

## PENENTUAN NILAI PROYEK PERMINYAKAN MELALUI OPSI RIIL DENGAN METODE *BINOMIAL LATTICE*

Harry Susilodharma<sup>1</sup>, Rian Febrian Umbara, S.Si, M.Si.<sup>2</sup>, Irma Palupi, S.Si, M.Si.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[harry.susilodharma@gmail.com](mailto:harry.susilodharma@gmail.com), <sup>2</sup>[rianum@telkomuniversity.co.id](mailto:rianum@telkomuniversity.co.id), <sup>3</sup>[irmapalupi@telkomuniversity.ac.id](mailto:irmapalupi@telkomuniversity.ac.id)

### Abstrak

Terdapat berbagai macam contoh investasi, salah satunya adalah investasi pada aset riil, misal investasi pada pembiayaan suatu proyek perminyakan. Nilai investasi atau jumlah biaya dihitung melalui pendekatan *Binomial Lattice*. Perhitungan opsi menggunakan harga minyak mentah di pasar ( $S_0$ ) sebagai masukan awal. Kemudian dari data tersebut beberapa parameter yang dibutuhkan akan ditentukan, dan kemudian akan digunakan untuk perhitungan harga *undeveloped project* ( $V$ ). Dimana *undeveloped project* adalah nilai sebuah proyek perminyakan yang belum di eksekusi. Dalam penelitian ini, dengan menggunakan nilai *undeveloped project* akan dapat dihitung nilai *Excercise Boundary* di setiap waktu. Hal ini dimaksudkan akan menjadi gambaran atau masukan untuk para investor untuk menimbang nantinya akan melanjutkan ke tahap eksploitasi atau tidak. Dilakukan percobaan dengan memasukan nilai  $S_0$  tertentu, kemudian dibandingkan nilai *undeveloped project*nya. Nilai opsi dari model *Binomial* memiliki kesamaan dengan hasil yang diberikan model Crank-Nicolson ketika harga pasar menyentuh nilai 121.60773 USD/Barel yaitu sebesar 36.608 USD/Barel. Hasil dari model *Binomial* tidak memberikan pengaruh signifikan untuk parameter  $t$ . Untuk berapapun  $t$ , *Binomial* tetap memberikan hasil yang sama, ketika nilai pasar menyentuh 121,60773 USD/Barel. Untuk beberapa kali pengujian dengan mengubah nilai parameter, diketahui semakin besar nilai volatilitas ( $\sigma$ ), maka semakin besar nilai *excercise boundary* Sedangkan semakin besar suku bunga bebas risiko ( $r$ ), semakin kecil nilai *excercise boundary* dan semakin besar nilai subselang ( $N$ ) yang diberikan akan semakin kecil rentang antara nilai pada *excercise boundary*. Dari keseluruhan pengujian didapati bahwa semakin dekat pada jatuh tempo nilai *undeveloped project* akan semakin kecil, dengan rata-rata waktu eksekusi pengujian 1.2 detik untuk 1000 subselang dan 244.9 detik untuk 6000 subselang.

**Kata kunci :** investasi, opsi riil, proyek perminyakan, keuangan, undeveloped project, binomial

### 1. Pendahuluan

Pada saat ini terdapat beragam pemberdayaan energi yang ada di Indonesia. Energi migas sendiri masih menjadi andalan utama perekonomian Indonesia, baik sebagai penghasil devisa maupun pemasok kebutuhan energi dalam negeri. Pembangunan industri dan prasarana yang sedang giat dilakukan di Indonesia, membuat pertumbuhan konsumsi energi rata-rata mencapai 7% dalam 10 tahun terakhir [1]. Besarnya potensi sumber daya minyak bumi terutama di daerah-daerah terpencil sangat baik untuk dikembangkan. Sumber-sumber migas dengan tingkat kesulitan eksplorasi terendah sekarang ini telah habis dieksploitasi dan hanya menyisakan tingkat kesulitan yang tinggi. Hal tersebut jelas mengindikasikan pengelolaan dan perhitungan yang tepat sangat membantu terciptanya pengelolaan migas yang optimal, juga menjanjikan keuntungan yang besar. Namun untuk mengelola potensi tersebut diperlukan modal yang besar, waktu yang memadai, teknologi yang mahal, dan efisiensi yang maksimal serta expertise dari sumber daya manusia terbaik.

Menurut undang-undang nomor 22 tentang migas yang berlaku di Indonesia kegiatan proyek yang dilakukan terbagi menjadi dua, kegiatan usaha hulu dan kegiatan usaha hilir. Kegiatan usaha hulu bertumpu pada kegiatan Eksplorasi dan Eksploitasi, dan kegiatan usaha hilir bertumpu pada kegiatan usaha Produksi (Pengolahan, Pengangkutan, Penyimpanan, dan/atau Niaga). Peraturan pemerintah yang mengatur usaha migas di Hulu dan Hilir diharapkan dapat menjamin investor untuk berinvestasi di sektor minyak bumi, namun tidak dapat dipungkiri masih banyak masalah lain yang menjadi hambatan bagi terealisasinya investasi. Dengan begitu untuk menarik para investor dibutuhkan penentuan nilai kontrak perminyakan yang pantas untuk mengontrol risiko dan kerugian yang ada. Dalam penelitian ini kontrak minyak akan dimodelkan dengan teori opsi. Opsi sendiri merupakan suatu hak yang didasarkan pada suatu perjanjian untuk membeli atau menjual aset tertentu, seperti komoditas, surat berharga keuangan, atau suatu mata uang asing, pada suatu tingkat harga dan waktu yang telah ditentukan dalam perjanjian [2].

Teori opsi umumnya lebih dikenal hanya untuk cakupan saham dan pasar finansial, namun belakangan ini teori opsi berkembang dan dipakai dalam keuangan perusahaan, politik, energi dan lain-lain. Dalam bisnis sendiri, opsi merupakan sebuah alternatif atau pilihan yang telah tersedia bersamaan dengan munculnya peluang dalam investasi bisnis. Opsi dapat mencakup peluang bagi perusahaan untuk mengembangkan dan memperkecil

jumlah investasi dalam proyek, juga kuasa untuk menghentikan proyek apabila telah diketahui perkiraan di masa depan mengenai kondisi yang dapat saja muncul dari proyek investasi yang dijalankan [3].

Penelitian ini akan berfokus pada permasalahan penentuan nilai opsi atas proyek aset riil. Opsi disebut riil atau nyata akibat keterkaitannya dengan aset berwujud seperti pelengkap modal, daripada sebagai instrumen keuangan itu sendiri. Kasus yang dapat diangkat dari opsi riil salah satunya studi kasus dalam proyek perminyakan. Dengan teori opsi riil, investor dapat mempertimbangkan kelanjutan dari investasinya dengan melihat nilai exercise boundary dan nilai pasar minyak mentah, dan kemudian dapat mempersiapkan kebutuhan atas segala kemungkinan yang akan terjadi. Hal tersebut menjadi latar belakang penelitian ini dilakukan, agar dapat memberikan masukan bagi investor dan sebagai landasan penentuan keputusan saat melakukan investasi pada proyek aset riil.

Permasalahan investasi dengan konsep opsi riil salah satunya adalah masalah penentuan nilai proyek. Di mana dalam penelitian ini, nilai opsi dapat diartikan sebagai biaya investasi awal eksplorasi hingga eksploitasi, seperti penyewaan lahan dan pembiayaan awal keperluan tahap penelitian eksplorasi hingga pengeboran dan penyelesaian sumur, pembangunan sarana pengangkutan, penyimpanan, dan pengolahan untuk pemisahan dan pemurnian minyak bumi di lapangan serta kegiatan lain yang mendukungnya dalam eksploitasi, sebelum investor mengambil keputusan untuk melanjutkan ke pembiayaan produksi. Penerapan konsep opsi riil dalam investasi ini adalah agar investor dapat mengetahui jumlah investasi pada tahap eksplorasi yang harus dikeluarkan. Dengan menggunakan pendekatan Binomial di harapkan hasil yang didapat akan lebih baik untuk mengontrol risiko dan kerugian-kerugian yang ada dalam proyek perminyakan.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Proyek Migas Indonesia

Menurut UU Migas RI No.21/2001 (UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 21 TAHUN TENTANG MINYAK DAN GAS BUMI, 2001), kegiatan usaha dalam pengelolaan migas meliputi, kegiatan usaha Hulu dan kegiatan usaha Hilir;

#### 1. Kegiatan Usaha Hulu mencakup :

- a. Eksplorasi; merupakan kegiatan yang bertujuan memperoleh informasi mengenai kondisi geologi untuk menemukan dan memperoleh perkiraan cadangan Minyak dan Gas Bumi di wilayah kerja yang ditentukan.
- b. Eksploitasi; merupakan rangkaian kegiatan yang bertujuan untuk menghasilkan Minyak dan Gas Bumi dari Wilayah Kerja yang ditentukan, yang terdiri atas pengeboran dan penyelesaian sumur, pembangunan sarana pengangkutan, penyimpanan, dan pengolahan untuk pemisahan dan pemurnian Minyak dan Gas Bumi di lapangan serta kegiatan lain yang mendukungnya.

#### 2. Kegiatan Usaha Hilir mencakup :

- a. Pengolahan; kegiatan memurnikan, memperoleh bagian-bagian, mempertinggi mutu, dan mempertinggi nilai tambah Minyak Bumi dan/atau Gas Bumi, tetapi tidak termasuk pengolahan lapangan.
- b. Pengangkutan; kegiatan pemindahan Minyak Bumi, Gas Bumi, dan/atau hasil olahannya dari Wilayah Kerja atau dari tempat penampungan dan Pengolahan, termasuk pengangkutan Gas Bumi melalui pipa transmisi dan distribusi.
- c. Penyimpanan; kegiatan penerimaan, pengumpulan, penampungan, dan pengeluaran Minyak Bumi dan/atau Gas Bumi.
- d. Niaga; kegiatan pembelian, penjualan, ekspor, impor Minyak Bumi dan/atau hasil olahannya, termasuk Niaga Gas Bumi melalui pipa.

Selain itu di Indonesia juga dirancang pengelolaan migas yang berlandaskan Production Sharing Contract (PSC) atau yang disebut bagi hasil. PSC dicetus pertama kali oleh Bung Karno, Ia mendapatkan ide tersebut berdasarkan praktek yang berlaku di pengelolaan pertanian di Jawa. PSC dimulai di Indonesia pertama kali tahun 1996, antara Pertamina dan IIAPCO. Definisi bagi hasil dari produksi atau profit oil split adalah proporsi minyak sesudah dipotong oleh costs oil. Sedangkan aturan yang berlaku di Indonesia pembagiannya 85 – 15% split antara pemerintah dengan kontraktor untuk minyak, sedangkan 70 – 30% untuk gas. Kemudian di tahun 1979 pembagian tergantung pada hasil produksi, 50-50% untuk produksi rendah dan 85 – 15 % untuk produksi tinggi [4].

### 2.2 Opsi riil

Selain digunakan untuk menghargai opsi keuangan, permasalahan teori opsi riil biasanya digunakan atau diimplementasikan dalam penentuan kebijakan keuangan perusahaan atau dalam suatu proyek ataupun paten. Dimulai dari kemunculan rumus *Black-Sholes-Merton* untuk menghitung instrumen keuangan dan *call option*, di tahun 1973, oleh Fischer Black, Myron Scholes dan Robert Merton. Kemudian dikembangkan metode *Binomial* oleh

Cox, Ross dan Rubinstein tahun 1979 untuk versi sederhana, dan versi stokastik oleh Dixit, Pindyck tahun 1994. Selanjutnya bahasan mengenai opsi riil terus berkembang sesuai dengan sektor terkait berikut regulasi yang mengaturnya. Perkembangan *option pricing* sendiri tidak hanya digunakan dalam industri keuangan namun juga dikembangkan dan diaplikasikan dalam real bisnis atau lebih dikenal dengan istilah "*real option*" [5]. Istilah opsi riil dapat ditemukan di dalam penelitian yang dikemukakan oleh Meyer tahun 1977, penelitian tersebut menjadi yang pertama kali mengidentifikasi bahwa melakukan investasi di aset riil biasanya sebatas untuk melakukan investasi modal. Contohnya pada kesempatan melakukan investasi untuk mendanai perluasan sebuah pabrik dari perusahaan tertentu. Beda antara opsi di keuangan dengan opsi riil adalah opsi riil tidak dapat diperdagangkan misalnya pemilik pabrik tidak dapat menjual hak untuk perluasan suatu pabrik ke pihak lain, namun pemilik dapat mengambil keputusan ini guna memperoleh pendanaan dan investasi sebagai jalan keluarnya [6].

Parameter-parameter yang terdapat dalam opsi riil antara lain volatilitas *return* dan *expected return*. Volatilitas adalah tingkat perubahan nilai dari suatu parameter yang serba tidak pasti, di mana tidak bergantung pada arah perubahannya, nilai dapat saja naik atau turun, dapat juga diartikan besarnya jarak antara kenaikan dan penurunan harga aset atau singkatnya disebut sebagai ukuran risiko. Sedangkan *expected return* merupakan jumlah pengembalian tertentu dari modal yang diharapkan investor ketika berinvestasi pada suatu proyek.

### 2.3 Analogi dalam Opsi Riil

Dalam pembahasan mengenai opsi, pengambilan keputusan dalam proyek investasi aset riil dianalogikan sebagai permasalahan opsi keuangan. Hal ini diambil karena ada beberapa kemiripan karakteristik di antara kedua opsi tersebut. Dalam kenyataannya yang menjadi aset utama pada opsi riil adalah modal yang menjadi investasi dalam suatu proyek dan bukan merupakan instrumen keuangannya, serta seperti yang sudah diketahui, bahwa model keuangan dapat digunakan sebagai alat untuk evaluasi pada suatu proyek aset riil, dengan menggunakan parameter yang berbeda nama namun sebenarnya mewakili parameter yang sama. Analogi dari opsi keuangan dengan opsi riil ditunjukkan melalui Tabel 2.1 [11].

Tabel 2. 1 Tabel Parameter Analogi Opsi Keuangan dan Opsi Riil

Investasi Keuangan	Opsi Riil	Notasi Parameter
Nilai aset / Saham	Harga Minyak Mentah di Pasar	S
Harga Opsi	<i>Undeveloped Resource Project</i>	Vam
Waktu jatuh tempo Opsi	Lama waktu investasi proyek / waktu jatuh tempo Opsi Riil	T
Premi	Harga <i>Undeveloped Project</i> pada saat 0	Vam0
Harga eksekusi opsi / <i>Strike Price</i>	Biaya Investasi awal / modal proyek ( <i>Project Investment Cost</i> )	K
Suku bunga bebas risiko	Suku bunga bebas risiko	r
Pembayaran dividen	Arus kas proyek ( <i>Cash flow</i> ) pertahun	d
Volatilitas saham	Volatilitas harga minyak mentah	$\sigma$

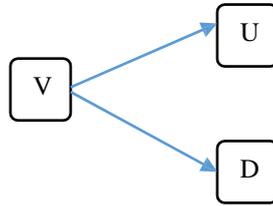
Ada beberapa perbedaan antara investasi keuangan dengan opsi riil, terutama dalam hal permasalahan waktu hidup dari aset. Untuk aset riil waktu jatuh tempo dapat berdurasi hingga lebih dari satu atau dua tahun, sedangkan untuk investasi keuangan dapat berdurasi lebih pendek. Dalam dunia bisnis perminyakan, durasi suatu kontrak perminyakan dapat berlangsung hingga puluhan tahun.

Dalam implementasinya, opsi riil pada proyek minyak memiliki beberapa fitur-fitur dalam pengambilan keputusan, di mana dalam investasi riil biasanya terdiri dari beberapa hal seperti [12]:

1. Keputusan dalam menentukan proyek yang mana yang layak diinvestasikan ataupun kapan harus dilakukan investasi pada proyek tersebut.
2. Pilihan untuk memperbarui, memperpanjang, atau memutuskan kegiatan-kegiatan pada proyek.
3. Pilihan untuk melakukan investasi pada proyek yang masih mungkin berprospek bagus ke depannya.
4. Pilihan yang memberikan fleksibilitas pada *input*, *output*, dan teknik serta teknologi untuk pelaksanaan produksi di masa mendatang.

**2.4 Model Binomial**

Model *Binomial* termasuk ke dalam *Lattice Method* atau himpunan terurut. Model ini menganggap bahwa suatu harga aset bergerak dengan dua kemungkinan dalam setiap satuan *time* step perubahan nilainya dapat berubah naik tetap, tetap turun dan naik turun, misal suatu nilai aset dalam waktu tertentu dapat berubah naik atau turun. Dapat digambarkan sebagai berikut,



Gambar 2.1 : *Binomial* satu langkah

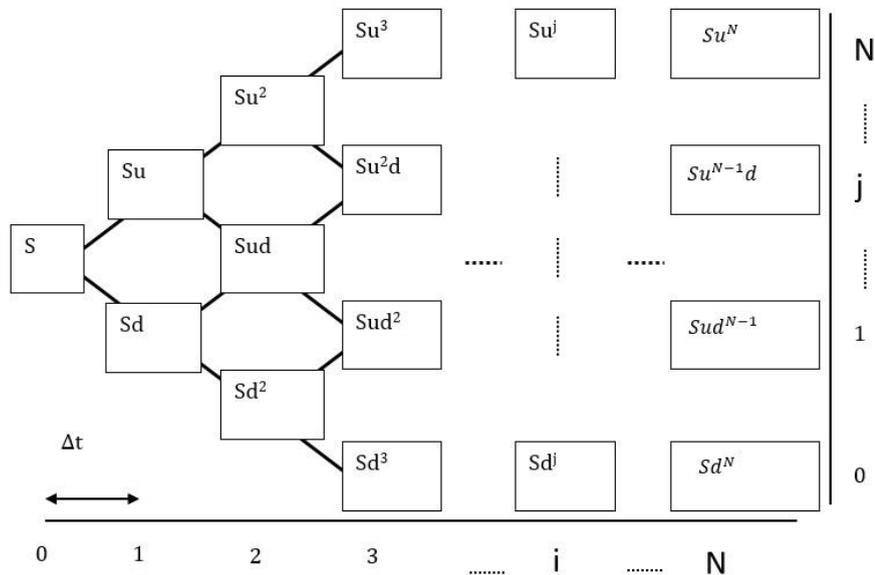
Pada Gambar (2.1) U melambangkan nilai S yang naik, sedangkan untuk D nilai S yang menurun. Selanjutnya juga nilai U dapat naik atau turun, begitu juga untuk nilai D. Setiap *node* yang tercipta akan bercabang terus menjadi dua hingga kondisi berhentinya yaitu pada saat jatuh tempo opsi, kemudian dari bentuk tersebut dapat di lihat pergerakan lintasannya [7].

**2.5 Model Pergerakan Harga Minyak Mentah dengan Binomial**

Model ini merupakan salah satu model yang digunakan untuk menentukan harga opsi. Model ini lalu dikembangkan oleh Cox, Ross dan Rubinstein pada tahun 1979, untuk model *Binomial* opsi yang lebih sederhana (u,d,p) dan kemudian dikenal dengan model *Binomial* CRR. Pada dasarnya model ini menggunakan model “discrete-time” yang merupakan basis dari *lattice* yang model harganya bervariasi dari waktu ke waktu berdasarkan instrumen keuangannya [8].

Model *Binomial* ini sendiri dalam penggunaannya dinilai cukup fleksibel, dengan alasan model ini menoleransi penggunaan tipe opsi gaya Eropa maupun opsi Amerika. Dengan begitu nilai opsi bisa didapatkan pada saat kapan saja proyek berlangsung. Dalam penelitian ini digunakan tipe opsi gaya Amerika yaitu opsi yang hak opsinya dapat digunakan dimana saja sepanjang masa hidup opsi berlangsung.

Berikut persamaan model *Binomial* untuk pergerakan harga minyak mentah di pasar, di mana menurut model *Binomial* sederhana, nilai pada node selanjutnya merupakan kemungkinan nilai tersebut dapat naik ataupun turun.



Gambar 2.1 Model pergerakan harga minyak mentah dengan metode Binomial

Dalam melakukan permodelan pergerakan harga minyak mentah, dibagi selang [0,T] menjadi N sub-selang yang sama panjang, dengan nilai yang seragam yaitu masing-masing bernilai Δt. Dengan  $S_{j,i}$  sebagai harga minyak mentah saat bergerak pada  $i\Delta t$  pada titik simpul j, dengan  $i = 0,1,2,\dots,N$  dan  $j = 0,1,2,\dots,i$ .

Untuk model pergerakan harga minyak mentah diskrit, selama waktu  $T$  (*time to maturity*) dimodelkan terjadi perubahan nilai *market* sebanyak  $N$  (terjadi  $N$  selang perubahan), dengan panjang sub selang  $\Delta t = \frac{T}{N}$ . Lalu dimisalkan  $S_0$  sebagai nilai pasar di periode awal dan  $S_{j,i}$  merupakan nilai pasar pada selang ke  $i$  dengan kenaikan sebanyak  $j$ , dimana  $j = 0,1,\dots,i$ . Dengan  $u, d$  dan  $p$  sebagai faktor kenaikan, faktor penurunan dan peluang bahwa perubahan nilai pasar akan mengakibatkan kenaikan, kemudian didapatkan model pergerakan harga minyak mentah diskrit sebagai berikut:

$$S_{j,i} = S_0 u^j d^{i-j} \quad (2.1)$$

Penentuan parameter faktor kenaikan ( $u$ ), penurunan ( $d$ ), dan peluang ( $p$ ) diadopsi dari model *Binomial* CRR yang ditentukan dengan menghubungkan persamaan yang terdapat pada model diskrit dengan persamaan pada model kontinu [9]. Langkah-langkah yang dilakukan adalah dengan menyamakan ekspektasi dan variansi dari masing-masing model diskrit dan model kontinu.

Ekspektasi dalam Model diskrit :

$$E[S_{i+1}] = pS_i u + (1-p)S_i \quad (2.2)$$

Ekspektasi dalam Model kontinu :

$$E[S(t)] = S(0)e^{\mu \Delta t} \quad (2.3)$$

Persamaan yang didapatkan setelah menyamakan kedua model adalah sebagai berikut :

$$pS_i u + (1-p)S_i = S(0)e^{\mu \Delta t} \quad (2.4)$$

Persamaan yang didapatkan untuk variansi dari kedua model adalah sebagai berikut :

Variansi dalam Model diskrit :

$$Var(S_{i+1}) = pS_i u + (1-p)S_i d \quad (2.5)$$

Variansi dalam Model kontinu :

$$Var(S(t)) = S(0)^2 e^{2\mu \Delta t} (e^{\sigma^2 \Delta t} - 1) \quad (2.6)$$

Persamaan yang didapatkan setelah menyamakan kedua model :

$$pS_i u + (1-p)S_i d = S(0)^2 e^{2\mu \Delta t} (e^{\sigma^2 \Delta t} - 1) \quad (2.7)$$

Kemudian persamaan berikutnya didapatkan faktor  $u, d, p$  dengan ketentuan  $u.d = 1$ , diasumsikan bahwa masing-masing perubahan dalam satu *step* memiliki peluang  $S$  dan  $1-S$ , dengan adanya dua kemungkinan yang akan terjadi maka dapat disebut juga dengan *lattice* simetris[14]. Kejadian  $S$  dan  $1-S$  tidak mungkin terjadi bersama-sama, dalam arti bila  $S$  sudah terjadi maka tidak mungkin  $1-S$  terjadi, begitu pula sebaliknya. Dalam peluang kondisi ini disebut dengan kejadian saling lepas. Kemudian diasumsikan bahwa kemungkinan nilai  $S$  yang disimulasikan akan mempunyai variabel acak yang sama dengan nilai  $S_0$ . Dengan kata lain nilai  $S$  mungkin saja tidak berubah. Maka dihasilkan  $u, d, p$  sebagai berikut:

$$u = \beta + \sqrt{\beta^2 - 1} \quad (2.8)$$

$$d = \frac{1}{u} = \beta - \sqrt{\beta^2 - 1} \quad (2.9)$$

$$p = \frac{e^{r \Delta t} - d}{u - d} \quad (2.10)$$

Dimana,  $\beta$  sebagai berikut:

$$\beta = \frac{1}{2} (e^{-r \Delta t} + e^{(r+\sigma^2) \Delta t}) \quad (2.11)$$

Parameter  $p$  kemudian menjadi seperti persamaan di bawah ini, dikarenakan adanya parameter  $q$ , yaitu besarnya dividen dalam persen per tahun.

$$p = \frac{e^{(r-q) \Delta t} - d}{u - d} \quad (2.12)$$

## 2.6 Penentuan Nilai Harga *Undeveloped Project*

Seperti pembahasan sebelumnya pada model pergerakan harga minyak mentah diskrit,  $S_{j,i} = S_0 u^j d^{i-j}$ ,

$j = 0,1, \dots, i$  dimana harga minyak mentah pada saat  $t_i$  jika terjadi sebanyak  $i$  kali perubahan dengan  $j$  kali jumlah kenaikan, yang dihitung dari saat  $t_0 = 0$ . Pada saat masa jatuh tempo ( $t_N$ ),  $N \Delta t = T$ , maka terdapat  $N+1$  kemungkinan harga minyak mentah, yaitu  $S_{jN}, j = 0,1,2, \dots, N$ . Jika  $V_{amjN}, j = 0,1,2, \dots, N$  menyatakan nilai-nilai *payoff* pada saat jatuh tempo yang mungkin akan berpengaruh pada harga minyak mentah saat  $t_N$ , maka harga opsi/*Undeveloped Project* dapat dinyatakan:

$$V_{amjN} = \max\{S_{jN} - K, 0\}, j = 0,1, \dots, N \quad \text{, untuk opsi call} \quad (2.13)$$

Persamaan tersebut dikenal dengan opsi Eropa. Selanjutnya dilakukan dengan penggunaan metode *Binomial* yang bekerja dengan periode mundur, untuk mendapatkan nilai *Undeveloped Project* pada  $t_0$ . Pada prinsipnya adalah mem-*present value*-kan ekspektasi nilai-nilai *payoff* yang mungkin pada saat jatuh tempo hingga waktu di  $t_0$  dengan prinsip *Binomial*. Nilai  $V_{ji}$  diberikan sebagai berikut:

$$V_{ji} = e^{-r \Delta t} (pV_{j+1,i+1} + (1-p)V_{j,i+1}), \quad (2.14)$$

dengan  $j = 0, 1, \dots, i$ ,  $i = N - 1, N - 2, \dots, 0$ .

Selanjutnya pada penentuan harga opsi Amerika dengan menggunakan metode *Binomial* sebenarnya prinsip yang digunakan tidaklah jauh berbeda dengan penentuan harga opsi Eropa *Binomial*. Tetapi terdapat perubahan pada rumusan rekursif yang memungkinkan terjadinya *early exercise*. Sehingga harga opsi Amerika pada saat  $t_i$  dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V_{am_{j,i}} = \max\{\max\{S_{ji} - K, 0\}, e^{-r\Delta t}(pV_{am_{j+1,i+1}} + (1-p)V_{am_{j,i+1}})\},$$

dengan  $j = 0, 1, \dots, i$  (2.15)  
 $i = N - 1, N - 2, \dots, 0$ .

Pada opsi Amerika ini dapat menggunakan model parameter (u,d,p) yang sama digunakan pada opsi Eropa sebelumnya.

## 2.7 Penentuan *Excercise Boundary*

Saat seluruh nilai node-node dari *undeveloped project* telah diketahui, dari kondisi nilai tersebut didapat node mana yang akan termasuk dalam kondisi *stopping* dan yang mana yang termasuk kondisi *continuation*. Kondisi *stopping* adalah kondisi dimana kumpulan calon nilai yang nantinya akan menjadi nilai batas yang baik untuk meng-*excercise* opsi. Sedangkan *continuation* adalah kondisi dimana kumpulan nilai yang sebaiknya tidak dulu di *excercise* atau disebut dengan istilah “wait and see”, tunggu dan lihat sampai berada pada titik yang baik untuk meng-*excercise* opsi (daerah *stopping*). Nilai yang akan digunakan dipertimbangkan dengan ketentuan-ketentuan yang telah diatur pada model *Binomial* untuk menentukan nilai opsi.[13] Dengan kondisi *stopping* dan *continuation* sebagai berikut :

$$\text{stopping} \equiv \{(i, j) \mid V(i, j) = Su^j d^{i-j} - K\} \quad (2.16)$$

$$\text{continuation} \equiv \{(i, j) \mid V(i, j) > Su^j d^{i-j} - K\} \quad (2.17)$$

Dengan,

$$i = 0, 1, 2, 3, \dots, N \quad (\text{banyaknya selang waktu})$$

$$j = 0, 1, 2, 3, \dots, i \quad (\text{banyaknya kenaikan})$$

Setelah diketahui kondisi *stopping* dan kondisi *continuation* dengan selang waktu yang sesuai dengan kondisi selang yang telah ditentukan, maka selanjutnya dihitung kenaikan (i) minimum dari kondisi *stopping* dengan notasi persamaan  $B(i)$

$$B(i) \equiv \min\{j \mid (i, j) \in \text{stopping}\} \quad (2.18)$$

Dengan,

$$i = 0, 1, 2, 3, \dots, N \quad (\text{banyaknya selang waktu})$$

$$j = 0, 1, 2, 3, \dots, i \quad (\text{banyaknya kenaikan})$$

Maka *excercise boundary* pada opsi *call* dengan model *Binomial* dapat di tulis dengan persamaan :

$$S_{B_e}(t = i\Delta t) = Su^{B(i)} d^{i-B(i)} \quad (2.19)$$

Dengan,

$$i = 0, 1, 2, 3, \dots, N \quad (\text{banyaknya selang waktu})$$

$$B(i) = 0, 1, 2, 3, \dots, j \quad (\text{banyaknya kenaikan minimum pada saat } j \text{ dalam kondisi } \text{stopping})$$

## 3. Perancangan Sistem

### 3.1. Data

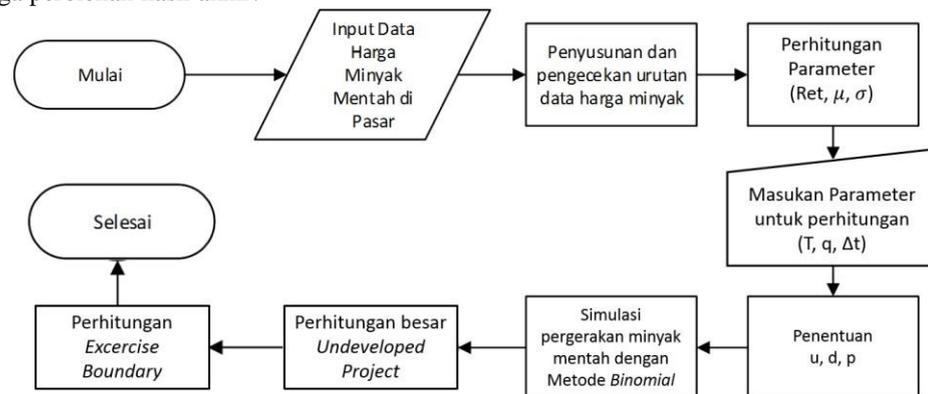
Data yang digunakan adalah data historis dari penelitian yang sebelumnya. Data berupa historis data minyak mentah dalam periode 25 Januari 2006 hingga 19 Februari 2014, data tersebut adalah data harian selama hari kerja dari Senin hingga Jumat dan diambil berdasarkan harga terakhir dalam setiap harinya. Data yang digunakan merujuk pada data harga WTI (*West Texas Intermediate*) dengan satuan USD/Barel sebanyak 2081 data [10].



Gambar 3.1. Data Historis Minyak Mentah

### 3.2. Alur Penyelesaian Permasalahan

Pada penelitian ini akan dilakukan penentuan nilai dari suatu aset riil proyek perminyakan dengan menggunakan model opsi riil melalui pendekatan *Binomial Lattice*. Berikut ditunjukkan alur penyelesaian mulai dari pengerjaan hingga perolehan hasil akhir.



Gambar 3.2 Flowchart Skema Penentuan Harga *Undeveloped Project*

#### 3.2.1 Penyusunan Data

Data diambil penelitian yang sebelumnya, data tersimpan dalam format .xlsx. dan *dataset* tersusun sesuai dengan tanggal, dari tanggal 29 Januari 2006 hingga tanggal 19 Februari 2014, dan dilakukan pengecekan apakah ada *missing value*.

#### 3.2.2 Penentuan Nilai *Return* dan *Expected Return*

Pada tahap ini, dataset sebelumnya yang berisi harga minyak mentah di pasar ( $S_t$ ) kemudian disusun urut dari tanggal terlama hingga data dengan tanggal terbaru. Dalam penentuan nilai *return* ini, inputannya adalah nilai harga minyak mentah di pasar ( $S_t$ ) pada saat  $t$ . Maka dapat dihitung *return* dengan formula:

$$Ret_t = \frac{S_{t+\Delta t} - S_t}{S_t}$$

Dan untuk perhitungan *expected return* dari dataset  $S$  menggunakan formula

$$\mu = E[Ret]$$

#### 3.2.3 Penentuan nilai *return*

Dengan menggunakan *return* yang telah dijelaskan pada poin 3.2.2, kemudian dapat dihitung variansi/volatilitas ( $\sigma$ ) harga minyak mentah dari dataset  $S$  dengan cara dihitung langsung menggunakan fungsi dalam Matlab dengan formula  $\text{std}(Ret)$ .

#### 3.2.4 Pemberian Masukan Parameter

Pada tahap ini, diberikan parameter-parameter yang diperlukan dalam proses perhitungan *Undeveloped Project*, beberapa masukan seperti, lama waktu kontrak atau jatuh tempo ( $T$ ), besar dividen yang dibayarkan ( $q$ ), besar untuk interval harga ( $\Delta t$ ). Parameter yang digunakan dalam proses perhitungan nilai *undeveloped project* adalah sebagai berikut:

1. Harga minyak mentah di pasar ( $S_0$ )
2. *Strike Price* atau harga kesepakatan ( $K$ )
3. Volatilitas ( $\sigma$ )
4. Waktu jatuh tempo ( $T$ )
5. Jumlah sub-selang ( $N$ )
6. *Interest rate* ( $r$ )
7. Pembagian Dividen ( $q$ ).

### 3.2.5 Simulasi Pergerakan Harga Minyak Mentah dengan *Binomial*

Pada tahap ini, harga pasar pada saat  $t=0$  atau  $S_0$  serta nilai-nilai parameter yang telah diberikan seperti jatuh tempo ( $T$ ), Subselang ( $N$ ), Besar Dividen ( $q$ ), Suku bunga bebas risiko ( $r$ ), Volatilitas ( $\sigma$ ), dan  $\Delta\tau$ . Akan digunakan untuk mensimulasikan Pergerakan Pasar Minyak Mentah dengan pendekatan *Binomial*. Dalam melakukan simulasi *Binomial* tahapan dimulai dengan membuat simulasi pergerakan harga minyak mentah diskrit sesuai dengan metode *Binomial* pada persamaan (2.1) yang kemudian akan digunakan dalam penentuan nilai *Undeveloped Project*. Dalam simulasinya digunakan parameter u,d,p seperti pada persamaan (2.8) (2.9) (2.12). Proses dimulai dari penggambaran simulasi secara manual sampai dilakukannya proses simulasi model dengan program.

### 3.2.6 Penentuan Nilai *Undeveloped Project*

Setelah mendapatkan pergerakan harga minyak mentah di pasar, selanjutnya nilai tersebut digunakan untuk perhitungan seperti pada persamaan (2.13) dimana pada persamaan ini, pada simpul terakhir dihitung nilai *payoff*-nya. Hal ini dilakukan terlebih dahulu karena dalam aplikasinya metode *Binomial* untuk penentuan nilai *undeveloped project* harus melihat pada simpul di akhir. Hal ini dikarenakan dalam penentuan nilai *undeveloped project* mengadopsi proses perhitungan mundur dan membutuhkan nilai ekspektasi untuk menghitung nilai simpul-simpul pada waktu sebelum jatuh tempo, yang seperti dituliskan pada persamaan (2.15).

### 3.2.7 Penentuan *Excercise Boundary*

Dengan telah diketahui semua nilai *undeveloped project* untuk setiap waktu maka langkah selanjutnya di cari batas *optimum excercise boundary*-nya. Dengan langkah awal membagi daerah menjadi dua daerah, daerah stopping seperti pada persamaan (2.16) dan daerah kontinu seperti pada persamaan (2.17). Kemudian ditentukan kenaikan minimumnya seperti pada persamaan (2.18). Terakhir didapat nilai *excercise boundary* dengan menggunakan formula seperti pada persamaan (2.19).

## 4 Implementasi dan Analisis Hasil

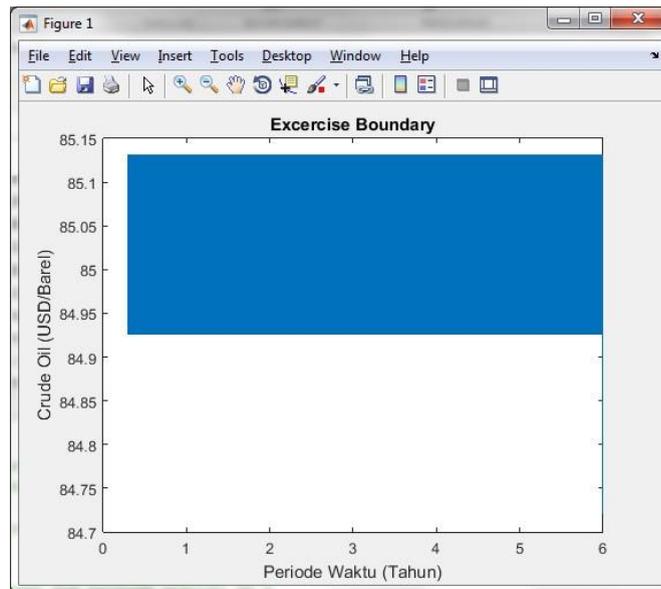
### 4.1 Hasil Perhitungan *Undeveloped Project (Vam)* dengan metode *Binomial*

Setelah mendapat beberapa nilai parameter yang dibutuhkan, langkah berikutnya adalah mulai menghitung nilai *Vam*. Dalam perhitungannya, jika nilai *Vam* saat pertama kali untuk masing-masing simpul menyentuh batas kondisi *payoff* nya, maka pada saat itu termasuk harga batas mulai untuk mengeksekusi (*excercise boundary*). Dimana ketika harga pasar mencapai harga batas ini hingga harga tertinggi pada pasar maka investor dapat mempertimbangkan untuk mengeksekusi ke tahap selanjutnya. Untuk perhitungan nilai *undeveloped project*-nya digunakan parameter seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Parameter Perhitungan *Undeveloped Project*

Parameter	Besar Nilai
r	0.5
$\sigma$	0.0236
T	6
K	85
q	35%
N	1560

Tabel 4.1 adalah tabel parameter untuk perhitungan nilai opsi atau harga *undeveloped project*. Parameter meliputi suku bunga bebas risiko, volatilitas, masa jatuh tempo, harga kesepakatan, besar dividen, serta banyak subselang yang nantinya akan di proses sebagai inputan dalam simulasi pergerakan harga minyak mentah selama 6 tahun dengan metode *Binomial* dan kemudian dihitung nilai *undeveloped project*nya.



Gambar 4.1 Plot Excercise Boundary.  $S_0 = 102.56$ ,  $r = 0.5$ ,  $\sigma = 0.0236$ ,  $T = 6$ ,  $N = 1560$ ,  $K = 85$ ,  $q = 35\%$

Pada Gambar 4.1 dengan waktu eksekusi selama 4.48 detik didapatkan nilai *undeveloped project* sebesar 17,56. *Excercise boundary* yang terbentuk berada pada rentang nilai kisaran 84.93 sampai 85.13 USD/Barel. Nilai terus berada pada rentang tersebut hingga hampir menyentuh jatuh tempo. Dimana dengan pemberian parameter banyaknya subselang sebesar 1560 mewakili banyaknya hari kerja dalam 6 tahun. Kemudian dari *excercise boundary* yang terbentuk dapat dilihat daerah mana yang menjadi batas aman untuk mengeksekusi proyek, yaitu mulai dari daerah arsir yang berwarna biru serta daerah yang berada di atasnya (*stopping*), lalu untuk daerah yang berada pada bawah arsir merupakan wilayah *continuu*.

#### 4.2 Hasil Perhitungan Undeveloped Project (Vam) dengan metode *Binomial* untuk beberapa asumsi $S_0$

Selanjutnya dilakukan percobaan untuk beberapa asumsi masukan pada nilai  $S_0$ . Dengan langkah-langkah percobaan yang sama hingga nantinya masuk dalam perhitungan *undeveloped project*. Namun untuk beberapa parameter diasumsikan seperti pada tabel berikut. Digunakannya asumsi tersebut dengan maksud untuk membandingkan metode *Binomial* dengan metode *Crank-Nicolson* seperti pada penelitian sebelumnya[3]. Untuk perhitungannya, digunakan parameter-parameter seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Parameter Perhitungan Undeveloped Project untuk Beberapa Asumsi  $S_0$

Parameter	Besar Nilai
r	0.5
$\sigma$	0.0236
T	6
K	85
q	35%
N	6000
$\Delta t$	0.001

Tabel 4.2 adalah tabel parameter untuk perhitungan nilai opsi atau harga *undeveloped project* yang nantinya akan di proses sebagai inputan dalam simulasi pergerakan harga minyak mentah selama beberapa tahun kedepan dengan metode *Binomial* dan kemudian dihitung nilai *undeveloped projectnya*

##### 4.2.1 Perhitungan Undeveloped Project untuk beberapa $S_0$

Selanjutnya akan dilakukan simulasi untuk beberapa asumsi sebagai inputan  $S_0$  melihat seperti penelitian sebelumnya[3]. Kemudian dilihat harga *Undeveloped Project* pada saat 0 ( $V_{am0}$ ) pada masing-masing t. Berikut plot data yang akan digunakan sebagai inialisasi harga minyak mentah di pasar.

Setelah dilakukan inialisasi parameter dan didapatkan nilai return serta volatilitas, langkah selanjutnya dilakukan perhitungan u,d,p yang nantinya digunakan untuk mensimulasikan pergerakan harga minyak mentah di pasar, setelah mensimulasikan harga pasar menurut metode *Binomial*, kemudian dapat dihitung nilai *Undeveloped Project* (Vam).

Dari pengujian kemudian menggunakan masukan beberapa parameter, jika dilihat dari penelitian sebelumnya, dengan studi kasus yang sama dengan penulis, dengan menggunakan pendekatan *Black-Scholes* dengan metode *Crank-Nicolson*, dengan itu jika dibandingkan dengan penelitian penulis di dapatkan perbandingan *Undeveloped Project* sebesar sebagai berikut

**Tabel Error! No text of specified style in document..3: Tabel Hasil Undeveloped Project (t=0 dan t=1)**

Harga Pasar (USD/Barel)	<i>Crank-Nicolson</i> t=0	Undeveloped Project Binomial t=0	<i>Crank-Nicolson</i> t=1	Undeveloped Project Binomial t=1
0	0.000	0.000	0.000	0,000
0.04843	5.93e-323	0.000	0.000	0,000
0.09686	1.764e-319	0.000	0.000	0,000
49.68	1.868	1.152E-89	1.657	2.49E-94
60	3.511	8.657E-59	3.507	8.03E-62
83.832333	10.651	0.000450579	10.651	0.000323445
85	11.149	0.083113067	11.149	0.0788441
121.60773	36.608	36.608	36.608	36.608
122.47947	37.479	37.479	37.479	37.479
123.39964	38.400	38.400	38.400	38.400
125.53056	40.531	40.531	40.531	40.531
127.66148	42.661	42.661	42.661	42.661
129.7924	44.792	44.792	44.792	44.792
131.92332	46.923	46.923	46.923	46.923
279.05366	192.746	194.054	211.846	194.054
290.58	286.348	205.580	283.603	205.580

**Tabel Error! No text of specified style in document..4: Tabel Hasil Undeveloped Project (t=3, 5 dan 6)**

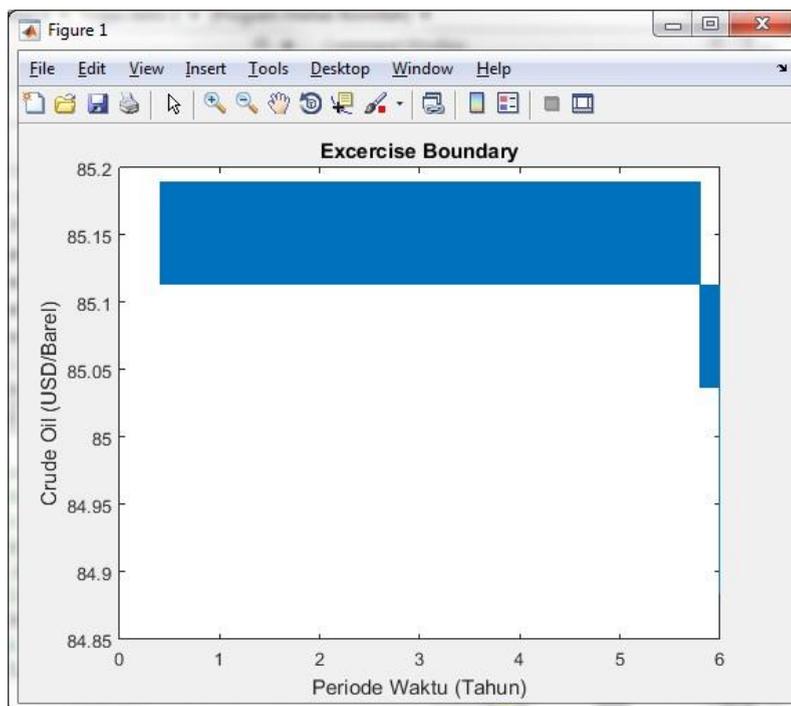
Harga Pasar (USD/Barel)	<i>Crank-Nicolson</i> t=3	Vam/ Undeveloped Project t=3	<i>Crank-Nicolson</i> t=5	Vam/ Undeveloped Project t=5
0	0.000	0	0.000	0
0,04843	0.000	0	0.000	0
0,09686	0.000	0	0.000	0
49,68	0.005	9,05E-107	0.000	4,97E-176
60	2.034	5,69E-69	0.000	1,51E-93
83,832333	10.651	0,000151809	7.521	5,91E-05
85	11.149	0,070540869	8.340	0,062148492
121,60773	36.608	36,608	36.608	36,608
122,47947	37.479	37,479	37.479	37,479
123,39964	38.400	38,400	38.400	38,400
125,53056	40.531	40,531	40.531	40,531
127,66148	42.661	42,661	42.661	42,661
129,7924	44.792	44,792	44.792	44,792
131,92332	46.923	46,923	46.923	46,923
279,05366	236.042	194,054	244.943	194,054
290,58	271.614	205,580	239.025	205,580

Harga Pasar (USD/Barel)	Crank-Nicolson t=6	Vam/ Undeveloped Project t=6
0	0.000	0
0,04843	0.000	0
0,09686	0.000	0
49,68	0.000	0
60	0.000	0
83,832333	0.000	0
85	0.000	0
121,60773	36.608	36,608
122,47947	37.479	37,479
123,39964	38.400	38,400
125,53056	40.531	40,531
127,66148	42.661	42,661
129,7924	44.792	44,792
131,92332	46.923	46,923
279,05366	192.746	194,054
290,58	205.580	205,580

= Harga undeveloped project pertama kali menyentuh harga batas mulai eksekusi (boundary exercise) untuk metode Crank-Nicolson berdasarkan observasi.

= Harga batas saat harga tertinggi pasar berdasarkan observasi sebelumnya.

Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 adalah hasil perhitungan harga undeveloped project di harga pasar tertentu pada saat  $t = 0, t = 1, t = 3, t = 5, t = 6$ . Dapat dilihat nilai opsi yang diberikan model Binomial memiliki kesamaan dengan hasil yang diberikan oleh model Crank-Nicolson ketika harga pasar menyentuh nilai 121.60773 USD/Barel. Dimana hasil dari model Binomial yang diberikan tidak memberikan pengaruh yang signifikan untuk pemberian parameter  $t$ , dimana untuk berapapun  $t$  Binomial tetap memberikan hasil yang sama, ketika nilai pasar menyentuh 121,60773, atau menurut dalam observasi untuk metode Crank-Nicolson, harga pasar tersebut adalah saat dimana harga undeveloped project pertama kali menyentuh harga batas mulai eksekusi atau di sebut juga dengan exercise boundary.



Gambar 4.2 Sampel exercise boundary pada skenario  $S_0=123.39964$  dengan  $r = 0.5, \sigma = 0.0236, T = 6, K = 85, q = 35\%, \Delta t = 0.001, N = 6000$

Pada Gambar 4.3 dengan  $V_{am} = 38,3996$  dan waktu eksekusi 233.63 detik, terdapat *exercise boundary* yang menggambarkan batas layak eksekusi pada rentang harga pasar tertentu. Dapat di lihat dari gambar, batas baru muncul setelah beberapa lama dari waktu inisialisasi awal (antara tahun ke 0 sampai 1) dan kemudian berada pada rentang harga pasar berkisar dari 85.1 sampai kurang dari 85.2. Kemudian tetap terus berulang hingga hampir mencapai jatuh tempo (tahun ke 6). Terlihat pada nilai *exercise boundary* jika semakin mendekati jatuh tempo, maka nilainya akan semakin mendekati nilai kesepakatannya (K).

## 5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Dengan melalui teori opsi riil, dapat dibentuk model untuk penentuan nilai suatu proyek perminyakan, yang mana dalam penelitian ini sebagai harga *undeveloped project* pada proyek perminyakan.
2. Waktu perhitungan hasil harga *undeveloped project* dengan metode *Binomial* terbilang cepat dengan rata-rata 1.2 detik untuk 1000 subselang dan 244.9 detik untuk 6000 subselang, hal ini didukung dengan komputasi yang cukup sederhana dalam mensimulasikan pergerakan harga pasar, yaitu dengan hanya menghasilkan dua kemungkinan disetiap langkahnya.
3. Metode *Binomial* tidak dapat dikatakan presisi dalam menghitung *exercise boundary*, hal ini terbukti ketika batas yang terbentuk terlalu melebar, dan cenderung loncat dari satu node ke node didekatnya dikarenakan batas yang sebenarnya berada tepat di antara node-node tersebut.
4. Dapat disimpulkan dari beberapa percobaan dengan mensimulasikan dan mengubah-ubah nilai parameter mulai dari  $r$ ,  $\sigma$  serta  $N$ , nilai batas cenderung tidak langsung terbentuk pada saat  $t=0$  melainkan terdapat beberapa waktu jeda hingga akhirnya memasuki *exercise boundary*. Namun tidak menutup kemungkinan dengan kombinasi parameter lainnya nilai *exercise boundary* akan berada pada saat  $t=0$ .
5. Semakin tinggi nilai harga pasar, maka akan semakin tinggi harga *undeveloped project*, dan jika semakin rendah harga pasar, maka semakin rendah pula harga opsi atau *undeveloped projectnya*.
6. Semakin besar nilai volatilitas ( $\sigma$ ), maka semakin besar nilai *exercise boundary*.
7. Semakin besar suku bunga bebas risiko ( $r$ ), semakin kecil nilai *exercise boundary*.
8. Semakin besar nilai subselang ( $N$ ) yang diberikan akan semakin kecil rentang antara nilai pada *exercise boundary*.

## Daftar Pustaka:

- [1] Biro Riset LM FEUI, 2009. [Online]. Available: <http://www.lmfeui.com/data/Analisis%20Industri%20Minyak.pdf>.
- [2] H. Nakaoka, "Valuing Real Options On Oil & Gas Exploration & Production Projects," 2006.
- [3] B. A. Firgiawan, "Permodelan Kasus Opsi Riil Pada Proyek Perminyakan dengan Pendekatan Black-Scholes," 2014.
- [4] W. Partowidagdo, 18 Agustus 2011. [Online]. Available: <http://widjajonopartowidagdo.blogspot.in/2011/08/production-sharing-contract-psc-dan.html>. [Diakses 26 Oktober 2014].
- [5] Explore Real Options, 8 September 2008. [Online]. Available: <http://explorerealoptions.com/aplikasi-real-options-untuk-menilai-cadangan-minyak-di-indonesia/>. [Diakses 26 Oktober 2014].
- [6] Y. M dan B. W, Modelling Investment Risk and Uncertainties With Real Options Approach, Paris, International Energy Agency Working Paper Series (IEA), 2007.
- [7] A. J. Triantis, "Generating a Binomial Tree," dalam *Real Options*, New York, Research Institute of America, 2003, p. 12.
- [8] J. C. Cox, S. A. Ross dan M. Rubinstein, Option pricing: A simplified approach, *Journal of Financial Economics*, 1979.
- [9] Higham. Desmon J, An Introduction to Financial Option Valuation, Cambridge University Press, 2004.
- [10] investing, "Crude Oil Historical Data," 2014. [Online]. Available: <http://www.investing.com/commodities/crude-oil-historical-data>. [Diakses 20 Oktober 2014].
- [11] Dias M.A.G, 1996, *Dissertation "Investment Under Uncertainty in E&P of Petroleum"*, Rio De Janeiro, Pontifical Catholic University of Rio De Janeiro.  
Diakses melalui sumber : [www.marcoagd.usuarios.rdc.puc-rio.br/petmodel.html](http://www.marcoagd.usuarios.rdc.puc-rio.br/petmodel.html)  
Kunjungan situs pada : 10 Agustus 2015, 11:06
- [12] McDonald R.I, 2009, *Fundamentals of Derivatives Market*, United States, Northwestern University, Prentice Hall.
- [13] Joon Kim, I, dan Suk Joon Byun 1994. Optimal Exercise Boundary in a Binomial Option Pricing Model. *The Journal of Financial Engineering*, vol.3, no.2, pp.137-158
- [14] Khan, S. (2011, 10). Binomial Option Pricing Tutorial and Spreadsheets. Retrieved from invest excel:

<http://investexcel.net/binomial-option-pricing-excel/>  
Kunjungan situs pada : 2 Agustus 2015, 00:52