



Analisis Perbandingan Optimasi Pit 24 dengan Metode Lerch Grossman 2D terhadap Estimasi dari Software Minescape di PT Indominco Mandiri (IMM), Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur

Jhony Maxi Harjadi¹, Shalah Dina Devy², Albertus Juvensius Pontus³, Windhu Nugroho⁴, Ardhan Ismail⁵

¹⁻⁵ Fakultas Teknik Universitas Mulawarman, Indonesia

Jalan Sambaliung No. 9, Samarinda 75119

Korespondensi penulis : Maxiharjadi89@gmail.com

Abstract. An open pit exploitation activity will become less effective and cause production to not run well, resulting in the failure to meet production targets at PT. Indominco Mandiri. Therefore, to achieve production targets and obtain more optimal results, we need to plan the Design Pit Limit. The purpose of this research is to optimize the pit, find the BESR value, and compare the differences between two methods. The Lerch Grossman 2D algorithm method is believed to be able to determine the optimal pit boundary quite quickly, while the Minescape with its triangle method can calculate some unreadable sides quite accurately. The Lerch Grossman method with its economic blocks indicates that an elevation of 72 mdpl is the outer boundary of the pit that has the potential to generate a profit of \$20,194,836.59, with the best consideration being a Stripping Ratio of 1:21.08. With that lower limit, an optimal pit design was created using minescape software, resulting in a coal reserve value of 1,581,870.42 tons with a profit of \$14,590,646.75, which is larger and with a smaller SR of 1:19.06.

Keywords: pit limit, profit, lerch grossman, minescape 5.7

Abstrak. Sebuah kegiatan eksplorasi Open Pit akan menjadi kurang efektif dan menyebabkan produksi kurang berjalan dengan baik sehingga tidak tercapainya target produksi pada PT. Indominco Mandiri. Oleh karena itu untuk mencapai target produksi dan memperoleh hasil yang lebih optimal kita membutuhkan perencanaan *Design Pit Limit*. Tujuan dari penelitian kali ini adalah melakukan optimasi pit, mencari nilai BESR hingga perbedaan antara 2 metode. Metode algoritma lerch grossman 2D dipercaya dapat menentukan batas optimal pit dengan cukup cepat sedangkan minescape dengan perhitungan metode triangle-nya dapat menghitung beberapa sisi yang tidak terbaca dengan cukup akurat. Metode lerch grossman dengan blok ekonominya menunjuk elevasi 72 mdpl adalah sebagai garis terluar pit yang berpotensi menghasilkan profit sebesar \$20.194.836,59 dan beberapa pertimbangan yang terbaik berupa *Stripping Ratio* 1 : 21.08.. Dengan batasan bawah itu dibentuklah sebuah desain pit yang optimal pada software minescape dan menghasilkan nilai cadangan batubara sebesar 1.581.870,42 ton dengan profit sejumlah \$14.590.646,75 lebih besar dan SR yang lebih kecil, yakni 1 : 19.06.

Kata kunci: pit limit, profit, lerch grossman, minescape 5.7

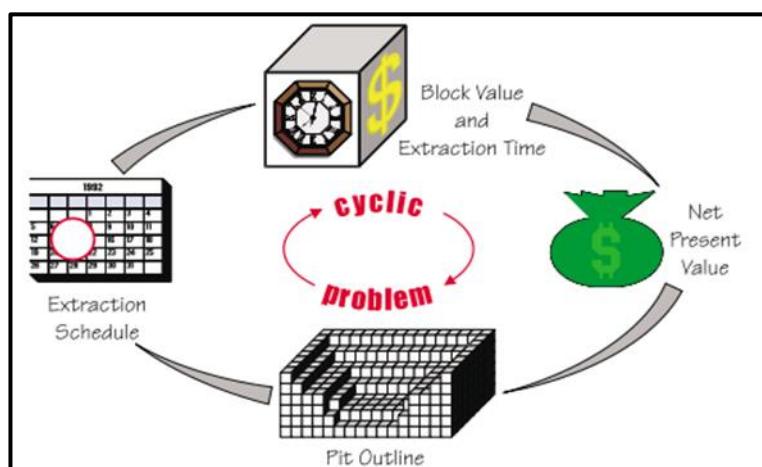
1. LATAR BELAKANG

Rancangan penambangan merupakan bentuk penambangan yang menunjukkan bagaimana suatu tambang akan ditambang dari titik awal hingga bentuk akhir tambang. Pembuatan rancangan penambangan meliputi perancangan batas akhir penambangan, tahapan (Sequence) penambangan, urutan penambangan tahunan/ bulanan, penjadwalan dan produksi (Wibowo, Usman, & Maryanto, 2019). Rancangan penambangan merupakan bentuk penambangan yang menunjukkan bagaimana suatu tambang akan ditambang dari titik awal hingga bentuk akhir tambang. Pembuatan rancangan penambangan meliputi perancangan batas akhir penambangan,

tahapan (Sequence) penambangan, urutan penambangan tahunan/bulanan, penjadwalan dan produksi (Wibowo, Usman, & Maryanto, 2019). Tentunya dalam perencanaan ada satu tahapan penting untuk menentukan kelangsungan usaha tambang tersebut yakni optimasi nilai pit limit (Waterman, 2018), fungsinya untuk mencegah pengambilan overburden yang berlebih guna mendapatkan batas maksimum nilai SR agar tidak terlalu besar. Nilai SR yang tidak terlalu besar tersebut bisa didapatkan dengan cara mengoptimasi beberapa cangkang pit dengan metode lerch grossman. Kelebihan penelitian saya ialah menghadapkan desain pit yang diperoleh dari hasil permodelan software tambang terhadap metode algoritma Lerchs Grossmann dan perbedaan antar hasil estimasi dan optimasi.

2. KAJIAN TEORITIS

Teknik penentuan lubang utama beroperasi di bawah asumsi implisit bahwa berlalunya waktu tidak mempengaruhi desain. Namun, jika tujuannya adalah untuk menghasilkan jadwal desain kombinasi yang mengembalikan nilai sekarang bersih maksimum, berlalunya waktu mempengaruhi nilai blok. Nilai-nilai blok yang diperoleh pada tahap selanjutnya dari pengembangan tambang didiskon untuk mencerminkan fakta bahwa dolar yang diterima hari ini adalah bernilai lebih bagi perusahaan daripada satu dolar yang diterima di beberapa waktu bertahun-tahun.



Gambar 1 Siklus keterkaitan lubang bukaan

Hal ini memunculkan masalah siklik yang diidentifikasi oleh Whittle (1989): Garis besar lubang dengan nilai sekarang bersih tertinggi tidak dapat ditentukan sampai nilai blok diketahui; nilai blok tidak dapat ditentukan sampai urutan ekstraksi ditetapkan; urutan ekstraksi tidak dapat dipersiapkan tanpa pengetahuan tentang garis besar lubang akhir. Gambar di bawah mengilustrasikan permasalahan ini, yang menjadi lebih rumit lagi ketika efek perubahan nilai

cut-off adalah dianggap meskipun sebagian besar penelitian di bidang ini telah berfokus pada solusi masalah penjadwalan terbuka. Deskripsi ini juga berlaku untuk kasus Underground.

3. METODE PENELITIAN

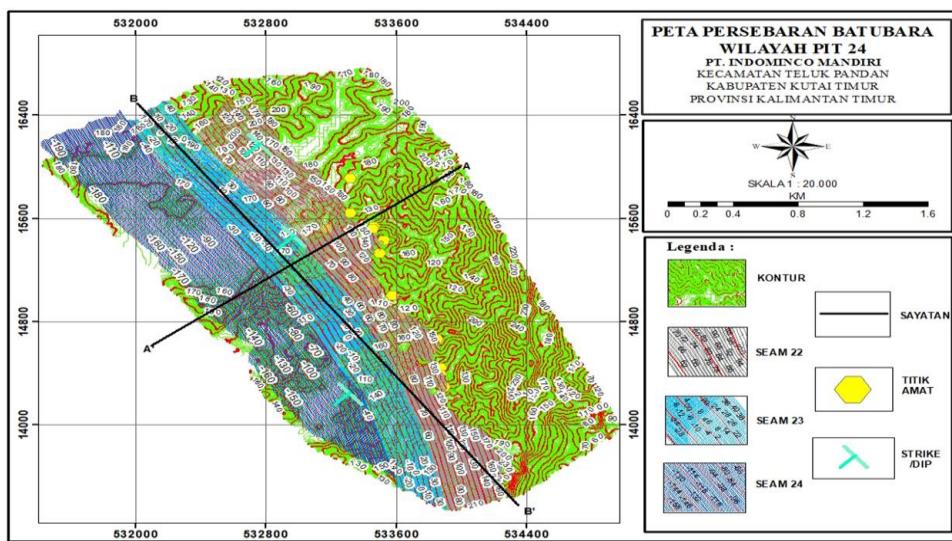
Pola arah sebaran dan keadaan sekitar lokasi tambang sebaran menjadi salah satu faktor penting dalam penentuan batasan pembuatan basepit awal. Arah kemenerusan dan kemiringan batubara, batasan IUP dan infrastruktur dan aspek kelayakan teknis adalah hal-hal yang merupakan pembatas dalam merancang sebuah *pit* penambangan dan didapatkan melalui data pengukuran profil singkapan dengan bantuan kompas brunton, palu geologis, papan scanner dan gps, peta topografi wilayah penelitian, dan data pemboran untuk pembuatan kontur struktur. Metode penambangan yang akan dipakai nantinya diukur melalui besaran BESR yang didapat setelah melakukan perhitungan ekonomis pada sebuah boundary penambangan. Oleh karenanya, kita perlu memasukkan keseluruhan faktor biaya ke dalam model blok yang telah kita rancang dalam penambangan dan melakukan optimasi untuk menentukan sebuah batas penambangan yang optimal. Model blok yang berjumlah 93.091 buah itu akan dihitung dalam software minescape, kemudian hasil perhitungan yang belum jelas nilai ekonomisnya itu akan diolah dalam Ms. Excel. Dari pemisahan blok OB dan Coal, penggabungan blok dengan strip yang sama, perhitungan pengeluaran masing-masing dan revenue sampai dengan income yang akan menjadi sebagai blok ekonomi yang akan dioptimasi. Metode algoritma lerch grossman menyajikan beberapa kemudahan dalam mencari nilai kumulatif paling maksimum untuk penarikan garis terluar dalam pembuatan cangkang *pit*. Blok tidak utuh akibat penarikan garis akan dihitung ulang menggunakan metode grid range. Cangkang-cangkang pit yang didapatkan itu kemudian akan dinalisis baik dari segi profit yang dihasilkan, BESR, sudut keseluruhan yang memungkinkan untuk masih dilakukan efisiensi dan ketahanannya terhadap sebuah perubahan. Elevasi terbawah dari cangkang pit paling optimal akan dibawa lagi ke dalam desain pit pada software minescape, kemudian akan dihitung cadangannya lalu diperbandingkan dengan revenue, jumlah OB, dan Coal dalam cangkang pit metode algoritma grossman.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengumpulan data didapatkan dengan peninjauan lapangan dan kunjungan pada divisi geologi dan mine operation di PT. Indominco Mandiri. Penelitian ini berlangsung selama hampir 3 bulan dan berada di pit 24 wilayah areal West block PT. IMM.

Sebaran Batubara

Batubara pada wilayah pit 24 memiliki tiga buah seam utama yaitu seam 22, 23, dan 24.

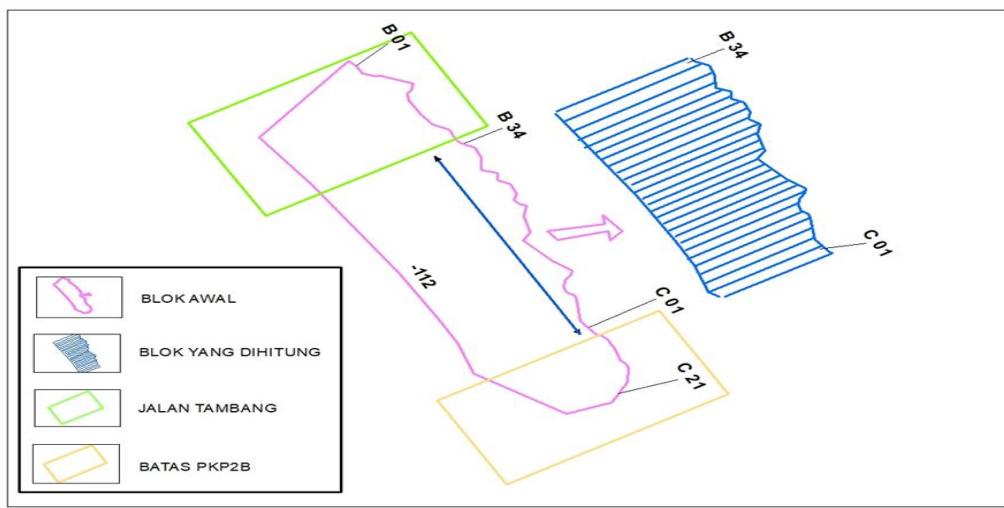


Gambar 2 Peta Persebaran Batubara

Nama pit 24 itu sendiri pun berasal dari nama seam terbawah yang berada di wilayah penambangan tersebut dengan ditemukannya batubara yang dimulai dari kedalaman 192 mdpl dan seam 22 sebagai seam teratas (berwarna abu-abu), diikuti perlapisan seam 23 (berwarna biru langit) dan seam 24 (berwarna biru laut) dengan arah kemerusan dari barat laut hingga tenggara, dan dip mengarah ke barat daya dan dapat dilihat pada gambar 2. Pola sebaran lapisan batubara pada daerah penelitian diidentifikasi memiliki arah barat laut - tenggara (strike) kisaran N 10°E/25° - N 178°E/30° pada satuan batuan perselingan batu lanau dan batu lempung dengan arah kemiringan (dip) barat daya dengan ketebalan lapisan batubara antara 0,10– 3,4 meter.

Batas Perhitungan

Pada titik pengamatan terluar (STA 17) dengan jarak sekitar ± 400 meter ke arah barat laut terdapat jalan tambang permanen yang telah dibangun oleh PT. IMM dan pada area selatan topografi tedapat batas PKP2B yang berisi hutan lindung, Jadi, areal yang tersisa hanyalah areal yang berada di antara kedua kawasan tersebut yang dihitung.



Gambar 3 Blok Penambangan

Perhitungan Faktor Biaya

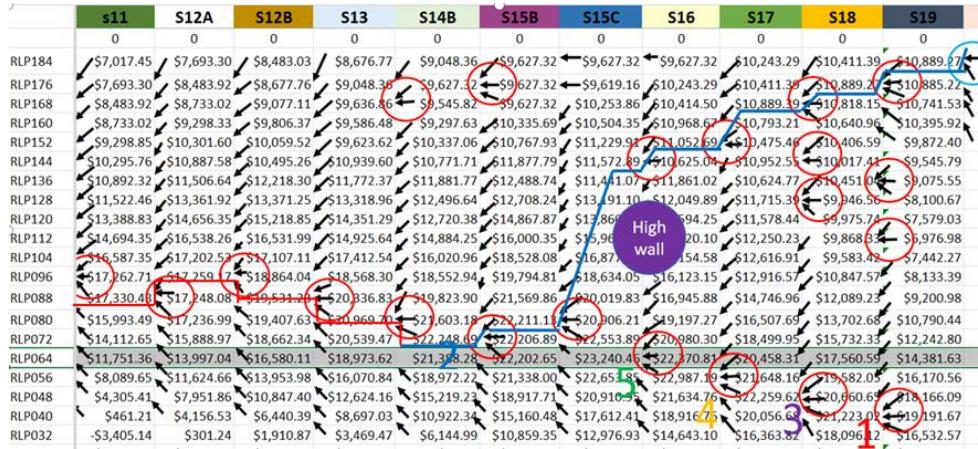
Nilai dari setiap blok model dari hasil perhitungan sumberdaya dipisahkan berdasarkan golongannya (overburden dan coal), digabungkan nilai blok yang memiliki strip yang sama, input biaya ke dalam masing-masing blok (cost batubara dan overburden) kemudian ditotalkan, dihitung revenue setiap bloknya, lalu dicari nilai blok pendapatan bersihnya yang akan sekalian menjadi blok ekonomi yang akan dioptimasi,

		BLOK EKONOMI																						
Elevati	No.	S02A	S03	S01	S02	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S07	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18			
RUP184	1	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	-51.75	50.00	-50.20	50.00	50.00	-50.89	-50.99	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00				
RUP176	2	-51.07	50.00	50.00	-57.46	50.00	-50.45	-57.50	-51.70	-51.72	-51.58	-547.19	-50.08	-538.59	50.00	-536.14	-50.14	-544.69	-543.89	50.00	-50.00			
RUP185	3	51.07	50.00	50.00	-57.45	50.00	-50.45	-57.50	-51.70	-51.72	-51.58	-547.19	-50.08	-538.59	50.00	-536.14	-50.14	-544.69	-543.89	50.00	-50.00			
RUP160	4	-52.77	51.03	51.94	51.16	52.13	54.93	-57.79	52.24	52.16	52.05	586.59	-51.33	-520.20	54.57	-517.60	51.03	-520.73	-523.89	-50.51	-517.01			
RUP152	5	-52.77	-51.15	-52.13	-51.27	-51.41	-53.41	5337.47	5124.15	5124.15	5124.49	-583.00	-511.98	-5243.67	59.18	-5283.14	57.30	-5279.02	-5145.84	56.35	-5322.83	-5398.59	5263.30	
RUP144	6	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5665.63	51164.68	5113.30	-511.98	-5114.47	-555.76	-518.70	-5313.12	-5175.21	-510.57	-518.32	-5407.06	5398.12	-50.20	-5267.97	
RUP156	7	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP128	8	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP139	9	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP112	10	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP104	11	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP098	12	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP088	13	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP080	14	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP072	15	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP054	16	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP056	17	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP040	18	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP032	19	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP032	20	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP024	21	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP016	22	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP028	23	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP009	24	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP016	25	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP016	26	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP024	27	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP032	28	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP040	29	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP048	30	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP048	31	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP048	32	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP072	33	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP080	34	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP088	35	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP096	36	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
RUP104	37	-52.77	-52.3	-53.37	-55.77	-55.84	-55.41	-55.41	-5171.17	51168.19	5064.98	5086.97	51366.42	-562.29	-595.39	-545.04	-5284.58	-5189.82	-511.09	-513.24	-5320.18	5456.52	-53.92	-5351.33
R																								

Gambar 5 Sayatan Selatan

Pit limit Penambangan

Pada cangkang pit 72, elevasi tertinggi +184 meter, elevasi terendah 72 meter. Total pendapatan bersih mencapai sebesar \$20.194.836,59, sudut overall slope adalah $33,69^0$, masih masuk jauh dari batasan rekomendasi geotek, yaitu 70^0 , jumlah OB sebesar 23.651.106,60 bcm dan Coal sebesar 1.122.134,50 ton. dan perubahan waktu penurunan harga jual batubara sebesar 20% dengan harga jual \$74,30 menunjukkan bahwa pit sudah tidak layak untuk dipertahankan atau mengalami kerugian. Dari antara semua pit yang ada, pit ini paling kuat dalam menghadapi perubahan meskipun memiliki profit sedikit lebih kecil di bawah cangkang pit 56 dengan selisih $\pm \$200.000$ namun beda kedalaman terpaut 16 meter. SR maksimum yang dimiliki pit 72 adalah sebesar 21,08 bcm/ton



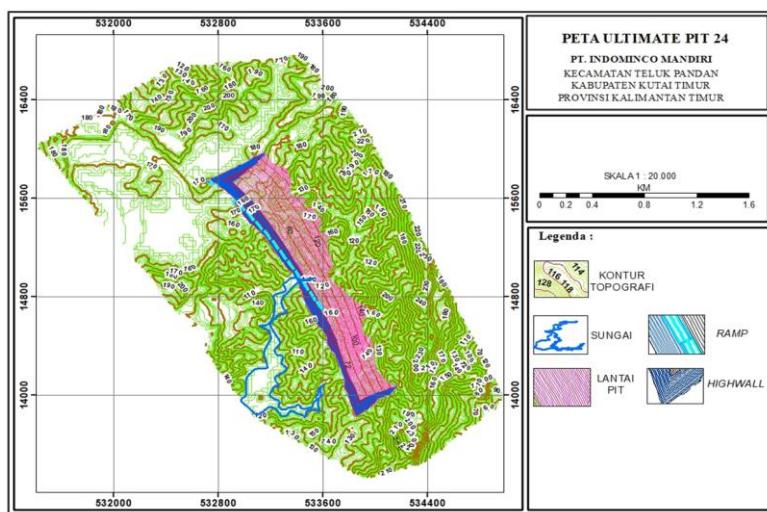
Gambar 6 *pit optimal request level 72*

Pembuatan Desain Pit

Hasil yang telah diperoleh dari pemilihan batas pit akan dijadikan dasar dalam pembuatan pit design untuk penambangan yang akan dilakukan dengan model sebagai berikut.

Overall slope highwall	= 70°
Slope low wall	= tidak dibuat, (tidak ada weak layer)
Tinggi bench	= 8 meter
Lebar berm	= 5 meter
Lebar ramp	= 28,57 meter

Setelah itu dilakukan perhitungan Cadangan dari spesifikasi pit di atas dan menghasilkan OB sebesar 30.150.572,89 bcm dan Coal sebesar 1.581.870,42 ton dengan SR = 19,06.



Gambar 7 Peta Ultimate Pit 24

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di PT Indominco Mandiri didapat kesimpulan bahwa pada optimasi Pit shell 72 dalam metode lerch grossman mendapatkan jumlah coal sebesar 1.122.134,50 ton dan overburden sebesar \$23.651.106,60 bcm dengan SR = 21,08 dan menghasilkan BESR sebesar 1,43, margin value sebesar \$20.194.836,59 yang sangat jauh berbeda dengan perhitungan dari software minescape dengan selisih \$14.590.646,75 dengan jumlah coal sebesar 1.581.870,42 dan overburden sebesar 30.150.572,89 bcm dengan SR = 19,06 dan menghasilkan BESR sebesar 1,58.. Perbedaan tersebut terjadi karena perhitungan dengan metode lerch grossman merupakan perhitungan keseluruhan yang berbentuk 2 dimensi yang tertuju pada nilai kumulatif paling maksimum yang tidak menghiraukan sudut pengupasan jenjang, sedangkan pada software pemodelan memiliki beberapa pillar untuk

mengurangi jumlah pengambilan overburden yang berlebih. Dalam penarikan pit outline pada pembuatan cangkang pit menghasilkan bukaan sudut yang beraneka ragam, dan akan lebih baik bila ukuran cell ms. Excel lebih dipertimbangkan lagi karena akan berpengaruh dalam pengelompokan grid range.

DAFTAR REFERENSI

- Alfiyanda, A. (2023). *Perancangan triwulan sequence penambangan batubara pada pit SF PT. Wijaya Mandiri Energi*. Jurnal Sosial dan Teknologi, 3(12).
- Cuba, M. A. (2011). *An approach pit optimization methodology suited to the SCM framework*. CGS Annual Report.
- Dimitrakopoulos, R. (2014). Optimized open pit mine design, pushback, and the gap problem. *Journal of Mining Science*, 50(3).
- Dzakir, L., Akbar, F., & Yusuf, M. (2024). *Rekayasa perencanaan tambang*. Tohar Media.
- Edward, A. C. (2001). *Mineral resource and ore reserve estimation*. The Australian Institute of Mining and Metallurgy.
- Gocht, W. R. (1988). *International mineral economics*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Hardiman, V., Siregar, R., & Fadhlurrahman, M. (2024). Pemilihan optimum pit limit berdasarkan volatilitas harga batubara menggunakan discounted cash flow. *Jurnal Pertambangan*, 8(1).
- Hartman, H. (1992). *SME mining engineering book* (2nd ed., Vol. 1). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.
- Hartman, H. (2002). *Introductory mining engineering*. Wiley-India.
- Hidayatullah, M., Rinaldi, A., & Farhan, R. (2016). Penentuan pit limit penambangan batubara dengan metode Lerch Grossman menggunakan 3D mine software. *Kurvatek*, 1(2).
- Hustrulid, W., Kuchta, M., & Martin, R. K. (2013). *Open pit mine planning & design* (3rd ed., Vol. 1). CRC Press.
- Kennedy, B. A. (1990). *Surface mining* (2nd ed.). SME.
- Laporan akhir kajian hidrologi & hidrogeologi di area pertambangan batubara West Block PT. Indominco Mandiri. (n.d.). Bontang.
- Mawendri, H. (2023). *Geologi pola sebaran batubara di WIUP PT. Manda Akini Mandiri Makmur Desa Rawa Mekar Kecamatan Maro, Sebo Ulu* [Skripsi, Universitas Jambi].
- Muchlis, V. (2019). *Modul pemodelan geologi batubara menggunakan software Minescape*. Yogyakarta.

- Nurhakim. (2008). *Draft bahan kuliah perencanaan dan pemodelan tambang*. Universitas Lambung Mangkurat.
- Osanloo, M. (2000). Using 2D Lerch and Grossman algorithm to design final pit limits of Sungun Copper Deposit of Iran. *Technical Note Dept. of Mining and Metallurgy*, University of Technology Tehran.
- Pangestu, W. (2022). *Kajian optimasi pit pada penambangan andesit menggunakan metode Lerch Grossman* [Skripsi, UPN Yogyakarta].
- Rifandy, A., Prasetyo, B., & Hakim, R. (2018). Optimasi pit tambang terbuka batubara dengan pendekatan incremental pit expansion, BESR, dan profit margin. *Jurnal Geologi Pertambangan*, 2(24).
- Sulystiana, S., & Waterman, B. (2018). *Perencanaan tambang*. Kilaubook.
- Vernando, G. (2024). Analisa studi kelayakan ekonomis penambangan dan kebutuhan alat penambangan batubara di Pit IV PT. Tambang Bukit Tambi site Padang Kelapo, Kabupaten Batanghari, Provinsi Jambi. *Jurnal Bina Tambang*, 4(2).
- Wiwin, W. (n.d.). Analisis batas penambangan optimal batubara menggunakan metode algoritma Lerch Grossman 2D pada PT Metalindo Bumi Raya. *Jurnal Himasapta*, 5(1).