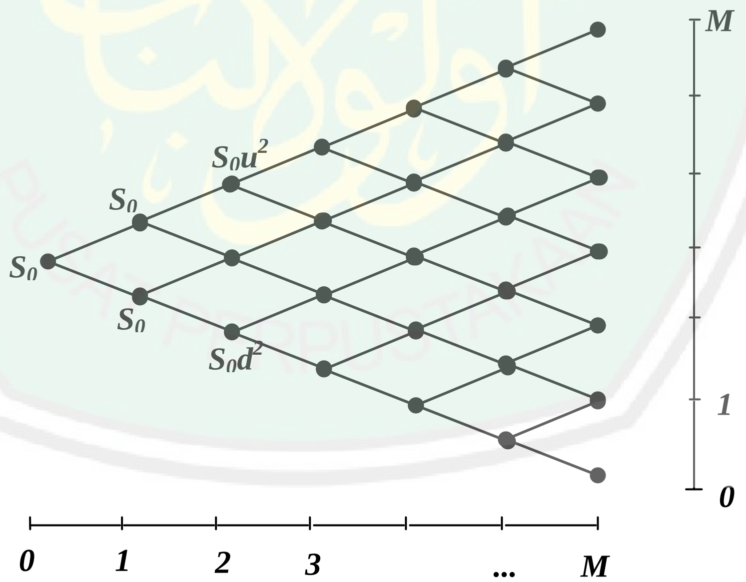
Pada metode Binomial Dipercepat ini konsep yang digunakan adalah konsep pemulusan kurva harga opsi Eropa yang disebut dengan *Middle of Tree* (MOT).

Middle of Tree (MOT) adalah pemulusan kurva dengan meletakkan harga K di tengah pohon Binomial pada saat waktu jatuh tempo sehingga harga K selalu tetap terhadap node di setiap nilai M yang berubah. Untuk menghilangkan osilasi pada harga opsi Eropa menggunakan metode Binomial CRR, partisi waktu dipisahkan menjadi M ganjil dan M genap (Klassen, 2001).

Harga K selalu terletak di tengah pohon Binomial pada saat waktu jatuh tempo dengan cara merubah parameter u dan d. Oleh karena harga K harus terletak di tengah pohon Binomial pada saat jatuh tempo, maka

$$S_0ud = S_0u^2d^2 = S_0u^3d^3 = \cdots = S_0u^jd^{i-j} = K$$

dengan $i = 1, 2, \cdots, M; j = 0, 1, 2, \cdots, i$ yang diilustrasikan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Skema Pohon Binomial dengan ***K*** di Tengah Pohon Binomial

Konsep awal yang digunakan dalam menghitung harga saham menggunakan metode Binomial Dipercepat adalah memodifikasi bentuk parameter *u*, *d*, dan *p* pada metode Binomial biasa bentuk CRR yang dalam hal ini disebut metode pemulusan kurva (*Middle of Tree*). Pada saat jatuh tempo, harga K harus terletak di tengah noktah-noktah pohon Binomial, akibatnya

$$S_0(ud)^{\frac{M}{2}} = K \qquad (3.25)$$

Pada metode Binomial CRR, harga saham akan naik atau turun bergantung pada parameter u dan d sesuai dengan rumus yaitu

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

Sedangkan parameter u dan d pada metode Binomial Dipercepat diubah dengan menambahkan variabel C_1 dan C_2 pada eksponensial parameter u dan d. Penambahan variabel C_1 dan C_2 membuat harga node saham akan bergerak sehingga keadaan K selalu berada di tengah-tengah jumlah node pohon Binomial pada saat waktu jatuh tempo sehingga didapatkan parameter u dan d sebagai berikut:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}+C_1}, d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}+C_2} \qquad (3.26)$$

Substitusi persamaan (3.26) ke dalam persamaan (3.25) diperoleh

$$S_0(e^{\sigma\sqrt{\Delta t}+C_1}.e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}+C_2})^{\frac{M}{2}} = K$$

$$S_0(e^{\sigma\sqrt{\Delta t}+C_1-\sigma\sqrt{\Delta t}+C_2})^{\frac{M}{2}} =$$

$$S_0(e^{C_1+C_2})^{\frac{M}{2}} =$$

$$e^{(C_1+C_2)\frac{M}{2}} = \frac{K}{S_0}$$

$$\ln[e^{(C_1+C_2)\frac{M}{2}}] = \ln\frac{K}{S_0}$$

$$(C_1+C_2)\frac{M}{2} =$$

$$C_1 + C_2 = \frac{2\ln(\frac{K}{S_0})}{M}$$

Dari persamaan di atas dilakukan pemilihan C_1 dan C_2 sebagai berikut

$$C_1 = C_2 = \frac{\ln(\frac{K}{S_0})}{M} \quad (3.27)$$

Substitusi persamaan (3.27) ke dalam persamaan (3.26) sehingga parameter u dan d pada metode Binomial Dipercepat adalah sebagai berikut:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t} + \frac{\ln(\frac{K}{S_0})}{M}}, d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t} + \frac{\ln(\frac{K}{S_0})}{M}} \quad (3.28)$$

3.3 Algoritma Harga Opsi Eropa

Algoritma berfokus pada software (program), program adalah kumpulan instruksi tersendiri yang biasa disebut sebagai source code. kumpulan instruksi ini dibuat oleh *programmer* (pembuat program). Jadi program adalah kumpulan instruksi atau perintah yang disusun sedemikian rupa sehingga mempunyai urutan nalar yang tepat untuk menyelesaikan suatu persoalan. Instruksi (statement) yang dimaksud adalah cara penulisan yang sesuai dengan bahasa pemogramanyang digunakan dimana mempunyai komponen input, proses, dan input.

Algoritma untuk menghitung harga opsi Eropa dengan menggunakan perbandingan Black Scholes. Model Black scholes adalah metode yang di populerkan oleh Fischer Black dan Myron Scholes pada tahun 1973 untuk menentukan harga teoritis *European call*. Model ini cukup dipakai dalam penentuan nilai opsi dikarenakan mudah diterima pada bagian keuangan dengan pemakaiannya hanya untuk menentukan nilai opsi Eropa saat hari terakhir (*maturity date*). Algoritma untuk menghitung harga opsi Eropa adalah sebagai berikut:

1. Input S, K, r, σ, M dan jenis opsi *call* atau opsi *put*
2. Hitung $\Delta t = \dfrac{T}{M}$
3. Hitung $a = e^{-r\Delta t}$
4. Hitung nilai parameter-parameter MOT :

   $u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t} + \frac{\ln(\frac{K}{S_0})}{M}}, d = u = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t} + \frac{\ln(\frac{K}{S_0})}{M}}$ dan $p = \dfrac{e^{r\Delta t} - d}{u - d}$
5. Hitung nilai harga saham pada waktu jatuh tempo dengan rumus:

   $S_{j(M+1)} = S_0 u^j d^{(M+1)-j}$, dimana $j = 1, 2, \ldots, M+1$ dengan $S_0 = S_{11} = S$
6. Hitung nilai harga opsi pada saat jatuh tempo dengan $j = 1, 2, \ldots, M+1$
   - Untuk opsi *call*:

     $V_{j(M+1)} = \max(S_{j(M+1)} - K, 0)$
   - Untuk opsi *put*

     $V_{j(M+1)} = \max(K - S_{j(M+1)}, 0)$
7. Hitung nilai opsi pada awal tempo $V_0 = V_{11}$ dengan bekerja secara mundur menggunakan persamaan $V_{ji} = a(pV_{j+1,i+1} + (1-p)V_{j,i+1})$ dengan $j = 1, 2, ..., i$ dan $i = M, M-1, M-2, ..., 1$

8. Hitung $d1 = \dfrac{\log(\frac{K}{S_0}) + (r + 0.5\sigma^2)T}{\sigma\sqrt{T}}$ dan $d2 = d1 - \sigma\sqrt{T}$

9. Hitung $N1 = \frac{1}{2}(1 + erf(\frac{d1}{\sqrt{2}}))$ dan $N2 = \frac{1}{2}(1 + erf(\frac{d2}{\sqrt{2}}))$

10. Hitung $C = SN1 - Ke^{-rT}N2$ Hitung $P = C - S_0e^{-rT}K$

11. Output V_{11} sebagai opsi *call* atau *put* dan C atau P sebagai hasil Black Scholes

12. Munculkan gambar iterasi harga opsi *call* atau *put* tipe Eropa dan juga hasil metode Black Scholes

3.4 Simulasi Menggunakan MATLAB

Metode Binomial Dipercepat adalah pengembangan dari Metode Binomial CRR yang acuannya adalah artikel yang ditulis oleh Timothy R. Klassen (2001) yang berjudul "*Simple, Fast and Flexible Pricing of Asian Option*". Selain itu, Metode Binomial Dipercepat ini juga merupakan pengembangan dari skripsi yang ditulis oleh Mahatva Cahyaningtyas yang berjudul "*Metode Binomial untuk Perhitungan Harga Opsi Eropa dan Opsi Asia Eropa*". Simulasi yang dilakukan menggunakan 3 kondisi yang berbeda yaitu $S_0 > K$, $S_0 = K$, dan $S_0 < K$. Hal ini didasarkan dari simulasi yang telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya. Berikut adalah simulasi pergerakan harga saham dan pergerakan harga opsi Eropa.

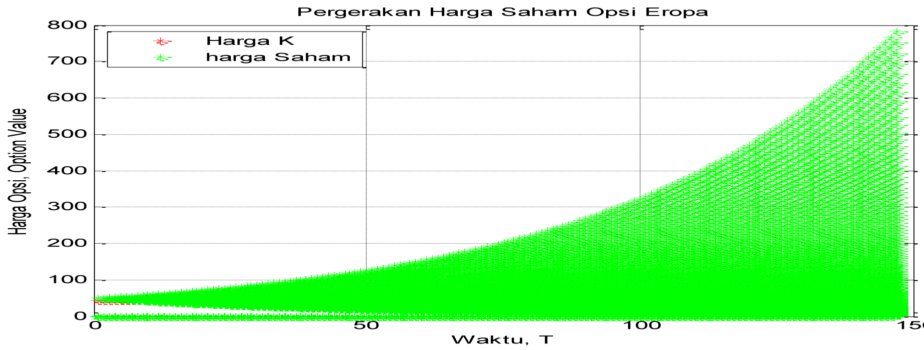
3.4.1 Harga Saham Lebih Besar dari Harga Ketentuan dengan parameter S_0 = 50, *K* = 40, *r* = 0.15, σ = 0.24, *M* = 146

Pada kondisi pertama, peneliti akan melakukan simulasi dengan menggunakan parameter yang sama dengan parameter yang digunakan pada penelitian sebelumnya yang membahas tentang perhitungan harga opsi Eropa menggunakan metode Binomial. Parameter yang digunakan diilustrasikan sebagai berikut.

Misalkan harga saham perusahaan X saat ini 50 (satuan mata uang) perlembar. Sementara itu, waktu jatuh tempo ditentukan pada hari ke-146, kemudian dijual dengan *strike price* 43 (satuan mata uang) perlembar. Diketahui bahwa tingkat suku bunga bebas resiko 15% pertahun dan standar deviasi tingkat keuntungan saham tersebut sebesar 0.24. Dengan data tersebut, maka harga opsi *call* dan opsi *put* dapat dihitung menggunakan MATLAB dan hasilnya sebagai berikut:

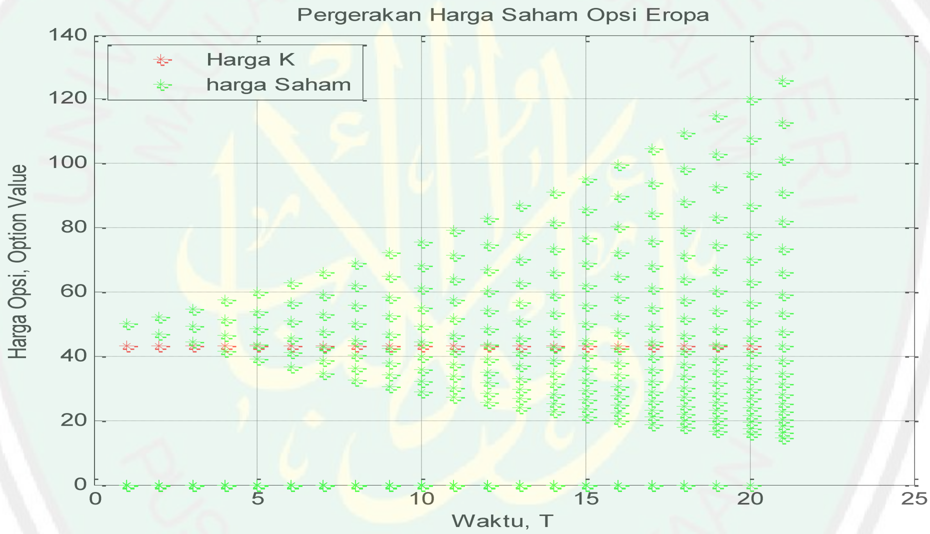
i) Pergerakan Harga Saham

Sebelum melakukan simulasi perhitungan harga opsi Eropa, yang dilakukan terlebih dahulu adalah menghitung harga saham. Hal ini bertujuan untuk menunjukkan kebenaran asumsi awal yang digunakan sebagai dasar pemulusan kurva pada harga opsi Eropa. Berikut adalah hasil simulasi pergerakan harga saham dengan menggunakan parameter yang pertama:



Gambar 3.4 Grafik Hasil Simulasi Harga Saham

Titik-titik warna hjau yang terdapat pada gambar (3.4) menunjukkan letak harga saham sampai waktu ke-M. Pada waktu yang ke-1 menunjukkan satu titik yaitu harga saham awal seharga 50, waktu yang ke-2 terdapat dua titik berwarna hijau dan seterusnya sampai pada waktu yang ke-146 terdapat 146 titik berwarna hijau. Terdapat juga titik-titik warna merah yang menunjukkan harga ketentuan, dimana titik tersebut selalu berada di tengah titik-titik harga saham pada saat jatuh tempo. Supaya grafik lebih jelas maka akan diperbesar dengan gambar (3.5).



Gambar 3.5 Perbesaran Gambar 3.4 sampai M = 20

Dari gambar simulasi harga saham ini tidak tampak bahwa harga K terletak di tengah pohon Binomial pada saat jatuh tempo. Untuk memperjelas bahwa harga K terletak di tengah pohon Binomial pada saat jatuh tempo, maka akan ditunjukkan dengan tabel 1.1 pada lampiran 1 dengan waktu jatuh tempo 10 dan 20. Harga K ditunjukkan dengan tulisan tebal. Harga saham yang diperoleh dari perhitungan menggunakan metode Binomial Dipercepat tersebut adalah perkiraan harga saham yang akan diperoleh pada saat jatuh tempo.

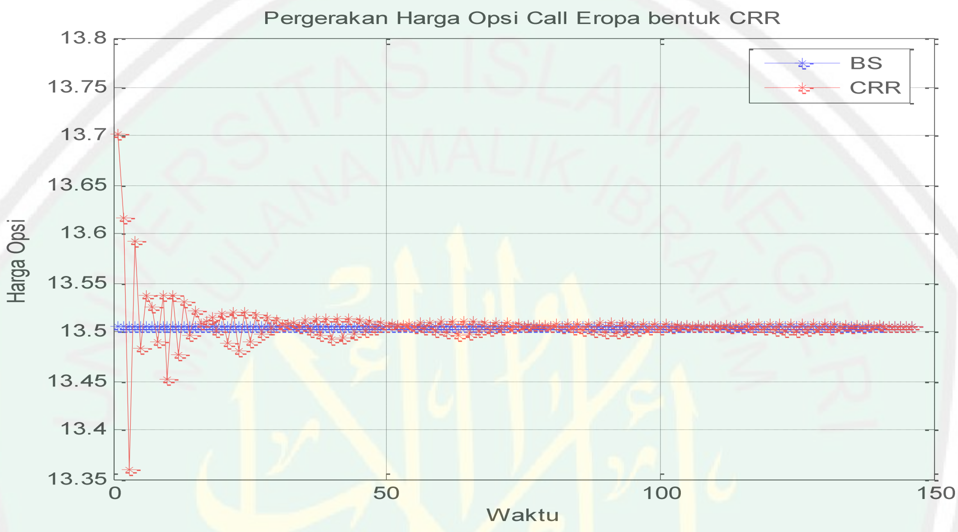
Pergerakan harga saham setiap saat dapat berubah menjadi naik atau turun yang disebabkan oleh faktor naik (u) dan juga faktor turun (d). Di antara faktor-faktor yang mempengaruhi kondisi harga saham suatu perusahaan adalah kondisi keuangan suatu perusahan, keterbatasan SDM maupun SDA dari suatu perusahaan yang mempengaruhi produktivitas kerja. Para investor akan melihat beberapa kriteria dari suatu perusahaan tersebut misalnya untuk suatu perusahaan properti, calon investor akan melihat bagaimana keadaan keuangan dari perusahaan tersebut selama beberapa periode sebelumnya. Selain itu, calon investor juga melihat ketersediaan lahan dan bahan yang akan digunakan perusahaan tersebut untuk beberapa tahun ke depan, apakah cukup prospektif atau tidak.

Hal-hal tersebut yang menjadi pertimbangan para investor untuk ikut menanamkan sahamnya pada perusahaan properti tersebut. Minat dari investor inilah yang menjadikan pergerakan harga saham mempunyai peluang untuk dapat naik atau turun pada saat tertentu. Dari pergerakan saham yang diperoleh melalui metode Binomial Dipercepat ini, akan diperoleh harga opsi yang akan dibayarkan oleh *holder* (pemegang opsi) yaitu pembeli saham kepada *writer* (penulis opsi) yaitu perusahaan yang menawarkan sahamnya. Setelah mengetahui pergerakan harga saham, selanjutnya adalah menghitung harga opsi *call* dan opsi *put.* Berikut adalah hasil simulasi dan analisis yang diperoleh.

i) Perbandingan Harga Opsi *Call* Eropa dan Black Scholes

a. Hasil Binomial CRR

Pada penelitian sebelumnya telah dijelaskan bahwa hasil perhitungan dengan menggunakan metode Binomial CRR akan semakin mendekati nilai Black Scholes jika partisi waktu yang digunakan semakin banyak. Hal ini dapat dilihat pada gambar (3.6)

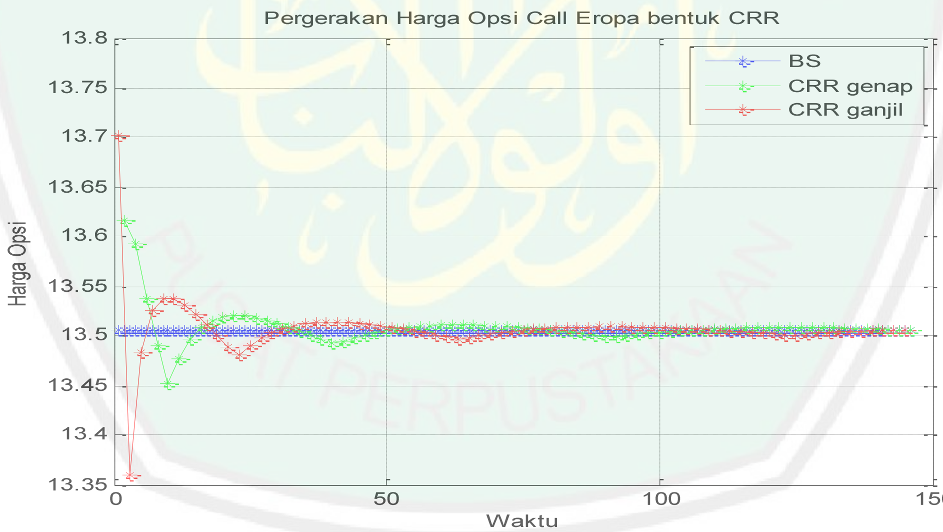


Gambar 3.6 Grafik Hasil Simulasi Opsi *Call* Eropa

Harga opsi Eropa yang diperoleh dari Black Scholes merupakan harga opsi Eropa model kontinu sedangkan untuk model diskrit diperoleh dari metode Binomial. Dari nilai awal yang telah diberikan didapatkan harga opsi Eropa dengan metode Binomial pada waktu yang pertama bernilai 13.6166 dengan perhitungan kontinu sampai harga opsi Eropa pada waktu jatuh tempo (hari ke-146) yaitu 13.5095 dan pada Black Scholes yaitu 13.5056.

Model Black Scholes merupakan model yang telah banyak diterima oleh masyarakat keuangan. Model Black scholes sangat berguna bagi *holder* (pemegang opsi) untuk menunjukkan apakah harga opsi yang terjadi di pasar sudah merupakan harga yang memiliki nilai opsi yang akan diperdagangkan (baik opsi *call* maupun opsi *put*) sebesar harga saham pada saat jatuh tempo. Sehingga, kedua belah pihak baik *holder* (pemegang opsi) maupun *writer* (penulis opsi) tidak ada yang dirugikan. Seandainya harga opsi di pasar tidak sama dengan harga yang dihasilkan oleh model Black Scholes, maka hal itu akan menciptakan peluang bagi *holder* (pemegang opsi) untuk mendapatkan keuntungan.

Akan tetapi, seperti yang telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya bahwa metode Binomial Dipercepat ini memisahkan partisi waktu antara M ganjil dan M genap. Pemisahan partisi waktu ini tidak mempengaruhi hasil perhitungan dari harga opsi, tujuan dari pemisahan partisi ini hanya untuk mempermudah ketika akan dilakukan pemulusan pada kurva harga opsi. Dari pemisahan partisi ini didapatkan grafik baru yang ditunjukkan oleh gambar (3.7).



Gambar 3.7 Grafik Hasil Simulasi Opsi *Call* Eropa dengan Pemisahan Partisi Waktu M

Dari pemisahan partisi ini didapatkan hasil yang yang sama dengan hasil sebelumnya hanya dibedakan partisi M ganjil dan M genap. Dari hasil simulasi opsi *call* menggunakan metode Binomial CRR didapatkan bahwa *holder* (pemegang opsi) harus membayar sebesar 13.5056 kepada *writer* (penulis opsi) dengan acuan perhitungan menggunakan Black Scholes.

Pergerakan harga opsi Eropa yang tidak teratur mengakibatkan kekonvergenan harga opsi tersebut tidak monoton. Pada dasarnya harga opsi Eropa yang diperoleh dengan menggunakan metode Binomial tidak akan sama dengan harga opsi Eropa Black Scholes. Oleh karena itu, terdapat selisih antara kedua harga opsi Eropa model Binomial CRR dengan harga opsi Eropa Black Scholes. Selisih antara kedua harga opsi tersebut untuk selanjutnya dinyatakan sebagai *error* (galat). Nilai *error* (galat) dari kedua harga opsi tersebut didefinisikan sebagai berikut:

$$e_n = \left| c(t_0, S_0) - c_n(t_0, S_0) \right| \tag{3.29}$$

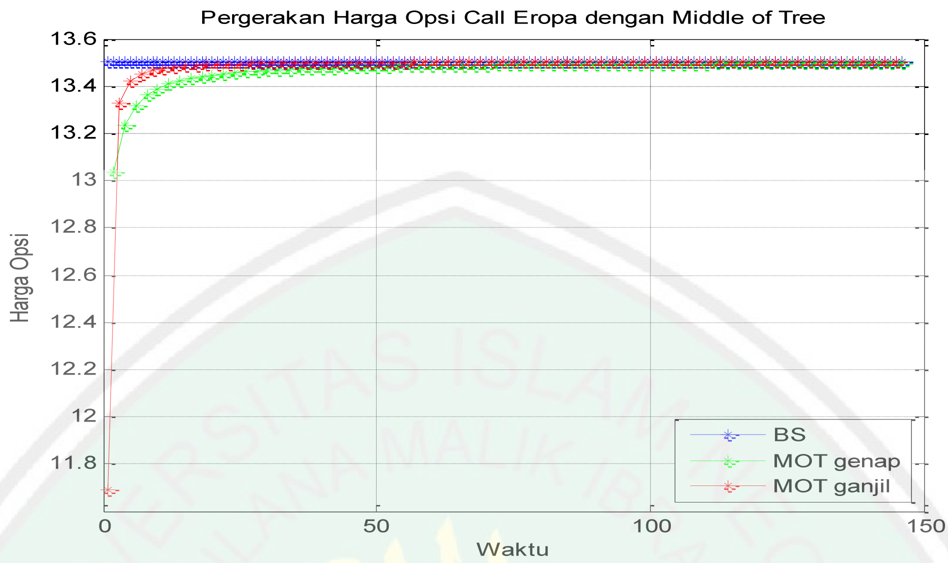
dengan mengaplikasikan teorema limit pusat pada persamaan (3.29) diperoleh bahwa

$$\lim_{n\to\infty} e_n = 0 \tag{3.30}$$

Hal ini berarti bahwa harga opsi yang ditentukan dengan menggunakan metode Binomial CRR akan konvergen menuju opsi yang ditentukan dengan menggunakan rumus Black Scholes.

b. Hasil dari *Middle of Tree*

Pergerakan grafik naik turun yang diperoleh dari perhitungan harga opsi *call* pada metode Binomial CRR merupakan ide awal yang digunakan untuk mengembangkan metode perhitungan harga opsi ini. Langkah yang dilakukan adalah dengan memuluskan grafik yang diperoleh dari simulasi pada metode Binomial CRR. Hasil dari pemulusan grafik metode Binomial CRR ditunjukkan oleh gambar (3.8) berikut:



Gambar 3.8 Grafik Hasil Simulasi Opsi *Call* Eropa dengan MOT

Harga opsi *call* Eropa yang didapatkan setelah dilakukan pemulusan kurva ditunjukkan oleh tabel (1.2) pada lampiran 1. Harga opsi *call* Eropa yang didapatkan dari pemulusan kurva MOT ini semuanya konvergen menuju nilai Black Scholes baik partisi *M* ganjil maupun partisi *M* genap. Untuk mengecek kekonvergenannya menggunakan persamaan (3.29) dan persamaan (3.30).

Dari grafik hasil pemulusan dapat dilihat bahwa harga opsi Eropa menggunakan Binomial Dipercepat sudah dapat mendekati harga Black Scholes dengan partisi 101. Kekonvergenan ini lebih cepat dibandingkan dengan kekonvergenan menggunakan metode Binomial CRR di mana harga opsi Eropa yang didapat dari metode Binomial Dipercepat pada partisi waktu 101 baru dapat didapat oleh metode Binomial CRR pada partisi waktu 146. Untuk keakuratannya dapat dilihat dari hasil *error* (galat) yang diperoleh dari metode Binomial dan Binomial Dipercepat.

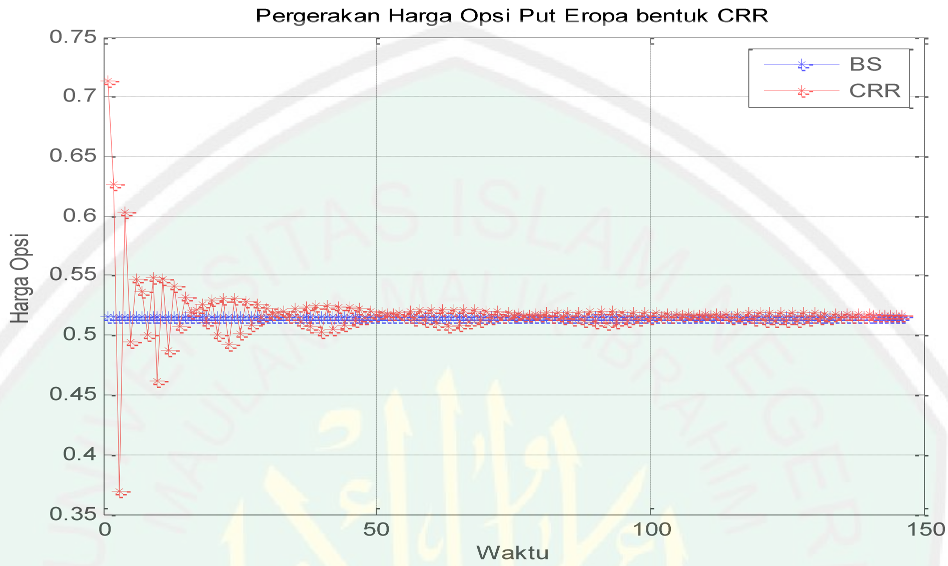
Pada keterangan sebelumnya tentang metode Binomial Dipercepat ini telah dijelaskan bahwa harga K selalu terletak di tengah pohon binomial pada saat jatuh tempo. Hal ini menyebabkan *holder* (pemegang opsi) untuk opsi *call* dan *put* mempunyai peluang yang sama untuk dapat menggunakan haknya agar dapat memperoleh keuntungan dari kontrak opsi ini.

Pada opsi *call* ini, *holder* (pemegang opsi) dapat memperkirakan keuntungan maksimum yang akan diperoleh ketika menggunakan haknya untuk membeli saham dengan melihat fruktuasi harga saham yang ditunjukkan oleh gambar (3.4). Dari gambar (3.4) *holder* (pemegang opsi) dapat menggunakan haknya untuk membeli saham kepada *writer* (penulis opsi) ketika harga saham di pasar bebas pada saat jatuh tempo (hari ke-146) terletak di atas harga K. Sebaliknya, ketika harga saham di pasar bebas pada saat jatuh tempo (hari ke-146) terletak di bawah harga K maka *holder* (pemegang opsi) lebih baik mengabaikan haknya dan lebih disarankan untuk membeli saham di pasar bebas.

ii) Perbandingan Harga Opsi *Put* Eropa dan Black Scholes

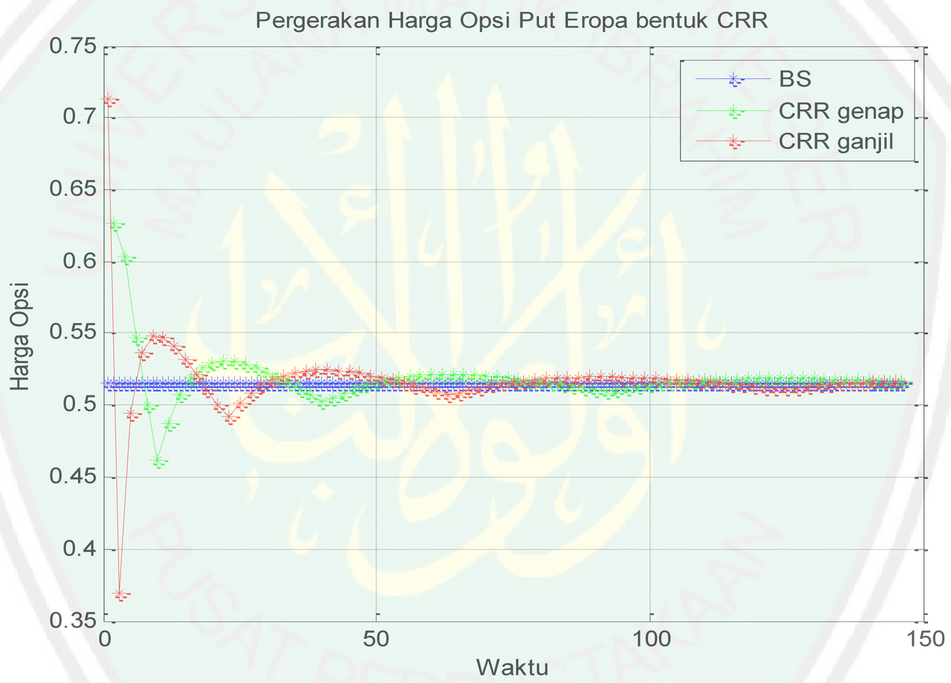
a. Hasil Binomial CRR

Pergerakan harga opsi *put* Eropa dengan menggunakan metode Binomial CRR dapat dilihat pada gambar (3.9). Pergerakan harga opsi *put* Eropa yang diperoleh akan berbentuk sama dengan pergerakan harga opsi *call* Eropa sebelumnya. Hal yang membedakan antara kedua opsi ini yaitu opsi *call* dan opsi *put* adalah nilai harga opsi dan keuntungan yang akan diperoleh. Berikut adalah gambar pergerakan harga opsi *put* Eropa:



Gambar 3.9 Grafik Hasil Simulasi Opsi *put* Eropa

Dari nilai awal yang telah diberikan didapatkan harga opsi *put* Eropa pada waktu yang pertama bernilai 0.7129 dengan perhitungan kontinu sampai harga opsi Eropa pada waktu jatuh tempo (hari ke-146) yaitu 0.5163 dan pada Black Scholes yaitu 0.5160. Untuk opsi *put* Eropa ini, *holder* (pemegang opsi) akan membayar sebesar 0.5160 kepada *writer* (penulis opsi) di mana harga yang dibayar tersebut merupakan keuntungan yang didapatkan oleh *writer* (penulis opsi) pada opsi *put* Eropa ini. Sedangkan, keuntungan yang didapat oleh *holder* (pemegang opsi) adalah ketika harga saham di pasar bebas pada saat jatuh tempo yang ditunjukkan oleh gambar (3.4) berada di bawah harga *K*. Dalam keadaan seperti itu, *holder* (pemegang opsi) dapat menjual harga saham di pasar bebas sebesar harga *K* sehingga *holder* (pemegang opsi) dapat memperoleh keuntungan. Akan tetapi, ketika harga saham di pasar bebas pada saat jatuh tempo yang ditunjukkan oleh gambar (3.4) berada di atas harga K lebih baik *holder* (pemegang opsi) mengabaikan haknya untuk menjual saham di pasar bebas kepada *writer* (penulis opsi). Untuk pergerakan harga opsi *put* Eropa dengan pemisahan partisi ditunjukkan oleh gambar (3.10) berikut:



Gambar 3.10 Grafik Hasil Simulasi Opsi *put* Eropa dengan Pemisahan Partisi Waktu M

Dari pemisahan partisi ini didapatkan hasil yang yang sama dengan hasil Binomial CRR tanpa pemisahan waktu hanya dibedakan partisi M ganjil dan M genap. Keadaan yang terjadi pada *holder* (pemegang opsi) dan *writer* (penulis opsi) juga sama dengan Binomial CRR tanpa pemisahan waktu. Pemisahan partisi waktu pada metode Binomial CRR ini merupakan langkah awal untuk memperoleh harga opsi Eropa secara diskrit untuk mempercepat kekonvergenan terhadap harga Black Scholes.

b. Hasil *Middle of Tree*

Hasil dari pemulusan grafik metode Binomial CRR untuk harga opsi *put* Eropa ditunjukkan oleh gambar (3.11) berikut:

Gambar 3.11 Grafik Hasil Simulasi Opsi *put* Eropa dengan MOT

Harga opsi *put* Eropa yang didapatkan setelah dilakukan pemulusan kurva ditunjukkan oleh tabel (1.3) pada lampiran 1. Harga opsi *put* Eropa yang didapatkan dari pemulusan kurva MOT ini semuanya konvergen menuju nilai Black Scholes baik partisi M ganjil maupun partisi M genap. Untuk mengecek kekonvergenannya menggunakan persamaan (3.29) dan persamaan (3.30).

Dari grafik hasil pemulusan dapat dilihat bahwa harga opsi Eropa menggunakan Binomial Dipercepat sudah dapat mendekati harga Black Scholes dengan partisi 101. Kekonvergenan ini lebih cepat dibandingkan dengan kekonvergenan pada saat menggunakan metode Binomial CRR di mana harga opsi Eropa yang didapat dari metode Binomial Dipercepat pada partisi waktu 101 baru dapat didapat oleh metode Binomial CRR pada partisi waktu 146. Untuk keakuratannya dapat dilihat dari hasil *error* (galat) yang diperoleh dari metode Binomial dan Binomial Dipercepat .

Pada keterangan sebelumnya tentang metode Binomial Dipercepat ini telah dijelaskan bahwa harga K selalu terletak di tengah pohon binomial pada saat jatuh tempo. Hal ini menyebabkan *holder* (pemegang opsi) untuk opsi *call* dan *put* mempunyai peluang yang sama untuk dapat menggunakan haknya agar dapat memperoleh keuntungan dari kontrak opsi ini.

Pada opsi *put* ini, *holder* (pemegang opsi) dapat memperkirakan keuntungan maksimum yang akan diperoleh ketika menggunakan haknya untuk menjual saham dengan melihat fruktuasi harga saham yang ditunjukkan oleh gambar (3.4). Dari gambar (3.4) *holder* (pemegang opsi) dapat menggunakan haknya untuk menjual saham kepada *writer* (penulis opsi) ketika harga saham di pasar bebas pada saat jatuh tempo (hari ke-146) terletak di bawah harga K. Sebaliknya, ketika harga saham di pasar bebas pada saat jatuh tempo (hari ke-146) terletak di atas harga K maka *holder* (pemegang opsi) lebih baik mengabaikan haknya dan lebih disarankan untuk menjual saham di pasar bebas.

3.4.2 Harga Saham Sama dengan Harga Ketentuan dengan Parameter S_0 = 50, K = 50, r = 0.15, σ = 0.24, M = 146

Pada kondisi kedua ini parameter yang digunakan sama dengan parameter yang digunakan pada kondisi 3.4.1. Dalam hal ini, yang membedakan antara kondisi 3.4.1 dan 3.4.2 adalah nilai K dimana pada kondisi 3.4.2 berlaku $S_0 = K$. Berikut adalah ilustrasi untuk paramater yang akan digunakan dalam simulasi perhitungan harga opsi Eropa.

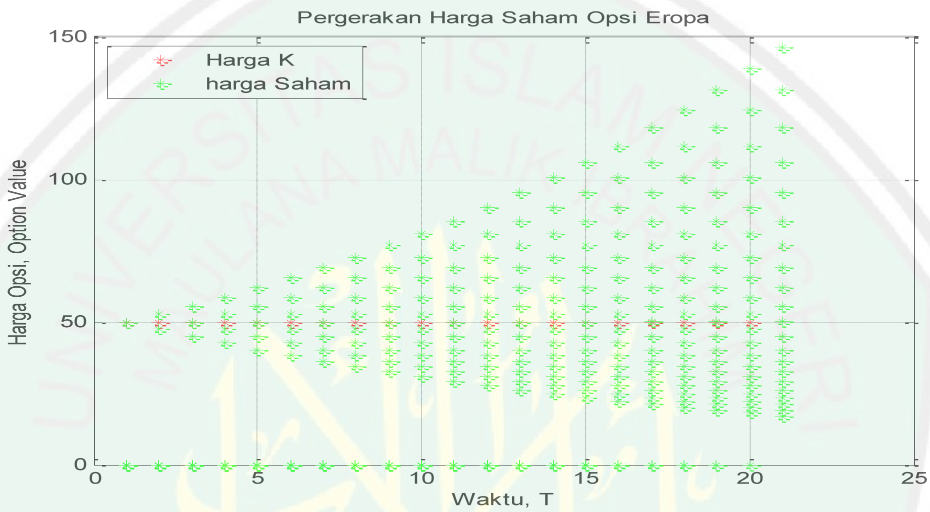
Misalkan harga saham perusahaan Y saat ini 50 (satuan mata uang) perlembar. Sementara itu, waktu jatuh tempo ditentukan pada hari ke-146, kemudian dijual dengan *strike price* 50 (satuan mata uang) perlembar. Diketahui bahwa tingkat suku bunga bebas resiko 15% pertahun dan standar deviasi tingkat keuntungan saham tersebut sebesar 0.24. dengan data tersebut, maka harga opsi *call* dan opsi *put* dapat dihitung, menggunakan MATLAB, dan hasilnya sebagai berikut:

i) Pergerakan Harga Saham

Pergerakan harga saham pada kondisi kedua adalah sama dengan pergerakan saham pada kondisi pertama di mana hasil harga saham yang diperoleh mengandung harga K yang selalu terletak di tengah pohon binomial harga saham pada saat jatuh tempo. Pergerakan harga saham perusahaan Y ditunjukkan oleh gambar (3.12) di bawah ini.

Gambar 3.12 Grafik Pergerakan Harga Saham

Dari gambar (3.12) di atas, pergerakan harga K tertutup oleh pergerakan harga saham. Sehingga, gambar (3.12) akan diperbesar dengan menggunakan partisi sampai $M = 20$ yang ditunjukkan oleh gambar (3.13).



Gambar 3.13 Perbesaran Gambar 3.12 sampai $M = 20$

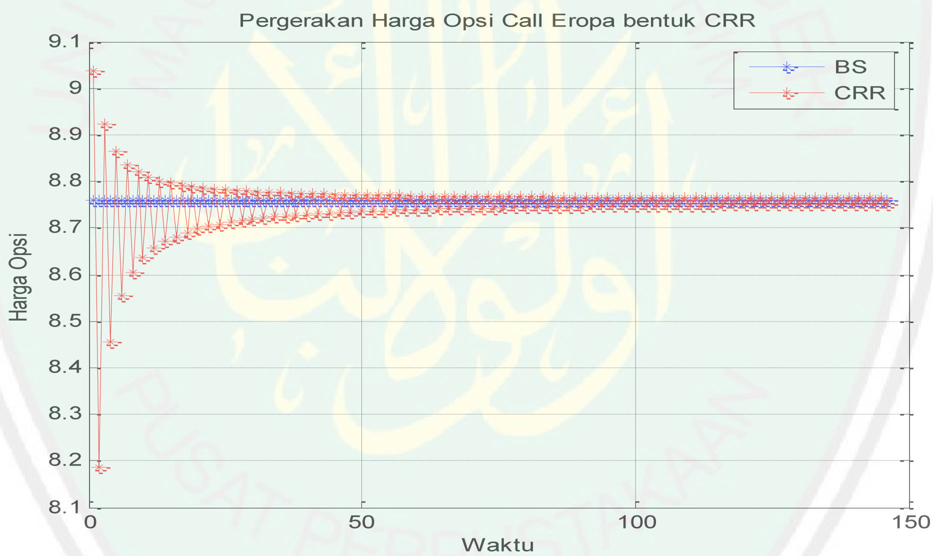
Dari gambar (3.13) dapat dilihat pergerakan harga K yang ditunjukkan oleh titik-tik warna merah. Untuk melihat hasil lebih jelas yang menunjukkan bahwa harga K terletak di tengah pohon Binomial pada saat jatuh tempo, maka akan ditunjukkan oleh tabel 2.1 yang terdapat pada lampiran 1. Harga K ditunjukkan dengan tulisan tebal. Pergerakan harga saham yang naik turun pada saat tertentu dipengaruhi oleh beberapa faktor yang telah dijelaskan pada pergerakan saham sebelumnya pada kondisi 3.4.1.

Kenyataan yang terjadi pada harga saham di pasar bebas tersebut dapat dijadikan acuan untuk para pelaku kontrak opsi yaitu *holder* (pemegang opsi) dan *writer* (penulis opsi) untuk dapat memutuskan hal yang dapat dilakukan untuk dapat memperoleh keuntungan. Setelah mengetahui keadaan harga saham pada pasar bebas setelah jatuh tempo, maka selanjutnya adalah menghitung harga opsi Eropa untuk tipe *call* maupun *put*.

ii) Perbandingan Harga Opsi *Call* Eropa dan Black Scholes

a. Hasil Binomial CRR

Berikut adalah grafik hasil simulasi harga opsi *call* Eropa dengan menggunakan metode Binomial CRR.

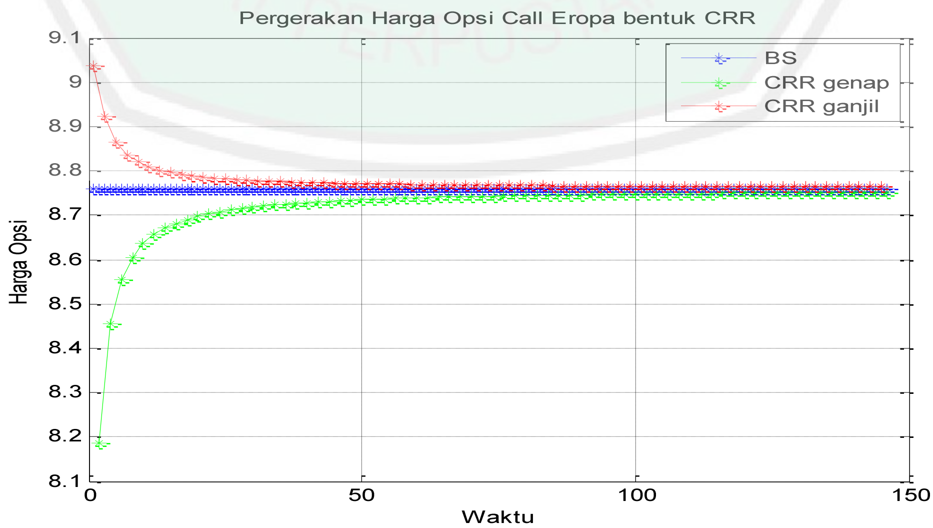


Gambar 3.14 Grafik Hasil Simulasi Opsi *Call* Eropa

Harga opsi Eropa yang diperoleh dari Black Scholes merupakan harga opsi Eropa model kontinu sedangkan untuk model diskrit diperoleh dari metode Binomial. Dari nilai awal yang telah diberikan didapatkan Harga opsi Eropa pada waktu yang pertama bernilai 9.0378 dengan perhitungan kontinu sampai harga opsi Eropa pada waktu jatuh tempo (hari ke-146) yaitu 8.7515 dan pada Black Scholes yaitu 8.7602.

Model Black Scholes merupakan model yang telah banyak diterima oleh masyarakat keuangan. Model Black scholes sangat berguna bagi *holder* (pemegang opsi) untuk menunjukkan apakah harga opsi yang terjadi di pasar sudah merupakan harga yang memiliki nilai opsi yang akan diperdagangkan (baik opsi *call* maupun opsi *put*) sebesar harga saham pada saat jatuh tempo. Sehingga, kedua belah pihak baik *holder* (pemegang opsi) maupun *writer* (penulis opsi) tidak ada yang dirugikan. Seandainya harga opsi di pasar tidak sama dengan harga yang dihasilkan oleh model Black Scholes, maka hal itu akan menciptakan peluang bagi *holder* (pemegang opsi) untuk mendapatkan keuntungan.

Akan tetapi, seperti yang telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya bahwa metode Binomial Dipercepat ini memisahkan partisi waktu antara M ganjil dan M genap. Pemisahan partisi waktu ini tidak mempengaruhi hasil perhitungan dari harga opsi, tujuan dari pemisahan partisi ini hanya untuk mempermudah ketika akan dilakukan pemulusan pada kurva harga opsi. Dari pemisahan partisi ini didapatkan grafik baru yang ditunjukkan oleh gambar (3.15).

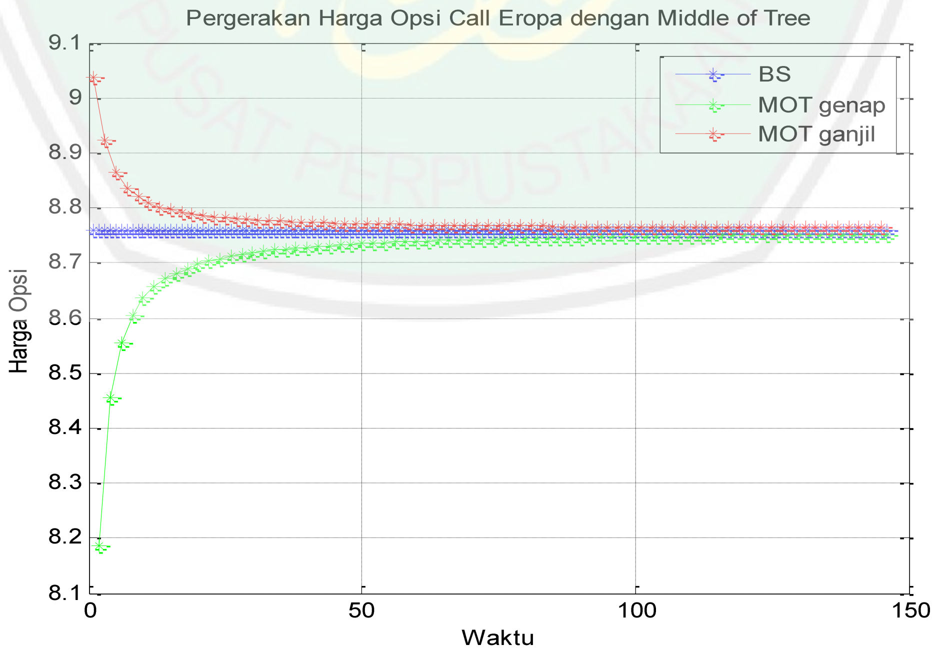


Gambar 3.15 Grafik Hasil Simulasi Opsi *Call* Eropa dengan Pemisahan Partisi Waktu M

Dari pemisahan partisi ini didapatkan hasil yang yang sama dengan hasil sebelumnya hanya dibedakan partisi M ganjil dan M genap. Dari hasil simulasi opsi *call* menggunakan metode Binomial CRR didapatkan bahwa *holder* (pemegang opsi) harus membayar sebesar 8.7602 kepada *writer* (penulis opsi) dengan acuan perhitungan menggunakan Black Scholes. Pergerakan harga opsi yang ditunjukkan oleh gambar (3.15) terlihat seperti grafik pemulusan MOT, untuk membuktikan hal tersebut akan ditunjukkan pada simulasi berikut ini.

b. Hasil *Middle of Tree*

Hasil dari pemulusan grafik metode Binomial CRR untuk harga opsi *call* Eropa ditunjukkan oleh gambar (3.16). Pemulusan kurva harga opsi Eropa ini menggunakan parameter u, d, dan p yang berbeda dengan parameter yang digunakan pada Binomial CRR. Berikut adalah grafik hasil simulasi menggunakan MOT.



Gambar 3.16 Grafik Hasil Simulasi Opsi *Call* Eropa dengan MOT

Grafik yang didapatkan dari pemulusan kurva ini adalah sama dengan grafik dari binomial CRR sebelumnya dengan pemisahan partisi waktu. Harga opsi awal yang didapat adalah 9.0378 dan pada waktu ke-146 harga opsi *call* Eropa yang didapatkan adalah 8.7515 dan harga Black Scholes adalah 8.7602. Sehingga, hasil yang diperoleh sama dengan hasil yang diperoleh pada Binomial CRR dengan pemisahan partisi waktu yang ditunjukkan oleh tabel (2.2) pada lampiran 1. Harga opsi *call* Eropa yang didapatkan dari pemulusan kurva MOT ini semuanya konvergen menuju nilai Black Scholes baik partisi M ganjil maupun partisi M genap. Untuk mengecek kekonvergenannya menggunakan persamaan (3.29) dan persamaan (3.30). Karena grafik yang diperoleh adalah sama dapat disimpulkan bahwa kekonvergenan harga opsi Eropa menggunakan Binomial Dipercepat juga sama dengan kekonvergenan menggunakan metode Binomial CRR.

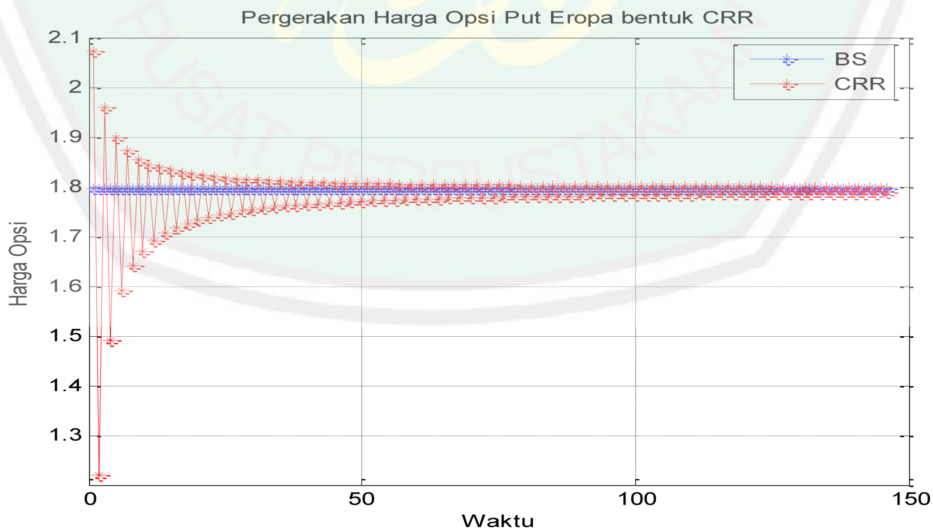
Pada keterangan sebelumnya tentang metode Binomial Dipercepat ini telah dijelaskan bahwa harga K selalu terletak di tengah pohon binomial pada saat jatuh tempo. Hal ini menyebabkan *holder* (pemegang opsi) untuk opsi *call* dan *put* mempunyai peluang yang sama untuk dapat menggunakan haknya agar dapat memperoleh keuntungan dari kontrak opsi ini.

Pada opsi *call* ini, *holder* (pemegang opsi) dapat memperkirakan keuntungan maksimum yang akan diperoleh ketika menggunakan haknya untuk membeli saham dengan melihat fruktuasi harga saham yang ditunjukkan oleh gambar (3.12). Dari gambar (3.12) *holder* (pemegang opsi) dapat menggunakan haknya untuk membeli saham kepada *writer* (penulis opsi) ketika harga saham di pasar bebas pada saat jatuh tempo (hari ke-146) terletak di atas harga *K*. Sebaliknya, ketika harga saham di pasar bebas pada saat jatuh tempo (hari ke-146) terletak di bawah harga *K* maka *holder* (pemegang opsi) lebih baik mengabaikan haknya dan lebih disarankan untuk membeli saham di pasar bebas.

iii) Perbandingan Harga Opsi *Put* Eropa dan Black Scholes

a. Hasil Binomial CRR

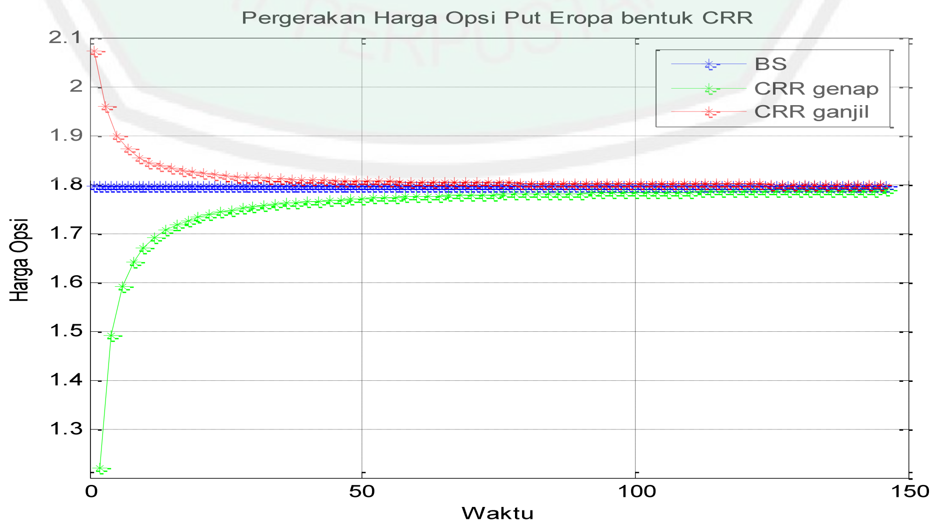
Pergerakan Harga opsi *put* Eropa ditunjukkkan oleh gambar (3.17). Grafik yang diperoleh sama dengan grafik-grafik harga opsi Eropa sebelumnya yang menggunakan metode Binomial. Berikut adalah grafik Pergerakan Harga opsi *put* Eropa



Gambar 3.17 Grafik Hasil Simulasi Opsi *Put* Eropa

Harga opsi *put* Eropa pada waktu yang pertama bernilai 2.0732 dengan perhitungan kontinu sampai harga opsi Eropa pada waktu jatuh tempo (hari ke-146) yaitu 1.7869 dan pada Black Scholes yaitu 1.7956. Untuk opsi *put* Eropa ini, *holder* (pemegang opsi) akan membayar sebesar 1.7956 kepada *writer* (penulis opsi) di mana harga yang dibayar tersebut merupakan keuntungan yang didapatkan oleh *writer* (penulis opsi) pada opsi *put* Eropa ini. Sedangkan, keuntungan yang didapat oleh *holder* (pemegang opsi) adalah ketika harga saham di pasar bebas pada saat jatuh tempo yang ditunjukkan oleh gambar (3.12) berada di bawah harga *K*.

Dalam keadaan seperti itu, *holder* (pemegang opsi) dapat menjual harga saham di pasar bebas sebesar harga *K* sehingga *holder* (pemegang opsi) dapat memperoleh keuntungan. Akan tetapi, ketika harga saham di pasar bebas pada saat jatuh tempo yang ditunjukkan oleh gambar (3.12) berada di atas harga *K* lebih baik *holder* (pemegang opsi) mengabaikan haknya untuk menjual saham di pasar bebas kepada *writer* (penulis opsi). Untuk pergerakan harga opsi *put* Eropa dengan pemisahan partisi ditunjukkan oleh gambar (3.18) berikut:



Gambar 3.18 Grafik Hasil Simulasi Opsi *Put* Eropa dengan Pemisahan Partisi Waktu *M*

Dari pemisahan partisi ini didapatkan hasil yang yang sama dengan hasil Binomial CRR tanpa pemisahan waktu hanya dibedakan partisi M ganjil dan M genap. Keadaan yang terjadi pada *holder* (pemegang opsi) dan *writer* (penulis opsi) juga sama dengan Binomial CRR tanpa pemisahan waktu. Pemisahan partisi waktu pada metode Binomial CRR ini merupakan langkah awal untuk memperoleh harga opsi Eropa secara diskrit untuk mempercepat kekonvergenan terhadap harga Black Scholes.

b. Hasil *Middle of Tree*

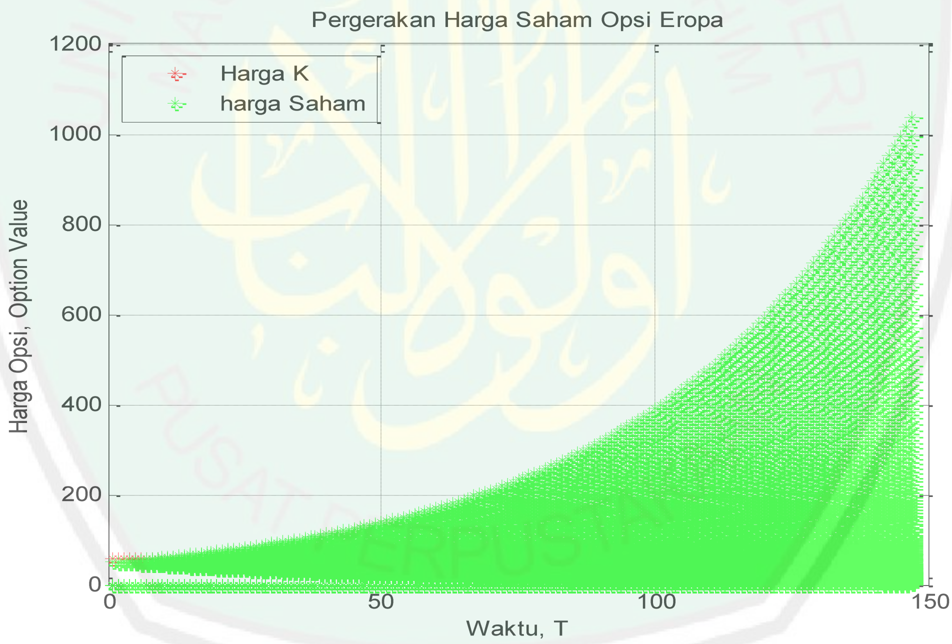
Pergerakan harga opsi *put* Eropa dengan menggunakan metode MOT sama dengan pergerakan harga opsi *call* Eropa dengan menggunakan metode MOT yaitu grafiknya sama dengan hasil perhitungan Binomial CRR dengan pemisahan partisi waktu. Sehingga, untuk mengetahui pergerakan harga opsi *put* Eropa dengan MOT dapat dilihat pada pergerakan harga opsi *put* Eropa menggunakan Binomial CRR dengan pemisahan partisi waktu.

3.4.3 Harga Saham Lebih Kecil dari Harga Ketentuan dengan Parameter S_0 = 50, K = 57, r = 0.15, σ = 0.24, M = 146

Parameter yang digunakan pada kondisi ketiga ini yaitu di mana $S_0 < K$ akan diilustrasikan sebagai berikut. Misalkan harga saham perusahaan Z saat ini 50 (satuan mata uang) perlembar. Sementara itu, waktu jatuh tempo ditentukan pada hari ke-146, kemudian dijual dengan *strike price* 57 (satuan mata uang) perlembar. Diketahui bahwa tingkat suku bunga bebas resiko 15% pertahun dan standar deviasi tingkat keuntungan saham tersebut sebesar 0.24. dengan data tersebut, maka harga opsi *call* dan opsi *put* dapat dihitung, menggunakan MATLAB, dan hasilnya sebagai berikut:

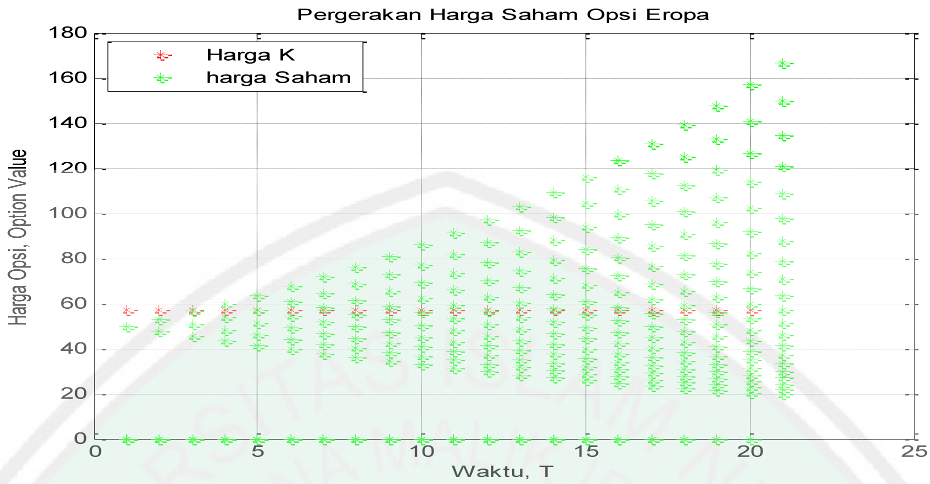
i) Pergerakan Harga Saham

Pergerakan harga saham pada kondisi ketiga adalah sama dengan pergerakan saham pada kondisi pertama dan kedua di mana hasil harga saham yang diperoleh mengandung harga K yang selalu terletak di tengah pohon binomial harga saham pada saat jatuh tempo. Pergerakan harga saham perusahaan Y ditunjukkan oleh gambar (3.19) di bawah ini.



Gambar 3.19 Grafik Pergerakan Harga Saham

Dari gambar (3.19) di atas, pergerakan harga K tertutup oleh pergerakan harga saham. Sehingga, gambar (3.19) akan diperbesar dengan menggunakan partisi sampai $M = 20$ yang ditunjukkan oleh gambar (3.20).



Gambar 3.20 Perbesaran Grafik 3.19 sampai M = 20

Dari gambar (3.20) dapat dilihat pergerakan harga K yang ditunjukkan oleh titik-tik warna merah. Untuk melihat hasil lebih jelas yang menunjukkan bahwa harga K terletak di tengah pohon Binomial pada saat jatuh tempo, maka akan ditunjukkan oleh tabel 3.1 yang terdapat pada lampiran 1. Harga K ditunjukkan dengan tulisan tebal. Pergerakan harga saham yang naik turun pada saat tertentu dipengaruhi oleh beberapa faktor yang telah dijelaskan pada pergerakan saham sebelumnya pada kondisi 3.4.1.

Kenyataan yang terjadi pada harga saham di pasar bebas tersebut dapat dijadikan acuan untuk para pelaku kontrak opsi yaitu *holder* (pemegang opsi) dan *writer* (penulis opsi) untuk dapat memutuskan hal yang dapat dilakukan untuk dapat memperoleh keuntungan. Setelah mengetahui keadaan harga saham pada pasar bebas setelah jatuh tempo, maka selanjutnya adalah menghitung harga opsi Eropa untuk tipe *call* maupun *put*.

ii) Perbandingan Harga Opsi *Call* Eropa dan Black Scholes

a. Hasil Binomial CRR

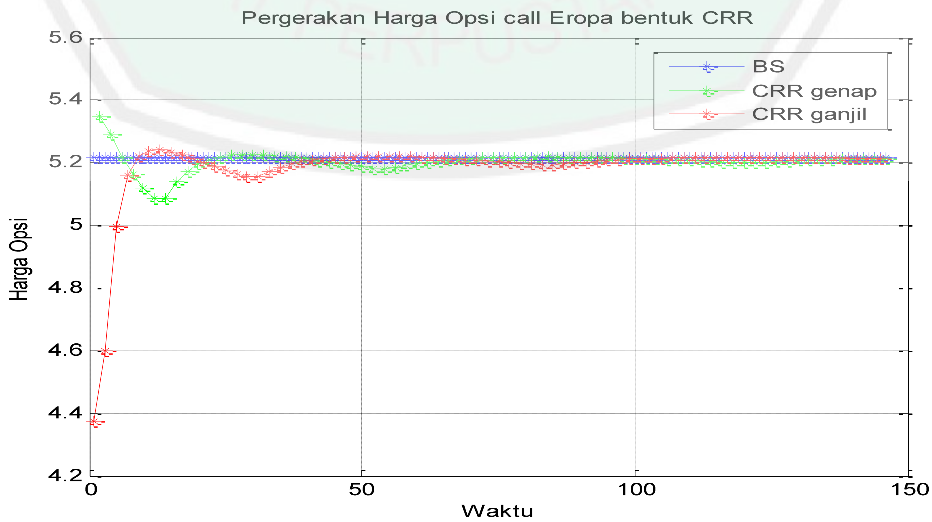
Pada penelitian sebelumnya telah dijelaskan bahwa hasil perhitungan dengan menggunakan metode Binomial CRR akan semakin mendekati nilai Black Scholes jika partisi waktu yang digunakan semakin banyak. Hal ini dapat dilihat pada gambar (3.21)

Gambar 3.21 Grafik Hasil Simulasi Opsi *Call* Eropa

Dari nilai awal yang telah diberikan didapatkan harga opsi Eropa pada waktu yang pertama bernilai 4.3731 dengan perhitungan kontinu sampai harga opsi Eropa pada waktu jatuh tempo (hari ke-146) yaitu 5.2151 dan pada Black Scholes yaitu 5.2155. Dari gambar (3.56) dapat dilihat dari grafik yang berwarna merah bahwa pergerakan harga opsi *call* menuju nilai konvergennya adalah naik turun. Hal ini dapat dilihat lebih jelas pada gambar (3.57) yaitu perbesaran grafik dari gambar (3.56).

Model Black Scholes merupakan model yang telah banyak diterima oleh masyarakat keuangan. Model Black scholes sangat berguna bagi *holder* (pemegang opsi) untuk menunjukkan apakah harga opsi yang terjadi di pasar sudah merupakan harga yang memiliki nilai opsi yang akan diperdagangkan (baik opsi *call* maupun opsi *put*) sebesar harga saham pada saat jatuh tempo. Sehingga, kedua belah pihak baik *holder* (pemegang opsi) maupun *writer* (penulis opsi) tidak ada yang dirugikan. Seandainya harga opsi di pasar tidak sama dengan harga yang dihasilkan oleh model Black Scholes, maka hal itu akan menciptakan peluang bagi *holder* (pemegang opsi) untuk mendapatkan keuntungan.

Akan tetapi, seperti yang telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya bahwa metode Binomial Dipercepat ini memisahkan partisi waktu antara M ganjil dan M genap. Pemisahan partisi waktu ini tidak mempengaruhi hasil perhitungan dari harga opsi, tujuan dari pemisahan partisi ini hanya untuk mempermudah ketika akan dilakukan pemulusan pada kurva harga opsi. Dari pemisahan partisi ini didapatkan grafik baru yang ditunjukkan oleh gambar (3.22).

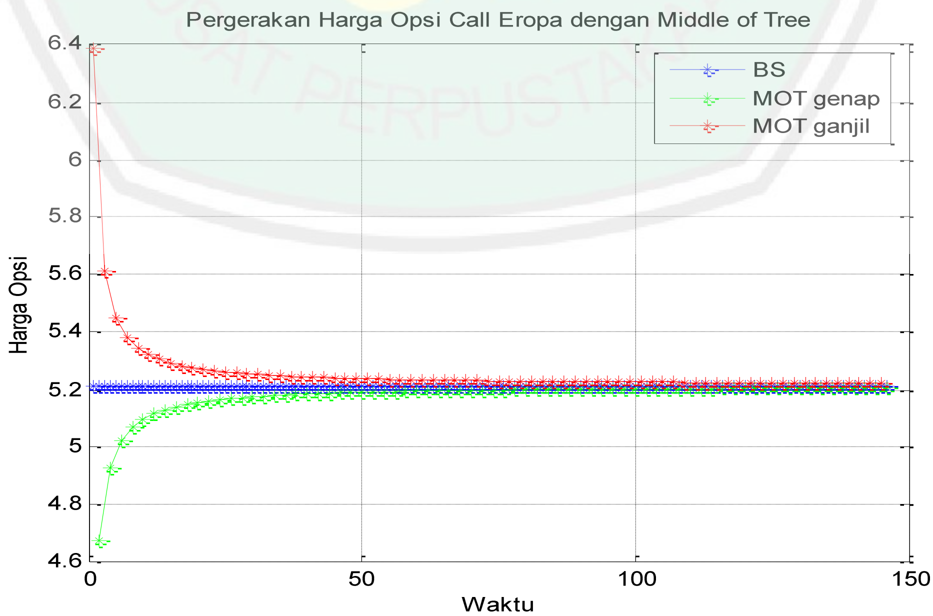


Gambar 3.22 Grafik Hasil Simulasi Opsi *Call* Eropa dengan Pemisahan Partisi Waktu M

Dari pemisahan partisi ini didapatkan hasil yang yang sama dengan hasil Binomial CRR tanpa pemisahan waktu hanya dibedakan partisi M ganjil dan M genap. Keadaan yang terjadi pada *holder* (pemegang opsi) dan *writer* (penulis opsi) juga sama dengan Binomial CRR tanpa pemisahan waktu. Pemisahan partisi waktu pada metode Binomial CRR ini merupakan langkah awal untuk memperoleh harga opsi Eropa secara diskrit untuk mempercepat kekonvergenan terhadap harga Black Scholes.

b. Hasil dari *Middle of Tree*

Pergerakan grafik naik turun yang diperoleh dari perhitungan harga opsi *call* pada metode Binomial CRR merupakan ide awal yang digunakan untuk mengembangkan metode perhitungan harga opsi ini. Langkah awal yang dilakukan adalah dengan memuluskan grafik yang diperoleh dari simulasi pada metode Binomial CRR. Hasil dari pemulusan grafik metode Binomial CRR ditunjukkan oleh gambar (3.23) berikut:



Gambar 3.23 Grafik Hasil Simulasi Opsi *Call* Eropa dengan MOT

Harga opsi *call* Eropa yang didapatkan setelah dilakukan pemulusan kurva ditunjukkan oleh tabel (3.2) pada lampiran 1. Harga opsi *call* Eropa yang didapatkan dari pemulusan kurva MOT ini semuanya konvergen menuju nilai Black Scholes baik partisi M ganjil maupun partisi M genap. Untuk mengecek kekonvergenannya menggunakan persamaan (3.29) dan persamaan (3.30).

Dari grafik hasil pemulusan dapat dilihat bahwa harga opsi Eropa menggunakan Binomial Dipercepat sudah dapat mendekati harga Black Scholes dengan partisi 101. Kekonvergenan ini lebih cepat dibandingkan dengan kekonvergenan menggunakan metode Binomial CRR di mana harga opsi Eropa yang didapat dari metode Binomial Dipercepat pada partisi waktu 101 baru dapat didapat oleh metode Binomial CRR pada partisi waktu 146. Untuk keakuratannya dapat dilihat dari hasil *error* (galat) yang diperoleh dari metode Binomial dan Binomial Dipercepat.

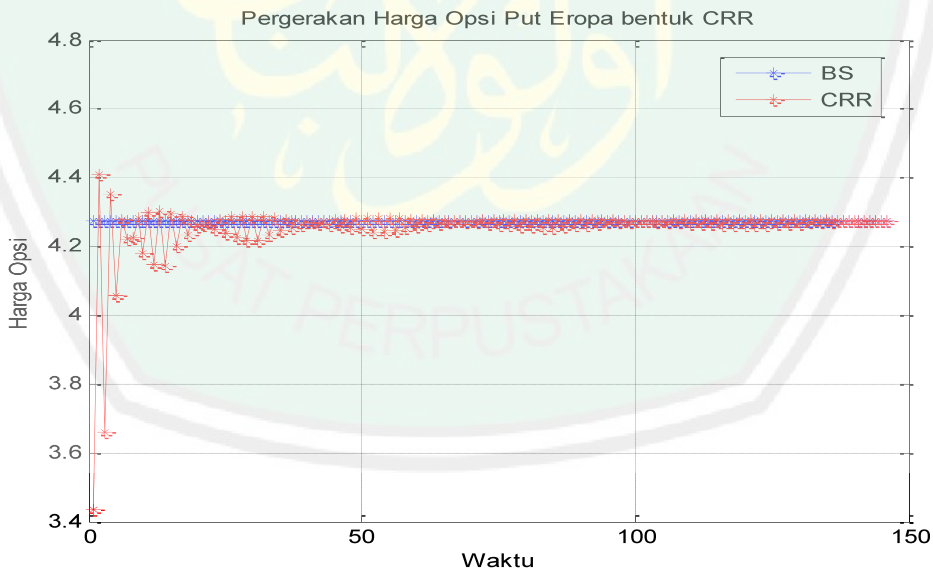
Pada keterangan sebelumnya tentang metode Binomial Dipercepat ini telah dijelaskan bahwa harga K selalu terletak di tengah pohon binomial pada saat jatuh tempo. Hal ini menyebabkan *holder* (pemegang opsi) untuk opsi *call* dan *put* mempunyai peluang yang sama untuk dapat menggunakan haknya agar dapat memperoleh keuntungan dari kontrak opsi ini.

Pada opsi *call* ini, *holder* (pemegang opsi) dapat memperkirakan keuntungan maksimum yang akan diperoleh ketika menggunakan haknya untuk membeli saham dengan melihat fruktuasi harga saham yang ditunjukkan oleh gambar (3.19). Dari gambar (3.19) *holder* (pemegang opsi) dapat menggunakan haknya untuk membeli saham kepada *writer* (penulis opsi) ketika harga saham di pasar bebas pada saat jatuh tempo (hari ke-146) terletak di atas harga *K*. Sebaliknya, ketika harga saham di pasar bebas pada saat jatuh tempo (hari ke-146) terletak di bawah harga *K* maka *holder* (pemegang opsi) lebih baik mengabaikan haknya dan lebih disarankan untuk membeli saham di pasar bebas.

iii) Perbandingan Harga Opsi *Put* Eropa dan Black Scholes

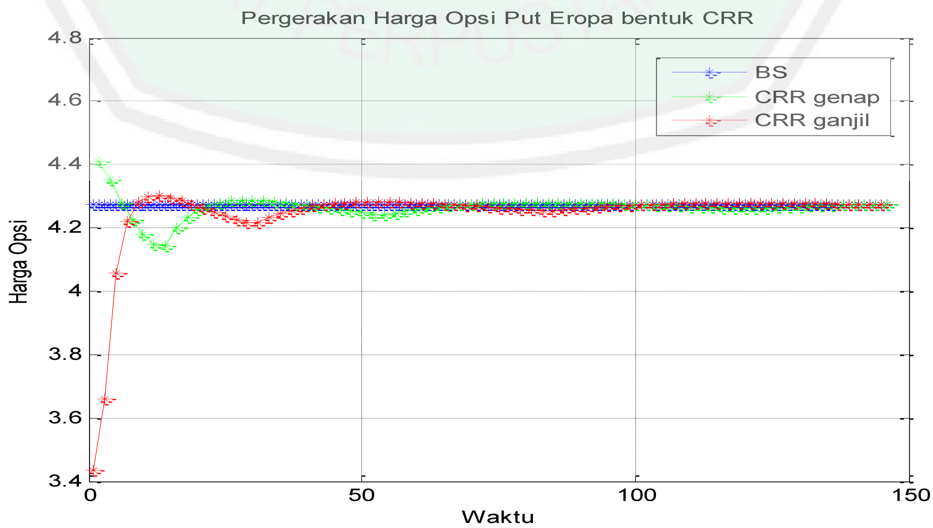
a. Hasil Binomial CRR

Pergerakan harga opsi *put* Eropa dengan menggunakan metode Binomial CRR untuk kondisi ketiga ini ditunjukkan oleh gambar (3.24) berikut:



Gambar 3.24 Grafik Hasil Simulasi Opsi *put* Eropa

Dari nilai awal yang telah diberikan didapatkan harga opsi *put* Eropa pada waktu yang pertama bernilai 3.4335 dengan perhitungan kontinu sampai harga opsi Eropa pada waktu jatuh tempo (hari ke-146) yaitu 4.2755 dan pada Black Scholes yaitu 4.2758. Untuk opsi *put* Eropa ini, *holder* (pemegang opsi) akan membayar sebesar 4.2758 kepada *writer* (penulis opsi) di mana harga yang dibayar tersebut merupakan keuntungan yang didapatkan oleh *writer* (penulis opsi) pada opsi *put* Eropa ini. Sedangkan, keuntungan yang didapat oleh *holder* (pemegang opsi) adalah ketika harga saham di pasar bebas pada saat jatuh tempo yang ditunjukkan oleh gambar (3.19) berada di bawah harga *K*. Dalam keadaan seperti itu, *holder* (pemegang opsi) dapat menjual harga saham di pasar bebas sebesar harga *K* sehingga *holder* (pemegang opsi) dapat memperoleh keuntungan. Akan tetapi, ketika harga saham di pasar bebas pada saat jatuh tempo yang ditunjukkan oleh gambar (3.19) berada di atas harga *K* lebih baik *holder* (pemegang opsi) mengabaikan haknya untuk menjual saham di pasar bebas kepada *writer* (penulis opsi). Untuk pergerakan harga opsi *put* Eropa dengan pemisahan partisi ditunjukkan oleh gambar (3.25) berikut:

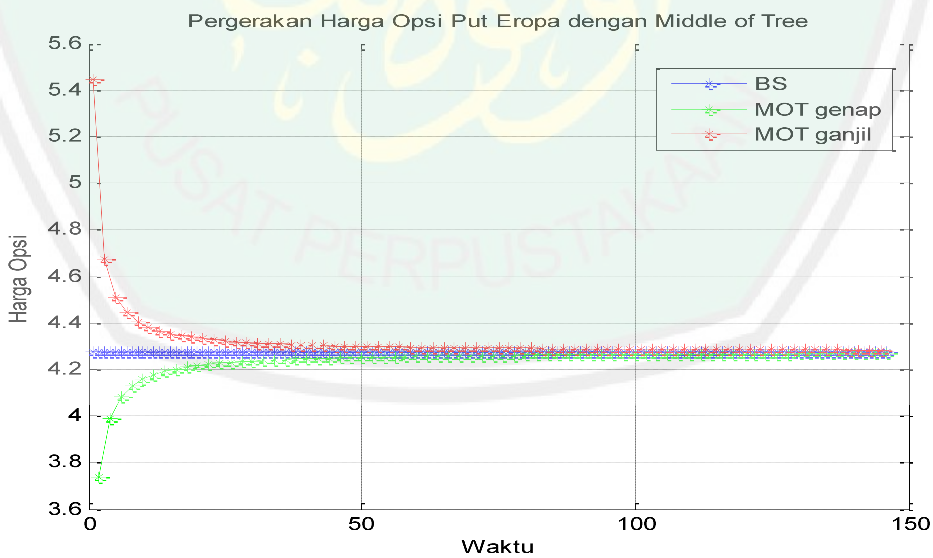


Gambar 3.25 Grafik Hasil Simulasi Opsi *put* Eropa dengan Pemisahan Partisi Waktu M

Dari pemisahan partisi ini didapatkan hasil yang yang sama dengan hasil Binomial CRR tanpa pemisahan waktu hanya dibedakan partisi *M* ganjil dan *M* genap. Keadaan yang terjadi pada *holder* (pemegang opsi) dan *writer* (penulis opsi) juga sama dengan Binomial CRR tanpa pemisahan waktu. Pemisahan partisi waktu pada metode Binomial CRR ini merupakan langkah awal untuk memperoleh harga opsi Eropa secara diskrit untuk mempercepat kekonvergenan terhadap harga Black Scholes.

b. Hasil *Middle of Tree*

Setelah melakukan pemisahan partisi waktu yang digunakan pada metode Binomial CRR, selanjutnya adalah melakukan pemulusan terhadap grafik harga opsi *put* Eropa. Hasil dari pemulusan grafik metode Binomial CRR untuk harga opsi *put* Eropa ditunjukkan oleh gambar (3.26) berikut:



Gambar 3.26 Grafik Hasil Simulasi Opsi *put* Eropa dengan MOT

Harga opsi *put* Eropa yang didapatkan setelah dilakukan pemulusan kurva ditunjukkan oleh tabel (3.3) pada lampiran 1. Harga opsi *put* Eropa yang didapatkan dari pemulusan kurva MOT ini semuanya konvergen menuju nilai Black Scholes baik partisi M ganjil maupun partisi M genap. Untuk mengecek kekonvergenannya menggunakan persamaan (3.29) dan persamaan (3.30).

Dari grafik hasil pemulusan dapat dilihat bahwa harga opsi Eropa menggunakan Binomial Dipercepat sudah dapat mendekati harga Black Scholes dengan partisi 101. Kekonvergenan ini lebih cepat dibandingkan dengan kekonvergenan pada saat menggunakan metode Binomial CRR di mana harga opsi Eropa yang didapat dari metode Binomial Dipercepat pada partisi waktu 101 baru dapat didapat oleh metode Binomial CRR pada partisi waktu 146. Untuk keakuratannya dapat dilihat dari hasil *error* (galat) yang diperoleh dari metode Binomial dan Binomial Dipercepat .

Pada keterangan sebelumnya tentang metode Binomial Dipercepat ini telah dijelaskan bahwa harga K selalu terletak di tengah pohon binomial pada saat jatuh tempo. Hal ini menyebabkan *holder* (pemegang opsi) untuk opsi *call* dan *put* mempunyai peluang yang sama untuk dapat menggunakan haknya agar dapat memperoleh keuntungan dari kontrak opsi ini.

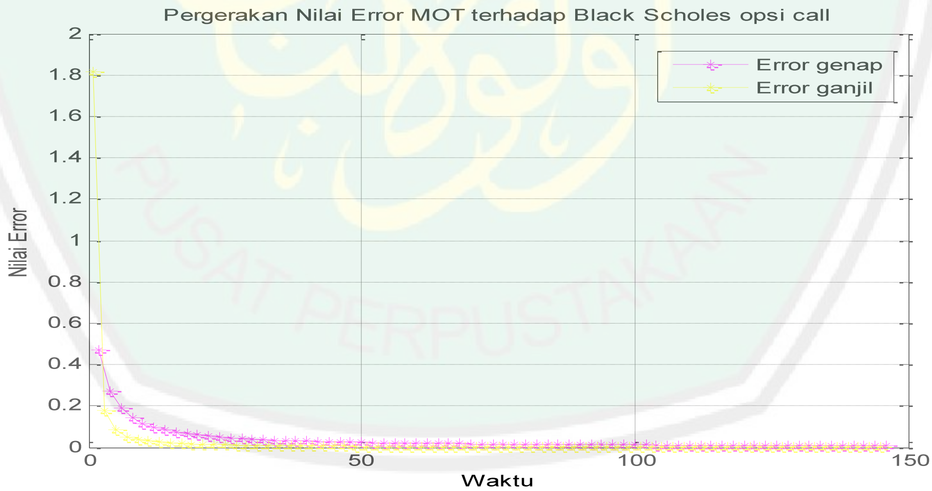
Pada opsi *put* ini, *holder* (pemegang opsi) dapat memperkirakan keuntungan maksimum yang akan diperoleh ketika menggunakan haknya untuk menjual saham dengan melihat fruktuasi harga saham yang ditunjukkan oleh gambar (3.19). Dari gambar (3.19) *holder* (pemegang opsi) dapat menggunakan haknya untuk menjual saham kepada *writer* (penulis opsi) ketika harga saham di pasar bebas pada saat jatuh tempo (hari ke-146) terletak di bawah harga *K*. Sebaliknya, ketika harga saham di pasar bebas pada saat jatuh tempo (hari ke-146) terletak di atas harga *K* maka *holder* (pemegang opsi) lebih baik mengabaikan haknya dan lebih disarankan untuk menjual saham di pasar bebas.

3.4.4 Nilai *Error* dari Hasil Pergerakan Harga Opsi

Nilai *error* (galat) yang dicari adalah nilai *error* (galat) dari hasil pemulusan kurva terhadap harga Black Scholes. Berikut adalah nilai *error* (galat) dari masing-masing kondisi.

a) Kondisi Pertama

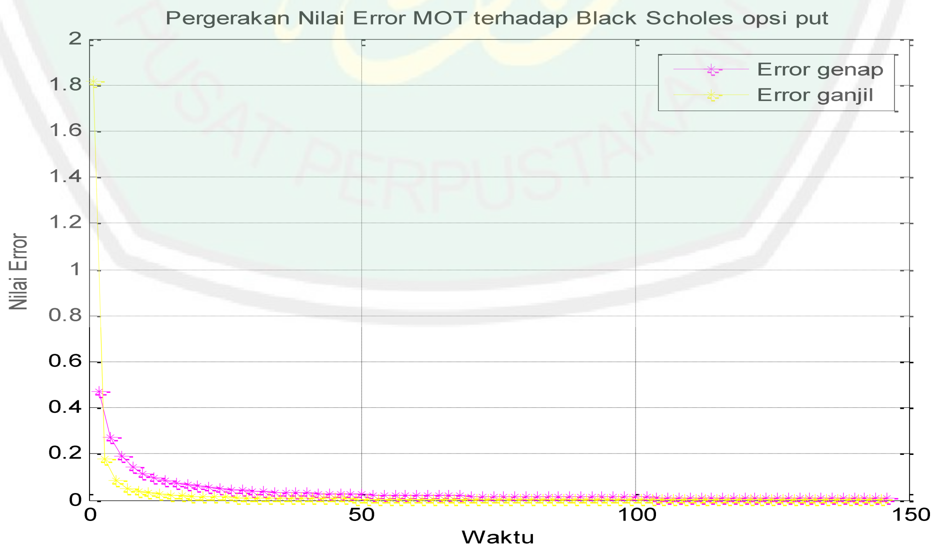
Nilai *error* (galat) untuk opsi *call* Eropa ditunjukkan oleh gambar (3.27). Sedangkan, untuk opsi *put* ditunjukkan oleh gambar (3.28).



Gambar 3.27 Pergerakan Nilai Error Opsi *Call* Eropa

Metode Binomial Dipercepat merupakan pengembangan dari metode Binomial CRR, di mana metode Binomial CRR merupakan suatu aproksimasi dari model Black Scholes pada perhitungan harga opsi. Sehingga metode Binomial Dipercepat juga merupakan suatu aproksimasi dari model Black Scholes. Oleh karena itu, harga opsi *call* yang diperoleh dari metode Binomial Dipercepat tidak akan pernah sama dengan harga opsi *call* yang diperoleh dari model Black Scholes. Karena metode Binomial Dipercepat merupakan suatu aproksimasi dari model Black Scholes, maka akan diperoleh nilai *error* (galat) pada opsi *call* Eropa ini yang ditunjukkkan oleh gambar (3.27) dan diperoleh nilai *error* (galat) pada opsi *put* Eropa ini yang ditunjukkkan oleh gambar (3.28).

Nilai *error* (galat) ini merupakan selisih antara harga opsi yang dihasilkan pada metode Binomial Dipercepat dan model Black Scholes. Semakin banyak partisi waktu yang digunakan maka nilai *error* (galat) yang diperoleh semakin mendekati nol. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil perhitungan metode Binomial Dipercepat akan konvergen terhadap model Black Scholes yang pembuktiannya dapat dilihat pada persamaan (3.29) dan persamaan (3.30).

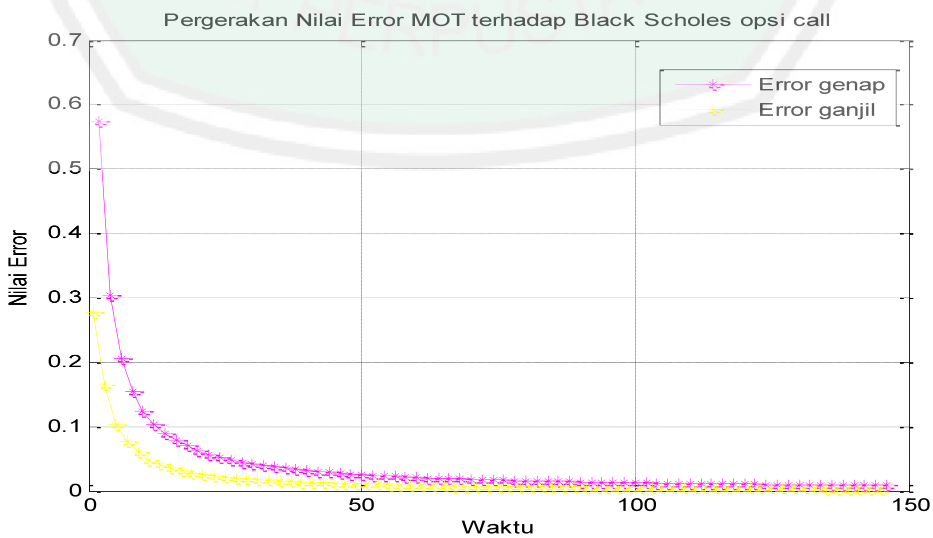


Gambar 3.28 Pergerakan Nilai Error Opsi *Put* Eropa

Dari kedua grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai *error* (galat) dari pemulusan kurva terhadap harga Black Scholes sudah lebih mendekati harga Black scholes saat menggunakan partisi waktu 101 dibandingkan krtika menggunakan metode Binomial CRR. Hal tersebut ditunjukkan oleh tabel 4.1 untuk opsi *call* dan tabel 4.2 untuk opsi *put* pada lampiran 1, dimana *error* (galat) yang didapat adalah bernilai 0.0027. *Error* (galat) yang diperoleh pada pemulusan ini lebih kecil dibandingkan error yang diperoleh pada metode Binomial CRR sebelumnya yang ditunjukkan oleh gambar 2.8 pada bab 2. *Error* (galat) yang didapat dari metode Binomial CRR yang disebutkan pada bab 2 adalah 0.0040 dimana *error* (galat) tersebut diperoleh ketika menggunakan partisi waktu 146. Sehingga, pemulusan kurva ini dapat mempercepat kekonvegenan terhadap harga Black Scholes untuk opsi *call* maupun *put* Eropa.

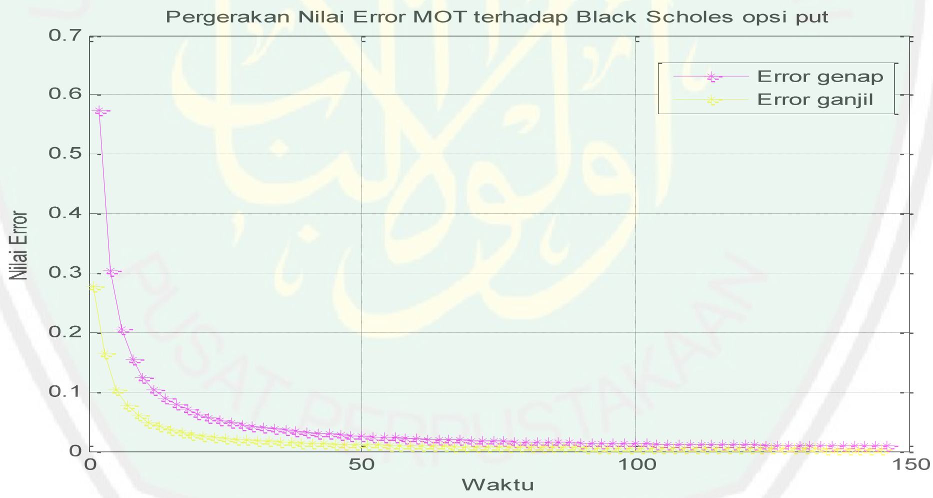
b) Kondisi Kedua

Pada kondisi kedua ini dimana $S_0 = K$ akan didapatkan nilai error untuk opsi *call* ditunjukkan oleh gambar (3.29) dan untuk opsi *put* ditunjukkan oleh gambar (3.30).



Gambar 3.28 Pergerkan Nilai Error Opsi *Call* Eropa

Nilai *error* (galat) ini merupakan selisih antara harga opsi yang dihasilkan pada metode Binomial Dipercepat dan model Black Scholes. Semakin banyak partisi waktu yang digunakan maka nilai *error* (galat) yang diperoleh semakin mendekati nol. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil perhitungan metode Binomial Dipercepat akan konvergen terhadap model Black Scholes yang pembuktiannya dapat dilihat pada persamaan (3.29) dan persamaan (3.30). Hal ini berlaku juga pada kondisi kedua dimana $S_0 = K$ yang dapat dilihat pada gambar (3.29) di mana nilai *error* (galat) yang didapat semakin mendekati nol pada partisi waktu 146.

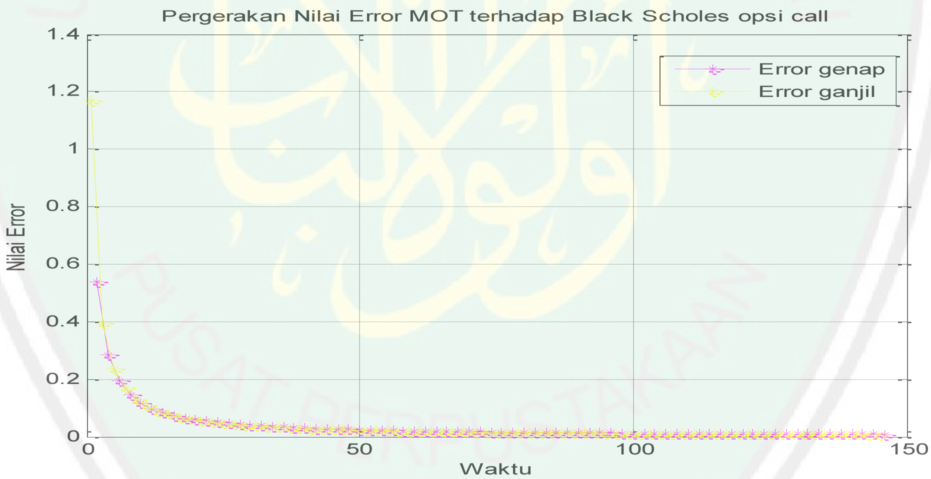


Gambar 3.30 Pergerakan Nilai Error Opsi *Put* Eropa

Hasil yang diperoleh pada kondisi kedua sama dengan kondisi pertama yaitu harga opsi *call* maupun *put* sudah lebih mendekati harga kekonvergenan pada partisi waktu 101. Pada penelitian sebelumnya tentang metode Binomial grafik yang menunjukkan nilai error untuk kondisi kedua ditunjukka oleh gambar (2.10) dan gambar (2.11). Nilai error yang didapatka pada metode Binomial CRR adalah 0.0107 pada partisi waktu 146, sedangkan pada Binomial Dipercepat ini pada waktu 101 nilai erroe yang diperoleh adalah 0.0053. Error tersebut lebih kecil dibandingkan dengan error yang diperoleh pada binomial CRR. Sehingga, pemulusan kurva ini dapat mempercepat kekonvegenan terhadap harga Black Scholes untuk opsi *call* maupun *put* Eropa.

c) Kondisi Ketiga

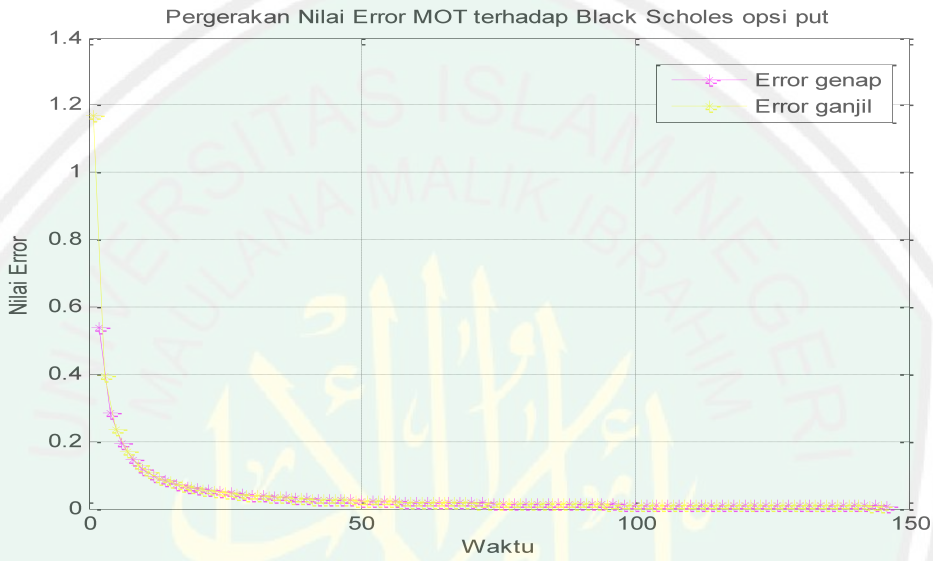
Pada kondisi ketiga yaitu dimana $S_0 < K$ nilai error untuk opsi *call* Eropa ditunjukkan oleh gambar (3.31). Sedangkan, untuk opsi *put* ditunjukkan oleh gambar (3.32).



Gambar 3.31 Pergerkan Nilai Error Opsi *Call* Eropa

Nilai *error* (galat) ini merupakan selisih antara harga opsi yang dihasilkan pada metode Binomial Dipercepat dan model Black Scholes. Semakin banyak partisi waktu yang digunakan maka nilai *error* (galat) yang diperoleh semakin mendekati nol. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil perhitungan metode Binomial Dipercepat akan konvergen terhadap model Black Scholes yang pembuktiannya dapat dilihat pada persamaan

(3.29) dan persamaan (3.30). Hal ini berlaku juga pada kondisi kedua dimana $S_0 < K$ yang dapat dilihat pada gambar (3.31) di mana nilai *error* (galat) yang didapat semakin mendekati nol pada partisi waktu 146.



Gambar 3.32 Pergerakan Nilai Error Opsi *Put* Eropa

Hasil yang diperoleh pada kondisi kedua sama dengan kondisi pertama yaitu harga opsi *call* maupun *put* sudah lebih mendekati harga kekonvergenan pada partisi waktu 139. Kondisi ini berbeda dengan kondisi pertama dan kedua dimana. Pada kondisi ini partisi waktu yang digunakan sedikit lebih banyak dari kondidi pertama dan kedua untuk memperoleh nilai error yang lebih kecil dari metode Binomial CRR. Pada penelitian sebelumnya tentang metode Binomial grafik yang menunjukkan nilai error untuk kondisi kedua ditunjukka oleh gambar (2.12) dan gambar (2.13). Nilai error yang didapatkan pada metode Binomial CRR adalah 0.0086 pada partisi waktu 146, sedangkan pada Binomial Dipercepat ini pada waktu 136 nilai error yang diperoleh adalah

0.0085. Error tersebut lebih kecil dibandingkan dengan error yang diperoleh pada binomial CRR. Sehingga, pemulusan kurva ini dapat mempercepat kekonvegenan terhadap harga Black Scholes untuk opsi *call* maupun *put* Eropa.

3.5 Analisis Grafik Hasil Perhitungan Harga Opsi Eropa

Simulasi yang dilakukan pada perhitungan harga opsi Eropa ini menggunakan 3 kondisi yang berbeda untuk masing-masing perusahan X, Y, dan Z. Kondisi pertama digunakan oleh perusahan X, kondisi kedua digunakan oleh perusahan Y dan kondisi ketiga digunakan oleh perusahan Z. Hal yang membedakan antara ketiga kondisi tersebut adalah harga ketentuan (*Strike Price*) yaitu $S_0 > K$, $S_0 = K$, dan $S_0 < K$. Meskipun masing-masing perusahaan memiliki kondisi masing-masing akan tetapi, hasil opsi *call* maupun opsi *put* tipe Eropa yang diperoleh tetap akan sama yaitu konvergen terhadap model Black Scholes. Model Black Scholes sendiri merupakan perbandingan dari model Eropa. Model ini digunakan dalam penentuan nilai opsi karena mudah diterima pada bagian keuangan dengan pemakaiannya hanya untuk nilai opsi Eropa saat periode akhir (*maturity date*).

Pada ketiga kondisi yang digunakan diperoleh grafik pergerakan harga saham yang sama yang membedakan hanya hasil nilainya. Dalam grafik pergerakan harga saham tersebut terlihat bahwa harga ketentuan (*Strike Price*) letaknya berada ditengah pohon Binomial pada saat jatuh tempo yang ditunjukkan oleh grafik yang berwarna merah.

Pada ketiga kondisi yang digunakan, grafik harga opsi *call* dan *put* yang diperoleh untuk model Binomial CRR dan model Binomial CRR dengan pemisahan partisi waktu M adalah sama. Harga opsi yang didapat pergerakannya masih naik turun dan sama-sama konvergen pada waktu ke-146. Grafik yang diperoleh dengan menggunakan metode Binomial Dipercepat yaitu MOT (*Middle of Tree*) dan pada masing-masing kondisi adalah juga sama yaitu sama-sama di mana harga opsi Eropa dapat lebih cepat dalam mendekati harga kekonvergenan Black Scholes dibandingkan ketika menggunakan metode Binomial CRR.

Dari ketiga kondisi yang digunakan dalam simulasi ini terbukti bahwa pemulusan yang dilakukan pada grafik harga opsi *call* maupun *put* Eropa dapat mempercepat harga opsi untuk mencapai harga kekonvergenannya. Hal tersebut dibuktikan dengan perbandingan hasil error yang diperoleh dari Binomial CRR dan dari metode Binomial Dipercepat. Pada partisi waktu yang lebih kecil dari partisi waktu yang digunakan pada metode Binomial, nilai error yang didapatkan oleh pemulusan kurva pada metode Binomial Dipercepat lebih kecil dari nilai error yang didapatkan pada metode Binomial CRR. Hal tersebut menunjukkan bahwa metode Binomial Dipercepat dapat mempercepat kekonvergenan terhadap harga Black Scholes.

3.6 Binomial Dipercepat dalam Perspektif Islam

Metode Binomial Dipercepat merupakan metode lanjutan dari metode Binomial yang dikembangkan dalam perhitungan harga opsi Eropa. Metode

Binomial Dipercepat ini digunakan untuk melakukan efisiensi partisi waktu pada perhitungan harga opsi Eropa.

3.6.1 Efisiensi Waktu Menurut Pandangan Islam

Banyak ayat-ayat dalam al-Qur'an yang membahas tentang waktu, baik mengenai pentingnya waktu ataupun pentingnya pemanfaatan waktu tersebut. Salah satu ayat tentang waktu adalah terdapat dalam surat Al'Ashr ayat 1-3.

وَٱلْعَصْرِ ۝١ إِنَّ ٱلْإِنسَـٰنَ لَفِى خُسْرٍ ۝٢ إِلَّا ٱلَّذِينَ ءَامَنُوا۟ وَعَمِلُوا۟ ٱلصَّـٰلِحَـٰتِ وَتَوَاصَوْا۟ بِٱلْحَقِّ وَتَوَاصَوْا۟ بِٱلصَّبْرِ ۝٣

Artinya: *"1. demi masa. 2. Sesungguhnya manusia itu benar-benar dalam kerugian. 3. kecuali orang-orang yang beriman dan mengerjakan amal saleh dan nasehat menasehati supaya mentaati kebenaran dan nasehat menasehati supaya menetapi kesabaran".*

Ayat di atas menjelaskan betapa pentingnya waktu yang dimiliki oleh seseorang. Hal tersebut sudah tampak pada arti yang terkandung pada ayat pertama dan kedua. Pada kedua ayat tersebut dijelaskan bahwa betapa meruginya seseorang yang tidak dapat memanfaatkan waktu yang dimiliki untuk mengerjakan hal-hal yang bermanfaat.

Pada ayat ketiga terdapat lafadz ءَامَنُوا yang berasal dari kata iman yang berarti percaya, yakin, dan amanah. Dalam perdagangan ayat tersebut dapat diartika bahwa perjanjian dagang akan terlaksana dengan baik jika pelaksanaannya diutamakan sikap menjaga amanah dari masing-masing pihak yang melakukan perjanjian dagang tersebut. Sehingga, berapapun waktu yang akan digunakan dalam proses perjanjian tersebut kedua pihak akan tetap merasa aman karena sama-sama menjaga sikap amanah mereka. Selain menjaga amanah, maka dalam perjanjian dagang tersebut haruslah sesuai dengan prosedur yang terdapat dalam

mekanisme perdagangan yang disebutkan dalam lafadz وَعَمِلُواْ ٱلصَّٰلِحَٰتِ yang memiliki arti "mengerjakan amal sholeh". Amal sholeh yang dimaksud dalam perjanjian dagang ini adalah melakukan perjanjian dagang sesuai dengan prosedur dalam mekanisme perdagangan seperti, harus ada akad antara kedua pihak dan juga adanya perjanjian tertulis yang dapat menjadi bukti dari aktivitas perjanjian dagang tersebut.

kemudian disebutkan dalam lafadz وَتَوَاصَوْاْ بِٱلْحَقِّ yang mempunyai arti "nasehat menasehati supaya mentaati kebenaran". Ayat ini dapat diartikan bahwa dalam melakukan sistem perdagangan ini harus selalu memeriksa sistem yang digunakan apakah sesuai dengan prosedur apa tidak. Dalam hal perhitungan harga opsi Eropa ini pemeriksaan itu dilakukan pada proses perhitungan harga saham dan harga opsi, dimana perhitungan tersebut selalu dilakukan berulang-ulang dengan partisi waktu yang berbeda untuk mendapatkan hasil yang terbaik.

Ibnu Katsir dalam tafsirnya menyebutkan, bersegera menuju ampunan Tuhan berarti bersegera melakukan perbuatan yang dapat menutup dosa, yaitu mengerjakan segala perintah-Nya dan menjauhi segala larangan-Nya.

Rasulullah SAW mengumpamakan waktu seperti sebilah pedang. Pedang merupakan sesuatu yang berguna sekaligus berbahaya. Apabila manusia tidak dapat menggunakannya, maka dia yang akan memotong manusia. Semenit saja manusia terlena dengan membiarkan waktu berlalu begitu saja tanpa sesuatu yang berarti di dalamnya, berarti manusia tidak menghargai umur yang dikaruniakan oleh Allah SWT.

"Apabila engkau berada pada petang hari, janganlah mengulur-ulur urusanmu sampai besok, dan apabila engkau berada di pagi hari, jangan menunda urusanmu sampai petang. Ambillah kesempatan waktu sehatmu sebelum datang sakit, dan kesempatan hidupmu sebelum matimu." (HR Bukhari).

Dari sabda Rasulullah SAW di atas, dapat dipahami bahwa mengulur-ulur waktu, menunda pekerjaan dan menyia-nyiakan kesempatan sangatlah bertentangan dengan ajaran Islam. Karena perbuatan demikian dapat membuat umat Islam tertinggal dan lemah.

Begitupun dalam melakukan perhitungan harga opsi saham tipe eropa pada penelitian ini, jika menggunakan metode Binomial CRR maka akan dipastikan bahwa partisi wakttu yang digunakan sangat banyak untuk mencapai harga kekonvergenannya. Akan tetapi, dengan menggunakan metode Binomial Dipercepat maka partisi waktu yang digunakan akan semakin sedikit. Ekstrapolasi richardson yang digunakan pada metode Binomial Dipercepat ini akan meminimalkan partisi waktu yang digunakan sehingga prinsip efisiensi waktu berlaku untuk metode ini.

BAB IV

PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Semakin banyak partisi waktu yang digunakan maka aproksimasi harga opsi akan semakin lambat untuk menuju kekonvergenan terhadap Black Scholes. Untuk mempercepat kekonvergenan aproksimasi harga opsi Eropa maka digunakan pengembangan dari model Binomial yaitu Binomial Dipercepat. Langkah yang dilakukan dalam metode Binomial Dipercepat adalah melakukan pemulusan kurva harga opsi yang disebut dengan *Middle of Tree* (MOT). Akan tetapi, sebelum melakukan pemulusan kurva tersebut yang dilakukan terlebih dahulu adalah memisahkan partisi waktu yang digunakan yaitu partisi waktu ganjil dan genap.

Asumsi yang digunakan pada MOT adalah dengan meletakkan harga ketentuan di tengah pohon binomial pada saat jatuh tempo. Dari asumsi tersebut didapatkan parameter yang akan digunakan dalam pemulusan kurva MOT yaitu $u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}+\frac{\ln(\frac{K}{S_0})}{M}}, d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}+\frac{\ln(\frac{K}{S_0})}{M}}$. Parameter u, dan d yang digunakan dalam metode Binomial Dipercepat ini dapat merubah pergerakan dari harga opsi Eropa.

Dengan menggunakan parameter MOT tersebut diperoleh hasil dari harga opsi Eropa yang bisa mendekati harga kekonvergenan Black

Scholes dengan partisi yang lebih sedikit dibandingkan dengan menggunakan metode Binomial. Hal tersebut diperjelas dengan hasil *error* yang diperoleh dari selisih harga opsi Eropa menggunakan Binomial Dipercepat dengan harga Black Scholes.

4.2 Saran

Bagi penelitian selanjutnya, disarankan untuk menggunakan metode Binomial Dipercepat pada perhitungan harga opsi Asia Eropa, opsi Amerika ataupun opsi Asia Amerika. Bisa juga dikembangkan metode lain untuk mempercepat perhitungan harga opsi selain menggunakan pemulusan kurva MOT.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Mishri, A.. 2006. *Pilar-Pilar Ekonomi Islam,* Cet. Ke-1. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Aziz, A.. 2004. *Empat Bentuk Nilai Parameter-parameter u, d, dan p dalam Binomial Harga Saham.*

Basori, K.. 2007. *Muamalat.* Yogyakarta: PT Pustaka Insan Mandiri.

Basyir, A.. 2000. *Asas-Asas Hukum Muamalat (Hukum Perdata Islam).* Yogyakarta: UII Press.

Bodie, K. M.. 2005. *Investment. Sixth Edition. McGraw-Hill, International Edition.*

Cahyaningtyas, M.. 2014. *Metode Binomial untuk Perhitungan Harga Opsi Eropa dan Opsi Asia Eropa*. Tugas akhir Tidak Diterbitkan Malang: UIN Malang

Cox, J., Ross, S.A., dan Rubinstein M.. 1979. Option Pricing A Simplified Approach, *Journal of Financial Economics* 7, Hal. 229-263.

Dajan, A.. 1986. *Pengantar Metode Statistik Jilid II*. Jakarta: LP3ES

Hull, J. C.. 2002. *Option Future and Other Derivatives*. New Jersey: Prentice Hall.

Jaliyah, E.N.. 2010. *Pandangan Hukum Islam Terhadap PenetapanHarga dalam Jual Beli di Rumah Makan Prasmanan Pendowo Limo jl. Bima Sakti no.37 Sapen Yogyakarta*. Tugas akhir Tidak Diterbitkan. Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

Klassen, T.R.. 2001. Simple, Fast and Flexible Pricing of Asian Options. Department of Physic. Columbia: Pupin Hall Columbia University

Mudayanti, W.. 2013. *Penentuan Harga Opsi Eropa Menggunakan Metode Binomial Dipercepat*. Tugas akhir Tidak Diterbitkan. Bandung: UPI Bandung.

Nababan, M.. 2004. *Matematika Keuangan untuk Perguruan Tinggi*. Jakarta: Gramedia Widiasarana Indonesia (GRASINDO).

Odegbile, O.O.. 2005. *Binomial Option Pricing Model*. African Institute for Mathematical Sciences. 3.

Qardawi, Y.. 1997. *Halal Haram dalam Islam,* Alih bahasa Wahid Ahmadi, dkk. Solo: Era Inter Media

Rahayu, S. K.T.. 2006. *Estimasi Nilai European Call Option Menggunakan Metode Historical Data dan Filter Kalman*. Tugas akhir Tidak Diterbitkan. Surabaya: ITS Surabaya.

Rachim, A.. 2004. *Ilmu Falak dalam Teori dan Praktek.* Yogyakarta: Buana Pustaka.

Rendleman, R.J., Jr., and Barter, B. J.. 1979. Two-State Option Pricing. Journal of Finance 24, Hal.1093-1110.

Ross, S. M.. 2004. *An Introduction to Mathematical Finance: Options and Other Topics*. Cambridge: Cambridge University Press.

Rudiger, S.. 2002. *Tools for Computational Finance.* Koln: Springer.

Seydel, R.U.. 2008. *Tools for Computational Finance Fourth Edition.* Berlin: Springer.

Schiller, J. J., Srinivasan, R. A. dan Spiegel, M. R.. 2004. Schaum's *Outlines of Probabilitas dan Statistik Edisi kedua.* Jakarta: Erlangga

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Tabel

a) Harga Saham Lebih Besar dari Harga Ketentuan dengan Parameter

$S_0 = 50, K = 43, r = 0.15, \sigma = 0.24, M = 146$

Tabel 1.1 Hasil Simulasi Harga Saham Eropa

No.	M = 10	M = 20
1.	20.1309	14.7006
2.	23.4306	16.3662
3.	27.2712	18.2205
4.	31.7414	20.285
5.	36.9443	22.5833
6.	**43.0000**	25.1421
7.	50.0483	27.9908
8.	58.252	31.1622
9.	67.8004	34.693
10.	78.9139	38.6238
11.	91.8491	**43.0000**
12.		47.872
13.		53.2961
14.		59.3347
15.		66.0575
16.		73.542
17.		81.8745
18.		91.1511
19.		101.4788
20.		112.9767
21.		125.7773

Tabel 1.2 Hasil Opsi *Call* Eropa dengan MOT

N Genap				*N* Ganjil			
Waktu	V_0	**Waktu**	V_0	**Waktu**	V_0	**Waktu**	V_0
2	13.0365	76	13.4898	1	11.6905	75	13.5019
4	13.2318	78	13.4902	3	13.329	77	13.502
6	13.3163	80	13.4906	5	13.4232	79	13.5021
8	13.3614	82	13.491	7	13.4532	81	13.5021
10	13.3892	84	13.4913	9	13.4674	83	13.5022
12	13.408	86	13.4916	11	13.4757	85	13.5023
14	13.4216	88	13.492	13	13.481	87	13.5024
16	13.4319	90	13.4923	15	13.4848	89	13.5025
18	13.4399	92	13.4925	17	13.4875	91	13.5025
20	13.4464	94	13.4928	19	13.4897	93	13.5026
22	13.4517	96	13.4931	21	13.4913	95	13.5027
24	13.4561	98	13.4933	23	13.4927	97	13.5027
26	13.4599	100	13.4936	25	13.4938	99	13.5028
28	13.4631	102	13.4938	27	13.4947	101	13.5028
30	13.4659	104	13.494	29	13.4956	103	13.5029
32	13.4684	106	13.4943	31	13.4962	105	13.5029
34	13.4705	108	13.4945	33	13.4968	107	13.503
36	13.4725	110	13.4947	35	13.4974	109	13.503
38	13.4742	112	13.4949	37	13.4978	111	13.5031
40	13.4758	114	13.4951	39	13.4983	113	13.5031
42	13.4772	116	13.4952	41	13.4986	115	13.5032
44	13.4784	118	13.4954	43	13.499	117	13.5032
46	13.4796	120	13.4956	45	13.4993	119	13.5033
48	13.4807	122	13.4957	47	13.4996	121	13.5033
50	13.4817	124	13.4959	49	13.4998	123	13.5033
52	13.4826	126	13.496	51	13.5001	125	13.5034

Tabel 1.2 Hasil Opsi *Call* Eropa dengan MOT (Lanjutan)

54	13.4834	128	13.4962	53	13.5003	127	13.5034
56	13.4842	130	13.4963	55	13.5005	129	13.5034
58	13.485	132	13.4965	57	13.5007	131	13.5035
60	13.4856	134	13.4966	59	13.5008	133	13.5035
62	13.4863	136	13.4967	61	13.501	135	13.5035
64	13.4869	138	13.4969	63	13.5011	137	13.5036
66	13.4874	140	13.497	65	13.5013	139	13.5036
68	13.488	142	13.4971	67	13.5014	141	13.5036
70	13.4885	144	13.4972	69	13.5015	143	13.5036
72	13.4889	146	13.4973	71	13.5017	145	13.5037
74	13.4894			73	13.5018		

Tabel 1.3 Hasil Opsi *Put* Eropa dengan MOT

***N* Genap**				***N* Ganjil**			
Waktu	V_0	**Waktu**	V_0	**Waktu**	V_0	**Waktu**	V_0
2	0.047	76	0.5003	1	-1.2991	75	0.5123
4	0.2423	78	0.5007	3	0.3394	77	0.5124
6	0.3268	80	0.501	5	0.4336	79	0.5125
8	0.3718	82	0.5014	7	0.4636	81	0.5126
10	0.3996	84	0.5018	9	0.4779	83	0.5127
12	0.4185	86	0.5021	11	0.4861	85	0.5128
14	0.4321	88	0.5024	13	0.4915	87	0.5128
16	0.4423	90	0.5027	15	0.4952	89	0.5129
18	0.4504	92	0.503	17	0.498	91	0.513
20	0.4568	94	0.5033	19	0.5001	93	0.513
22	0.4621	96	0.5035	21	0.5018	95	0.5131
24	0.4666	98	0.5038	23	0.5031	97	0.5132

Tabel 1.3 Hasil Opsi *Put* Eropa dengan MOT (Lanjutan)

26	0.4703	100	0.504	25	0.5042	99	0.5132
28	0.4736	102	0.5043	27	0.5052	101	0.5133
30	0.4764	104	0.5045	29	0.506	103	0.5133
32	0.4788	106	0.5047	31	0.5067	105	0.5134
34	0.481	108	0.5049	33	0.5073	107	0.5134
36	0.4829	110	0.5051	35	0.5078	109	0.5135
38	0.4846	112	0.5053	37	0.5083	111	0.5135
40	0.4862	114	0.5055	39	0.5087	113	0.5136
42	0.4876	116	0.5057	41	0.5091	115	0.5136
44	0.4889	118	0.5058	43	0.5094	117	0.5137
46	0.4901	120	0.506	45	0.5097	119	0.5137
48	0.4911	122	0.5062	47	0.51	121	0.5137
50	0.4921	124	0.5063	49	0.5103	123	0.5138
52	0.493	126	0.5065	51	0.5105	125	0.5138
54	0.4939	128	0.5066	53	0.5107	127	0.5138
56	0.4947	130	0.5068	55	0.5109	129	0.5139
58	0.4954	132	0.5069	57	0.5111	131	0.5139
60	0.4961	134	0.5071	59	0.5113	133	0.5139
62	0.4967	136	0.5072	61	0.5114	135	0.514
64	0.4973	138	0.5073	63	0.5116	137	0.514
66	0.4979	140	0.5074	65	0.5117	139	0.514
68	0.4984	142	0.5076	67	0.5119	141	0.5141
70	0.4989	144	0.5077	69	0.512	143	0.5141
72	0.4994	146	0.5078	71	0.5121	145	0.5141
74	0.4998			73	0.5122		

b) Harga Saham Sama dengan Harga Ketentuan dengan Parameter $S_0 = 50$, $K = 50$, $r = 0.15$, $\sigma = 0.24$, $M = 146$

Tabel 2.1 Hasil Simulasi Harga Opsi Eropa

No.	M = 10	M = 20
1.	23.4080	17.0937
2.	27.2449	19.0305
3.	31.7107	21.1867
4.	36.9086	23.5872
5.	42.9585	26.2597
6.	**50.0000**	29.2350
7.	58.1958	32.5474
8.	67.7349	36.2351
9.	78.8377	40.3407
10.	91.7604	44.9114
11.	106.8013	**50.0000**
12.		55.6651
13.		61.9722
14.		68.9938
15.		76.8110
16.		85.5139
17.		95.2029
18.		105.9897
19.		117.9986
20.		131.3682
21.		146.2527

Tabel 2.2 Hasil Opsi *Call* Eropa dengan Pemisahan Partisi

***N* Genap**				***N* Ganjil**			
Waktu	V_0	**Waktu**	V_0	**Waktu**	V_0	**Waktu**	V_0
2	8.1855	76	8.7436	1	9.0378	75	8.7675
4	8.4566	78	8.744	3	8.9242	77	8.7673
6	8.5546	80	8.7444	5	8.8643	79	8.7671
8	8.6049	82	8.7448	7	8.836	81	8.7669
10	8.6354	84	8.7451	9	8.8197	83	8.7668
12	8.656	86	8.7455	11	8.8091	85	8.7666
14	8.6707	88	8.7458	13	8.8017	87	8.7665
16	8.6818	90	8.7461	15	8.7963	89	8.7663
18	8.6904	92	8.7464	17	8.7921	91	8.7662
20	8.6973	94	8.7467	19	8.7888	93	8.7661
22	8.703	96	8.747	21	8.7861	95	8.7659
24	8.7077	98	8.7473	23	8.7838	97	8.7658
26	8.7118	100	8.7475	25	8.782	99	8.7657
28	8.7152	102	8.7478	27	8.7804	101	8.7656
30	8.7182	104	8.748	29	8.779	103	8.7655
32	8.7208	106	8.7483	31	8.7778	105	8.7654
34	8.7231	108	8.7485	33	8.7767	107	8.7653
36	8.7252	110	8.7487	35	8.7758	109	8.7652
38	8.727	112	8.7489	37	8.7749	111	8.7651
40	8.7287	114	8.7491	39	8.7742	113	8.765
42	8.7301	116	8.7493	41	8.7735	115	8.7649
44	8.7315	118	8.7495	43	8.7729	117	8.7649
46	8.7328	120	8.7496	45	8.7723	119	8.7648
48	8.7339	122	8.7498	47	8.7718	121	8.7647
50	8.7349	124	8.75	49	8.7713	123	8.7646
52	8.7359	126	8.7502	51	8.7709	125	8.7646

Tabel 2.2 Hasil Opsi *Call* Eropa dengan Pemisahan Partisi (Lanjutan)

54	8.7368	128	8.7503	53	8.7705	127	8.7645
56	8.7376	130	8.7505	55	8.7701	129	8.7644
58	8.7384	132	8.7506	57	8.7698	131	8.7644
60	8.7391	134	8.7507	59	8.7694	133	8.7643
62	8.7398	136	8.7509	61	8.7691	135	8.7642
64	8.7405	138	8.751	63	8.7689	137	8.7642
66	8.741	140	8.7512	65	8.7686	139	8.7641
68	8.7416	142	8.7513	67	8.7683	141	8.7641
70	8.7421	144	8.7514	69	8.7681	143	8.764
72	8.7426	146	8.7515	71	8.7679	145	8.764
74	8.7431			73	8.7677		

Tabel 2.3 Hasil Opsi *Put* Eropa dengan Pemisahan Partisi

***N* Genap**				***N* Ganjil**			
Waktu	V_0	**Waktu**	V_0	**Waktu**	V_0	**Waktu**	V_0
2	1.2209	76	1.779	1	2.0732	75	1.8029
4	1.492	78	1.7794	3	1.9596	77	1.8027
6	1.59	80	1.7798	5	1.8997	79	1.8025
8	1.6403	82	1.7802	7	1.8714	81	1.8023
10	1.6708	84	1.7805	9	1.8551	83	1.8022
12	1.6914	86	1.7809	11	1.8445	85	1.802
14	1.7061	88	1.7812	13	1.8371	87	1.8019
16	1.7172	90	1.7815	15	1.8317	89	1.8017
18	1.7258	92	1.7818	17	1.8275	91	1.8016
20	1.7327	94	1.7821	19	1.8242	93	1.8015
22	1.7384	96	1.7824	21	1.8215	95	1.8013

Tabel 2.3 Hasil Opsi *Put* Eropa dengan Pemisahan Partisi (Lanjutan)

24	1.7431	98	1.7827	23	1.8192	97	1.8012
26	1.7472	100	1.7829	25	1.8174	99	1.8011
28	1.7506	102	1.7832	27	1.8158	101	1.801
30	1.7536	104	1.7834	29	1.8144	103	1.8009
32	1.7562	106	1.7837	31	1.8132	105	1.8008
34	1.7585	108	1.7839	33	1.8121	107	1.8007
36	1.7606	110	1.7841	35	1.8112	109	1.8006
38	1.7624	112	1.7843	37	1.8103	111	1.8005
40	1.764	114	1.7845	39	1.8096	113	1.8004
42	1.7655	116	1.7847	41	1.8089	115	1.8003
44	1.7669	118	1.7849	43	1.8083	117	1.8003
46	1.7682	120	1.785	45	1.8077	119	1.8002
48	1.7693	122	1.7852	47	1.8072	121	1.8001
50	1.7703	124	1.7854	49	1.8067	123	1.8
52	1.7713	126	1.7855	51	1.8063	125	1.8
54	1.7722	128	1.7857	53	1.8059	127	1.7999
56	1.773	130	1.7859	55	1.8055	129	1.7998
58	1.7738	132	1.786	57	1.8052	131	1.7998
60	1.7745	134	1.7861	59	1.8048	133	1.7997
62	1.7752	136	1.7863	61	1.8045	135	1.7996
64	1.7758	138	1.7864	63	1.8043	137	1.7996
66	1.7764	140	1.7866	65	1.804	139	1.7995
68	1.777	142	1.7867	67	1.8037	141	1.7995
70	1.7775	144	1.7868	69	1.8035	143	1.7994
72	1.778	146	1.7869	71	1.8033	145	1.7994
74	1.7785			73	1.8031		

c) Harga Saham Lebih Kecil dari Harga Ketentuan dengan Parameter

$S_0 = 50$, $K = 57$, $r = 0.15$, $\sigma = 0.24$, $M = 146$

Tabel 3.1 Hasil Simulasi Harga Opsi Eropa

No.	M = 10	M = 20
1.	26.6851	19.4868
2.	31.0592	21.6947
3.	36.1502	24.1528
4.	42.0758	26.8894
5.	48.9726	29.9361
6.	**57.0000**	33.3279
7.	66.3432	37.1041
8.	77.2178	41.3081
9.	89.8749	45.9884
10.	104.6068	51.1990
11.	121.7534	**57.0000**
12.		63.4583
13.		70.6483
14.		78.6529
15.		87.5646
16.		97.4859
17.		108.5313
18.		120.8282
19.		134.5185
20.		149.7598
21.		166.7280

Tabel 3.2 Hasil Opsi *Call* Eropa dengan MOT

***N* Genap**				***N* Ganjil**			
Waktu	V_0	**Waktu**	V_0	**Waktu**	V_0	**Waktu**	V_0
2	4.6756	76	5.1999	1	6.3851	75	5.231
4	4.9307	78	5.2003	3	5.6114	77	5.2306
6	5.0227	80	5.2007	5	5.4517	79	5.2302
8	5.0699	82	5.201	7	5.3836	81	5.2298
10	5.0985	84	5.2014	9	5.3459	83	5.2295
12	5.1178	86	5.2017	11	5.322	85	5.2292
14	5.1316	88	5.202	13	5.3055	87	5.2288
16	5.142	90	5.2023	15	5.2934	89	5.2285
18	5.1501	92	5.2026	17	5.2842	91	5.2283
20	5.1566	94	5.2029	19	5.2769	93	5.228
22	5.1619	96	5.2032	21	5.271	95	5.2277
24	5.1663	98	5.2034	23	5.2662	97	5.2275
26	5.1701	100	5.2036	25	5.2621	99	5.2272
28	5.1733	102	5.2039	27	5.2587	101	5.227
30	5.1761	104	5.2041	29	5.2557	103	5.2268
32	5.1786	106	5.2043	31	5.2531	105	5.2266
34	5.1807	108	5.2045	33	5.2508	107	5.2263
36	5.1827	110	5.2047	35	5.2488	109	5.2261
38	5.1844	112	5.2049	37	5.247	111	5.226
40	5.1859	114	5.2051	39	5.2453	113	5.2258
42	5.1873	116	5.2053	41	5.2439	115	5.2256
44	5.1886	118	5.2054	43	5.2426	117	5.2254
46	5.1898	120	5.2056	45	5.2413	119	5.2253
48	5.1908	122	5.2058	47	5.2402	121	5.2251
50	5.1918	124	5.2059	49	5.2392	123	5.2249
52	5.1927	126	5.2061	51	5.2383	125	5.2248

Tabel 3.2 Hasil Opsi *Call* Eropa dengan MOT (Lanjutan)

54	5.1936	128	5.2062	53	5.2374	127	5.2246
56	5.1944	130	5.2064	55	5.2366	129	5.2245
58	5.1951	132	5.2065	57	5.2359	131	5.2244
60	5.1958	134	5.2066	59	5.2352	133	5.2242
62	5.1964	136	5.2068	61	5.2346	135	5.2241
64	5.197	138	5.2069	63	5.2339	137	5.224
66	5.1976	140	5.207	65	5.2334	139	5.2238
68	5.1981	142	5.2071	67	5.2328	141	5.2237
70	5.1986	144	5.2073	69	5.2323	143	5.2236
72	5.199	146	5.2074	71	5.2319	145	5.2235

Tabel 3.3 Hasil Opsi *Put* Eropa dengan MOT

***N* Genap**				***N* Ganjil**			
Waktu	V_0	**Waktu**	V_0	**Waktu**	V_0	**Waktu**	V_0
2	3.736	76	4.2603	1	5.4454	75	4.2913
4	3.9911	78	4.2607	3	4.6717	77	4.2909
6	4.083	80	4.261	5	4.5121	79	4.2906
8	4.1302	82	4.2614	7	4.444	81	4.2902
10	4.1589	84	4.2617	9	4.4063	83	4.2898
12	4.1781	86	4.2621	11	4.3824	85	4.2895
14	4.1919	88	4.2624	13	4.3659	87	4.2892
16	4.2023	90	4.2627	15	4.3538	89	4.2889
18	4.2104	92	4.263	17	4.3446	91	4.2886
20	4.2169	94	4.2632	19	4.3373	93	4.2883
22	4.2222	96	4.2635	21	4.3314	95	4.2881
24	4.2267	98	4.2638	23	4.3266	97	4.2878

Tabel 3.3 Hasil Opsi *Put* Eropa dengan MOT (Lanjutan)

26	4.2304	100	4.264	25	4.3225	99	4.2876
28	4.2337	102	4.2642	27	4.319	101	4.2873
30	4.2365	104	4.2645	29	4.316	103	4.2871
32	4.2389	106	4.2647	31	4.3134	105	4.2869
34	4.2411	108	4.2649	33	4.3111	107	4.2867
36	4.243	110	4.2651	35	4.3091	109	4.2865
38	4.2447	112	4.2653	37	4.3073	111	4.2863
40	4.2463	114	4.2655	39	4.3057	113	4.2861
42	4.2477	116	4.2656	41	4.3042	115	4.2859
44	4.249	118	4.2658	43	4.3029	117	4.2858
46	4.2501	120	4.266	45	4.3017	119	4.2856
48	4.2512	122	4.2661	47	4.3006	121	4.2854
50	4.2522	124	4.2663	49	4.2996	123	4.2853
52	4.2531	126	4.2664	51	4.2987	125	4.2851
54	4.2539	128	4.2666	53	4.2978	127	4.285
56	4.2547	130	4.2667	55	4.297	129	4.2848
58	4.2554	132	4.2669	57	4.2962	131	4.2847
60	4.2561	134	4.267	59	4.2956	133	4.2846
62	4.2568	136	4.2671	61	4.2949	135	4.2844
64	4.2573	138	4.2673	63	4.2943	137	4.2843
66	4.2579	140	4.2674	65	4.2937	139	4.2842
68	4.2584	142	4.2675	67	4.2932	141	4.2841
70	4.2589	144	4.2676	69	4.2927	143	4.284
72	4.2594	146	4.2677	71	4.2922	145	4.2839
74	4.2598			73	4.2918		

d) Tabel Nilai Error

Tabel 4.1 Hasil Error *call* pada kondisi pertama

***N* Genap**				***N* Ganjil**			
Waktu	V_0	**Waktu**	V_0	**Waktu**	V_0	**Waktu**	V_0
2	0.469	76	0.0157	1	1.8151	75	0.0037
4	0.2737	78	0.0153	3	0.1766	77	0.0036
6	0.1892	80	0.015	5	0.0824	79	0.0035
8	0.1442	82	0.0146	7	0.0524	81	0.0034
10	0.1164	84	0.0142	9	0.0381	83	0.0033
12	0.0975	86	0.0139	11	0.0299	85	0.0032
14	0.0839	88	0.0136	13	0.0245	87	0.0032
16	0.0737	90	0.0133	15	0.0208	89	0.0031
18	0.0656	92	0.013	17	0.018	91	0.003
20	0.0592	94	0.0127	19	0.0159	93	0.003
22	0.0539	96	0.0125	21	0.0142	95	0.0029
24	0.0494	98	0.0122	23	0.0129	97	0.0028
26	0.0457	100	0.012	25	0.0117	99	0.0028
28	0.0424	102	0.0117	27	0.0108	101	0.0027
30	0.0396	104	0.0115	29	0.01	103	0.0027
32	0.0372	106	0.0113	31	0.0093	105	0.0026
34	0.035	108	0.0111	33	0.0087	107	0.0026
36	0.0331	110	0.0109	35	0.0082	109	0.0025
38	0.0314	112	0.0107	37	0.0077	111	0.0025
40	0.0298	114	0.0105	39	0.0073	113	0.0024
42	0.0284	116	0.0103	41	0.0069	115	0.0024
44	0.0271	118	0.0101	43	0.0066	117	0.0023
46	0.0259	120	0.01	45	0.0063	119	0.0023

Tabel 4.1 Hasil Error *call* pada kondisi pertama (Lanjutan)

48	0.0249	122	0.0098	47	0.006	121	0.0023
50	0.0239	124	0.0097	49	0.0057	123	0.0022
52	0.023	126	0.0095	51	0.0055	125	0.0022
54	0.0221	128	0.0094	53	0.0053	127	0.0022
56	0.0213	130	0.0092	55	0.0051	129	0.0021
58	0.0206	132	0.0091	57	0.0049	131	0.0021
60	0.0199	134	0.0089	59	0.0047	133	0.0021
62	0.0193	136	0.0088	61	0.0046	135	0.002
64	0.0187	138	0.0087	63	0.0044	137	0.002
66	0.0181	140	0.0086	65	0.0043	139	0.002
68	0.0176	142	0.0084	67	0.0041	141	0.0019
70	0.0171	144	0.0083	69	0.004	143	0.0019
72	0.0166	146	0.0082	71	0.0039	145	0.0019
74	0.0162			73	0.0038		

Tabel 4.2 Hasil Error *put* pada kondisi pertama

***N* Genap**				***N* Ganjil**			
Waktu	V_0	**Waktu**	V_0	**Waktu**	V_0	**Waktu**	V_0
2	0.469	76	0.0157	1	1.8151	75	0.0037
4	0.2737	78	0.0153	3	0.1766	77	0.0036
6	0.1892	80	0.015	5	0.0824	79	0.0035
8	0.1442	82	0.0146	7	0.0524	81	0.0034
10	0.1164	84	0.0142	9	0.0381	83	0.0033
12	0.0975	86	0.0139	11	0.0299	85	0.0032
14	0.0839	88	0.0136	13	0.0245	87	0.0032
16	0.0737	90	0.0133	15	0.0208	89	0.0031
18	0.0656	92	0.013	17	0.018	91	0.003

Tabel 4.2 Hasil Error *put* pada kondisi pertama (Lanjutan)

20	0.0592	94	0.0127	19	0.0159	93	0.003
22	0.0539	96	0.0125	21	0.0142	95	0.0029
24	0.0494	98	0.0122	23	0.0129	97	0.0028
26	0.0457	100	0.012	25	0.0117	99	0.0028
28	0.0424	102	0.0117	27	0.0108	101	0.0027
30	0.0396	104	0.0115	29	0.01	103	0.0027
32	0.0372	106	0.0113	31	0.0093	105	0.0026
34	0.035	108	0.0111	33	0.0087	107	0.0026
36	0.0331	110	0.0109	35	0.0082	109	0.0025
38	0.0314	112	0.0107	37	0.0077	111	0.0025
40	0.0298	114	0.0105	39	0.0073	113	0.0024
42	0.0284	116	0.0103	41	0.0069	115	0.0024
44	0.0271	118	0.0101	43	0.0066	117	0.0023
46	0.0259	120	0.01	45	0.0063	119	0.0023
48	0.0249	122	0.0098	47	0.006	121	0.0023
50	0.0239	124	0.0097	49	0.0057	123	0.0022
52	0.023	126	0.0095	51	0.0055	125	0.0022
54	0.0221	128	0.0094	53	0.0053	127	0.0022
56	0.0213	130	0.0092	55	0.0051	129	0.0021
58	0.0206	132	0.0091	57	0.0049	131	0.0021
60	0.0199	134	0.0089	59	0.0047	133	0.0021
62	0.0193	136	0.0088	61	0.0046	135	0.002
64	0.0187	138	0.0087	63	0.0044	137	0.002
66	0.0181	140	0.0086	65	0.0043	139	0.002
68	0.0176	142	0.0084	67	0.0041	141	0.0019
70	0.0171	144	0.0083	69	0.004	143	0.0019
72	0.0166	146	0.0082	71	0.0039	145	0.0019
74	0.0162			73	0.0038		

Lampiran 2 Source Code

a) Source Code Binomial CRR

```
clc,clear
disp('Perhitungan Binomial')
disp('=====================================')
disp('ISTIOQMAH ')
disp('10610062')
disp('=====================================')
disp('             Data Pilihan :             ')
disp('     1.Opsi Call Eropa     ')
disp('     2.Opsi Put Eropa     ')
disp('=====================================')
r=0.15;
v=0.24;
S=50;
K=57;
T=1;
disp(' ')
pilih= input('masukan pilihan anda = ');
disp(' ')
t=input('masukkan partisi waktu t = ');
m=(1:t);   %indeks partisi waktu

for M=1:t;
    %menghitung parameter Binomial CRR
    deltat = T/M;
    beta = (exp(-r*deltat)+exp((r+v^2)*deltat))/2;
    u=exp(v*sqrt(deltat));
    d=1/u;
    p=(exp(r*deltat)-d)/(u-d);
    a=exp(-r*deltat);

    %perhitungan harga saham
    sp=zeros(M+1,M+1);
    sp(1,1)=S;
    for j=1:M+1
        sp(j,M+1)=S * u^(j-1) * d^(M+1-j);
    end

    for i=M:-1:1
        for j=1:i
            sp(j,i)=a*(p*sp(j+1,i+1)+(1-p)*sp(j,i+1));
        end
    end

    %Perhtungan harga opsi
    cv=zeros(M+1,M+1);
    switch pilih
        case 1
            for j=1:M+1
                cv(j,M+1)=max((sp(j,M+1)-K),0);
            end
            for i=M:-1:1
```

```
                for j=1:i
                    cv(j,i)=a*(p*cv(j+1,i+1)+(1-p)*cv(j,i+1));
                end
            end
        case 2
            for j=1:M+1
                pv(j,M+1)=max(K-(sp(j,M+1)),0);
            end
            for i=M:-1:1
                for j=1:i
                    pv(j,i)=a*(p*pv(j+1,i+1)+(1-p)*pv(j,i+1));
                end
            end

    end

    %perhitungan Blck-Scholes
    d1=(log(S/K)+(r+0.5*v^2)*T)/(v*sqrt(T));
    d2=d1-v*sqrt(T);
    N1=0.5*(1+erf(d1/sqrt(2)));
    N2=0.5*(1+erf(d2/sqrt(2)));
    N1p=0.5*(1+erf(-d1/sqrt(2)));
    N2p=0.5*(1+erf(-d2/sqrt(2)));
    C=S*N1-K*exp(-r*T)*N2;
    P=C-S+exp(-r*T)*K;

    %tampilan hasil
    if pilih==1
        CR(M,1)=cv(1,1);
        BS(m,1)= C;
    elseif pilih==2
        CR(M,1)=pv(1,1);
        BS(m,1)  = P;
    end
end
BS
CR
%menampilkan grafik pergerakan harga opsi
plot(m,BS,'-*b')
hold on
plot(m,CR,'-*r')
grid on
h = legend('BS','CRR',2);
title('Pergerakan Harga Opsi call Eropa bentuk CRR')
xlabel('Waktu')
ylabel('Harga Opsi')
```

b) Source Code Binomial Partisi Waktu

```
clc,clear
disp('Perhitungan Binomial Pemisahan Partisi Waktu')
disp('=====================================')
disp('ISTIOQMAH ')
disp('10610062')
disp('=====================================')
disp('             Data Pilihan :            ')
disp('     1.Opsi Call Eropa     ')
disp('     2.Opsi Put Eropa     ')
disp('=====================================')
r=0.15;
v=0.24;
S=50;
K=57;
T=1;
disp(' ')
pilih= input('masukan pilihan anda = ');
disp(' ')
t=input('masukkan partisi waktu t = ');
w=(2:2:t); %indeks partisi waktu genap
s=(1:2:t); %indeks partisi waktu ganjil
m=(1:t);   %indeks partisi waktu

for M=1:t;
    %perhitungan parameter Binomial CRR
    deltat = T/M;
    beta = (exp(-r*deltat)+exp((r+v^2)*deltat))/2;
    u=exp(v*sqrt(deltat));
    d=1/u;
    p=(exp(r*deltat)-d)/(u-d);
    a=exp(-r*deltat);

    %perhitungan harga saham
    sp=zeros(M+1,M+1);
    sp(1,1)=S;
    for j=1:M+1
        sp(j,M+1)=S * u^(j-1) * d^(M+1-j);
    end
    for i=M:-1:1
        for j=1:i
            sp(j,i)=a*(p*sp(j+1,i+1)+(1-p)*sp(j,i+1));
        end
    end

    %Perhtungan harga opsi
    cv=zeros(M+1,M+1);
    switch pilih
        case 1
            for j=1:M+1
                cv(j,M+1)=max((sp(j,M+1)-K),0);
            end
            for i=M:-1:1
                for j=1:i
```

```
                    cv(j,i)=a*(p*cv(j+1,i+1)+(1-p)*cv(j,i+1));
                end
            end
        case 2
            for j=1:M+1
                pv(j,M+1)=max(K-(sp(j,M+1)),0);
            end
            for i=M:-1:1
                for j=1:i
                    pv(j,i)=a*(p*pv(j+1,i+1)+(1-p)*pv(j,i+1));
                end
            end
    end

    %perhitungan Blck-Scholes
    d1=(log(S/K)+(r+0.5*v^2)*T)/(v*sqrt(T));
    d2=d1-v*sqrt(T);
    N1=0.5*(1+erf(d1/sqrt(2)));
    N2=0.5*(1+erf(d2/sqrt(2)));
    N1p=0.5*(1+erf(-d1/sqrt(2)));
    N2p=0.5*(1+erf(-d2/sqrt(2)));
    C=S*N1-K*exp(-r*T)*N2;
    P=C-S+exp(-r*T)*K;

    %tampilan hasil
    if pilih==1
        CR(M,1)=cv(1,1);
        BS(m,1)= C;
    elseif pilih==2
        CR(M,1)=pv(1,1);
        BS(m,1)  = P;
    end

    %tampilan hasil dengan pemisahan partisi waktu
    switch pilih
        case 1
            if mod(M,2)==0
                CR_P(M/2,1)=cv(1,1);
            else
                CR_L((M+1)/2,1)=cv(1,1);
            end
        case 2
            if mod(M,2)==0
                CR_P(M/2,1)=pv(1,1);
            else
                CR_L((M+1)/2,1)=pv(1,1);
            end
    end
end
CR_P
CR_L

%tampilan grafik harga opsi Eropa
plot(m,BS,'-*b')
hold on
plot(w,CR_P,'-*g')
```

```
hold on
plot(s,CR_L,'-*r')
grid on
h = legend('BS','CRR genap','CRR ganjil',3);
title('Pergerakan Harga Opsi Call Eropa bentuk CRR')
xlabel('Waktu')
ylabel('Harga Opsi')
```

c) Source Code Binomial Dipercepat

```
clc,clear
disp('Perhitungan Binomial Dipercepat')
disp('======================================')
disp('ISTIOQMAH ')
disp('10610062')
disp('======================================')
disp('             Data Pilihan :          ')
disp('     1.Opsi Call Eropa       ')
disp('     2.Opsi Put Eropa       ')
disp('======================================')
r=0.15;
v=0.24;
S=50;
K=57;
T=1;
disp(' ')
pilih= input('masukan pilihan anda = ');
disp(' ')
t=input('masukkan partisi waktu t = ');
w=(2:2:t); %indeks partisi waktu genap
s=(1:2:t); %indeks partisi waktu ganjil
m=(1:t);   %indeks partisi waktu

for M=1:t;
    %perhitungan parameter MOT
    deltat = T/M;
    beta = (exp(-r*deltat)+exp((r+v^2)*deltat))/2;
    u=exp(v*sqrt(deltat)+(log(K/S)/M) );
    d=exp(-(v*sqrt(deltat))+(log(K/S)/M) );
    p=(exp(r*deltat)-d)/(u-d);
    a=exp(-r*deltat);

    %perhitungan harga saham
    sp=zeros(M+1,M+1);
    sp(1,1)=S;
    for j=1:M+1
        sp(j,M+1)=S * u^(j-1) * d^(M+1-j);
    end
    for i=M:-1:1
        for j=1:i
            sp(j,i)=a*(p*sp(j+1,i+1)+(1-p)*sp(j,i+1));
        end
    end
```

```
%Perhtungan harga opsi
cv=zeros(M+1,M+1);
switch pilih
    case 1
        for j=1:M+1
            cv(j,M+1)=max((sp(j,M+1)-K),0);
        end
        for i=M:-1:1
            for j=1:i
                cv(j,i)=a*(p*cv(j+1,i+1)+(1-p)*cv(j,i+1));
            end
        end
    case 2
        for j=1:M+1
             pv(j,M+1)=max(K-(sp(j,M+1)),0);
        end
        for i=M:-1:1
            for j=1:i
                pv(j,i)=a*(p*pv(j+1,i+1)+(1-p)*pv(j,i+1));
            end
        end
end

%perhitungan Blck-Scholes
d1=(log(S/K)+(r+0.5*v^2)*T)/(v*sqrt(T));
d2=d1-v*sqrt(T);
N1=0.5*(1+erf(d1/sqrt(2)));
N2=0.5*(1+erf(d2/sqrt(2)));
N1p=0.5*(1+erf(-d1/sqrt(2)));
N2p=0.5*(1+erf(-d2/sqrt(2)));
C=S*N1-K*exp(-r*T)*N2;
P=C-S+exp(-r*T)*K;

%tampilan hasil
if pilih==1
    MOT(M,1)=cv(1,1);
    BS(m,1)= C
elseif pilih==2
    MOT(M,1)=pv(1,1);
    BS(m,1)  = P;
end

%tampilan hasil dengan pemisahan partisi waktu
switch pilih
    case 1
        if mod(M,2)==0
            MOT_P(M/2,1)=cv(1,1);
        else
            MOT_L((M+1)/2,1)=cv(1,1);
        end
    case 2
        if mod(M,2)==0
            MOT_P(M/2,1)=pv(1,1);
        else
            MOT_L((M+1)/2,1)=pv(1,1);
```

```
            end
        end
    end
MOT_P
MOT_L

%tampilan grafik harga opsi Eropa
plot(m,BS,'-*b')
hold on
plot(w,MOT_P,'-*g')
hold on
plot(s,MOT_L,'-*r')
grid on
h = legend('BS','MOT genap','MOT ganjil',3);
title('Pergerakan Harga Opsi Put Eropa dengan Middle of Tree')
xlabel('Waktu')
ylabel('Harga Opsi')
```