

**ANALISIS PENENTUAN KADAR BATAS OPTIMAL (*OPTIMUM CUT-OFF GRADE*)
DENGAN METODE LANE: STUDI KASUS PENAMBANGAN EMAS BAWAH TANAH**

Sari Uly Sibarani¹, Fadhila A Rosyid², Aryo P Wibowo², Lilik E Widodo³, M Nur Heriawan³

1) Mahasiswa Bidsus Ekonomi Mineral, Prodi Magister Rekayasa Pertambangan, FTTM-ITB

2) Kelompok Keahlian Teknik Pertambangan, FTTM-ITB

3) Kelompok Keahlian Eksplorasi Sumberdaya Bumi, FTTM-ITB

Alamat: Jl. Ganesha No.10 Bandung 40132

Kontak: fadhila@mining.itb.ac.id dan arwi@mining.itb.ac.id

ABSTRAK

Konservasi mineral akan tercapai manakala semakin banyak cadangan mineral tertambang dan meninggalkan sesedikit mungkin material *waste*. Untuk mencapai hal tersebut salah satu cara yang dapat ditempuh adalah menentukan jumlah cadangan berdasarkan kadar batas yang optimal (*optimum cut-off grade*). Dalam penentuan *optimum cut-off grade*, model matematis yang dapat dipergunakan adalah model/persamaan Lane. Metode Lane akan memaksimalkan nilai *Net Present Value* (NPV) dengan mempertimbangkan 3 variabel, yaitu; variabel ekonomi (harga komoditas dan biaya), distribusi kadar pada endapan, dan kapasitas maksimum pada tahapan penambangan (*mining, milling, and refinery*). Model Lane biasa diterapkan dalam tambang terbuka, namun dalam penambangan bawah tanah sulit untuk diterapkan. Dalam peper ini akan dikaji penerapan Model Lane dalam penentuan *optimum cut-off grade* pada penambangan urat (*vein*) emas bawah tanah dengan metode *cut-and-fill*. Hasil simulasi menunjukkan nilai *optimum cut-off grade* yang dinamis dalam memaksimalkan NPV dan nilainya lebih besar dari *break even cut-off grade*.

Kata Kunci: model Lane, optimum cut-off grade, tambang bawah tanah

ABSTRACT

Mineral conservation will be obtained if more mineral reserves are extracted and leaves less waste as possible. One of the methods to achieve those condition is determining the total minable reserves based on the optimum cut-off grade. Optimum cut-off grade can be estimated using Lane Model. Lane Model will maximize the Net Present Value (NPV) by considering 3 variables, i.e; economic variables (commodity prices and costs), grade distribution of deposit, and maximum capacity of each stage of production (mining, milling, and refinery). Lane models are usually applied in open-pit mines, unfortunately it is difficult to apply for underground mining unless some there are some modifications. This paper will examine the application of the Lane Model in determining the optimum cut-off grade in underground gold mine using cut-and-fill method to extract vein type deposit. Simulation result show dynamic optimum cut-off grade which maximizing NPV and generally greater than the break-even cut-off grade.

Key Words: Lane model, optimum cut-off grade, underground mine

A. PENDAHULUAN

Berdasarkan Undang Undang Dasar 1945 pasal 33 ayat 3 bahwa “Bumi, air, dan kekayaan alam yang terkandung di dalamnya dikuasi oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat”. Untuk dapat mengoptimalkan sumberdaya dalam meningkatkan kemakmuran dan kesejahteraan bangsa maka diterapkan kaidah Konservasi yang tercantum dalam Undang Undang no 4 tahun 2009. Salah satu upaya dalam konservasi yang dimaksud adalah mencakup penambangan cadangan mineral dan/atau batubara yang sebesar-besarnya.

Pengoptimalan penambangan untuk cadangan mineral dapat dilakukan dengan meminimalkan jumlah *waste* sehingga memperoleh banyak bijih. Salah satu faktor yang perlu diperhatikan untuk penambangan bijih tersebut adalah besaran *cut-off grade*. *Cut-off grade* adalah sebuah parameter yang digunakan di penambangan untuk membedakan antara *waste* dan *ore* di dalam suatu deposit mineral. Jika mineral yang terkandung memiliki kadar kurang dari *cut-off grade*, maka mineral tersebut diklasifikasikan sebagai *waste*. Namun jika memiliki kadar di atas *cut-off grade*, maka diklasifikasikan sebagai *ore*. *Waste* umumnya di tinggalkan dilokasi endapan atau di angkut menuju tempat penampungan *waste (waste dump)*, dan *ore* akan di angkut ke pengolahan untuk selanjutnya diolah ke *smelter* dan di jual (Lane, 1964).

Pemilihan *cut-off grade* yang optimal sangat penting karena dapat memaksimalkan keuntungan ekonomi yang diperoleh perusahaan (Net Present Value - NPV) baik *long-term* maupun *short-term* (Whittle & Vassiliev, 1988). Penentuan *cut-off grade* menggunakan *break even cut-off grade* dianggap belum dapat memaksimalkan NPV karena *grade* yang dihasilkan konstan hingga akhir penambangan (Dagdelen, 1992). Lane memperkenalkan *cut-off grade* dinamis dalam modelnya yaitu *optimum cut-off grade* yang dapat memaksimalkan NPV dan menghasilkan *grade* yang selalu lebih tinggi dari *break even cut-off grade*. Nilai *cut-off grade* dinamis tidak hanya dipengaruhi biaya dan harga, namun juga dipengaruhi oleh NPV, kapasitas *mining, concentrate and refining*, serta distribusi *grade* yang terdapat pada endapan (Lane, 1964).

Penentuan *cut-off grade* penambangan adalah proses yang kompleks dimana harus mempertimbangkan *resource*, desain penambangan, *scheduling* dan finansial model (Hall, 200). Penerapan teori *optimum cut-off grade* Lane sulit untuk diterapkan pada penambangan *selective stope underground* (penambangan bawah tanah). Kunci utama dalam menerapkan teori Lane pada penambangan bawah tanah adalah kemampuan secara cepat menggabungkan desain penambangan dan *scheduling* ke dalam perhitungan *optimum cut-off grade* (Poniewierski et al, 2003). Penelitian ini menggunakan model yang sederhana dan representatif yaitu menggabungkan konsep penambangan *underground back and fill* kedalam perhitungan *optimum cut-off grade* pada excel sehingga didapat *cut-off grade* dinamis. Hasil dari penelitian dalam penentuan *cut-off grade* dinamis yang diturunkan dari metode Lane dapat mengoptimalkan NPV dan mengoptimalkan jumlah cadangan yang tertambang.

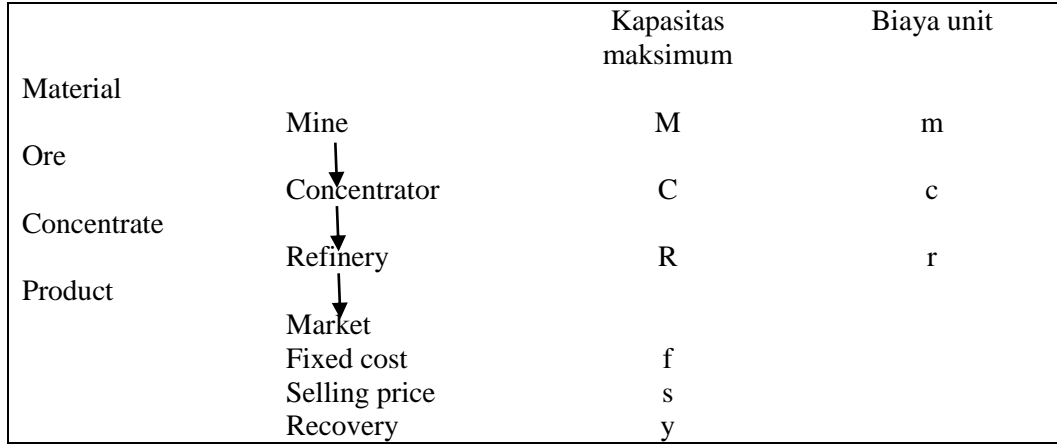
B. OPTIMUM CUT-OFF GRADE

Pemilihan *cut-off grade* yang optimal untuk memaksimalkan NPV sudah menjadi topik signifikan oleh peneliti sejak 1960an (Liu dkk, 2019). Penelitian Lane telah diakui sebagai jawaban dari isu pengoptimalan NPV pada teorinya berjudul *optimum cut-off grade*. Lane mengembangkan sebuah model matematika yang dapat memaksimalkan nilai NPV sebagai fungsi objektif dengan mempertimbangkan 3 hal yaitu; factor ekonomi (harga dan biaya), kapasitas dari 3 tahapan pertambangan (*mining, concentrate, refining*), dan distribusi *grade* yang ada di endapan. (Lane, 1964)

Beberapa penelitian telah dilakukan dengan memodifikasi model *optimum cut-off grade* - Lane. Dagdelen (1992) dalam 23rd APCOM Proceedings mengemukakan bahwa *optimum cut-off grade* dapat dihitung dengan pendekatan *algorithm* dan iterasi. Whittle and Wharton (1995) menyatakan

bahwa menggunakan *opportunity cost* yaitu *delay cost* dan *change cost* dapat memaksimalkan NPV. Gholamnejad (2008) dalam penelitiannya bertujuan untuk menunjukkan pengaruh *cut-off grade* terhadap biaya reklamasi terhadap perolehan NPV yang maksimum. Rashidinejad dkk (2008) memodifikasi dan mengubah model dasar Lane dengan memasukkan isu lingkungan terhadap deposit *porphyry copper*. Asad (2007) memasukkan eskalasi kenaikan harga dan biaya selama masa penambangan. Asad dan Topal (2011) memasukkan *option stockpile* dalam *optimum cut-off grade* Lane.

Lane memformulasikan konsep optimum cut-off grade ke dalam sebuah skema seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Model *optimum cut-off grade* -Lane (Lane, 1964)

M = Maksimum jumlah material (ore dan waste) yang ditambang per periode (ton of material/periode), m = Pada *underground* adalah biaya *development* (*shaft deepening, drifting, track laying, extension* ke *power supplies, ventilation*, dan juga *sampling*) (\$/ton material), C = Maksimum jumlah ore yang akan ditambang di *stope* (ton of ore/periode), c = Pada *underground* adalah biaya pembuatan *stope* (*drilling, blasting, slushing, trammig, hoisting, stope sampling*, dll) dan pengolahan menjadi *concentrate/semi product* (\$/ton ore), R = Maksimum *product* yang akan dikirim ke pemurnian per periode (toz/periode), r = Biaya per jumlah produk yang akan di jual di *market* (*smelting, refining, packaging, freight, insurance*) (\$/toz), F = Biaya tetap per periode seperti rental, biaya pengiriman barang, biaya administrasi, biaya pemeliharaan bangunan dan jalan, dan biaya lain yang tidak tergantung dengan jumlah produksi, Biaya *head office* Jakarta, depresiasi, dan amortisasi tidak termasuk. (\$/period), Y = *recovery* adalah perbandingan hasil akhir kandungan *grade* produk mineral dengan kandungan awal *ore* yang masuk kedalam smelter (%), S = Price atau harga product (\$/toz).

Fungsi tujuan dari model optimisasi *cut-off grade* yang dapat memaksimalkan NPV direpresentasikan secara matematis sebagai berikut:

$$Max NPV = \left(\sum_{n=0}^N \frac{CF_n}{(1+d)^n} \right) \quad (1)$$

Dimana cash flow didapat dari persamaan berikut:

$$P_n = ((s_n - r_n) \times Q_{r_n}) - (c_n \times Q_{c_n}) - (m_n \times Q_{m_n}) - (f_n) \quad (2)$$

Dimana P = *profit* (\$), n = periode (year or month), s_n = *price* pada periode n (\$/toz), r_n = *refining cost* pada periode n (\$/Toz), c_n = *ore cost* pada periode n (\$/ton of ore), m_n = *development cost* pada periode n (\$/ton of material), Q_{r_n} = kuantitas produk pada periode n (toz), Q_{c_n} = produksi *ore*

pada periode n (ton of ore), Q_{m_n} = produksi material pada periode n (ton of material), f_n = *Fix cost* pada periode n (\$/month or year).

Dalam mendapatkan *cut-off grade* optimal untuk mengoptimalkan NPV, terdapat beberapa tahapan yang akan dilakukan setelah sebelumnya terlebih dahulu menentukan parameter-parameter yang ada di model *cut-off grade* (COG).

1. Penentuan *Limiting Economic COG*

Dikatakan penentuan COG secara ekonomi karena secara langsung tergantung pada harga, biaya, dan secara tidak langsung tergantung pada kapasitas penambangan. Penentuan COG secara ekonomi terbagi dalam tiga jenis sesuai dengan kapasitas tahapan penambangan. (Asad dan Topal, 2011)

$$\gamma_m = \frac{c_n}{(p_n - r_n)y} \quad (3)$$

$$\gamma_c = \frac{c_n + \frac{(f_n + dV)}{C}}{(p_n - r_n)y} \quad (4)$$

$$\gamma_r = \frac{c_n}{(p_n - r_n - \frac{(f_n + dV)}{R})y} \quad (5)$$

Dimana γ_m = *cut-off grade mining*, γ_c = *cut-off grade concentrate*, γ_r = *cut-off grade refinery*, c_n = *ore cost* pada periode n (\$/ton of ore), s_n = *price* pada periode n (\$/toz) r_n = *refinery cost* pada periode n (\$/toz). f_n = *fix cost* pada periode n (\$/periode), d = *discounted cash flow*, V = NPV simulasi periode sebelumnya, y = *recovery* (%), C = Maksimum jumlah *ore* yang akan ditambang di *stope* (ton of ore/periode), R = Maksimum *product* yang dihasilkan di pemurnian per periode.

Jika perusahaan tidak memiliki batasan terhadap kapasitas penjualan produk *ore*, maka γ_r tidak diperlukan. (Lane, 1964). Pada penelitian ini semua produk concentrate diterima oleh *refining* sehingga tidak ada batasan dalam proses *refining*, maka γ_r tidak diperlukan.

2. Penentuan *Balancing COG*

Balancing COG merupakan keseimbangan dari kapasitas maksimum dari kombinasi dua operasi penambangan (Lane, 1964). Penentuan COG tergantung pada distribusi *grade* dari masing-masing level *stope*. Keseimbangan COG antara dua tahapan penambangan menggunakan konsep keseimbangan ratio antar dua material, seperti pada rumus berikut ini: (Asad dan Topal, 2011)

$$mc_k = \frac{t_{ok}}{t_{ok} + t_{wk}} \quad (6)$$

$$\gamma_{mc} = \frac{\frac{C}{M} - mc_k}{\frac{mc_{k+1} + mc_k}{\gamma_{k+1} - \gamma_k}} \quad (7)$$

Dimana: t_{ok} = Kuantitas ore pada batas bawah dari distribusi *increment grade*, t_{wk} = Kuantitas waste pada batas bawah dari distribusi *increment grade*, mc_k = Perbandingan ore dan material pada batas bawah dari distribusi *increment grade*, mc_{k+1} = Perbandingan ore dan material pada batas bawah kedua dari distribusi *increment grade*, γ_k = Grade pada batas bawah dari distribusi *increment grade*, γ_{k+1} = Grade pada batas bawah kedua dari distribusi *increment grade*, $\bar{\gamma}$ = rata-rata *grade* pada *increment* distribusi *grade*, γ = *Optimum cut-off grade*, γ_{mc} = Keseimbangan *cut-off grade* pada *mining* dan *concentrate*.

3. Penentuan kuantitas produksi tahapan penambangan pada masing-masing *cut-off grade* Untuk memperoleh maksimal NPV pada *optimum cut-off grade* berapa, maka terlebih dahulu menentukan kuantitas yang diperoleh masing-masing *cut-off grade*. Syarat utama dimana kuantitas produksi ore tidak boleh lebih besar dari kapasitas ore karena factor keamanan.

$$Q_{c_n} = C, Q_{m_n} = Q_{c_n} [1 + \frac{t_w}{t_o}] \text{ and } Q_{r_n} = Q_{c_n} \bar{y} \quad (8)$$

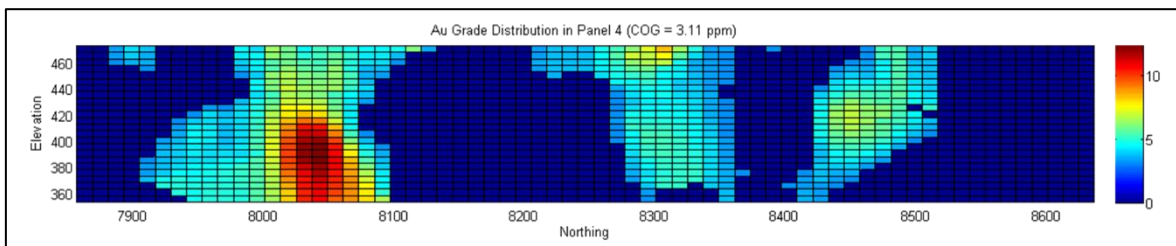
Dimana \bar{y} = average head grade (gr/ton), Q_{r_n} = kuantitas produk pada periode n (toz), Q_{c_n} = produksi ore pada periode n (ton of ore), Q_{m_n} = produksi material pada periode n (ton of material), t_o = kuantitas ore (ton), t_w = kuantitas waste (ton), y = recovery (%).

4. Perhitungan *optimum net present value* (v). Setelah didapat nilai kuantitas, maka dilakukan perhitungan optimum NPV pada masing-masing kuantitas *cut-off grade* pada persamaan (1) dan (2).
5. Setelah melewati 2 tahapan di atas maka akan didapat tiga *cut-off grade* ($\gamma_m, \gamma_c, \gamma_{mc}$). *Optimum cut-off grade* diperoleh dengan memilih diantara 3 *cut-off grade* di atas dengan syarat sebagai berikut. (Lane, 1964)

$$G_{opt} = \text{Max NPV} (\gamma_{mc}, \gamma_m, \gamma_c) \quad (9)$$

C. STUDI KASUS: PENAMBANGAN EMAS BAWAH TANAH

Studi kasus penentuan optimum *cut-off grade* dengan model Lane diterapkan pada endapan emas berbentuk vein yang akan ditambang dengan menggunakan tambang bawah tanah metode *cut-and-fill*. Model blok menggunakan model optimisasi sumberdaya SMUD (Smallest Mining Unit Decision) seperti pada Gambar 2, dengan membagi blok ore pada setiap level sepanjang strike *orebody* kedalam beberapa panel (panjang 1 panel adalah 12 m atau akumulasi 4 blok model). Dari proses perhitungan sumberdaya diperoleh tonase maksimum dengan COG 3,11 ppm sebesar 321.800 ton dan *head gread* 5,12 ppm.

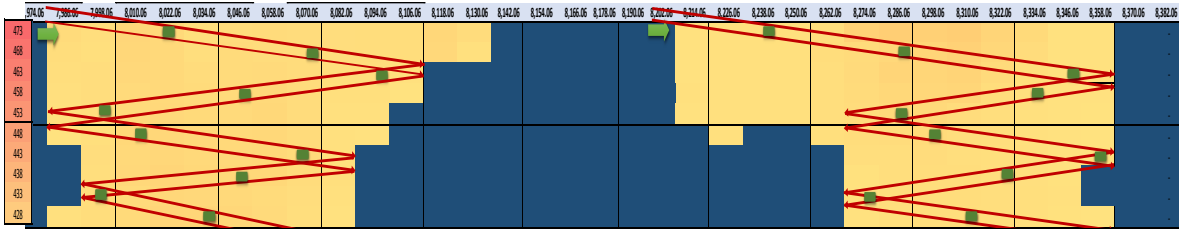


Gambar 2. Distribusi Au grade COG 3,11 ppm

Penambangan blok bijih di atas dilakukan menggunakan metode *cut and fill* dengan siklus kegiatan dimulai dari pemboran dan peledakan ore, kegiatan pemuatan serta pengangkutan dari *stope* menggunakan alat mekanis, dan pengisian *stope* menggunakan *cemented fill* (*tailing* dan semen). Desain penambangan *underground cut and fill*, *scheduling*, dan simulasi perhitungan optimum *cut-off grade* diolah dengan menggunakan excel yang sederhana dan representative. Simulasi penambangan pada penelitian ini dibatasi hingga elevasi 478-428 mdpl dan Y 7902,06 - 8370,06 m.

Kriteria desain penambangan sebagai berikut: kemajuan ramp per front = 1,5 m/hari, dimensi ramp = 3,0 x 2,8 meter, gradien ramp = 10%, siklus *stopping* (*surveying- drilling – blasting – smoke clearing- mucking- scalling- supporting – backfilling*) = 1 siklus/ hari, kemajuan *stopping* dengan menggunakan jumbo drill (peralatan mekanis) = 2,4 mtr/siklus, dimensi *Stopping* = 5 x 3,0. Skema potongan melintang model sumberdaya dan kemajuan ramp down dapat dilihat pada Gambar 3.

Grade ore dikombinasikan kedalam satu variable (*equivalent Au dan Ag*) dan dikelompokkan kedalam 11 *increment* menjadi distribusi grade seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 3. Penambangan *cut-and fill*

Tabel 2. Distribusi Grade

Equivalent LG Au	Equivalent UG Au	Tonase
3	3,49	4.501,36
3,5	3,99	16.576,93
4	4,49	10.659,21
4,5	4,99	17.321,34
5	5,49	8.381,34
5,5	5,99	9.914,17
6	6,49	9.604,36
6,5	6,99	9.843,44
7	7,49	7.553,51
7,5	9,49	4.425,86
9,5	13,0	1.042,44
TOTAL		99.824

Kapasitas maksimum memenuhi kriteria berikut ini hari kerja = 30 hari/bulan, *productivity development per front* = 22,34 wmt/hari, *Productivity stope per front* = 161,4 wmt/hari. Asad (2007) memodifikasi *optimum cut-off grade* terhadap ekskalsi biaya dan harga dimana ekskalsi biaya didapat dari inflasi tahun 2019 (sumber: Bank Indoneisa), dan harga dari perubahan rata-rata harga Au bulanan 2009-2019 (sumber = Bulliontvault.com). Discount rate didapat dari perhitungan WACC sebesar 0.95% per bulan.

Tabel 3. Kapasitas Maksimum Setiap Tahap Produksi

Parameters	Symbol	Value	Units
Price	P	1,554.79	\$/toz
Recovery Process Au	y	90%	
Mining Capacity	M	11,694.96	tonnes/month
Ore Capacity	C	9,684.00	tonnes/month
Refining Capacity	R	Unlimited	tonnes of metal
Perubahan harga rata-rata	p	0.48%	%/month
Inflasi	i	0.28%	%/month
Discounted Rate	d	0.95%	%/month

Selain asumsi-asumsi ekonomi di atas ditentukan juga parameter biaya dalam menghitung optimum cut-off grade. Biaya tersebut terdiri dari; biaya tetap (*fixed cost*), biaya *development*, biaya bijih yang terdiri dari penambangan di *stope* dan pengolahan, serta biaya *marketing* dan *refining*. Perincian parameter biaya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter Biaya

Parameters	Symbol	Value	Units
Marketing & Refining Cost	R	2,14	\$/oz
Development Cost	m	108,90	\$/tonne of material
Ore (Mining & Processing) Cost	c	18,88	\$/tonne of ore
Fixed Cost	F	803.695	\$/month

D. SIMULASI DAN DISKUSI

Setelah menentukan parameter seperti; distribusi *grade*, harga, biaya dan kapasitas, maka dilakukan perhitungan *optimum cut-off grade*. Hasil simulasi optimum *cut-off grade* dengan metode Lane pada contoh kasus di atas dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Simulasi Penentuan *Optimum Cut-off Grade*

Periode	Duration Mining (bulan)	COG ppm	Qc (tonnes)	Qm (tonnes)	Qr (Toz)	NPV
1	17,0	-	-	34.186	-	-14.967.443
2	18,0	4,512	3.978	5.163	701	-242.456
3	19,0	4,597	9.684	9.684	1.728	1.591.683
4	20,0	4,597	9.684	9.684	1.728	1.587.909
5	21,0	4,597	9.684	9.684	1.728	1.584.120
6	22,0	4,597	9.684	9.684	1.728	1.580.316
7	23,0	4,597	9.684	9.684	1.728	1.576.498
8	24,0	4,597	9.684	9.684	1.728	1.572.666
9	25,0	4,597	9.684	9.684	1.728	1.568.820
10	26,0	4,597	9.684	9.684	1.728	1.564.961
11	27,0	4,597	9.684	9.684	1.728	1.561.089
12	27,9	4,597	8.690	8690	1.551	1.334.237
	27,9		99.824	135.195	17.805	312.400

Perhitungan *optimum cut-off grade* pada Tabel 5 menggabungkan penjadwalan penambangan bawah tanah aktual kedalam simulasi. Durasi 17,59 bulan merupakan durasi masa pengembangan tambang yaitu pembongkaran material *waste* untuk pembuatan *ramp down* sebesar 35.371,17 ton. *Optimum cut-off grade* pada periode berikutnya 4,51 ppm karena pada bulan ke 18 penambangan di *stope* dimulai pada 17,59 bulan sehingga kapasitas maksimum *ore* rendah. Hasil simulasi *optimum cut-off grade* menunjukkan nilai yang lebih besar dari COG SMUD 3,11 ppm yaitu sebesar 4,60 ppm. Hal tersebut membuktikan bahwa hasil simulasi *optimum cut-off grade* dengan model Lane memberikan output kadar yang lebih besar dibandingkan *break even cut-off grade* dan memaksimalkan nilai NPV. Simulasi perubahan harga hingga 80% memberikan nilai NPV positif, artinya pada batas harga 80% maka penambangan endapan bijih yang berupa vein pada daerah tersebut masih memberikan keuntungan.

E. KESIMPULAN

Hasil penelitian dan simulasi mengenai penentuan optimum *cut-off grade* dengan metode Lane diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Penentuan optimum *cut-off grade* yang diperoleh dari simulasi menggunakan metode Lane akan memberikan batasan kadar yang memaksimalkan nilai NPV,
- Simulasi model Lane pada menentukan optimum *cut-off* dapat mengakomodasi perubahan parameter-parameter input masukan seperti; harga produk, biaya operasi (development, penambangan, dan pengolahan), biaya tetap, dan kapasitas penanganan material baik waste, ore ditambang, ore diolah, dan produk pemurnian ke dalam analisis.

REFERENSI

- ASAD, M.W.A. *Optimum cut-off grade policy for open pit mining operations through net present value algorithm considering metal price and cost escalation*. Engineering Computations, Vol 24-7: 723–736. 2007.
- Assad, M. W. A. dan Topal, E. *Net present value maximization model for optimum cut-off grade policy of open pitmining operations*. The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Volum 11: 741-750. 2011.
- Dagdelen, K. *Cut-Off Grade Optimization*. 23rd APCOM Proceedings, Chapter 15: 157-165. 1992,
- Gholamnejad, J. *Determination of the optimum Cutoff Grade Considering Environmental Cost*. J. Int. Environmental Application & Science, Vol.3(3): 186-194. 2008.
- Lane, K.F. *Choosing the optimum cut-off grade*. Colorado School of Mines Quarterly, vol. 59: pp. 811–829. 1964.
- Liu et all. *Optimization of cut-off grade for underground polymetallic mines*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management 35(1): 25–42. 2019.
- Nurhakim, 2005, *Bahan Kuliah Tambang Terbuka*. Program Studi Teknik Pertambangan FT Unlam, Banjarbaru.
- Poniewierski et all, 2003, *Optimisation of Cut-Off Grade at Mount Isa Mines Limited's Enterprise Mine*, Mine Planning and Equipment Selection. Kalgoorlie. pp 531-538.
- Rashidinejad, M. dkk, 2008, *Cutoff Grades Optimization With Environmental Management; A Case Study: Sungun Copper Project*, IUST International Journal of Engineering Science, Vol.19, No. 5-1, Page 1-13.
- Sinclair A. J and Blackwell G. H., 2004, *Applied Mineral Inventory Estimation*, Cambridge University. United Kingdom.
- Whittle, J. And Wharton, C., 1995, *Optimizing cut-offs over time*. *Proceedings of the 25th International Symposium on the Application of Computers and Mathematics in the Mineral Industries*, Brisbane-Australia, pp. 261-265.