

**ESTIMASI TITIK IMPAS KADAR BIJIH TEMBAGA PER TON PRODUKSI  
PADA PENAMBANGAN BAWAH TANAH DI TAMBANG DOZ  
PT. FREEPORT INDONESIA - PAPUA**

**BREAK-EVEN POINT LEVELS ESTIMATED PER TON OF ORE COPPER PRODUCTION IN  
UNDERGROUND MINING IN MINE DOZ  
PT. FREEPORT INDONESIA – PAPUA**

**Frencky Achilles Suebu<sup>1</sup>, Syamsul Komar<sup>2</sup>, Mukiat<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Jl. Sriwijaya Negara,  
Bukit Besar, 30139 Palembang

**PT. Freeport Indonesia, Tembagapura, Papua 99930**

**E-mail : frenckys@yahoo.com**

**ABSTRAK**

*Penentuan titik impas kadar bijih banyak digunakan untuk menuntun kegiatan perencanaan dan kegiatan operasi penambangan agar dapat lebih ekonomis. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengestimasi berapa besar kadar bijih tembaga minimum per ton produksi yang memberikan nilai setimbang (impas) berdasarkan kriteria serta pengembangan simulasi sederhana dengan menggunakan program komputer praktis melalui pendekatan cash flow. Tambang bawah tanah (TBT) DOZ sebagai tempat penelitian menggunakan metode block caving guna menambang cadangan bijih tembaga. Kapasitas produksi tertinggi dicapai pada tahun 2010 (80ktpd). Kapasitas produksi rata-rata adalah 45Ktpd dengan kadar tembaga 0,90%Cu dan emas 0,69 g/t Au. Rencana target produksi tahun 2013 adalah 26,83 juta ton bijih (73Ktpd) dengan kadar bijih tembaga 0,67%Cu dan emas 0,65g/t Au. Total biaya produksi DOZ yang di targetkan adalah \$120,21 juta dengan unit biaya operasi langsung \$4,48/ton bijih. Kadar aktual bijih hasil sampling lapangan adalah 0,48%Cu dan emas 0,80g/t Au dengan besar cadangan 12,96 juta ton bijih. Berdasarkan kriteria asumsi, maka hasil perhitungan titik impas kadar adalah 0,43%Cu. Adapun hubungan antara biaya produksi terhadap titik impas kadar adalah kuat dengan koefisien korelasi  $r = 1$ ; jadi berdasarkan data ini benar bahwa variabel biaya penambangan sangat mempengaruhi besar titik impas kadar, terbukti.*

Kata Kunci : Titik Impas, Kadar, Bijih, Block Caving

**ABSTRACT**

*Determination of the breakeven cutoff grades is mostly used to guide the mine planning and mining operation activities to be more economics. This paper provides how to estimate the breakeven cutoff grade per ton of copper ore production based on a specific criterias developed from simple simulation by demonstrating a practical computerized cash flow approach. The DOZ underground mines as observed during the study use block caving method has now been applied for this mine to extract the copper ore deposit. The highest production rates capacity had achieved on year 2010 (80ktpd). Daily average production rates 45ktpd with 0,90%Cu and 0,69g/t Au. DOZ production target year 2013 is 26,83Ml tons of ore (73ktpd) with 0,67%Cu and 0,65g/t Au. Total DOZ mining costs budgeted \$120,21 Ml with direct operating unit cost \$4,48/t of ore. Based on block model simulation, average sampling grade results 0,48%Cu and 0,80 g/t Au with 12,96 mineable tons of ore. Refer to some criterias on the basic assumption, the breakeven cutoff grade results 0,43%Cu. There are various value of the breakeven cut off grades displayed if both metal price or operating cost were changed. The relationship between operating costs and breakeven cutoff grades are strong with coefisien of correlation  $r=1$ ; so based on the result it is true that variable of mining operating cost directly effected to breakeven cutoff grades, proven.*

Keywords : Breakeven, grades, ore, block caving

## 1. PENDAHULUAN

Tambang *DOZ* sudah berproduksi pada akhir tahun 2000. Bijih hasil penambangan dari tambang *DOZ*, diangkut ke *stock pile* melalui sistim pengangkutan ban berjalan yang terintegrasi sepanjang jalur pengangkutan bijih (*ore flow system*). Bijih dari *stock pile* inilah, kemudian diangkut sebagai *feed* ke pabrik pengolahan (*Mill*). Setelah *recovery* bijih ditingkatkan, maka konsentrat dari *Mill*, diangkut ke *port site* untuk dipasarkan.

Terdapat berbagai aspek penting dalam proses penambangan, pengolahan hingga pemasaran bijih hasil kegiatan penambangan yang perlu dipelajari. Salah satu hal yang menjadi ketertarikan Penulis adalah tentang bagaimana cara mengestimasi besarnya nilai kadar bijih minimum pada suatu deposit bijih (*mineable reserves*) agar aktivitas penambangan berada pada titik yang setimbang, utamanya antara biaya yang dikeluarkan untuk menambang tiap ton bijih dibandingkan dengan profit yang diperoleh dari hasil produksi yang laku terjual. Lokasi TBT *DOZ* menjadi tempat penelitian guna mencari data, mengolah dan membuktikan hal-hal penting yang menjadi pokok permasalahan.

Beberapa artikel tambang menyebutkan penulis terdahulu seperti Mortimer (1950), mendefinisikan bahwa penentuan *Cutoff Grade* (*COG*) sangat dipengaruhi oleh biaya serta besarnya kadar bijih yang dapat memberikan keuntungan seimbang dengan biaya produksi (Graem Hancock, Indonesian mining... "Elements of cutoff grade theory", 2007). Istilah tersebut berkembang hingga saat ini dan dikenal sebagai titik impas kadar (*breakeven grade*). *Breakeven grade* merupakan kadar minimum ataupun pencapaian kadar optimal yang memberi kesetimbangan antara aktivitas penambangan dengan besar biaya tertentu yang dikeluarkan untuk memperoleh profit dari penjualan nilai bijih yang telah diolah (konsentrat) dan diasumsikan bahwa konsentrat tersebut laku terjual.

Lane (1964), melakukan penelitian dan observasi penting dan menyimpulkan bahwa *COG* bukan satu-satunya fungsi dari distribusi kadar semata yang mempengaruhi kapasitas operasi penambangan. Disebutkannya bahwa tiap komponen dari kegiatan operasi tambang memiliki biaya tersendiri sehingga tiap bagian dalam satuan operasi, memiliki kontribusi optimasi minimum dari *COG*. Menurut Lane, terdapat tiga komponen biaya penting yang mempengaruhi *COG* termasuk biaya operasi. Komponen tersebut yaitu aspek penambangan, pengolahan dan pemasaran. Hubungan antara teori *COG* dengan aktivitas TBT di *DOZ* menjadi sebuah hal yang berguna untuk dipelajari.

Metode ambrukan dengan sistim blok merupakan salah satu metode penambangan bawah tanah dimana badan bijihnya (*ore body*) diambil dengan cara pemotongan bagian bawah tubuh bijih (*undercutting*) melalui kegiatan pemboran dan peledakan. [1].

Penemuan batuan tertua dalam distrik Grasberg-Ertsberg diperkirakan berumur *jurassic-cretaceous* yang terdapat pada kelompok Kembelangan [2]. intrusi primer pada daerah *GIC* (*Grassberg Intrusive Complex*) dan Ertsberg *diorite*, serta beberapa intrusi lain yang terdapat pada empat lokasi yaitu Wanagon, South Wanagon, Idenberg, dan Lembah Tembaga (*subsurface*) [3].

Industri pertambangan merupakan salah satu industri yang padat modal, teknologi dan memiliki resiko tinggi. Oleh karena itu maka sebelum kegiatan penambangan dimulai, diperlukan suatu proses pengkajian yang seksama untuk meneliti kelayakan industri tambang tersebut [4].

total biaya tetap merupakan jumlah biaya yang besarnya tidak tergantung pada besar kecilnya volume produksi atau dengan kata lain biaya tetap atau *Fixed Cost* (*FC*) merupakan besarnya biaya yang dikeluarkan secara tetap untuk tujuan tertentu terutama untuk mendukung kegiatan produksi. *variable cost* merupakan fungsi biaya yang besarnya bergantung dari jumlah produk yang diproduksi. Oleh karena total biaya ini besarnya dipengaruhi oleh besar kecilnya volume produksi maka,  $VC = f(Q)$  dimana  $Q$  adalah volume produksi. Total biaya (*TC*) merupakan jumlah dari kedua komponen biaya diatas, sehingga  $TC = FC + VC$  atau  $TC = FC + vQ$  [5]. Titik impas memiliki beberapa variabel penting, diantaranya ada variabel biaya dan volume produksi [6].

Pengumpulan sampel haruslah berasal dari data yang representative [7]. Untuk mendapatkan jumlah sampel rata-rata perlu menggunakan tabel distribusi frekuensi agar didapatkan nilai rata-rata yang baik [8]. Besarnya kadar minimum dapat dihitung dengan membandingkan berapa jumlah biaya yang dikeluarkan untuk memproduksi bijih tembaga terhadap profit yang diperoleh berdasarkan kriteria tertentu [9].

Pengolahan data statistik khususnya dalam analisa regresi dan korelasi, umumnya digunakan untuk mempelajari pola serta hubungan statistik antara dua atau lebih variable [10].

## 2. METODE PENELITIAN

Disadari bahwa keberhasilan penelitian ini sangat dipengaruhi oleh kebenaran sumber data, bagaimana cara mengumpulkan data dan informasi dilapangan serta ketelitian dalam melakukan pengolahan data tersebut. Adapun proses pengolahan data bersumber dari data primer dan sekunder. Sesuai dengan kebutuhan dan jadwal penelitian maka data sebagai pendukung dalam penelitian ini dibatasi dari periode Januari – Juni 2013.

Untuk memperjelas tahapan kegiatan, maka lokasi penelitian serta metoda analisa data dalam penulisan, antara lain :

### 1. Lokasi Penelitian

Pengambilan data serta pengumpulan informasi berlokasi di TBT *DOZ*, wilayah operasi PT. Freeport Indonesia, Tembagapura – Papua.

### 2. Metode Analisa Data dan Tahap Kegiatan

Metoda analisa data yang digunakan terdiri dari analisa kualitatif dan kuantitatif. Adapun metoda analisa data termasuk tahapan kegiatan dan sumber data, seperti ditunjukkan dalam (Gambar I.1).

Seperti ditunjukkan dalam (Gambar 1) pada halaman sebelumnya, alur penyusunan laporan ini terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu tahap kunjungan lapangan, tahap pengolahan data serta tahap bimbingan dan penyusunan laporan akhir.

#### 1. Tahap Kunjungan Lapangan

Kunjungan lapangan (observasi) dimaksudkan untuk melakukan pengambilan data primer dan sekunder sekaligus melihat secara langsung kegiatan penambangan dan proses kerja lainnya yang berhubungan dengan pokok.

#### 2. Tahap pengolahan data

Tahap ini meliputi tahap persiapan model dan pengembangan simulasi termasuk penentuan asumsi dasar yang diperoleh dari data primer dan sekunder. Dengan menggunakan metode kualitatif dan kuantitatif, proses tabulasi perhitunganpun dilakukan untuk mendapatkan hasil estimasi titik impas dan penyebaran kadar bijih. Setelah data output diperoleh (BCOG), maka evaluasi hasil pengolahan data tersebut dikembangkan ke dalam simulasi sensitivitas. Analisa ini bertujuan untuk mengevaluasi besarnya titik impas kadar bijih tembaga akibat pengaruh terburuk terutama bila harga jual tembaga (turun) dan biaya produksi (naik).

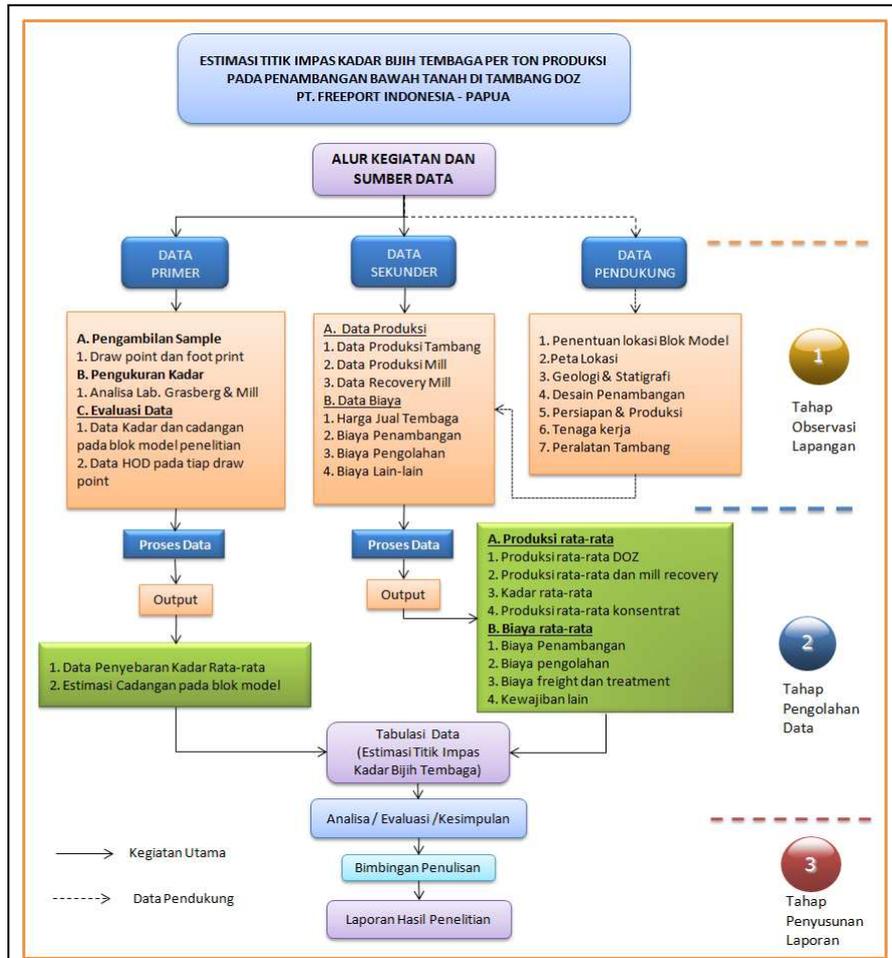
#### 3. Tahap penyusunan laporan penelitian

Arahan dan bimbingan sangat dibutuhkan dalam tahapan ini. Hasil pengolahan data, secara sistematika disusun sesuai kaidah penyusunan laporan yang dapat dipertanggung jawabkan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut Lane, terdapat tiga komponen biaya penting yang mempengaruhi *COG* termasuk biaya operasi. Komponen tersebut yaitu aspek penambangan, pengolahan dan pemasaran. Pendekatan yang digunakan dalam perhitungan titik impas ini lebih kepada penerapan metode aplikatif *cash flow* yang disusun secara sederhana dalam program berbasis excel, berdasarkan kebutuhan pembahasan.

Adapun dasar asumsi yang digunakan seperti ditunjukkan dalam (Tabel 1) sedangkan data hasil tabulasi ditunjukkan dalam (Tabel 2).



**Gambar 1. Tahap Kegiatan Dan Sumber Data**

Menurut Lane, terdapat tiga komponen biaya penting yang mempengaruhi *COG* termasuk biaya operasi. Komponen tersebut yaitu aspek penambangan, pengolahan dan pemasaran. Pendekatan yang digunakan dalam perhitungan titik impas ini lebih kepada penerapan metode aplikatif *cash flow* yang disusun secara sederhana dalam program berbasis excel, berdasarkan kebutuhan pembahasan.

Adapun dasar asumsi yang digunakan seperti ditunjukkan dalam (Tabel 1) sedangkan data hasil tabulasi ditunjukkan dalam (Tabel 2)

**Tabel 1. Dasar Asumsi**

Production Factors	Mill Factors	Treatment Factors	Operating Cost	Royalties	Metal Price	Freight and Treatment Cost
One tons milled (1 ton)	Mill recovery (89%)	Losses (1%)	Direct operating (\$6,11/t)	Metal and price (3,5%)	Copper Price (1%)	Freight costs (\$39,10/dmt)
Head grades (1% Cu)	Concentrate ratio (23%)	Moisture (9%)	Oreflow (\$0,09/t)	Fixed (1%)		Treatment costs (\$81,38/dmt)
		Smelter recovery (96,5%)	Mill (\$1,67/t)			Refining costs (\$0,08/lb)
			Support (-)			
			G&A (\$3,72/t)			

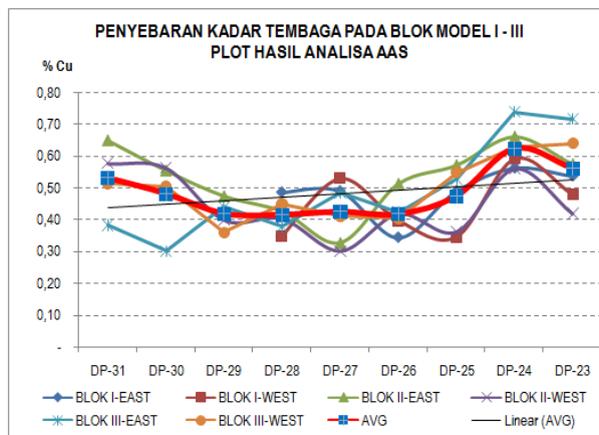
Tabel 2. Tabulasi Titik Impas Pada Model

<i>Calculation of break even cutoff grades</i>	<i>Unit</i>	<i>Physical Quantity &amp; Costs</i>
<i>Ore tons Milled</i>	<i>Ton</i>	<b>1</b>
<i>Cu Head Grade</i>	<i>Cu%/ton</i>	<b>0,01</b>
<i>Contained metal in ton mill feed</i>	<i>/t Cu (rom)</i>	<b>0,01</b>
<i>Metal in concentrate from 1 ton mill feed</i>	<i>/t Cu (Concentrate)</i>	<b>0,0089</b>
<i>Payable metal in concemrate from 1 ton mill feed</i>	<i>t Cu (pay)</i>	<b>0,0086</b>
<i>Convert to pound</i>	<i>lb Cu (pay)</i>	<b>18,93</b>
<i>Free on board (looses factor and moisture conten, concentrate –FOB)</i>	<i>lb Cu (pay)</i>	<b>17,0342</b>
<i>Revenue from payable metal.....</i>		<b>\$ 34,07</b>
<i>Freight costs</i>	<i>\$ US</i>	<b>\$ 1,51</b>
<i>Treatment costs</i>	<i>\$ US</i>	<b>\$ 3,15</b>
<i>Refining costs</i>	<i>\$ US</i>	<b>\$ 1,51</b>
<i>Sub total treatment costs.....</i>		<b>\$ 6,17</b>
<i>Royalty</i>	<i>\$ US</i>	<b>\$ 0,98</b>
<i>FFIJD</i>	<i>\$ US</i>	<b>\$ 0,27</b>
<i>Sub Total Royalty.....</i>		<b>\$ 1,25</b>
<i>Total Costs.....</i>		<b>\$ 1,25</b>
<i>Revenue After Offsite Costs and Royalties.....</i>		<b>\$ 7,42</b>
<i>Total mining costs to produce 1 ton of ore with 1% Cu.....</i>		<b>\$ 11,59</b>
<i>Summary</i>		
<i>Break Even.Cutoff.Grade.....</i>		<b>0,43%Cu</b>

Data hasil tabulasi utamanya apabila TBT DOZ dapat memproduksi bijih dengan kadar 1%Cu pada biaya produksi \$11,6/ton maka berdasarkan komponen pada dasar asumsi (Tabel 1), titik impas kadar bijih tembaga adalah 0,43%Cu seperti dalam (Tabel 2).

Sebaliknya, berdasarkan kegiatan sampling kadar bijih tembaga yang dilakukan di tiap *draw point*, diperoleh data penyebaran kadar seperti ditunjukasn dalam (Gambar 2) dan (Gambar 3).

Berdasarkan data penyebaran tersebut, terlihat bahwa rata-rata kadar tertinggi berada pada daerah Selatan terutama pada draw point nomor 24 dan 23.



Gambar 2. Penyebaran Kadar Tembaga

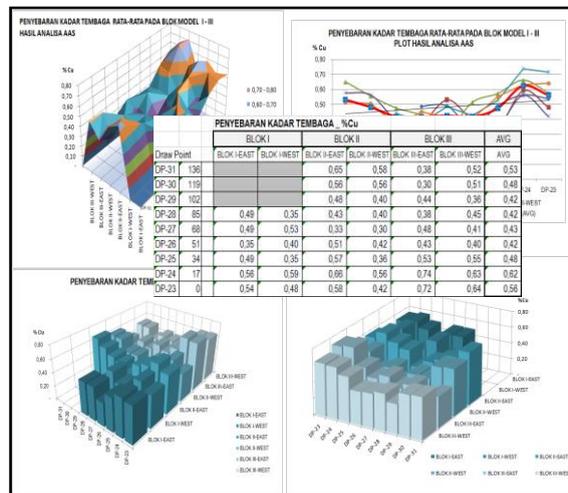
Berdasarkan hasil analisa sensitivitas, apabila terjadi perubahan pada harga jual tembaga yang naik atau turun \$0,5/lb, maka kondisi ini ditunjukkan pada (Gambar 3). Garis biru merupakan titik impas berdasarkan kadar rata-rata hasil pengukuran di lapangan (0,48% Cu) sedangkan grafik berwarna merah adalah kadar dengan 1%Cu.

Sebaliknya apabila terjadi perubahan pada aktivitas produksi yang menyebabkan terjadinya perubahan pada biaya penambangan yang naik atau turun sebesar \$1/ton penambangan, maka gambaran ini ditunjukkan pada (Gambar 4).

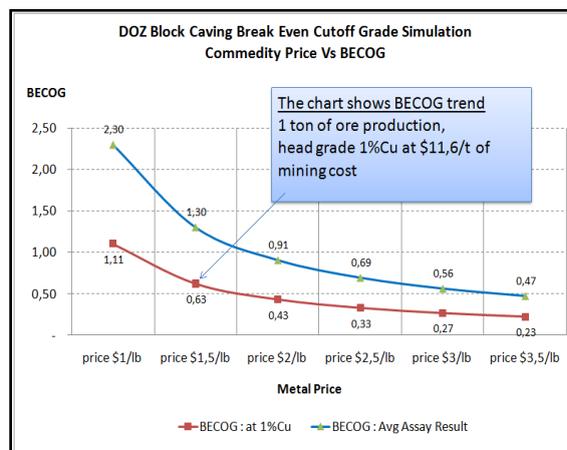
Sebaliknya apabila terjadi perubahan pada aktivitas produksi yang menyebabkan terjadinya perubahan pada biaya penambangan yang naik atau turun sebesar \$1/ton penambangan, maka gambaran ini ditunjukkan pada (Gambar 5).

Bagaimana dengan pembuktian pengaruh biaya produksi terhadap titik impas kadar ?. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan metode statistik, maka diperoleh bahwa benar, naik turunnya biaya produksi berdampak pada posisi titik impas kadar. Hal ini ditunjukkan dengan kuatnya hubungan atau korelasi kedua variabel tersebut dimana  $r=1$  (hubungan yang kuat; positif). Kondisi ini ditunjukkan dalam (Gambar 6).

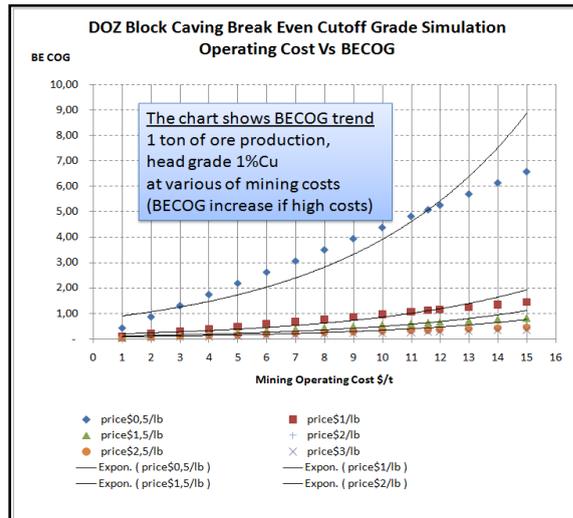
Aktivitas penambangan bijih pada daerah tertentu membutuhkan target produksi yang berbeda. Tinggi rendahnya tingkat produksi belum dapat menjamin bahwa tambang tersebut berada pada batas aman (ekonomis). Beberapa faktor seperti tingginya biaya operasi, besar kecilnya kadar bijih dan nilai jual metal merupakan variabel yang menentukan dan sangat mempengaruhi keberlangsungan proses produksi.



Gambar 3. Kadar Tembaga Blok I-III



Gambar 4. BCOG Terhadap Harga Jual Tembaga

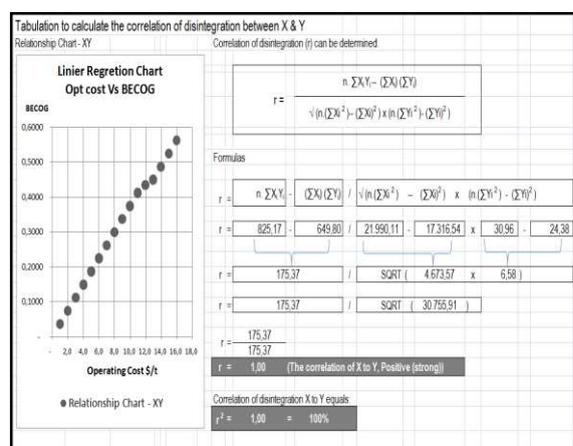


Gambar 5. BECOG Terhadap Biaya Produksi

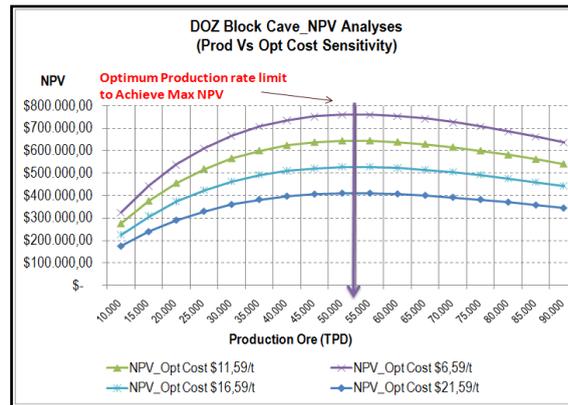
Sebaliknya apabila terjadi perubahan pada aktivitas produksi yang menyebabkan terjadinya perubahan pada biaya penambangan yang naik atau turun sebesar \$1/ton penambangan, maka gambaran ini ditunjukkan pada (Gambar 5).

Bagaimana dengan pembuktian pengaruh biaya produksi terhadap titik impas kadar ?. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan metode statistik, maka diperoleh bahwa benar, naik turunnya biaya produksi berdampak pada posisi titik impas kadar. Hal ini ditunjukkan dengan kuatnya hubungan atau korelasi kedua variabel tersebut dimana  $r=1$  (hubungan yang kuat; positif). Kondisi ini ditunjukkan dalam (Gambar 6).

Aktivitas penambangan bijih pada daerah tertentu membutuhkan target produksi yang berbeda. Tinggi rendahnya tingkat produksi belum dapat menjamin bahwa tambang tersebut berada pada batas aman (ekonomis). Beberapa faktor seperti tingginya biaya operasi, besar kecilnya kadar bijih dan nilai jual metal merupakan variabel yang menentukan dan sangat mempengaruhi keberlangsungan proses produksi. Terdapat beberapa metoda untuk menentukan kapasitas produksi optimum yang memberikan keuntungan maksimal dalam periode tertentu. Salah satu metode yang umum digunakan adalah dengan mengukur penerimaan NPV maksimum melalui penentuan variabel dan dasar asumsi yang jelas. Variabel ini antara lain seperti menentukan besarnya biaya produksi, pengolahan, angkutan dan pemurnian serta proses penjualan metal sebagai produk akhir yang memberikan keuntungan dari penjualan produk. Pada analisa penentuan produksi optimal berdasarkan perolehan NPV maksimum berdasarkan (Tabel 1); dari hasil tabulasi diperoleh bahwa dengan asumsi ( $i=10\%$ ), tingkat produksi optimum dapat dicapai pada produksi 55ktpd. Produksi yang kurang dari 55ktpd atau di atasnya memberikan nilai NPV yang rendah. Hal ini seperti ditunjukkan dalam (Gambar 7).



Gambar 6. BCOG Terhadap Biaya Produksi



Gambar 7. BCOG Terhadap Biaya Produksi

#### 4.KESIMPULAN

1. Berdasarkan kriteria pada dasar asumsi, maka hasil estimasi kadar tembaga yang memberikan nilai impas pada tingkat produksi 1%Cu per ton produksi bijih pada TBT DOZ adalah 0,43%Cu.
2. Hasil *sampling* kadar bijih yang ditabulasikan dalam perhitungan menunjukkan bahwa besar kadar bijih tembaga rata-rata pada blok model I-III adalah 0,48%Cu dan emas 0,8 g/t Au.
3. Berdasarkan analisa perolehan NPV maksimum, tingkat produksi optimum (i=10%) dapat diperoleh apabila tambang mampu berproduksi pada tingkat 55ktpd pada kadar tembaga 1%Cu.
4. Dari simulasi terlihat bahwa naik turunnya biaya produksi mempengaruhi titik impas kadar bijih yang ditambang, sudah terbukti benar; dimana  $r=1$  (hubungan yang kuat).
5. Analisa sensitivitas titik impas kadar bijih tembaga sangat membantu dalam memperkirakan kemungkinan terburuk apabila terjadi penurunan harga jual dan atau naiknya biaya produksi yang berdampak pada kecilnya profit. Hasil analisa sensitivitas tersebut menunjukkan bahwa besar titik impas kadar adalah bervariasi. Kurva grafis hasil perhitungan tersebut, berguna untuk perencanaan dan pengendalian kegiatan produksi dan biaya penambangan.
6. Penelitian ini sangat terbatas sehingga pengembangan kajian guna penilaian titik impas kadar yang lebih baik perlu dilanjutkan, terutama untuk menjangkau metode pengkajian pada aplikasi penambangan pada area yang berbasis endapan bijih kompleks. Artinya bijih yang ditambang memiliki kadar dengan kandungan logam yang lebih dari satu.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. W.A.Hastrull, Ed.. 1982. *Underground Mining Methods Handbook*. Review of economic analysis Techniques, Type of costs and Final profitability study-mining a copper deposit.
- [2]. Brannon. 2001. *The Grasberg-Ertsberg District Porphyry Skarn Cu-Au Complex*. PTFI Internal Geological report.
- [3]. Sunyoto Danang. 2011. *Analisa Regresi dan Uji Hipotesis*. PT. Buku Seru Jagakarsa : Jakarta.
- [4]. Sudjana. 1996. *Metode Statistika Edisi VI*. Penerbit Tarsito : Bandung.
- [5]. Ralph, S.P, dkk. 1986. *Cost Accounting, Concepts abd Application for Managerial Decision Making*. McGaraw-Hill Book Company : New York.
- [6]. Spiegel, M.R, dan Stephens, J.L. 2007. *Statistik Edisi Ketiga-Teori dan Soal-Soal*. Penerbit Erlangga dan PT.Gelora Askara Pratama : Jakarta.
- [7]. Soeharto, I. 2002. *Study Kelayakan Proyek Industri*. PT.Erlangga : Jakarta. Perkiraan Biaya Operasi/Produksi, Analisa Titik Impas; Bab 12, hal : 62-82; 381-391.
- [8]. Soehardi, S. 1992. *Analisa Break Even*. Ancangan Linier secara Ringkas dan Praktis, Fakultas Ekonomi, Universitas Gajah Mada : Yogyakarta.
- [9]. Cummins and Given. 1973. *SME Mining Engineering Handbook*, Volume 2. Society of Mining Engineering of The American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc : New York, P.32-34.
- [10]. Stewart Gillies & Hsin Wei Wu, Ed. 2007. *Mining Evaluation Economic*. Classical CutoffGrade or Break Even Analyses, Gillies Wu Mining Technology : Brisbane Austarlia.