

APLIKASI METODE EVALUASI EKONOMI *REAL OPTION* PADA RENCANA INVESTASI *SMELETER NICKEL PIG IRON*

¹⁾**Michael Kelvin Eddy Husin***, ²⁾**Aryo Prawoto Wibowo**, ²⁾**Fadhlila Achmadi Rosyid**

¹⁾ Fakultas Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung.,

²⁾ Fakultas Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung

Centre of Research Excellence Policy and Economics of Minerals & Coal.

*E-mail: michael.kelvin@students.itb.ac.id

ABSTRAK

Industri ekstraksi logam terus membutuhkan proses yang lebih baik dengan tujuan meningkatkan keuntungan ekonomi dan ramah lingkungan. Secara umum reduksi selektif dapat mencapai efisiensi proses yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode ekstraksi nikel yang banyak dipakai seperti *Rotary Kiln-Electric Furnace* (RKEF) maupun *blast furnace*. Pemanfaatan bijih nikel laterit *low grade* yang efisien dan menguntungkan dinilai sangat penting. *Nickel Pig Iron* (NPI) merupakan sebuah variasi dari produk feronikel. NPI sendiri memiliki ciri khas kadar nikel yang rendah dan kadar besi yang tinggi dibandingkan dengan produk feronikel lainnya. Kegiatan pertambangan memerlukan waktu yang lama dan resiko yang besar dalam pengembalian investasinya. Hal ini disebabkan oleh besarnya nilai investasi yang diperlukan dan adanya faktor ketidakpastian ekonomi yang tinggi. Pada penelitian ini, faktor ketidakpastian ekonomi yang tinggi terutama disebabkan oleh pergerakan harga komoditas nikel. Metode *Real Option* dapat menyesuaikan faktor ketidakpastian tersebut dengan cara menilai aset dengan turut menghitung pengembalian dari aset nyata atau melindungi nilai aset tersebut saat terjadi hal yang negatif atau merugikan, sebagai contoh turunnya harga nikel. Hasil analisa *real option* menyatakan bahwa investasi ini layak dan menguntungkan dengan nilai opsi (NPV strategis) sebesar \$380.165.046,94 dan *option premium* sebesar \$187.154.405,56.

Kata kunci: *real option*, evaluasi ekonomi, investasi, *smelter*, *nickel pig iron*

ABSTRACT

The metal extraction industry is always in need of a better processing method to increase its economic benefit and to be more environmental friendly. Generally, the selective reduction method can achieve higher efficiency compared to other commonly used nickel extraction method such as Rotary Kiln-Electric Furnace and blast furnace. The utilization of low grade lateritic nickel ore that is efficient and profitable is regarded as very important. Nickel Pig Iron (NPI) is a variation of ferronickel product. NPI has a characteristic of containing low nickel content and high iron content compared to other ferronickel products. The mining industry is known for its uncertainty and the need of a long time for the return of investment. The amount of investment involved is high while there is also a high degree of economic uncertainty. The high degree of uncertainty is caused by the changes of the commodity price. Real option is an investment evaluation method that will value the return of tangible assets when uncertain things happen, such as the change of the commodity price. The result of the real option valuation revealed that this investment is feasible and profitable with the option value (Strategic NPV) of \$428.169.721 and an option premium value of \$197.661.486.

Keywords: *real option*, *economic evaluation*, *investment*, *smelter*, *nickel pig iron*

A. PENDAHULUAN

Industri ekstraksi logam terus membutuhkan proses yang lebih baik dengan tujuan meningkatkan keuntungan ekonomi dan ramah lingkungan. Inovasi pada bidang ini terus menerus dilakukan, ditandai dengan hadirnya peralatan, aditif, dan metode ekstraksi nikel yang baru (Pickles, Forster and Elliott, 2014).

Reduksi selektif sendiri bukan merupakan istilah yang baru dalam bidang ekstraksi nikel. Proses ini mempunyai kemampuan untuk secara spesifik mereduksi unsur-unsur tertentu dengan efisien. Hal ini biasanya dicapai dengan menggunakan kombinasi proses khusus (seperti teknik pemisahan lainnya) dan aditif. Oleh karena itu, secara umum reduksi selektif dapat mencapai efisiensi proses yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode ekstraksi nikel yang banyak dipakai seperti *Rotary Kiln-Electric Furnace* (RKEF) maupun *blast furnace* (Zhu et al., 2019).

Pemanfaatan bijih nikel laterit low grade yang efisien dan menguntungkan dinilai sangat penting. Sejauh ini, bijih nikel laterit low grade sendiri paling banyak digunakan hanya sebagai campuran untuk bijih nikel laterit *high grade* maupun *medium grade* (Soedarsono et al., 2013).

Dengan adanya sebuah proses baru yang dapat mengolah bijih nikel laterit low grade secara efisien serta memberikan keuntungan ekonomi yang signifikan, diharapkan pemanfaatan bijih nikel laterit low grade dapat menjadi lebih baik dan menarik para investor industri tambang. Hal ini juga diharapkan dapat membantu memenuhi peraturan menteri ESDM no.5/2017 terkait nilai tambah hasil tambang.

Produk nikel yang diajukan untuk diproduksi oleh proses reduksi selektif yang dibahas pada penelitian ini adalah *Nickel Pig Iron* (NPI) dengan kadar nikel sebesar 5,1 wt.%. NPI sendiri merupakan salah satu jenis produk feronikel yang memiliki cirri kadar nikel yang lebih rendah dari produk feronikel lainnya. NPI memiliki peran penting sebagai bahan baku utama pada proses manufaktur besi baja. Hal ini ditandai oleh terus meningkatnya produksi NPI dunia seiring dengan terus meningkatnya juga produksi besi baja dunia.

Agar dapat diadopsi oleh industri nikel, proses reduksi selektif harus membuktikan bahwa implementasinya dapat memberikan keuntungan ekonomi yang lebih besar dibandingkan dengan proses yang lazim digunakan untuk produksi NPI khususnya di Indonesia, yaitu proses RKEF. Namun, evaluasi ekonomi yang dilakukan harus menyertakan pergerakan harga komoditas nikel agar keputusan investasi dapat diambil dengan lebih akurat (Haryadi, 2018).

Pada penelitian ini, metode *real option analysis* akan digunakan untuk evaluasi ekonomi pada rencana investasi pembangunan smelter dengan metode reduksi selektif. *Real option* dipilih karena metode ini dapat digunakan untuk penilaian investasi yang memiliki komponen yang bersifat volatile seperti fluktuasi harga komoditas yang ekstrim dan perubahan drastis pada kurva *supply-demand*. Dalam 10 tahun terakhir, harga logam nikel yang diperdagangkan melalui *London Metal Exchange* (LME) dapat bergerak sampai 70%.

Pada akhirnya, hasil dari evaluasi ekonomi yang dilakukan dalam penelitian ini akan digunakan untuk menjadi dasar penilaian ekonomi mengenai layak atau tidaknya penggunaan metode reduksi selektif pada *smelter* NPI.

B. METODOLOGI PENELITIAN

Perubahan harga logam nikel akan mempengaruhi harga jual bijih nikel laterit yang akan digunakan pada proses produksi. Analisa *discounted cash flow* (DCF) dilakukan untuk harga LME nikel yang berbeda, sehingga diperoleh nilai NPV yang berbeda pula. Dalam penelitian ini, digunakan harga nikel 10 tahun terakhir.

Setelah analisa DCF dilakukan, langkah berikutnya untuk melakukan analisa *real option* adalah variasi dari nilai NPV untuk mendapatkan parameter nilai volatilitas, *drift rate*, *growth rate*, *rising rate*, dan *decline rate*. Parameter-parameter ini diperlukan untuk pemodelan pohon binomial. Pada akhirnya pemodelan pohon binomial dilakukan untuk mendapatkan nilai opsi dari masing-masing rencana investasi smelter NPI.

C. LANDASAN TEORI

Nickel Pig Iron (NPI) merupakan sebuah variasi dari produk feronikel. NPI sendiri memiliki ciri khas kadar nikel yang rendah dan kadar besi yang tinggi dibandingkan dengan produk feronikel lainnya. Keunggulan dari NPI adalah harganya yang lebih murah dibandingkan produk feronikel pada umumnya. Hal ini membuat NPI banyak dipakai di industri besi baja, dimana dibutuhkan bahan baku dengan kadar nikel yang rendah dan kadar besi yang tinggi. Seiring dengan terus meningkatnya produksi besi baja dunia, produksi NPI juga akan terus mengalami peningkatan.

Proses produksi NPI hanya membutuhkan bijih nikel *low grade*. Hal ini dinilai menguntungkan karena sejauh ini bijih nikel *low grade* mayoritas hanya dimanfaatkan sebagai pencampur bijih nikel medium dan *high grade*. Pemanfaatan bijih nikel *low grade* yang lebih baik akan memberikan keuntungan yang lebih banyak bagi investor di bidang tambang dan juga dapat dilihat sebagai peluang usaha baru. Hal ini selaras dengan peraturan menteri ESDM no. 05/2017 terkait nilai tambah.

Di Indonesia sendiri sudah terdapat beberapa smelter NPI. Fasilitas-fasilitas pengolahan tersebut menggunakan proses *Rotary Kiln-Electric Furnace* (RKEF), sebuah proses yang biasa digunakan untuk menghasilkan produk feronikel. Namun, proses RKEF sendiri tidak efisien dan kurang ekonomis bila digunakan untuk mengolah bijih nikel *low grade* (Norgate and Jahanshahi, 2011). Hal ini dapat berujung pada inefisiensi pemanfaatan bijih nikel *low grade*. (Keskinkilic, 2019).

Selain proses RKEF, secara teoritis proses reduksi selektif dapat menjadi alternatif untuk mengolah bijih nikel *low grade*. Proses reduksi selektif adalah metode reduksi yang bisa lebih akurat mereduksi unsur yang tidak diinginkan. Alur metode reduksi selektif yang akan digunakan terbukti bisa memanfaatkan bijih nikel *low grade* dengan efisien. Proses reduksi selektif dan pemisahan magnetik dengan grafit, silika, dan kalsium sulfat telah terbukti dapat memproduksi NPI dengan kandungan nikel mencapai 5 wt.% dan memiliki nilai *recovery* 95,9%. (D. Zhu, Pan, Guo, Pan, & Zhang, 2019).

Dalam penlitian ini dilakukan evaluasi keekonomian terhadap pembangunan *smelter* nikel dengan metode reduksi selektif. Pada akhirnya, hasil dari evaluasi ekonomi akan dijadikan landasan keputusan apakah pembangunan *smelter* NPI dengan metode reduksi selektif layak untuk dilakukan.

C.1. Analisis *Discounted Cash Flow*

Analisis *Discounted Cash Flow* (DCF) adalah sebuah metode konvensional untuk mengevaluasi proyek berdasarkan indikator *Net Present Value* (NPV). Metode ini hanya mempertimbangkan satu

harga jual komoditas yang tetap sebagai acuan. NPV diperoleh dari aliran kas yang didiskon menggunakan *cost of capital*, yang dinyatakan dalam persen (Topal, 2008).

Analisis DCF membandingkan nilai proyek terhadap investasi tanpa mempertimbangkan risiko. Padahal, usaha tambang mengandung risiko ekonomi yang sangat besar, terutama karena harga komoditas yang terus berubah-ubah. Hal ini merupakan kelemahan terbesar pada metode DCF. NPV dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

(1) Keterangan :

CF_t : Aliran kas tahun ke t

I : *Discount rate/Cost of Capital*

K : Biaya kapital/Investasi

C.2. Metode *Real option*

Industri pertambangan adalah sebuah industri yang padat modal. Industri ini juga memerlukan waktu yang lama dan resiko yang besar dalam pengembalian investasinya. Namun, karakteristik tersebut juga yang membuat industri pertambangan memiliki nilai pengembalian investasi yang sangat baik jika dibandingkan dengan industri – industri lainnya.

Resiko yang besar dalam industri pertambangan merupakan kombinasi dari beberapa faktor yang tidak bisa ditentukan nilainya secara pasti dari awal, salah satu contohnya adalah harga jual logam nikel. Oleh karena itu, investasi yang akan dilakukan dalam industri pertambangan harus dievaluasi secara menyeluruh. Dengan begitu, risiko ekonomi dapat diantisipasi dan kerugian ekonomi dapat dihindari. (Zhang, Nieto and Kleit, 2015).

Real option merupakan sebuah metode yang menggunakan teknik penilaian opsi untuk membantu dalam pengambilan keputusan investasi. *Real option* bisa mengakomodasi faktor ketidakpastian yang terlibat dalam sebuah skema investasi, sebagai contoh turunnya harga pasaran nikel. Fleksibilitas yang ditawarkan oleh real option sangat berguna untuk melakukan penilaian investasi di industri pertambangan yang memiliki beberapa faktor penentu dengan tingkat volatilitas yang tinggi seperti nilai tukar mata uang dan permintaan komoditas (Slade, 2001).

Metode *real option* membutuhkan 5 parameter utama dalam perhitungannya. Pertama, nilai dari aset pokok yang merupakan jumlah dari *Net Present Value* dan biaya kapital. Kedua, *strike price* yang merupakan biaya kapital yang dibutuhkan oleh suatu proyek pertambangan. Ketiga, periode atau umur dari proyek pertambangan. Keempat, nilai volatilitas yang merupakan nilai dari risiko ekonomi karena perubahan harga komoditas. Kelima, laju pengembalian tanpa risiko sebagai pembanding tingkat pengembalian yang ingin diperoleh atau *risk free rate*.

Nilai volatilitas didapatkan dengan menghitung laju pertumbuhan (*growth rate*) NPV. Laju pertumbuhan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2). Rata-rata laju pertumbuhan tersebut disebut *drift rate* yang akan digunakan untuk perhitungan nilai volatilitas. Perhitungan volatilitas NPV dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (3) berikut ini.

Keterangan:

- | | |
|-------------|---|
| n | :Jumlah data |
| σ | :Standar deviasi (volatilitas NPV) |
| Ui | :Laju pertumbuhan (growth rate) |
| \bar{U}_t | :Rata-rata laju pertumbuhan (<i>drift rate</i>) |

C.3. Pohon binomial

Metode pemodelan pohon binomial adalah sebuah teknik pengolahan data investasi tanpa mempertimbangkan resiko (Dehghani, Ataee-pour and Esfahaniipour, 2014). Pemodelan pohon binomial adalah sebuah teknik penilaian opsi yang bersifat *continuous* dan dapat digunakan dalam analisa *real option*. Nilai opsi dapat dihitung menggunakan persamaan (4) berikut ini:

Dimana faktor eksponensial e^{rT} menunjukkan penambahan dalam laju yang bersifat *continuous*. Sedangkan untuk p, u, dan d yang juga bersifat *continuous* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5), (6), dan (7).

Keterangan :

- σ : Volatilitas NPV
 T : Periode
 R : *Risk Free Rate*

D. DATA DAN SIMULASI

Data yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada data pembangunan *smelter* NPI PT. XYZ yang menghasilkan NPI dengan kandungan nikel sekitar 2% PT. XYZ menggunakan metode produksi RKEF. Pada penelitian ini, evaluasi ekonomi dilakukan pada skema investasi pembangunan *smelter* NPI pada lokasi yang sama dengan PT. XYZ. Kapasitas pengolahan yang akan dipakai pada evaluasi ekonomi ini juga merupakan kapasitas pengolahan riil yang dimiliki oleh *smelter* pada PT. XYZ. Produk yang akan dihasilkan oleh *smelter* yang akan dievaluasi pada penelitian ini adalah NPI 5,1%.

Oleh karena PT. XYZ memproduksi NPI dengan kadar nikel 2%, dilakukan perhitungan kapasitas produksi untuk skema reduksi selektif dengan persamaan (8).

Keterangan :

C = massa konsentrat

c = konten unsur dalam konsentrat

F = massa feed

$f = \text{kandungan unsur dalam feed}$

$$95\% = 100 \times \left[\frac{C \times 5,1\%}{805.153 \times 0.9\%} \right]$$

Didapatkan kapasitas produksi untuk proses reduksi selektif sebesar 134.981 ton. Namun, data dari PT. XYZ juga menyebutkan bahwa kapasitas tersebut hanya akan terpakai sebanyak 82,694%. Hal ini dikarenakan waktu stop operasi dari hari libur maupun yang disebabkan oleh hal-hal tidak terduga.

Dengan didapatkannya data investasi smelter NPI serupa dari perusahaan PT. XYZ dan keperluan kapasitas pengolahan dari skema produksi reduksi selektif, maka biaya investasi untuk skema investasi tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Biaya investasi smelter NPI reduksi selektif

No	Item	Budget for 8 Lines Electric Furnace
Engineering		
	Reduction system	
	10 tph briquetting machine	\$971.840,00
	10 tph industrial paddle mixer	\$460.000,00
	10 tph ball mill	\$1.440.000,00
	10 tph fine crushing ball mill 200 mesh	\$960.000,00
1	electric arc furnace 25 m3	\$18.000.000,00
	electric arc furnace 50 m3	\$36.000.000,00
	Drum high intensity magnetic separator 10 tph	\$108.000,00
	Environmental Production	\$11.428.560,00
	Refined product warehouse	\$3.142.856,00
	Raw material workshop	\$3.057.140,00
	Sub Total (1)	\$75.568.396,00
Auxiliaries for improvement		
2	Crushing, screening, MS equipment	\$3.809.520,00
	Material handling	\$3.809.520,00
	Lab. Sample preparation equipment	\$861.904,00
	Wire, cables, other	\$7.619.052,00
	Copper sleeve, engine oil, hydraulic oil	\$1.269.840,00
	Pump, valves, standard equipment	\$2.904.760,00
	High & low power distribution equipment	\$7.619.048,00
	Sub Total (2)	\$27.893.644,00
Others		
3	Land expenses	\$164.304,00
	Construction management fee	\$183.000,00
	Join comissioning fee	\$693.000,00
	Office and living furniture	\$110.000,00
	Staff training cost	\$256.000,00
	Project management fee	\$1.096.000,00
	Survey and design	\$142.800,00
	Infrastructure	\$1.612.000,00
	Heavy equipment for operation	\$4.093.744,00
	Vehicle for operation	\$1.129.496,00
	Sub Total (3)	\$9.480.344,00
	Total investment cost (1) + (2) + (3)	\$112.942.384,00

Selanjutnya, dilakukan perhitungan biaya produksi untuk metode produksi reduksi selektif dengan rincian yang dapat diamati pada tabel 2.

Tabel 2. Biaya produksi *smelter* NPI reduksi selektif

Komponen biaya	Presentase terhadap biaya	
	total	Jumlah
Biaya bijih nikel	7,00%	\$5.992.326,00
Biaya listrik	41,48%	\$35.518.090,11
Biaya bahan habis pakai	8,97%	\$7.681.777,60
Biaya aditif	5,97%	\$5.115.283,20
Biaya maintenance	11,45%	\$9.805.162,83
Biaya tenaga kerja	13,87%	\$11.877.435,02
Biaya administrasi dan handling	11,25%	\$9.628.566,20
	Total	\$85.618.640,96

Pengeluaran modal investasi smelter akan terjadi pada tahun 0. Tahun tersebut akan digunakan untuk konstruksi *smelter*. Belum ada kegiatan produksi maupun penjualan pada tahap konstruksi yang berjung pada tidak adanya pendapatan. Aliran kas tahun 0 dapat diamati pada tabel 3.

Tabel 3. Aliran kas tahun 0 *smelter* NPI reduksi selektif

No	Komponen kas	Jumlah
1	Penerimaan	\$0,0
3	<i>Capital expenditure</i>	\$112.942.384,0
5	Aliran kas bersih (1)-(2)	-\$112.942.384,0

Pada 3 bulan pertama dari tahun pertama operasi *smelter*, dilakukan operational break in period di mana kapasitas produksi hanya akan dipakai sebesar 60%. Aliran kas tahun pertama juga akan dibebani oleh modal kerja yang diperlukan sampai hasil penjualan dapat menutupi biaya produksi. Harga jual dari produk NPI yang dipakai merupakan hasil dari perhitungan dengan aturan penjualan produk nikel kementerian ESDM. Aliran kas tahun pertama dari smelter dapat diamati pada tabel 4. Pada tahun ini juga akan dimulai pembayaran *principle payment* ke bank yang disertai bunga.

Tabel 4. Aliran kas tahun 1 *smelter* NPI reduksi selektif

No	Komponen kas	Jumlah
1	Penerimaan	\$133.596.112,9
2	Biaya Operasi	\$78.185.422,8
3	Bunga pinjaman bank	\$3.371.330,2
4	Depresiasi	\$7.181.708,2
5	Pendapatan bersih sebelum pajak (1)-(2)-(3)-(4)	\$44.857.651,8
6	Pajak pendapatan 25% x (5)	\$11.214.412,9
7	Pendapatan bersih sesudah pajak (5)-(6)	\$33.643.238,8
8	Modal kerja	\$4.739.549,1
9	Pengembalian hutang	\$6.776.543,0
10	<i>Add back</i> depresiasi	\$7.181.708,2
11	Aliran kas bersih (7)-(8)-(9)-(10)	\$14.945.438,5

Aliran kas tahun ke-2 sampai tahun ke-5 *smelter* dapat diamati pada tabel 5. Pada masa ini, aliran kas masih akan mengakomodasi pembayaran hutang beserta bunganya ke bank. Masa peminjaman 5 tahun akan berakhir pada tahun ke-5 operasi *smelter*.

Tabel 5. Aliran kas tahun 2-5 *smelter* NPI reduksi selektif

No	Komponen kas	Jumlah
1	Pendapatan	\$157.771.697,6
2	Biaya Operasi	\$86.872.692,0
3	Depresiasi	\$7.181.708,2
4	Bunga pinjaman bank	\$3.371.330,2
5	Pendapatan bersih sebelum pajak (1)-(2)-(3)-(4)	\$60.345.967,3
6	Pajak pendapatan 25% x (5)	\$15.086.491,8
7	Pendapatan bersih sesudah pajak (5)-(6)	\$45.259.475,5
8	Pengembalian hutang	\$6.776.543,0
9	<i>Add back</i> depresiasi	\$7.181.708,2
10	Aliran kas bersih (7)-(8)-(9)	\$31.301.224,2

Setelah masa pembayaran hutang berakhir, aliran kas *smelter* akan kembali mengalami perubahan. Aliran kas tahun 6-20 dapat diamati pada tabel 6.

Tabel 6. Aliran kas tahun 6-20 *smelter* NPI reduksi selektif

No	Komponen kas	Jumlah
1	Pendapatan	\$157.771.697,6
2	Biaya Operasi	\$86.872.692,0
3	Depresiasi	\$7.181.708,2
4	Pendapatan bersih sebelum pajak (1)-(2)-(3)	\$63.717.297,5
5	Pajak pendapatan 25% x (4)	\$15.929.324,4
6	Pendapatan bersih sesudah pajak (4)-(5)	\$47.787.973,1
7	<i>Add back</i> depresiasi	\$7.181.708,2
8	Aliran kas bersih (6)-(7)	\$40.606.264,9

Pada tahun ke-11, diperlukan biaya investasi sebesar \$33.226.884 yang akan digunakan untuk tujuan pengadaan ulang dari peralatan yang telah melewati umur operasinya. Pengaruh dari investasi ini terhadap aliran kas dapat diamati pada tabel 7.

Tabel 7. Aliran kas tahun 11 *smelter* NPI reduksi selektif

No	Komponen kas	Jumlah
1	Pendapatan	\$157.771.697,6
2	Biaya Operasi	\$86.872.692,0
3	Depresiasi	\$7.181.708,2
4	Pendapatan bersih sebelum pajak (1)-(2)-(3)	\$63.717.297,5
5	Pajak pendapatan 25% x (4)	\$15.929.324,4
6	Pendapatan bersih sesudah pajak (4)-(5)	\$47.787.973,1
7	<i>Add back</i> depresiasi	\$7.181.708,2
8	<i>Capital expenditure</i>	\$33.226.884,0
9	Aliran kas bersih (6)-(7)-(8)	\$7.379.380,9

D.1. Evaluasi *discounted cash flow*

Pada penelitian ini, besarnya nilai diskon yang akan digunakan pada evaluasi discounted cash flow adalah *Weighted Average Cost Of Capital* (WACC). WACC merupakan metode yang dapat digunakan untuk menghitung *cost of capital* berdasarkan proporsi sumber dana. WACC dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (9).

Asumsi dari proporsi sumber modal yang digunakan adalah 70% modal sendiri dan 30% pinjaman. Bunga dari pinjaman adalah 9,95% per tahun sedangkan pajak didapatkan sebesar 25%. Ke dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (10).

Nilai Rf (*Risk free rate*) didapatkan sebesar 0,38% dari rata-rata 10 tahun terakhir US *Federal Bank Treasury Bill*. Nilai Rc (*country risk premium*) dan EMRP (*Equity Market Risk Premium*) untuk Indonesia adalah 2,69% dan 8,06%, didapatkan dari Riset Ekonomi Indonesia 2018. Nilai beta diasumsikan adalah 1. Berdasarkan persamaan, Ke didapatkan sebesar 11,13% dan WACC sebesar 10,03%. Setelah didapatkan WACC, perhitungan NPV dapat dilakukan seperti dapat diamati pada tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan NPV smelter NPI reduksi selektif

Tahun	Investasi	Aliran kas	10.03% discount factor	Present value
0	\$112.942.384,00	-\$112.942.384,00		
1		\$14.945.438,50	0,908843	\$13.583.057,80
2		\$31.301.224,23	0,8259957	\$25.854.675,88
3		\$31.301.224,23	0,7507004	\$23.497.842,30
4		\$31.301.224,23	0,6822689	\$21.355.850,49
5		\$31.301.224,23	0,6200753	\$19.409.116,14
6		\$40.606.264,89	0,5635511	\$22.883.706,32
7		\$40.606.264,89	0,5121795	\$20.797.697,28
8		\$40.606.264,89	0,4654908	\$18.901.842,48
9		\$40.606.264,89	0,4230581	\$17.178.808,04
10		\$40.606.264,89	0,3844934	\$15.612.840,17
11	\$33.226.884,00	\$7.379.380,89	0,3494441	\$2.578.681,38
12		\$40.606.264,89	0,3175899	\$12.896.138,48
13		\$40.606.264,89	0,2886393	\$11.720.565,73
14		\$40.606.264,89	0,2623279	\$10.652.154,62
15		\$40.606.264,89	0,2384149	\$9.681.136,62
16		\$40.606.264,89	0,2166817	\$8.798.633,66
17		\$40.606.264,89	0,1969296	\$7.996.576,99
18		\$40.606.264,89	0,1789781	\$7.267.633,37
19		\$40.606.264,89	0,1626663	\$6.605.138,02
20		\$40.606.264,89	0,1478352	\$6.003.033,74
			NPV	\$170.332.745,53

D.2. Evaluasi *real option*

Nilai NPV dari *smelter* akan divariasikan berdasarkan harga LME nikel dari 10 tahun terakhir. Variasi ini akan mempengaruhi biaya bijih nikel dan harga penjualan produk NPI. Variasi dari NPV dan nilai aset pokok dapat diamati pada tabel 6. Dari hasil variasi tersebut, didapatkan rata-rata dari laju pertumbuhan (*drift rate*) sebesar -0,01699. Volatilitas NPV didapatkan dengan menggunakan persamaan (3) yaitu sebesar 0,31655.

Tabel 6. Variasi NPV dan aset pokok

Tahun	NPV	Aset pokok
2009	\$ 222.626.209,1	\$ 368.795.477,1
2010	\$ 464.803.316,5	\$ 610.972.584,5
2011	\$ 502.090.264,7	\$ 648.259.532,7
2012	\$ 320.554.092,7	\$ 466.723.360,7
2013	\$ 235.393.654,2	\$ 381.562.922,2
2014	\$ 298.409.825,2	\$ 444.579.093,2
2015	\$ 128.114.533,8	\$ 274.283.801,8
2016	\$ 51.359.029,1	\$ 197.528.297,1
2017	\$ 78.929.122,3	\$ 225.098.390,3
2018	\$ 170.332.745,5	\$ 316.502.013,5

D.3. Pemodelan *binomial lattice*

Pemodelan ini akan dilakukan untuk mendapatkan nilai opsi investasi dari rencana investasi ini. Pada akhirnya, nilai opsi yang didapatkan akan mencerminkan risiko ekonomi yang ada. Parameter yang akan dipakai pada pemodelan ini dapat diamati pada tabel 7.

Tabel 7. Parameter pemodelan *binomial lattice*

Parameter	Simbol	Nilai
Aset pokok	S_0	\$316.502.013,53
Biaya kapital	K	\$112.942.384,00
<i>Maturity date</i>	T	20
Periode	dt	1
Volatilitas NPV	σ	0,316557215
RFR	rf	0,0038
<i>Drift rate</i>	α	-0,016990292
<i>Convenience yield</i>	$c=rf-\alpha$	0,020790292
<i>Rising rate</i>	u	1,372394762
<i>Decline rate</i>	d	0,72865332
Probabilitas	p	0,454149098
	$1-p$	0,545850902

Convenience yield adalah nilai laju pendapatan tanpa risiko yang seharusnya diterima proyek setelah memperhitungkan kemungkinan perubahan NPV akibat perubahan harga komoditas. Nilai volatilitas NPV didapatkan dari perhitungan sebelumnya yang melibatkan variasi NPV. *Drift rate* didapatkan dari rata-rata laju perubahan (*growth rate*) NPV. Aset pokok adalah jumlah dari NPV

dan biaya kapital dari proyek. Nilai laju kenaikan (u) dan laju penurunan (d) dihasilkan dari perhitungan menggunakan persamaan 5 dan persamaan 6. Setelah nilai laju kenaikan dan penurunan didapatkan, perhitungan nilai probabilitas dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 7. Nilai proyek di akhir akan ditarik kembali ke awal untuk mendapatkan nilai opsi (NPV strategis) dengan menggunakan persamaan (11).

$$\begin{aligned} f &= e^{-r\Delta t} (pfu + (1-p)fd) \\ f &= e^{-0,0038 \times 1} (0,4608 \times fu + (1-0,4608) fd) \end{aligned} \quad (11)$$

fu merupakan nilai dari aset pokok yang akan dikalikan dengan laju kenaikan, sementara fd merupakan nilai aset pokok yang akan dikalikan dengan laju penurunan. Hasil dari pemodelan *binomial lattice* dapat diamati pada tabel 8.

Tabel 8. Hasil *real option smelter* NPI reduksi selektif

Proses	Reduksi Selektif
Aset pokok	\$316.502.013,5
NPV	\$170.332.745,5
Option Premium	\$187.154.405,56
NPV Strategis	342.034.116,47
Volatilitas	0,31655

E. HASIL DAN PEMBAHASAN

Investasi pembangunan *smelter* NPI menggunakan metode reduksi selektif terbukti dapat mengolah bijih nikel *low grade* dengan efisien. Selama belum dilakukannya evaluasi ekonomi mengenai metode produksi tersebut, implementasinya di industri belum bisa dilakukan. Hal ini sangat disayangkan karena pemanfaatan bijih nikel *low grade* yang efisien sangat krusial untuk keberlanjutan industri nikel.

Evaluasi ekonomi yang telah dilakukan di penelitian ini membuktikan bahwa pembangunan *smelter* NPI dengan metode reduksi selektif akan memberikan keuntungan ekonomi. Faktor ketidakpastian yang disebabkan oleh pergerakan harga komoditas nikel juga tidak akan memberikan pengaruh terhadap potensi keuntungan yang dapat diraup dari pembangunan *smelter* ini.

Nilai *option premium* yang tinggi menandakan bahwa proyek tetap berpotensi meraih keuntungan setelah melewati umur proyek yang ditetapkan (20 tahun). Hal ini menandakan bahwa proses ini memperpanjang umur pengolahan bijih nikel *low grade* dan relevansi ekonominya. Nilai NPV yang didapat lebih tinggi dari biaya kapital menandakan bahwa investasi ini pasti akan memberikan keuntungan semenjak awal umur proyek dan peluang kerugian investor sangat minimal.

Kualitas dari skema investasi ini diwakili oleh nilai opsi (NPV strategis) yang tinggi yaitu sebesar \$373.621.893,04. Evaluasi ekonomi yang sama pada *smelter* PT.XYZ menunjukkan nilai NPV strategis sebesar \$342.034.116,47. Hal ini menunjukkan bahwa kegiatan produksi dan penjualan NPI 5,1% dengan metode reduksi selektif akan memberikan keuntungan ekonomi yang lebih besar jika dibandingkan dengan penjualan NPI 2% dengan metode RKEF yang sedang dilakukan PT.XYZ sekarang.

F. KESIMPULAN

Hasil analisa *real option* menyimpulkan bahwa pembangunan smelter NPI dengan metode reduksi selektif akan memberikan keuntungan selama umur proyeknya, dengan nilai opsi (NPV strategis) sebesar \$380.165.046,94. Keuntungan yang diberikan akan lebih besar dibandingkan dengan smelter serupa yang menggunakan metode produksi RKEF. Faktor ketidakpastian yang berasal dari pergerakan harga komoditas nikel tidak akan memberikan dampak negatif pada nilai ekonomi dari investasi ini.

Hal ini menandakan lebih besarnya peluang *smelter* NPI reduksi selektif untuk memberikan nilai tambah ekonomi selama umur proyeknya dibandingkan dengan *smelter* RKEF. Pembangunan *smelter* NPI dengan metode reduksi selektif secara teoritis memberikan nilai ekonomi yang sangat baik sehingga membuka peluang investasi pada industri nikel di masa mendatang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada PT. XYZ yang telah mengijinkan penulis untuk mengkases dan menggunakan data keekonomian untuk keperluan penelitian ini. Demikian pula kepada Program Studi Rekayasa Pertambangan, khususnya Bidang Khusus Ekonomi dan Manajemen Minerba, tempat dimana penulis menimba ilmu pengetahuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Dehghani, H., Ataee-pour, M. and Esfahanipour, A. (2014) 'Evaluation of the mining projects under economic uncertainties using multidimensional binomial tree', *Resources Policy*. Elsevier, 39(1), pp. 124–133. doi: 10.1016/j.resourpol.2014.01.003.
- Haryadi, H. (2018) 'The financial feasibility analysis for construction plan of ferro-nickel (fe-ni) smelter plant at South Konawe Regency, South East Sulawesi', *Indonesian Mining Journal*, 20(2), pp. 131–142. doi: 10.30556/imj.vol20.no2.2017.278.
- Keskinkilic, E. (2019) 'Nickel laterite smelting processes and some examples of recent possible modifications to the conventional route', *Metals*, 9(9). doi: 10.3390/met9090974.
- Norgate, T. and Jahanshahi, S. (2011) 'Assessing the energy and greenhouse gas footprints of nickel laterite processing', *Minerals Engineering*. Elsevier Ltd, 24(7), pp. 698–707. doi: 10.1016/j.mineng.2010.10.002.
- Pickles, C. A., Forster, J. and Elliott, R. (2014) 'Thermodynamic analysis of the carbothermic reduction roasting of a nickeliferous limonitic laterite ore', *Minerals Engineering*. Elsevier Ltd, 65, pp. 33–40. doi: 10.1016/j.mineng.2014.05.006.
- Slade, M. E. (2001) 'Valuing managerial flexibility: An application of real-option theory to mining investments', *Journal of Environmental Economics and Management*, 41(2), pp. 193–233. doi: 10.1006/jeem.2000.1139.
- Soedarsono, J. W., Kawigraha, A., Sulamet-Ariobimo, R. D., Johansyah, D., Kusuma, G. D., Suprayogi, S., Yosi, A., Saputro, N. L., Sidiq, A. T., Erwin, E. and Natanael, D. (2013) 'Potential indonesia ores as raw material for producing iron nugget', *2012 3rd International Conference on Advances in Materials and Manufacturing Processes, ICAMMP 2012*, 652–654(January), pp. 2529–2533. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.652-654.2529.

Topal, E. (2008) 'Evaluation of a mining project using Discounted Cash Flow analysis, Decision Tree analysis, Monte Carlo Simulation and Real Options using an example', *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, 1(1), p. 62. doi: 10.1504/ijmme.2008.020457.

Zhang, K., Nieto, A. and Kleit, A. N. (2015) 'The real option value of mining operations using mean-reverting commodity prices', *Mineral Economics*, 28(1–2), pp. 11–22. doi: 10.1007/s13563-014-0048-6.

Zhu, D., Pan, L., Guo, Z., Pan, J. and Zhang, F. (2019) 'Utilization of limonitic nickel laterite to produce ferronickel concentrate by the selective reduction-magnetic separation process', *Advanced Powder Technology*. The Society of Powder Technology Japan, 30(2), pp. 451–460. doi: 10.1016/j.apt.2018.11.024.

