

# Kajian Teknik Dan Nilai Ekonomi Pengolahan Batu Kapur Pada Pertambangan Batu Kapur Rakyat Bukit Tui, Padang Panjang, Sumatera Barat

Randa Septian Putra<sup>1\*</sup>, and Rusli HAR<sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, Indonesia

\*[randaseptianput@gmail.com](mailto:randaseptianput@gmail.com)

\*\*[ruslihar@ft.unp.ac.id](mailto:ruslihar@ft.unp.ac.id)

**Abstract.** The people's limestone mining in Bukit Tui has a mineable reserve of 12,826,641.60 MT. This study analyzes the limestone processing techniques in the Bukit Tui people's limestone mining and also analyzes the economic feasibility of the processing using the Discounted Cash Flow method. The efficiency of the limestone furnace at the Bukit Tui processing plant is very low, at 26.63% for each ton of lime produced with fuel consumption of 336.18 kg/ton of lime which generated. This is due to the incomplete combustion process. To increase the combustion efficiency, a furnace modification is needed, in the form of adding fans and recuperators. In the case of Bukit Tui limestone processing, the air needed is 8,928.42 kg. Therefore to complete the combustion process, a fan is needed to supply air to the furnace with a discharge of 0.07 m<sup>3</sup>/s. And if combustion takes place completely, fuel consumption will be reduced to 89.49 kg / ton of lime produced. Based on an analysis of economic value, it can be seen that the economic value of the Bukit Tui limestone processing can be declared economically feasible. However, it still needs to be adjusted to the processing technique to match the good mining practice rules (GMP).

**Keywords:** Limestone, GMP, Processing Techniques, Furnace Efficiency, Economic Value.

## 1. Pendahuluan

Kegiatan penambangan batu kapur di Padang Panjang, tepatnya di Bukit Tui merupakan salah satu pertambangan rakyat di Sumatera Barat yang ditambang oleh masyarakat setempat dengan melakukan penggalian pada lereng bukit. Metode ini biasa disebut dengan metode kuari tipe sisi bukit. Saat melakukan observasi awal penulis menemukan beberapa permasalahan mengenai teknis dan ekonomi pada penambangan batu kapur Bukit Tui. Para penambang batu kapur di Bukit Tui cenderung mengabaikan aspek-aspek penting mengenai penambangan yang baik dan benar. Secara garis besar, aspek-aspek penting mengenai penambangan yang baik dan benar terdiri dari keselamatan kerja, kelestarian lingkungan dan peningkatan nilai ekonomi dari kegiatan penambangan tersebut. Pada kegiatan penambangan batu kapur rakyat di Bukit Tui, contohnya penggalian tipe sisi bukit tanpa memperhatikan kemantapan lereng sehingga

mengakibatkan longsor yang tentu akan berdampak pada keselamatan penambang sendiri maupun lingkungan sekitar.

Penambangan batu kapur rakyat Bukit Tui memberikan pengaruh yang cukup signifikan bagi perekonomian masyarakat sekitar. Namun sayangnya untuk pemasaran, para pelaku usaha industri batu kapur di Bukit Tui tidak memiliki target pemasaran yang pasti dan produk yang dipasarkan hanya berupa kapur tohor dan kalsium karbonat giling. Mereka hanya bergantung kepada konsumen yang memesan tanpa ada kontrak atau ikatan apapun, yang mana mungkin saja suatu saat konsumen tidak lagi mengambil produk dari industri batu kapur dari Bukit Tui. Tanpa adanya manajemen ekonomi yang baik dan pasar yang kurang luas tentu keuntungan yang didapat tidak maksimal.

Dari beberapa permasalahan mengenai teknis dan ekonomi diatas, terlihat bagaimana pentingnya teknik pengolahan yang dapat meningkatkan efisiensi proses pembakaran agar dapat meningkatkan nilai tambah dari produk hasil pembakaran dan dapat

mencakup pasar yang lebih luas juga fungsi kontrol dan kebijakan ekonomi dari pemerintah setempat demi kesejahteraan bersama, terutama bagi masyarakat sekitar lokasi penambangan batu kapur rakyat Bukit Tui.

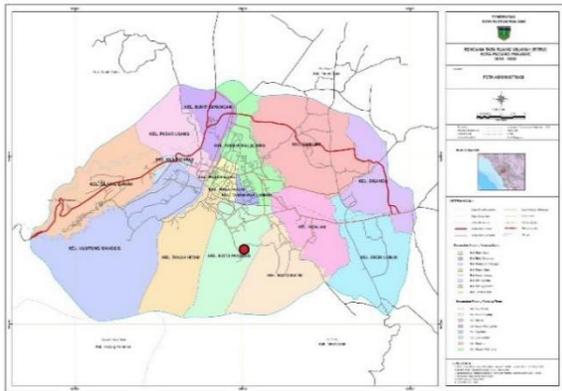
## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Tinjauan Umum Daerah Penelitian

#### 2.1.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian, tepatnya kawasan Bukit Tui dengan luas ±865 Ha, terdiri dari kawasan hutan lindung ±536 Ha dan area pertambangan lokal (APL) ±329 Ha. Berdasarkan hasil perhitungan cadangan di lokasi pertambangan Bukit Tui dengan luas area ± 17 Ha, maka diketahui volume dan jumlah cadangan batu kapur yang memiliki prospek untuk ditambang adalah sebanyak 5.344.434 m<sup>3</sup> dengan prediksi tonase batu kapur bersih sebesar 12.826.641,6 MT. Hal ini menunjukkan potensi yang besar untuk dikembangkan, asalkan mempertimbangkan metode penambangan yang sesuai dengan karakteristik batu kapur di lokasi penambangan Bukit Tui

Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



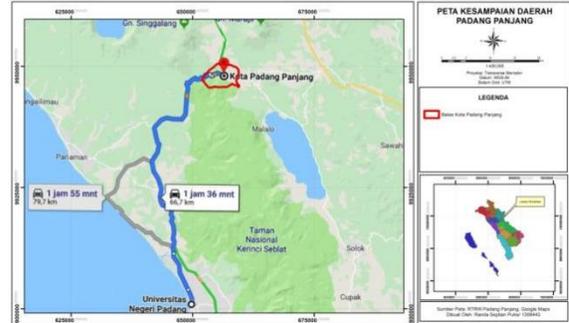
Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

#### 2.1.2 Kesampaian Daerah

Lokasi penelitian yaitu di Bukit Tui, Kecamatan Padang Panjang Barat, Kota Padang Panjang Sumatera Barat dapat diakses melalui jalur darat dengan rute perjalanan Jl. Raya Padang - Bukittinggi - Jl. Silaing Bawah Padang Panjang - Jl. Tanah Hitam

Padang Panjang Barat dengan jarak 78,7 km dengan waktu tempuh ± 2 jam 8 menit.

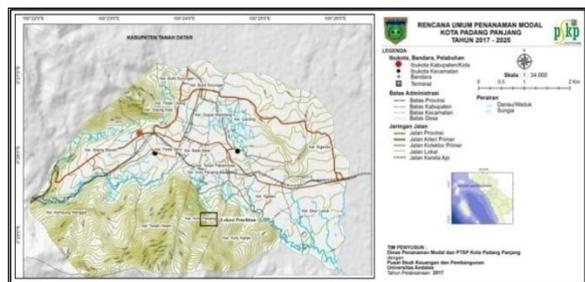
Peta kesampaian daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Kesampaian Daerah

#### 2.1.3 Keadaan Topografi

Kota Padang Panjang berada di daerah ketinggian yang terletak antara 650 sampai 850 meter di atas permukaan laut. Secara topografi Kota Padang Panjang berada pada dataran tinggi yang bergelombang, di mana sekitar 20,17% dari keseluruhan wilayahnya merupakan kawasan relatif landai (kemiringan di bawah 15 %), sedangkan selebihnya merupakan kawasan miring, curam dan perbukitan, serta sering terjadi longsor akibat struktur tanah yang labil dan curah hujan yang cukup tinggi. Topografi daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.

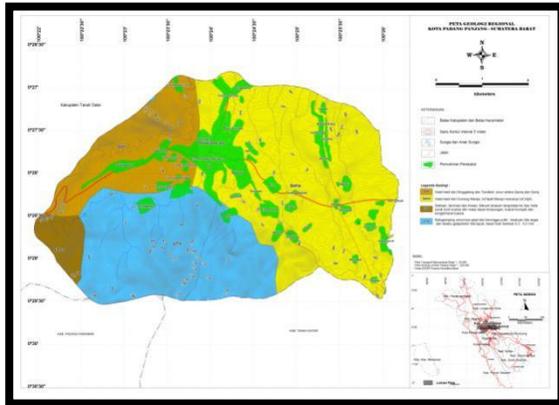


Gambar 3. Peta Topografi Daerah Penelitian

#### 2.1.4 Keadaan Geologi

Hasil Kajian Penilaian Resiko Bencana Gempa Bumi dan Bahaya Gunung Berapi di Kota Padang Panjang tahun 2006 (Pusat Survei Geologi dan Bappeda Kota Padang Panjang), maka secara umum formasi Geologi Kota Padang Panjang terdiri dari batuan

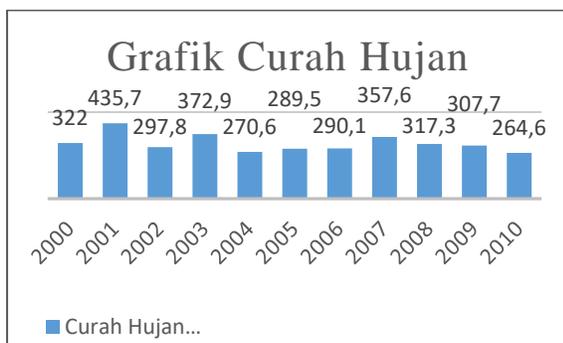
malihan ( $\pm 1.362,77$  Ha), batuan tufaan aliran piroklastik ( $\pm 911,87$  Ha), batuan tufaan ( $\pm 455,99$  Ha), dan lahar II ( $\pm 69,48$  Ha). Kemudian dari struktur geologinya terdapat satu sesar aktif yang melewati Kota Padang Panjang yaitu sesar Bukit Jarat dan satu lagi berdekatan dengan Kota Padang Panjang (pada bagian timur) yaitu Sesar Sumatera. Peta geologi daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Peta Geologi Daerah Penelitian

### 2.1.5 Iklim dan Curah Hujan

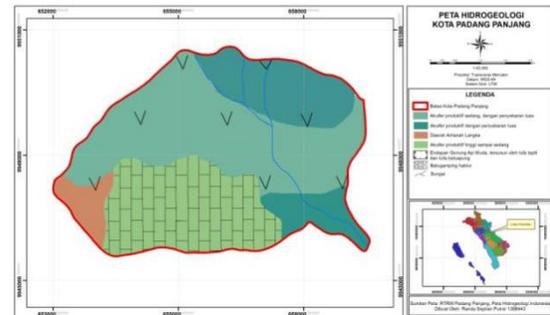
Kota Padang Panjang secara klimatologi memiliki curah hujan yang cukup tinggi. Curah hujan rata-rata pertahun mencapai 3.650 mm-4.625 mm dengan jumlah hari hujan pertahun rata-rata 235-265 hari hujan. Temperatur udara bulanan di wilayah ini memiliki suhu udara maksimum  $29^{\circ}$  C dan suhu udara minimum  $19^{\circ}$ C. Gambar 5 memperlihatkan data iklim Kota Padang Panjang dari tahun 2000 sampai dengan tahun 2010. Grafik curah hujan kota Padang Panjang dapat dilihat pada gambar 5.



**Gambar 5.** Grafik Curah Hujan

### 2.1.6 Kondisi Hidrogeologi

Wilayah Kota Padang Panjang didominasi akuifer produktif sedang sampai akuifer produktif tinggi. Bagian Utara memiliki karakteristik akuifer produktif sedang dengan penyebaran luas dan bagian Selatan memiliki yang didominasi batu gamping hablur memiliki karakteristik akuifer produktif tinggi. Pada bagian Barat Daya terdapat wilayah air tanah langka. Juga terdapat sungai yang membentang dari Utara sampai ke bagian Tenggara. Secara keseluruhan, wilayah Kota Padang Panjang merupakan endapan gunung api muda tersusun dari tufa lapili dan tufa batupung. Peta hidrogeologi Kota Padang Panjang dapat dilihat pada Gambar 6.



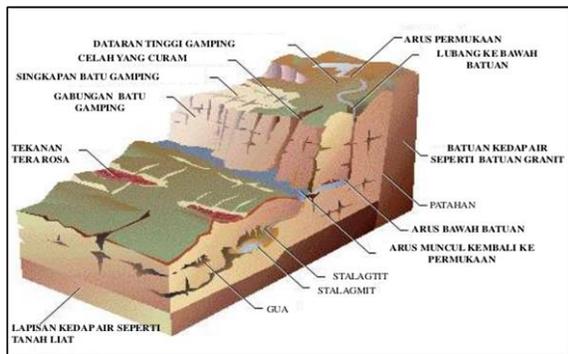
**Gambar 6.** Peta Hidrogeologi

## 3. Kajian Teori

### 3.1.1 Batu Kapur

Batu kapur atau batu gamping (*limestone*) termasuk batuan sedimen. Batu ini berwarna putih, kelabu, atau warna lain yang terdiri dari kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Batu kapur ini pada dasarnya berasal dari sisa-sisa organisme laut seperti kerang, siput laut, radiolarit, tumbuhan/binatang karang (koral), dsb yang telah mati. Berdasarkan hal tersebut, maka batuan kapur adalah batuan sedimen yang berbasis dari laut. Karena hal itu, batuan kapur berdasarkan tenaga alam yang mengangkutnya dan tempat batuan kapur itu diendapkan termasuk klasifikasi batuan sedimen marin. Berdasarkan proses pengendapannya, batu gamping radiolarit dan batu karang merupakan batuan sedimen organik<sup>[1]</sup>.

Gambar 7. di bawah ini adalah karakteristik daerah batu kapur.



Gambar 7. Karakteristik Daerah Batu Kapur

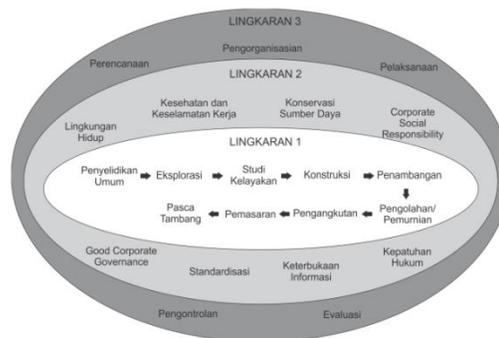
3.1.2 Konsep Good Mining Practice

Good Mining Practice (GMP) didefinisikan sebagai suatu kegiatan usaha pertambangan yang memenuhi ketentuan-ketentuan, kriteria, kaidah dan norma-norma yang tepat sehingga pemanfaatan sumber daya mineral memberikan hasil yang optimal dan dampak buruk yang minimal. Hal ini meliputi perizinan, teknik pertambangan, keselamatan dan kesehatan kerja, lingkungan, keterkaitan hulu-hilir, konservasi, nilai tambah dan pengembangan masyarakat atau wilayah di sekitar lokasi kegiatan<sup>[2]</sup>.

Untuk mencapai praktik pertambangan yang baik, pertambangan harus memperhatikan aspek kegiatan penunjang lain seperti Lingkungan hidup, kesehatan dan keselamatan kerja, konservasi sumber daya, Corporate Social Responsibility, Good Corporate Governance, standardisasi, keterbukaan informasi terhadap publik dan kepatuhan hukum

Untuk menjamin bahwa seluruh aspek-aspek diatas termasuk proses kegiatan pertambangan itu sendiri terlaksana dengan baik dan berkesinambungan diperlukan adanya manajemen tambang yang baik. Fungsi manajemen yang meliputi perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan, pengontrolan, hingga evaluasi harus dilaksanakan secara keseluruhan.

Pengembangan konsep GMP tersebut dapat terlihat pada gambar 8 di bawah. Penerapan dari seluruh kegiatan pertambangan dari hulu ke hilir (lingkaran 1) dan aspek/kegiatan penunjang yang tidak kalah pentingnya (lingkaran 2) wajib dikelola dengan sistem manajemen tambang yang baik (lingkaran 3)<sup>[2]</sup>.



Gambar 8. Prinsip Pelaksanaan Good Mining Practice

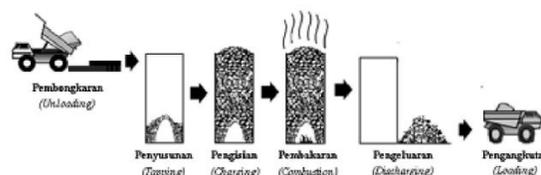
3.1.3 Teknik Pengolahan Batu Kapur Dengan Tungku Bakar (Kalsinasi)

Batu kapur dapat langsung dipakai sebagai bahan baku, misal pada industri semen, fondasi jalan, rumah dan sebagainya. Untuk hal lain perlu pengolahan terlebih dahulu, salah satunya dengan pembakaran. Cara ini dimaksudkan untuk memperoleh kapur tohor (CaO), kalsium hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>) dan gas CO<sub>2</sub>.

Kata kalsinasi berasal dari bahasa Latin yaitu calcinare yang artinya membakar kapur. Proses kalsinasi yang paling umum diaplikasikan untuk dekomposisi kalsium karbonat (batu kapur, CaCO<sub>3</sub>) menjadi kalsium oksida (kapur tohor, CaO) dan gas karbon dioksida atau CO<sub>2</sub>. Produk dari kalsinasi biasanya disebut sebagai kalsin yaitu mineral yang telah mengalami proses pemanasan.

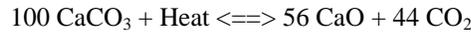
Proses kalsinasi dilakukan dalam sebuah tungku atau reaktor yang disebut dengan kiln atau calciners dengan beragam desain, seperti tungku poros, rotary kiln, tungku perapian ganda, dan reaktor fluidized bed<sup>[3][9][11]</sup>.

Pembakaran batu kapur terdiri dari beberapa tahapan antara lain: tahap *unloading*, *tapping*, *charging*, *combustion*, *discharging* dan *loading*. Ilustrasi dan penjelasan dari tahap-tahap ini dapat dilihat pada Gambar 9 dibawah.



Gambar 9. Proses Pembakaran

Konversi kalsium karbonat menjadi kalsium oksida didapat dengan memanaskan batu kapur sampai temperatur yang cukup tinggi (biasanya 1000°C pada tungku bakar) untuk melepaskan CO<sub>2</sub>. Reaksinya adalah sebagai berikut:



Maksudnya adalah jika 1 ton batu kapur yang murni kalsium karbonat dipanaskan, akan menghasilkan 560 kg kalsin. Efisiensi proses pembakaran didapatkan dengan rumus berikut<sup>[4][9][14]</sup>:

$$E = \frac{H_c \times L_s}{C_f \times M_f} \dots\dots\dots(1)$$

keterangan:

- E = Efisiensi proses pembakaran
- Hc = Panas teoritis yang dibutuhkan (MJ/ton)
- Ls = Ketersediaan CaO dari *quicklime*
- Cf = kapasitas kalor bahan bakar (MJ/kg)
- Mf = massa bahan bakar per ton *quicklime* (kg/ton)

**3.1.4 Metoda Analisis Nilai Ekonomi**

Dalam analisis investasi terdapat metoda perhitungan diataranya, yaitu:

**a. Net Present Value**

Net Present Value (NPV) atau nilai bersih sekarang merupakan perbandingan antara PV kas bersih dengan PV Investasi selama umur investasi<sup>[6]</sup>. Net Present Value (NPV) merupakan net benefit yang telah didiskon dengan menggunakan social opportunity cost of capital (SOCC) sebagai discount factor<sup>[5]</sup>. NPV dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut<sup>[16]</sup>:

$$\text{NPV} = \text{Present Value Cash Flow} - \text{Present Value Investment} \dots\dots\dots(2)$$

Berikut ini ditunjukkan arti dari perhitungan NPV terhadap keputusan investasi yang akan dilakukan.

- 1) NPV > 0, maka proyek layak untuk dijalankan
- 2) NPV < 0, maka proyek tidak layak untuk dijalankan
- 3) NPV = 0, maka proyek dapat dijalankan atau tidak dijalankan. Namun dalam hal ini

perusahaan harus mengambil keputusan, dimana keputusan yang diambil harus mempertimbangkan dampak investasi terhadap perusahaan

**b. PaybackPeriod**

Metode analisis payback period bertujuan untuk mengetahui seberapa lama (periode) investasi akan dapat dikembalikan saat terjadinya kondisi break even-point (jumlah arus kas masuk sama dengan jumlah arus kas keluar). Analisis payback period dihitung dengan cara menghitung waktu yang diperlukan pada saat total arus kas masuk sama dengan total arus kas keluar. Dari hasil analisis payback period ini nantinya alternatif yang akan dipilih adalah alternatif dengan periode pengembalian lebih singkat. Penggunaan analisis ini hanya disarankan untuk mendapatkan informasi tambahan guna mengukur seberapa cepat pengembalian modal yang diinvestasikan<sup>[5][6]</sup>.

Ada beberapa persamaan dalam menghitung payback period dengan memperhatikan beberapa kondisi, yaitu<sup>[5][6]</sup>:

- 1) Persamaan payback period jika arus kas dari suatu rencana investasi/ proyek berbeda jumlahnya setiap tahun:

$$\text{Payback period} = n + (a-b)/(c-b) \times 1 \text{ tahun} \dots\dots(3)$$

Keterangan :

- n = tahun terakhir dimana arus kas masih belum bisa menutupi initial investment
- a = jumlah initial investment
- b = jumlah kumulatif arus pada tahun ke n
- c = jumlah kumulatif arus pada tahun ke n+1

- 2) Persamaan payback period jika arus kas dan suku suku rencana investasi proyek sama jumlahnya setiap tahun:

$$\text{Payback period} = n + (\text{initial investment}) / \text{cashflow} \times 1 \text{ tahun} \dots\dots\dots(4)$$

**c. Internal Rate of Return**

Metode ini untuk membuat peringkat usulan investasi dengan menggunakan tingkat pengembalian atas investasi yang dihitung dengan mencari tingkat diskonto yang menyamakan nilai sekarang dari arus kas masuk proyek yang diharapkan terhadap nilai sekarang biaya proyek atau sama dengan tingkat diskonto yang membuat NPV sama dengan nol<sup>[6][13][16]</sup>.

$$IRR = i_1 + \frac{NPV1}{(NPV1 - NPV2)} (i_2 - i_1) \dots \dots \dots (5)$$

keterangan:

$i_1$  = Suku bunga saat NPV bernilai positif

$i_2$  = Suku bunga saat NPV bernilai negatif

#### d. *Profitability Index*

Metode ini menghitung perbandingan antara nilai arus kas bersih yang akan datang dengan nilai investasi yang sekarang. Profitability Index harus lebih besar dari 1 baru dikatakan layak. Semakin besar PI, investasi semakin layak<sup>[6]</sup>.

Persamaan:

$$PI = (\text{Present Value Cash Flow}) / (\text{Initial Investment}) \dots \dots \dots (6)$$

Kelayakan investasi menurut standar analisa ini adalah:

Jika  $PI > 1$  ; maka investasi tsb dpt dijalankan

Jika  $PI < 1$  ; investasi tsb tidak layak dijalankan

## 4 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari tahun 2018. Lokasi penelitian di Bukit Tui, Kelurahan Tanah Hitam, Kecamatan Padang Panjang Timur, Kota Padang Panjang.

### 4.1 Jenis Penelitian

Dalam penelitian ini penulis menggunakan metode terapan dengan pendekatan analisis kuantitatif dimana penelitian banyak menuntut penggunaan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut, serta penampilan dari hasilnya yang bertujuan untuk mencari solusi tentang masalah-masalah yang ada. Tujuan utama penelitian terapan adalah pemecahan masalah sehingga hasil penelitian dapat dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan, bukan untuk wawasan keilmuan semata.

Dalam pelaksanaan penelitian ini didapatkan data primer melalui pengamatan secara langsung ke lapangan juga data sekunder yang didapat dari instansi terkait.

### 4.2 Jenis dan Sumber Data

Dalam penyelesaian masalah pada skripsi ini Penulis memerlukan beberapa data antara lain:

#### a. Data Primer

Data primer merupakan data yang diambil langsung dari lapangan seperti:

- 1) Kebutuhan Bahan Bakar
- 2) Kebutuhan Batu Kapur
- 3) Hasil Pembakaran
- 4) Ketersediaan Konten Kapur

#### b. Data Sekunder

Data sekunder merupakan informasi yang didapatkan melalui studi literatur, wawancara dan juga dari instansi terkait. Data sekunder yang diperlukan antara lain:

- 1) Peta Lokasi
- 2) Peta Kesampaian Daerah
- 3) Peta Topografi
- 4) Peta Geologi
- 5) Peta Hidrogeologi
- 6) Informasi Bahan Bakar
- 7) Informasi sumberdaya
- 8) Informasi keekonomian
- 9) Peraturan perundang-undangan

### 4.3 Teknik Pengambilan Data

Proses pengambilan data meliputi berbagai kegiatan yang dilakukan secara berurutan dan sistematis. Langkah-langkah dalam pengambilan data adalah Studi Literatur, Pengamatan Lapangan dan Pengambilan Data Primer.

### 4.4 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data merupakan suatu langkah yang paling menentukan dari suatu penelitian, karena analisis data berfungsi untuk menyimpulkan hasil penelitian. Analisis data dilakukan melalui tahapan berikut ini:

#### 4.4.1 Tahap Penelitian

Tahapan ini terdiri dari Perencanaan, Evaluasi Data dan Penyusunan Laporan.

#### 4.4.2 Analisis Teknik Pengolahan

Analisis teknik pengolahan dilakukan untuk mengetahui teknik pengolahan batu kapur pada pertambangan batu kapur rakyat Bukit Tui dan juga untuk mendapatkan nilai efisiensi dari proses pembakaran batu kapur yang dilakukan saat ini. Hasil analisis ini berguna untuk menentukan kekurangan-kekurangan yang terdapat pada teknik pengolahan dan selanjutnya hasil dari analisis ini digunakan sebagai dasar untuk menentukan teknik pengolahan yang lebih sesuai.

#### 4.4.3 Analisis Nilai Ekonomi

Analisis ini dilakukan dengan menggunakan metoda *discounted cash flow* dimana metoda ini mempunyai empat parameter penilaian diantaranya: *Payback Period*, *Net Present Value ( NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR )*, *Profitability Index*. Dari parameter-parameter ini dapat ditentukan nilai ekonomi pengolahan batu kapur pada tambang rakyat Bukit Tui.

## 5 Hasil dan Pembahasan

### 5.1 Pengolahan Batu Kapur Bukit Tui

#### 5.1.1 Batu Kapur Bukit Tui

Penambangan batu kapur Bukit Tui dikonsentrasikan pada wilayah Bukit Tui khususnya Daerah Koto Panjang dengan luas lebih kurang 17 hektar. Peta wilayah penambangan bisa dilihat pada lampiran A. Cadangan batu kapur pada wilayah ini adalah sebesar 14,845,650.00 MT dengan cadangan yang dapat ditambang sebesar 12,826,641.60 MT.

#### 5.1.2 Proses Penambangan

Metode penambangan yang digunakan pada pertambangan batu kapur rakyat di Bukit Tui saat ini adalah metode kuari sisi bukit, dimana penggalian dilakukan dengan membuat jenjang pada lereng bukit. Penambangan dilakukan menggunakan peralatan tradisional seperti martil, linggis dan pahat batu.

Para penambang batu kapur bekerja secara berkelompok dengan membagi wilayah penambangan menjadi 6 area (lubang). Setiap area

(lubang) dikontrak oleh masing-masing kelompok penambang sebesar Rp 100.000/bulan dan dibayarkan kepada pemilik wilayah yang dalam hal ini adalah kepala kaum. Masing-masing kelompok penambang terdiri dari 2 atau 3 orang.

Penambangan dilakukan secara bertahap seperti dituliskan dibawah ini:

- a. Pemindahan Tanah Penutup  
Tanah penutup yang relatif tipis dibongkar menggunakan cangkul dan kemudian dipindahkan ke area timbunan tanah menggunakan gerobak.
- b. Penggalian  
Batu kapur pada lereng bukit di bongkar menggunakan martil dan linggis yang mana pada tahapan ini penggalian akan menghasilkan bongkahan batu kapur yang berukuran lebih kurang 1-2 meter. Tidak ada standar operasi yang spesifik tentang tata cara pembongkaran batu kapur di Bukit Tui, oleh karena itu terdapat *hanging wall* yang cukup membahayakan bagi para penambang.
- c. Reduksi Ukuran  
Batu kapur yang telah diruntuhkan dari lereng bukit berukuran sekitar 1-2 meter. Untuk itu perlu direduksi lagi ukurannya menjadi lebih kurang 30-50 cm. Ini dilakukan dengan memanaskan bongkahan besar batu kapur tersebut menggunakan ban bekas. Dengan cara ini, bongkahan tersebut akan lebih mudah untuk dipecahkan menggunakan martil.
- d. Pemuatan  
Batu kapur yang telah direduksi ukurannya kemudian dimuat kedalam truk untuk selanjutnya dibawa ke tempat pembakaran.
- e. Produktivitas Penambangan  
Masing-masing kelompok penambang bisa menghasilkan batu kapur sekitar 8 kubik dalam satu hari. Secara keseluruhan, para penambang dapat menghasilkan lebih kurang 48 kubik dalam satu hari atau jika dikonversikan ke dalam ton adalah lebih kurang 115 ton/hari (densitas batu kapur adalah 2,4 ton/m<sup>3</sup>)

#### 5.1.3 Penyesuaian Proses Penambangan

Untuk mengatasi berbagai persoalan yang ditimbulkan akibat proses penambangan di atas, diperlukan penyesuaian yang berorientasi kepada kaidah penambangan yang baik dan benar agar dapat meningkatkan nilai ekonomi, mengurangi dampak terhadap lingkungan, keselamatan kerja, serta dapat meningkatkan produktivitas dari kegiatan tersebut.

Metode penambangan yang akan diterapkan dipilih setelah mempertimbangkan beberapa aspek sebagai berikut:

- a. Penyebaran batu gamping disekitar daerah perbukitan dan masih ada kemungkinan berada di bawah permukaan tanah
- b. Keselamatan kerja relatif aman dalam penambangan apabila tinggi total jenjang penambangan  $\pm 6$  m
- c. Debit air yang sedang disekitar areal penambangan
- d. Keadaan topografi wilayah penambangan merupakan perbukitan
- e. Kondisi daerah penyelidikan yang bukan merupakan daerah pemukiman.

Berikut adalah usulan penyesuaian tahapan penambangan dari industri pengolahan batu kapur Bukit Tui:

- a. Pembersihan Lahan  
Pembersihan lahan ini dilakukan terhadap vegetasi berupa pohon-pohon yang terdapat disekitar daerah operasi penambangan dengan menggunakan *bulldozer* sehingga tidak mengganggu pelaksanaan operasi penambangan
- b. Penanganan Tanah Pucuk  
Penanganan tanah pucuk ini dilakukan menggunakan *excavator* dan beberapa alat angkut. Untuk operasi penambangan tahun pertama maka tanah pucuk ini ditimbun dahulu pada area penyimpanan sebelum dilakukan tahapan reklamasi dan dilakukan penanaman *cover crop*, juga dibuatkan pola pengaliran air untuk mengurangi tingkat erosi akibat air hujan. Demikian juga untuk penanganan tanah pucuk pada tahapan bukaan tambang selanjutnya.
- c. Penggalian, Pemuatan dan Pengangkutan Tanah Penutup  
Operasi penggalian tanah penutup berupa *overburden* dilakukan dengan menggunakan *excavator* dan dibantu dengan *bulldozer*. Untuk material lemah sampai sedang *excavator* dapat langsung melakukan penggalian dan pemuatan ke atas *dump truck*. Sedangkan untuk material keras, *bulldozer* akan membantu memberaikan material tersebut, sebelum digali dan dimuat oleh *excavator*. Pemakaian *ripper* pada *bulldozer* akan disesuaikan dengan kebutuhan operasi pemberaian material.  
Dalam batas-batas penggalian yang telah direncanakan, operator *excavator* akan membuat jenjang (*bench*) dibantu oleh operator *bulldozer*.

Penanganan lapisan tanah penutup akan dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- 1) Penggalian atau pembongkaran
  - 2) Lapisan tanah penutup akan diberaikan dengan cara penggaruan (*ripping*) dengan menggunakan *bulldozer* yang dilengkapi dengan *single shank* atau *giant shank* hal ini dikarenakan kekerasan material
  - 3) Pemuatan lapisan tanah penutup kedalam alat angkut dari hasil penggaruan tersebut menggunakan *excavator*
  - 4) Pengangkutan lapisan tanah penutup ke lokasi penimbunan menggunakan *Dump Truck* dengan kapasitas 20 ton
- d. Penggalian, Pemuatan dan Pengangkutan Batu Kapur  
Tahapan ini akan dilakukan dengan cara sebagai berikut:
- 1) Pembongkaran  
Batuan dibongkar menggunakan *breaker* dan yang masih berukuran besar akan dipecahkan lagi
  - 2) Pemuatan  
Pemuatan batu kapur ke alat angkut dari hasil pembongkaran tersebut menggunakan *excavator*
  - 3) Pengangkutan  
Pengangkutan batu kapur ke lokasi *stockpile* dengan menggunakan *dump truck* dengan kapasitas 20 ton

#### 5.1.4 Proses Pembakaran

Pada umumnya metode pengolahan batu kapur yang sering dijumpai adalah melalui proses pembakaran. Di Bukit Tui, batu kapur diolah menjadi kapur tohor atau quicklime melalui proses pembakaran dengan menggunakan tungku tradisional<sup>[3]</sup>.

Pengolahan ini terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

- a. Tahap Pembongkaran  
Pada tahap ini batu kapur dikeluarkan dari dalam truk dan diletakkan di sekitar tungku pembakaran. Batu kapur ini kemudian direduksi lagi ukurannya menjadi sekitar 15-20 cm.
- b. Tahap Penyusunan  
Pada bagian dasar tungku, bahan bakar yang dalam hal ini adalah batubara disusun pada bagian dasar tungku. Diatasnya disusun pula batu kapur yang sudah direduksi ukurannya tadi dan begitu seterusnya. Susunan batubara dan batu kapur ini membentuk lapisan-lapisan yang berselang-seling sampai memenuhi tungku yang mana lebih

kurang terdiri dari 10 lapisan batubara dan 10 lapisan batu kapur.

c. Tahap Pembakaran

Pembakaran dilakukan dengan metode open burning. Pada tahap ini batu kapur dibakar selama seminggu penuh. Batubara pada lapisan dasar dibakar dan udara disuplai melalui jendela pada bagian dasar tungku. Jendela pada bagian dasar tungku ini berfungsi sebagai suplai udara dan mengeluarkan produk hasil pembakaran. Suplai udara dan panas ini mengalir melalui celah-celah pada lapisan batu kapur dan memanaskannya sehingga terjadi reaksi dekomposisi batu kapur. Aliran gas tersebut terus naik sampai menginisiasi pembakaran pada lapisan batubara di atasnya yang selanjutnya memanaskan lagi batu kapur pada bagian atasnya dan begitu seterusnya sampai ke lapisan teratas dimana aliran gas tersebut keluar dari atas tungku yang dibiarkan terbuka. Aliran gas buang inilah yang menjadi polutan dan mencemari udara sekitar.

d. Tahap *Discharging*

Setelah seminggu pembakaran, jendela pada dasar tungku dibuka dan batu kapur yang telah dibakar bersama dengan abu batubara dikeluarkan melalui jendela tersebut. Setelah batu kapur pada bagian dasar dikeluarkan, jendela tersebut ditutup kembali dan proses pembakaran berlanjut untuk lapisan atasnya.

e. Tahap Pengemasan

Pada tahap ini batu kapur sudah terdekomposisi menjadi kapur tohor atau quicklime (CaO) dan selanjutnya dikemas ke dalam karung dan siap dipasarkan.

### 5.1.5 *Penyesuaian Proses Pembakaran*

Untuk kegiatan proses pembakaran pada industri batu kapur Bukit Tui, penulis rasa tidak jauh berbeda dengan proses pembakaran pada pengolahan batu kapur pada umumnya. Tahapan pada proses ini sudah cukup efektif untuk skala pengolahan tradisional.

### 5.1.6 *Efisiensi Pembakaran Batu Kapur Bukit Tui*

$$E = \frac{H_c \times L_s}{C_f \times M_f}$$

$$E = \frac{3.063,49 \text{ MJ} \times 0,6719}{23 \text{ MJ} \times 336,18 \text{ kg/ton}}$$

$$E = 26,63 \%$$

### 5.1.7 *Hasil Pengolahan*

Hasil dari proses pembakaran batu kapur di Bukit Tui adalah berupa kapur tohor. Batu kapur yang telah selesai dibakar kemudian dikeluarkan dari dalam tungku melalui jendela yang terdapat pada dasar tungku. Kapur tohor didiamkan dulu beberapa saat untuk mengurangi suhu dan selanjutnya dikemas ke dalam karung dan siap di pasarkan. Satu karung kapur tohor produksi pabrik pembakaran ini berisi 50 kg.

Untuk pemasaran, pabrik pembakaran ini hanya mengandalkan pesanan tanpa adanya kontrak atau ikatan perjanjian apapun dari pembeli, sehingga ini bisa menimbulkan kehabisan ataupun menumpuknya persediaan kapur tohor di dalam gudang dan tentu akan berakibat juga pada nilai ekonomi dari kegiatan pembakaran tersebut.

### 5.1.8 *Tenaga Kerja*

Tenaga kerja pada industri batu kapur Bukit Tui dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu tenaga kerja penambangan dan tenaga kerja pembakaran. Pada proses penambangan terdapat 18 orang penambang yang terbagi dalam 6 kelompok dimana masing-masing kelompok penambang beranggotakan 3 orang. Pada proses pembakaran terdapat 6 orang pekerja yang terbagi menjadi 2 orang bertugas memasukkan batu kapur dan batubara kedalam tungku dan 4 orang lainnya bertugas memasukkan kapur tohor ke dalam karung.

### 5.1.9 *Pemasaran*

Sebagian kecil dari pemilik tungku kapur mengirim hasil produksinya ke tempat penggilingan/ pengolahan untuk dijadikan serbuk kapur yang lebih halus. Industri pengolahan serbuk kapur ini lokasinya tidak jauh dari lokasi tungku kapur. Dahulu proses penghalusan menggunakan mesin yang dimodifikasi sedemikian rupa dengan kawat saringan wiremesh dari bahan kawat kecil. Ukuran wiremesh antara 60-80 mesh. Namun sekarang mereka sudah menggunakan mesin yang lebih canggih (80 mesh) dengan serbuk kapur yang lebih halus. Kapur yang berwarna putih bukan jaminan lebih berkualitas, karena bagus tidaknya tepung kapur sangat tergantung dari kandungan kimia kapur terserbut.

Untuk pemasaran mencakup wilayah Sumatera Selatan, Riau, dan Sumatera Utara<sup>[8]</sup>.

Kapur-kapur tersebut selanjutnya diolah sebagai bahan campuran untuk pupuk, perikanan, campuran cat, campuran semen, campuran besi, campuran pakan ternak, industri kertas dan lain-lain. Selama ini penggunaan batu kapur dari Sumatera Barat hanya terbatas sebagai kapur tohor, yaitu perekat dalam adukan semen atau pemutih pada tembok, sehingga masih bernilai ekonomis rendah. Sebenarnya dapat dilakukan upaya meningkatkan nilai tambah produk batu kapur adalah dengan pembuatan Precipitated Calcium Carbonate (PCC) yang memiliki nilai ekonomis tinggi<sup>[8][15]</sup>.

#### 5.1.10 Peningkatan Efisiensi Pembakaran

Pada pengolahan batu kapur Bukit Tui, nilai efisiensi tergolong rendah. Energi yang dibutuhkan adalah sebesar 2058,3589 MJ, sedangkan energi yang bisa dihasilkan dari 336,18 kg batubara untuk setiap ton kapur tohor dengan kadar CaO 67,19% adalah sebesar 7732,14 MJ. Bila pembakaran dapat berjalan sempurna maka kebutuhan bahan bakar hanya sebesar 89,49 kg untuk setiap ton kapur tohor dengan kadar CaO 67,19%. Hal ini mengindikasikan adanya kehilangan panas dalam proses produksi sebesar 5673,7811 MJ.

Kehilangan panas ini disebabkan oleh pembakaran yang tidak sempurna. Faktor yang menyebabkan pembakaran tidak sempurna biasanya adalah suhu pembakaran yang tidak mencukupi, waktu pembakaran yang terlalu singkat, suplai udara yang kurang serta distribusi udara yang tidak merata pada bahan bakar<sup>[3][7][10]</sup>.

Agar pembakaran menjadi lebih optimal maka proses produksi harus dimodifikasi. Dalam penelitian ini, opsi proses modifikasi yang diusulkan adalah dengan menambahkan fan dan recuperator.

##### a. Kalkulasi Kebutuhan Udara

Proses pembakaran yang tidak sempurna mungkin disebabkan oleh kurangnya suplai udara yang masuk ke dalam proses produksi dan tingginya nilai panas yang terbuang dari dalam tungku melalui emisi udara. Untuk mengatasi permasalahan yang pertama, yaitu kurangnya suplai udara maka ditambahkan fan sebagai penyuplai udara dalam proses pembakaran<sup>[7][14]</sup>.

Batubara dengan kalor jenis 23,562 MJ/kg (10.130 Btu/lb) akan membutuhkan udara

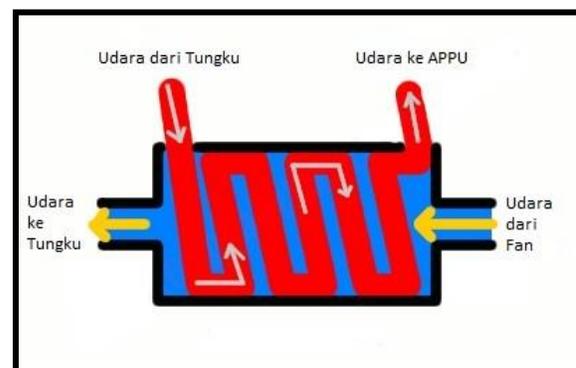
pembakaran sebesar 9,0977 lb/lb bahan bakar atau 9,07 kg/kg batubara<sup>[7]</sup>.

Untuk mengoptimalkan efisiensi pembakaran pada pengolahan batu kapur Bukit Tui dengan kapasitas produksi kapur tohor sebesar 11 ton/hari dan kadar 67,29% CaO dibutuhkan batubara sebesar 984,39 kg (89,49 x 11), berdasarkan data tersebut akan dibutuhkan udara sebesar 8.928,42 kg. Jika massa jenis udara adalah 1,293 kg/m<sup>3</sup> (27°C) dan waktu pembakaran adalah 24 jam, debit udara yang dibutuhkan adalah sebesar 0,07 m<sup>3</sup>/s.

##### b. Penambahan Recuperator

Penambahan fan pada proses produksi akan menyebabkan turunnya suhu pembakaran pada tungku. Penurunan suhu diakibatkan oleh udara sekunder yang disuplai melalui fan suhunya relatif sama dengan suhu udara di lingkungan sekitar, yaitu 27 °C. Hal ini akan mengakibatkan peningkatan konsumsi bahan bakar dan turunnya efisiensi tungku. Oleh karena itu, penambahan fan harus diaplikasikan bersamaan dengan alat pengontrol pertukaran panas atau Recuperator.

Prinsip kerja dari Recuperator adalah dengan mengumpulkan gas buang dari tungku yang kemudian akan digunakan untuk memanaskan suplai udara dari fan tanpa adanya kontak langsung antara dua gas tersebut. Prinsip kerja recuperator dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Prinsip Kerja Recuperator

## 5.2 Nilai Ekonomi Pengolahan Batu Kapur Bukit Tui

Nilai Ekonomi adalah kelayakan ekonomi pengolahan batu kapur Bukit Tui. Nilai ekonomi ini didasarkan pada empat parameter yaitu, *Net Present Value*, Indeks Profitabilitas, *Payback Period*, dan

*Internal Rate of Return*. Nilai Investasi ini dibuat untuk 5 tahun ke depan.

### 5.2.1 Target Produksi

**Tabel 1.** Target Produksi

Tahun	Waktu Kerja Efektif (Hari/Tahun) A	Target Produksi Harian (Ton/hari) B	Target Produksi Tahunan (Ton/tahun) A x B
1	238	11	2.618
2	238	11	2.618
3	238	11	2.618
4	238	11	2.618
5	238	11	2.618
<b>Jumlah</b>			<b>13.090</b>

### 5.2.2 Cash In Flow

Aliran dana masuk pada suatu perusahaan dimana aliran dana ini berasal dari penjualan hasil produksi. Adapun komponen yang termasuk pada aliran dana masuk ini antara lain seperti pada Tabel 2 dibawah ini.

**Tabel 2.** Rencana Pemasaran

Tahun	Penjualan Batu Kapur (Rp)	Penjualan Kapur Tohor (Rp)	Cash In Flow (Rp)
1	834.240.000	890.120.000	1.724.360.000
2	834.240.000	890.120.000	1.724.360.000
3	834.240.000	890.120.000	1.724.360.000
4	834.240.000	890.120.000	1.724.360.000
5	834.240.000	890.120.000	1.724.360.000
<b>Jumlah</b>	<b>4.171.200.000</b>	<b>4.450.600.000</b>	<b>8.621.800.000</b>

### 5.2.3 Net Present Value

Sebuah proyek dikatakan dapat diterima apabila nilai NPV-nya lebih besar dari nol ( $NPV > 0$ ), yang menyatakan bahwa nilai proyek tersebut menguntungkan dari segi ekonomi dan lebih kecil

dari nol ( $NPV < 0$ ) untuk proyek tidak layak dari segi ekonomi<sup>[6]</sup>. Tabel 3 berikut adalah perhitungan NPV pengolahan batu kapur Bukit Tui.

**Tabel 3.** Perhitungan NPV

Tahun	Net Cash Flow (Rp)	Discount Factor (15%)	PVN Cash Flow (Rp)
1	94.348.000	0,8696	82.041.739
2	111.608.000	0,7561	84.391.682
3	111.608.000	0,6575	73.384.072
4	111.608.000	0,5718	63.812.236
5	111.608.000	0,4972	55.488.901
<b>Jumlah</b>	<b>540.780.000</b>		<b>359.118.631</b>

$$NPV = PVN \text{ Cash Flow} - \text{Pengeluaran Awal}$$

$$= \text{Rp } 359.118.631 - \text{Rp } 22.584.000$$

$$= \text{Rp } \mathbf{336.534.631}$$

### 5.2.4 Payback Period

**Tabel 4.** Perhitungan *Payback Period*

Tahun	Cash In (Rp)	Cash Out (Rp)	Selisih Kumulatif (Rp)
1	1.724.360.000	1.630.012.000	94.348.000
2	1.724.360.000	1.612.752.000	205.956.000

$$\text{Payback} = 0 \text{ Tahun} + (\text{Rp } 94.348.000 / \text{Rp}$$

$$1.612.752.000) \text{ Tahun}$$

$$= 0 \text{ Tahun} + 0,058501245 \text{ Tahun}$$

$$= 0,058501245 \text{ Tahun}$$

$$= \mathbf{0,70 \text{ Bulan}}$$

### 5.2.5 Internal Rate of Return

**Tabel 5.** Perhitungan IRR

Tahun	Cashflow (Rp)	Suku Bunga			
		400%		450%	
1	94.348.000	0.2000	Rp 18.869.600	0.1818	Rp 17.154.182
2	111.608.000	0.0400	Rp 4.464.320	0.0331	Rp 3.689.521
3	111.608.000	0.0080	Rp 892.864	0.0060	Rp 670.822
4	111.608.000	0.0016	Rp 178.573	0.0011	Rp 121.968
5	111.608.000	0.0003	Rp 35.715	0.0002	Rp 22.176
<b>JUMLAH PV</b>			<b>Rp 24.441.071</b>		<b>Rp 21.658.668</b>
<b>NPV</b>			<b>Rp 1.857.071</b>		<b>Rp (925.332)</b>

$$\begin{aligned}
 IRR &= i_1 + \frac{NPV_1}{(NPV_1 - NPV_2)} (i_2 - i_1) \\
 &= 400\% + \frac{Rp\ 1.857.071}{Rp\ 1.857.071 - (-Rp\ 925.332)} (450\% - 400\%) \\
 &= 400\% + (0,6674 \times 50\%) \\
 &= 400\% + 33,3717\% \\
 &= \mathbf{433,3717\%}
 \end{aligned}$$

### 5.2.6 Indeks Profitabilitas

$$\begin{aligned}
 PI &= PV\ Net\ Cash\ Flow / PV\ Initial\ Out\ Cash \\
 &= 359.118.631 / 22.584.000 \\
 &= 15,9014
 \end{aligned}$$

## 6 Kesimpulan dan Saran

### 6.1 Kesimpulan

1. Cadangan batu kapur Bukit Tui yang dapat ditambang adalah sebesar **12,826,641.60 MT** dengan kadar 52,79% CaO dan 0,84% MgO. Serta menghasilkan kapur tohor dengan kandungan CaO sebesar 67,19%.

2. Proses penambangan batu kapur di Bukit Tui sangat tidak efisien. Terlihat dari produktivitas yang sangat rendah, dampak terhadap lingkungan yang di timbulkan, persoalan legalitas dan tingginya resiko kecelakaan kerja
3. Efisiensi tungku pembakaran batu kapur pada pabrik pengolahan Bukit Tui masih tergolong sangat rendah, yaitu sebesar 26,63% untuk setiap ton kapur tohor (kadar 67,19% CaO) yang dihasilkan dengan konsumsi bahan bakar sebesar 336,18 kg/ton kapur tohor yang dihasilkan. Hal ini disebabkan proses pembakaran yang tidak sempurna.
4. Jika pembakaran berlangsung sempurna, konsumsi bahan bakar akan bisa diturunkan menjadi 89,49 kg/ton kapur tohor yang dihasilkan.
5. Untuk meningkatkan efisiensi pembakaran diperlukan modifikasi tungku, yaitu berupa penambahan fan dan recuperator. Alat ini berfungsi meningkatkan suplai udara kedalam tungku untuk memenuhi kebutuhan udara bahan bakar. Pada kasus pengolahan batu kapur Bukit Tui, udara yang dibutuhkan adalah sebesar 8.928,42 kg. Oleh karena itu untuk menyempurnakan proses pembakaran maka dibutuhkan fan yang bisa menyuplai udara ke dalam tungku dengan debit 0,07 m<sup>3</sup>/s.
6. Penambahan fan akan menurunkan suhu di dalam tungku karena disuplai dengan udara dari lingkungan sekitar. Maka pemasangan fan harus diaplikasikan secara bersamaan dengan recuperator untuk meningkatkan suhu udara yang akan disuplai kedalam tungku.
7. Nilai ekonomi dari kegiatan pengolahan batu kapur Bukit Tui adalah sebagai berikut:
  - a. Target produksi sebesar 2.618 ton/tahun.
  - b. Cash In Flow sebesar Rp1.724.360.000 /tahun
  - c. Cash Out Flow sebesar Rp1.630.012.000 pada tahun 1 dan Rp1.612.752.000 pada tahun 2-5
8. Berdasarkan perhitungan pada bab sebelumnya, maka nilai ekonomi pengolahan batu kapur Bukit Tui adalah sebagai berikut:
  - a. NPV = Rp 336.534.631
  - b. Payback Period = 0.7 Bulan atau 24 Hari kerja
  - c. IRR = 433,3717%

d.  $PI = 15,9014$

Dari parameter diatas dapat terlihat nilai  $NPV > 0$ ;  $PP = 0,7$  Bulan;  $IRR = 433,371\%$ ; dan  $PI > 1$ . Oleh sebab itu, pengolahan batu kapur Bukit Tui dapat dinyatakan layak secara ekonomi.

## 6.2 Saran

1. Berdasarkan kesimpulan di atas, sebaiknya industri pengolahan batu kapur Bukit Tui dikelola dibawah satu manajemen yang terpadu. Dengan memberikan IPR ataupun IUP, industri pengolahan ini akan dapat dikontrol dengan baik.
2. Teknik penambangan batu kapur saat ini tidak dapat mencukupi kebutuhan batu kapur untuk beberapa tungku pembakaran yang ada, sebaiknya metode penambangan diganti dengan metode penambangan yang lebih efisien dan dapat meningkatkan produktivitas dari penambangan batu kapur tersebut. Dengan meningkatkan produktivitas penambangan, maka keuntungan yang didapat akan lebih maksimal.
3. Efisiensi pembakaran pada pabrik pengolahan batu kapur Bukit Tui tergolong sangat rendah. Dengan meningkatkan efisiensi pembakaran, hal ini akan dapat memberikan manfaat yang cukup signifikan baik di bidang ekonomi maupun terhadap kelestarian lingkungan
4. Walaupun pengolahan batu kapur Bukit Tui dapat dinyatakan layak secara ekonomi, namun dari segi teknis, industri pengolahan ini masih belum sesuai dengan kaidah pertambangan yang baik dan benar (GMP). Untuk itu sangat dianjurkan untuk mengganti metode teknik penambangan agar bisa memberikan manfaat yang optimal bagi masyarakat dan lingkungan.

## Daftar Pustaka

- [1] Boggs Jr, S., & Boggs, S. (2009). *Petrology of sedimentary rocks*. Cambridge university press.
- [2] Anonim. 2012. *Laporan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik Aspek Teknis Pertambangan*. Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara. Tidak diterbitkan.
- [3] Muhsin, M., & Tomo, H. S. (2011). *Studi Retrofit Produksi Kapur Tohor Skala Menengah Untuk Meningkatkan Efisiensi Penggunaan Bahan Bakar Dan Mengurangi Pencemaran Udara (Studi Kasus: Industri Kapur Tohor Padalarang)*. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 17(2), 77-86.
- [4] HILL, N., & MASON, K. (1997). *How To Calculate The Energy Efficiency Of Your Lime*

*Burning Process. Practical Action. World Cement.*

- [5] Sidauruk, D., Giatman, M., & Murad, M. (2018). *Analisis Kelayakan Investasi Menggunakan Metoda Discounted Cash Flow Tambang Galena PT. Triple Eight Energy, Kecamatan Koto Parik Gadang Diatesh Kabupaten Solok Selatan Provinsi Sumatera Barat*. *Bina Tambang*, 3(2), 790-806.
- [6] Giatman, M. (2006). *Ekonomi Teknik*. PT. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- [7] Patabang, D. (2009). *Analisis Kebutuhan Udara Pembakaran untuk Membakar Berbagai Jenis Batu Bara*. *SMARTek*, 7(4).
- [8] Verinita dan Lukito, Hendra. 2009. *Strategi Pengembangan Pemasaran Industri Kapur Pertambangan Rakyat Di Kawasan Bukit Tui Dalam Upaya Mengentaskan Kemiskinan Dan Peningkatan Perekonomian Masyarakat*. Artikel Hibah Strategi Nasional Bidang Ilmu Ekonomi. Universitas Andalas.
- [9] Beach, Robert H, dkk. 2000. *Lime Production: Industry Profile*. Final Report. Project Number 7647-001-020. Research Triangle Institute.
- [10] Okonkwo, P. C., Adefila, S. S., & Beecroft, G. A. (2012). *Fundamental Approach To The Design Of Single Vertical Shaft Lime Kiln*. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2(2), 70-78.
- [11] Nesselrodt, K., Lee, S., Andrews, J. D., & Hart, P. W. (2015). *Mill study on improving lime kiln efficiency*. *TAPPI JOURNAL*, 14(2), 133-139.
- [12] Furqon, M. (2012). *Rancang Bangun dan Perekayasa Tungku Fluidizedbed Sirkulasi Batu Bara Kalori Rendah (Lignit) Untuk Menghasilkan Efisiensi Pembakaran Tinggi Dan Ramah Lingkungan*. *Journal of Industrial Research (Jurnal Riset Industri)*, 6(2), 41-47.
- [13] Astuti, F. A., & Sungkowo, A. (2016). *Kelayakan Ekonomi dan Lingkungan Kegiatan Pertambangan Rakyat di Kabupaten Sleman*. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 8(2), 101-111.
- [14] Anonim. Tanpa tahun. *A Case Study In Lime Production Traditional Techniques In Sri Lanka*. Practical Action. Tidak diterbitkan.
- [15] Aziz, M. (2010). *Batu Kapur Dan Peningkatan Nilai Tambah Serta Spesifikasi Untuk Industri*. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 6(3), 116-131.

- [16] Pusvitasari, Endah Reni. 2010. *Analisis Investasi Dengan Real Option Valuation Pada Tambang Batubara Studi Kasus Tambang Satui-Karuh PT. Arutmin Indonesia*. Institut Teknologi Bandung. Skripsi.