

Estimasi Sumberdaya Terukur Batukapur pada Area Bukit Tajarang dengan Menggunakan Metode *Indicator Krigging* di Tambang *Quary* PT. Semen Padang, Sumatera Barat

Mhd. Zanil^{1*}, Dedi Yulhendra^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*zanilmhd@gmail.com

**dediyulhendra@ft.unp.ac.id

Abstract. PT. Semen Padang is located in Indarung Village, Lubuk Kilangan Subdistrict which is 14 KM from the center of Padang City with a height of + 200 m above sea level is one of the companies engaged in the cement industry. Reserve calculation is an important work, the responsibility is in evaluating a mining project. All technical decisions are very dependent on the work. In this study, calcareous reserves will be calculated based on the cut-off grade of each material. In each of these materials there are levels of SiO₂, Al₂O₃, CaO and MgO. In calculating the limestone reserves contained in the Tajarang Hill area, this was done using geostatistical techniques. This geostatistics uses the estimation method while still based on the model. The method that will be used in geostatistics is the indicator krigging method. The IK estimation method does not use the assumption of a normal (free) distribution, and still takes into account the outlier (high levels), so that it can be applied to the estimation of limestone reserves. The IK method is based on the concept of probability. Data is converted into indicators with zero (0) and one (1) value relative to a limit level (discriminator). The purpose of the IK assessment is to estimate the probability at various levels of a predetermined limit. From the results of calculation of limestone resources using the krigging indicator method based on the cut-off grade of PT. Semen Padang obtained the amount of limestone resources of 36,764,700 m³ or 97,426,455 tons

Keywords: Reserve calculation, cut off grade, geostatistics, indicator krigging, and probabilistic

1 Pendahuluan

Industri pertambangan merupakan salah satu industri yang berkontribusi dalam pembangunan infrastruktur seperti pembangunan kantor, jembatan, jalan dan tempat-tempat wisata yang menjadi salah satu hal yang mempengaruhi perkembangan perekonomian di Indonesia. Dalam mewujudkan pembangunan tersebut dibutuhkan kontribusi dari sektor pertambangan dalam pembuatan industri semen PT. Semen Padang yang terletak di Kelurahan Indarung, Kecamatan Lubuk Kilangan yang jaraknya + 14 KM dari pusat kota Padang dengan ketinggian + 200 m dari permukaan laut merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di industri semen. Dalam pembuatan semen tersebut batukapur (*limestone*) merupakan salah satu bahan baku utama dan dominan dalam proses pembuatan semen yang harus mengacu pada standar mutu tertentu untuk menghasilkan produk semen yang baik. PT Semen

Padang menggunakan acuan standar mutu dan ISO 9002 untuk mengontrol kualitas batukapur yang akan ditambang. Dengan ditemukannya batuan selain batugamping pada *front* penambangan yang tidak diketahui penyebarannya, hal ini akan sangat menghambat operasi penambangan karena target batas penambangan dan rencana jenjang tidak tercapai dan mengakibatkan target produksi batugamping tidak tercapai^[1], Maka perlu dilakukan estimasi sumberdaya terhadap batukapur ini untuk mengetahui berapa banyak cadangan yang terdapat pada area tersebut berdasarkan kualitas dan kuantitas.

Perhitungan cadangan merupakan suatu pekerjaan yang penting, besar tanggung jawabnya dalam mengevaluasi suatu proyek pertambangan. Seluruh keputusan teknis sangat tergantung pada pekerjaan tersebut. Estimasi cadangan dapat memberikan taksiran kuantitas (*tonase*) dan kualitas (kadar) dari cadangan batugamping, memberikan perkiraan bentuk dimensi

cadangan dan distribusi ruang kadarnya, serta jumlah cadangan menentukan umur tambang dan batas-batas kegiatan penambangan dibuat berdasarkan taksiran cadangan ini.

Di PT. Semen Padang kegiatan penambangan saat ini dilakukan di area eksisting, sedangkan sisa cadangan di lokasi eksisting pada akhir tahun 2018 diperkirakan sekitar 4,3 juta ton dan diestimasi akan habis pada bulan September 2019 ini, sehingga PT.Semen Padang akan melakukan perluasan terhadap area penambangannya. Pada saat cadangan di lokasi eksisting ini habis, seluruh kegiatan penambangan selanjutnya dilakukan di area Pit Limit dan Tajarang .

. Pada kesempatan ini, peneliti akan melakukan perhitungan cadangan batukapur berdasarkan nilai *cut off grade* dari masing-masing material. Pada setiap material tersebut terdapat kandungan kadar SiO₂, Al₂O₃, CaO dan MgO. Nilai parameter kualitas mineral dari masing-masing material yang telah ditentukan oleh PT.Semen Padang dapat dilihat pada lampiran 1. Dalam perhitungan cadangan batukapur yang terdapat di area Bukit Tajarang ini dilakukan dengan menggunakan teknik geostatistika. Geostatistik ini menggunakan metode estimasi dengan tetap didasarkan pada model. Pemakaian model blok untuk memodelkan suatu cebakan mineral telah umum dilakukan dalam industri pertambangan. Dalam kerangka model blok inilah semua tahap pekerjaan akan dilakukan, mulai dari penaksiran kadar, perancangan batas penambangan hingga ke perencanaan tambang jangka panjang dan jangka pendek. Metode yang akan digunakan pada geostatistika ini adalah metode *krigging*. Metode *krigging* yang dipakai adalah metode *indicator krigging*.

Pada area bukit tajarang mengandung material dengan kadar yang tidak merata sehingga untuk perhitungan cadangannya juga perlu didasarkan pada kualitas (kadar) menggunakan metode IK. Metode penaksiran IK tidak menggunakan asumsi distribusi normal (bebas), dan tetap memperhitungkan outlier (kadar-kadar yang tinggi), sehingga dapat diterapkan untuk penaksiran cadangan batukapur. Metode IK ini didasarkan pada konsep probabilitas. Data diubah menjadi indikator bernilai nol (0) dan satu (1) relatif terhadap suatu kadar batas (diskriminator). Tujuan penaksiran IK adalah menaksir probabilitas pada berbagai kadar batas yang telah ditentukan.

2 Lokasi Penelitian

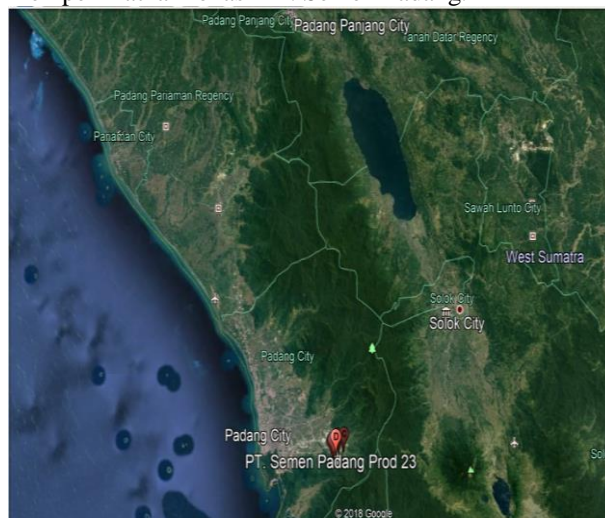
Lokasi tambang PT. Semen Padang berada di Bukit Karang Putih, Indarung, Kecamatan Lubuk Kilangan, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat ± 15 KM di sebelah Timur Kota Padang secara administrasi termasuk dalam Kecamatan Lubuk Kilangan, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat dengan ketinggian lebih kurang 200 mdpl. Secara geografis terletak pada 10 04' 30" LS sampai 10 06' 30" LS dan 1000 15' 30" BT sampai 1000 10' 30" BT. Lokasi penambangan ini secara geografis berbatasan dengan :

- Sebelah Barat berbatasan dengan Kota Padang
- Sebelah Timur berbatasan dengan Kabupaten Solok

- Sebelah Utara berbatasan dengan Kabupaten Agam
- Sebelah Selatan berbatasan dengan Kabupaten Pesisir Selatan.

Secara Geografis wilayah Indarung mulai naik sampai kaki pegunungan Bukit Barisan membujur dari Utara ke Selatan pulau Sumatera dengan ketinggian ± 200 m dari permukaan laut dengan puncak ketinggian mencapai 500 m dari permukaan laut. Bukit Karang Putih dan daerah sekitarnya merupakan daerah perbukitan bergelombang yang memiliki lereng curam. Lokasi penelitian dapat dicapai dari kota Padang lewat jalan darat beraspal dengan kendaraan roda empat sampai di lokasi kantor operasi tambang.

PT. Semen Padang dilalui oleh jalan utama yang menghubungkan Kota Padang dan Kota Solok. Lokasi penambangan batu kapur dan silika ini dihubungkan dengan jalan yang telah dibeton. Gambar 1 memperlihatkan lokasi PT. Semen Padang.



Gambar 1. Peta Kesempaan Daerah PT. Semen Padang^[2]

3 Kajian Teori

3.1 Klasifikasi Sumber Daya dan Cadangan

3.1.1 Sumberdaya Mineral (Mineral Resource)

Sumberdaya Mineral (Mineral Resource) adalah endapan mineral yang diharapkan dapat dimanfaatkan secara nyata. Sumber daya mineral dengan keyakinan geologi tertentu dapat berubah menjadi cadangan setelah dilakukan pengkajian kelayakan tambang dan memenuhi kriteria layak tambang. Klasifikasi Sumberdaya Mineral meliputi:

3.1.1.1 Sumberdaya Mineral Hipotetik

Sumberdaya mineral yang kuantitas dan kualitasnya diperoleh berdasarkan perkiraan pada tahap Survai Tinjau.

3.1.1.2 Sumberdaya Mineral Tereka (*Inferred Mineral Resource*).

Sumberdaya mineral yang kuantitas dan kualitasnya diperoleh berdasarkan hasil tahap Prospeksi.

3.1.1.3 Sumberdaya Mineral Tertunjuk (*Indicated Mineral Resource*).

Sumberdaya mineral yang kuantitas dan kualitasnya diperoleh berdasarkan hasil tahap Eksplorasi Umum.

3.1.1.4 Sumberdaya Mineral Terukur (*Measured Mineral Resource*).

Sumberdaya mineral yang kuantitas dan kualitasnya diperoleh berdasarkan hasil tahap Eksplorasi Umum.

3.1.2 Cadangan (*Reserve*)

Cadangan (*Reserve*) adalah endapan mineral yang telah diketahui ukuran, bentuk, sebaran, kuantitas dan kualitasnya dan yang secara ekonomis, teknis, hukum, lingkungan dan sosial dapat ditambang pada saat perhitungan dilakukan. Klasifikasi Cadangan meliputi:

3.1.2.1 Cadangan Terkira (*Probable Reserve*)

Sumberdaya mineral terunjuk dan sebagian sumberdaya mineral terukur yang tingkat keyakinan geologinya masih lebih rendah, yang berdasarkan studi kelayakan tambang semua faktor yang terkait telah terpenuhi, sehingga penambangan dapat dilakukan secara ekonomik

3.1.2.2 Cadangan Terbukti (*Proved Recerve*)

Sumberdaya mineral terukur yang berdasarkan studi kelayakan tambang semua faktor yang terkait telah terpenuhi sehingga penambangan dapat dilakukan secara ekonomik.^[3]

3.2 Genesa Batukapur (CaCO_3)

Batu gamping adalah batuan sedimen yang utamanya tersusun oleh kalsium karbonat (CaCO_3) dalam bentuk mineral kalsit. Di Indonesia, batu gamping sering disebut juga dengan istilah batu kapur, sedangkan istilah luarnya biasa disebut "*limestone*". Batu gamping paling sering terbentuk di perairan laut dangkal. Batu gamping (batu kapur) kebanyakan merupakan batuan sedimen organik yang terbentuk dari akumulasi cangkang, karang, alga, dan pecahan-pecahan sisa organisme. Batu ini juga dapat menjadi batuan sedimen kimia yang terbentuk oleh pengendapan kalsium karbonat dari air danau ataupun air laut.

Pada prinsipnya, batu gamping mengacu pada batuan yang mengandung setidaknya 50% berat kalsium karbonat dalam bentuk mineral kalsit. Sisanya, batu gamping dapat mengandung beberapa mineral seperti kuarsa, feldspar, mineral lempung, pirit, siderit dan

mineral-mineral lainnya. Bahkan batu gamping juga dapat mengandung nodul besar rijang, nodul pirit ataupun nodul siderit.

Kandungan kalsium karbonat dari batugamping memberikan sifat fisik yang sering digunakan untuk mengidentifikasi batuan ini. Biasanya identifikasi batugamping dilakukan dengan meneteskan 5% asam klorida (HCl), jika bereaksi maka dapat dipastikan batuan tersebut adalah batugamping. Batugamping merupakan batuan dengan keragaman penggunaan yang sangat besar. Batuan ini menjadi salah satu batuan yang banyak digunakan dibandingkan jenis batuan-batuan lainnya. Sebagian besar batugamping dibuat menjadi batu pecah yang dapat digunakan sebagai material konstruksi seperti: landasan jalan dan kereta api serta agregat dalam beton. Nilai paling ekonomis dari sebuah deposit batugamping yaitu sebagai bahan utama pembuatan semen *portland*.

Beberapa jenis batugamping banyak digunakan karena sifat mereka yang kuat dan padat dengan sejumlah ruang/pori. Sifat fisik ini memungkinkan batugamping dapat berdiri kokoh walaupun mengalami proses abrasi. Meskipun batugamping tidak sekeras batuan berkomposisi silikat, namun batugamping lebih mudah untuk ditambang dan tidak cepat mengakibatkan keausan pada peralatan tambang maupun *crusher* (alat pemecah batu) .

3.3 Geostatistik

Geostatistik adalah ilmu yang mempelajari aplikasi dan teori mengenai variabel terregional (variabel berubah) pada berbagai fenomena gejala alam, terutama untuk menentukan volume bahan galian. Landasan dari pembelajaran geostatistik adalah "*The Theory of Regionalised Variables*", dimana data dari titik-titik sampel mempunyai korelasi satu sama lain sesuai dengan karakteristik penyebaran endapan mineral. Analisis dari geostatistik merupakan teknik geostatistik yang terfokus pada variabel spasial, yaitu hubungan antara variabel yang diukur pada titik tertentu dengan variabel yang sama pada titik dengan jarak tertentu dari titik pertama.

Geostatistik merupakan ilmu gabungan antara geologi, teknik, matematika dan statistika. Teknik analisis geostatistika didasarkan pada variabel random pada data spasial^[4].

Istilah "Geostatistik" dikemukakan pertama kali oleh Matheron (1963) dan didefinisikan sebagai aplikasi hubungan atau turunan fungsi dalam penelaahan dan perkiraan gejala alam. Gejala alam dapat diprediksi berdasarkan penyebaran objek dalam suatu ruang, bidang maupun garis. Penyebaran variabel dalam suatu ruang, bidang atau garis disebut variabel terregional atau dapat diartikan sebagai variabel yang diukur tergantung pada nilai yang terdistribusi dalam ruang berdimensi dua atau tiga. Variabel tersebut tidak lain adalah merupakan pengujian fungsi $f(x)$ yang menempati setiap titik (x) pada ruang. Variabel data spasial tersebut memiliki sifat khusus yakni ketakbebasan dan keheterogenan. Ketakbebasan disebabkan oleh adanya perhitungan alat

pengamatan dan hasil yang diteliti dalam satu titik ditentukan oleh titik lainnya dalam sistem dan keheterogenan disebabkan adanya perbedaan wilayah.

Proses yang dilakukan dalam analisis geostatistik adalah mendaftarkan seluruh data, mengeksplorasi data, membuat model, melakukan dan membandingkan pemodelan. Analisis mendalam dan terintegrasi dengan geostatistik sangat diperlukan untuk dapat membuat model detail guna analisa fasies dan peta porositas yang bertujuan determinasi dan input pada model simulasi reservoir.

Geostatistik dapat digunakan pada bidang-bidang industri pertambangan juga perminyakan, lingkungan, meteorologi, geofisika, pertanian dan perikanan, kelautan, ilmu tanah, fisika media heterogen, teknik sipil, akuntansi, dan astrofisika. D.K. Krige, seorang insinyur pertambangan Afrika Selatan, menyatakan bahwa perhitungan dan analisa geostatistik dilihat dari titik pandang probabilistik, sedangkan menurut George Matheron, seorang insinyur dari Ecoles des Mines, Fontainebleau, Perancis, menerapkan teori probabilistik dan statistik untuk memformulasikan pendekatan *Krige* dalam perhitungan cadangan bijih, yang dikenal dengan metode *kriging*.

3.4 Kriging dan Indikator kriging

Kriging merupakan suatu metode yang digunakan untuk menganalisis data geostatistik, yaitu untuk menginterpolasi suatu nilai kandungan mineral berdasarkan data sampel^[5]. Penggunaan metoda *kriging* dilakukan dalam dua tahap yaitu tahap pertama menghitung nilai variogram atau semivariogram dan fungsi *covarian*. Tahap kedua melakukan penaksiran lokasi yang tidak tersampel. Metode *kriging* ini dilakukan untuk menaksir tebal blok yang dilakukan berdasarkan nilai semi variogram, jarak pengaruh dan jarak setiap titik yang akan ditafsir nilainya atau tebalnya. Perhitungan dengan metode *kriging* ini dilakukan dengan menggunakan *software SGEMS*. langkah-langkah dalam tahapan analisis data dengan *SGEMS* ini antara lain :

3.4.1 Analisis Statistik Univarian

Statistik univarian merupakan metode statistik yang digunakan untuk menganalisis hubungan antar masing-masing data dari suatu populasi tanpa memperhatikan lokasi dari data-data tersebut. Hasil dari statistik ini pada umumnya direpresentasikan dalam bentuk tabel frekuensi atau histogram. Histogram merupakan suatu gambaran dari distribusi. suatu data kedalam beberapa kelas yang memiliki interval kelas tertentu dan kemudian menentukan jumlah data dari masing-masing kelas (*frekuensi*).

3.4.2 Analisis Statistik Bivarian

Statistik bivarian adalah metode statistik yang digunakan untuk menganalisis hubungan dari 2 kumpulan data atau

variabel populasi yang berbeda yang terletak pada lokasi yang sama berupa grafik *scatterplot*.

3.4.3 Analisis Statistik Spasial (Geostatistik)

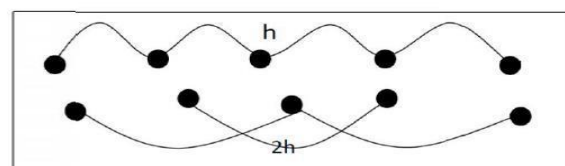
Analisis spasial (ruang) merupakan analisis yang dilakukan terhadap data yang disajikan dalam posisi geografis (titik, garis dan luasan) dari suatu objek, berkaitan dengan lokasi, bentuk dan hubungan diantaranya dalam ruang bumi. Data spasial dapat berupa data diskrit atau kontinu dan dapat juga memiliki lokasi spasial beraturan (*regular*) maupun tak beraturan (*irregular*). Data spasial dikatakan mempunyai lokasi yang *regular* jika antara lokasi yang saling berdekatan satu dengan yang lain mempunyai posisi yang beraturan dengan jarak sama besar, sedangkan dikatakan *irregular* jika antara lokasi yang saling berdekatan satu dengan yang lain mempunyai posisi yang tidak beraturan dengan jarak yang berbeda^[6].

Data spasial adalah jenis data yang diperoleh dari hasil pengukuran yang memuat informasi mengenai lokasi dan pengukuran. Data ini disajikan dalam posisi geografis dari suatu obyek, berkaitan dengan lokasi, bentuk dan hubungan dengan obyek-obyek lainnya, dengan menggunakan titik, garis dan luasan. Berdasarkan jenis data, terdapat 3 tipe mendasar data spasial yaitu data geostatistika (*geostatistical data*), data area (*lattice data*), dan pola titik (*point pattern*).

Parameter untuk melakukan analisis spasial yaitu variogram atau semivariogram. Analisis spasial yang dilakukan menggunakan aplikasi *Stanford Geostatistical Modeling Software (SGEMS)* yang diawali dengan penentuan parameter penyusun dari *variogram eksperimental* baik secara horizontal dan vertikal kemudian digabungkan menjadi *variogram eksperimental* gabungan yang selanjutnya dengan variogram model dilakukan pencocokan data (*fitting variogram*)^{[7] [13] [15]}

3.4.3.1 Variogram Eksperimental

Variogram eksperimental dibuat berdasarkan pengukuran korelasi spasial antara 2 (dua) conto/data yang dipisahkan dengan jarak tertentu sebesar *h*. Data tersebut dapat berupa data kadar, ketebalan, ketinggian topografi, porositas, dan permeabilitas. Pencarian pasangan data dalam variogram dapat diilustrasikan pada gambar 2.



Gambar 2. Pencarian data variogram eksperimental^[8]

Variogram eksperimental (γ) merupakan perangkat dasar dari geostatistik yang digunakan untuk menggambarkan (*visualisasi*), memodelkan dan menjelaskan korelasi spasial antar titik data berupa

variansi error pada lokasi (s) dan lokasi yang terpisah oleh jarak (s+h). Semivariogram eksperimental dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^N [Z(s_i) - Z(s_i + h)]^2 \dots(1)$$

dengan:

γh = variogram eksperimental

$N(h)$ = Banyaknya pasangan titik yang mempunyai jarak h

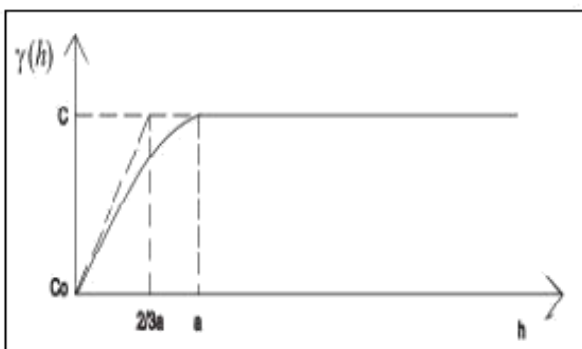
$Z(s_i)$ = Nilai data di titik s

$Z(s_i+h)$ = Nilai data di titik (s_i+h)^{[8] [12]}

Parameter variogram terdiri dari tiga parameter yang menjadi penentu dari tingkat keberhasilan dari analisis spasial. Korelasi spasial dikatakan baik jika nilai *nuggeteffect* kecil, *sill* dan *range* besar dan sebaliknya jika nilai *nugget effect* besar sedangkan nilai *sill* dan *range* kecil, hal ini mengidentifikasi bahwa korelasi spasial antar data yang diamati tidak mewakili dari data secara keseluruhan sehingga perlu dilakukan pengambilan data tambahan yang lebih teliti dengan jumlah data yang banyak dan jarak antar data teratur dan dekat.

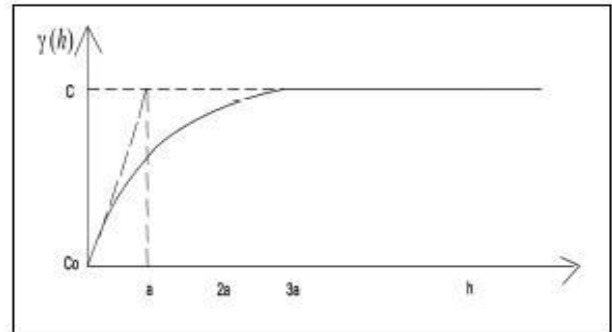
3.4.3.2 Variogram Model

Model *spherical* adalah model yang paling sering digunakan dalam variogram. Model ini akan berbentuk linier pada jarak kecil yang dekat dengan pusat, tetapi meluruskan untuk jarak yang besar, dan memberikan *sill* di a. Variogram dari model *spherical* dapat dilihat pada gambar 3.



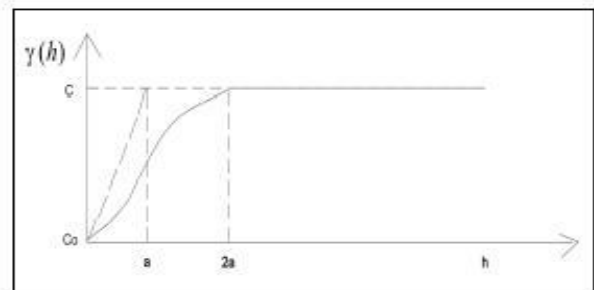
Gambar 3. Variogram Dari Model *Spherical*^{[10] [14]}

Model transisi lain yang biasa digunakan adalah model *eksponensial* yang memberikan *sill asmtotik*. Seperti model *spherical*, model *eksponensial* berbentuk linier untuk semua jarak pendek yang dekat dengan pusatnya. Variogram dari model *eksponensial* dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Variogram Dari Model *eksponensial*^{[10] [14]}

Model Gaussian adalah model transisi yang sering kali digunakan memodelkan fenomena kontinu yang ekstrim dan juga memberikan *sill asimtotik*. Variogram dari model *gaussian* dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Variogram Dari Model *Gaussian*^{[10] [14]}

3.4.3.3 Fitting Variogram

Metode yang umum digunakan dalam melakukan fitting variogram ada 2 (dua), yaitu: metode *visual* dan metode *least square*. Berikut ini adalah beberapa pedoman penting dalam melakukan *fitting variogram* :

- Variogram yang mempunyai pasangan conto sangat sedikit agar diabaikan.
- Nugget variance* (C_0) didapat dari perpotongan garis tangensial dari beberapa titik pertama variogram dengan sumbu Y.
- Sill* (C_0+C) kira-kira sama dengan atau mendekativarians populasi. Garis tangensial di atas akan memotong garis *sill* pada jarak $2/3$ *range* (a), sehingga selanjutnya dapat dihitung harga *range*
- Interpretasi *nugget variance* untuk variogram dengan sudut toleransi 180° (variogram rata-rata) akan sangat membantu untuk memperkirakan besarnya *nuggetvariance*.
- Nugget variance* diambil dari *multiple variogram* (dalam berbagai arah). Dalam *multiple variogram*, *best spherical line* sebaiknya lebih mendekativariogram yang mempunyai pasangan conto yang cukup.

kriging merupakan suatu teknik estimasi lokal yang memberikan harga estimasi dalam keadaan tidak bias. *Krigging* disebut juga sebagai *Best Linear Unbiased Estimator (BLUE)*.

Metode penaksiran IK tidak menggunakan asumsi distribusi normal (bebas), dan tetap memperhitungkan outlier (kadar-kadar yang tinggi), sehingga dapat

diterapkan untuk penaksiran bahan galian dengan kadar yang tidak merata dengan histogram yang sangat tidak simetri. Metode IK ini didasarkan pada konsep probabilitas. Data diubah menjadi indikator bernilai nol (0) dan satu (1) relatif terhadap suatu kadar batas (diskriminator). Tujuan penaksiran IK adalah menaksir probabilitas pada berbagai kadar batas yang telah ditentukan.

Sebuah indikator dapat dinyatakan dalam peubah berupa ya/tidak atau 1/0. Misalnya, sampel berwarna merah bernilai 1, warna lain bernilai 0. Nilai rata-rata sampel di dalam kelompok adalah proporsi dari sampel berwarna merah dalam kelompok tersebut, dengan lain perkataan : menaksir jumlah material berwarna merah dari sampel-sampel yang dikumpulkan. Indikator tidak hanya digunakan untuk mengkuantitatifkan peubah seperti warna saja, namun data numerik misal kadar bijih. Data tersebut dapat dikelompokkan dengan menentukan sebuah nilai indikator. Sebagai ilustrasi, kadar emas memiliki indikator kadar batas sebesar 3 gram/ton, apabila sebuah sampel mempunyai kadar sebesar 5 gram/ton maka dapat diubah menjadi nilai indikator 1, sedangkan sampel dengan kadar sebesar 1 gram/ton menjadi nilai indikator 0. Indikator-indikator tersebut dapat digunakan untuk menaksir jumlah material diatas kadar batas dalam suatu blok^[9].

Nilai indikator rata-rata seperti proporsi material di atas kadar batas dapat ditaksir menggunakan beberapa metode interpolasi kadar dengan cara menentukan lebih dahulu kadar batas dan nilai-nilai indikator sampel (0 dan 1). Pembobotan dengan metode penaksiran *kriging* tidak hanya tergantung pada jarak sampel atau blok tetapi juga konfigurasi antar titik sampel serta kontinuitas spasial dari indikator-indikator tersebut yang dapat dikuantifikasikan melalui variogram indikator. Penjelasan matematika untuk menjabarkan metode IK sebagai berikut: suatu kadar $z(x)$ pada lokasi x , dengan x deposit, D ; dengan mengasumsikan L kadar batas, z_c , maka setiap titik $x \in D$ dapat dinyatakan sebagai:

$$f(x,z) = 1, \text{ jika } z(x) \leq z_c$$

$$0, \text{ jika } z(x) > z_c \quad [10]. \quad (2)$$

Persamaan 2 dapat dijabarkan dengan konsep probabilitas sebagai berikut: apabila dalam suatu populasi terdapat suatu kadar $z(x)$ bernilai kurang dari kadar batas (z_c) yang ditentukan, maka kadar tersebut mempunyai nilai indikator 1 sehingga disebut sebagai kadar bijih sedangkan kadar lain yang bernilai lebih dari kadar batas mempunyai nilai indikator 0 dan tidak disebut kadar bijih. Berdasarkan persamaan (2), seluruh data selanjutnya diubah menjadi L peubah baru yang bernilai 0 dan 1.

3.5 Pemodelan dan Perhitungan Cadangan Batukapur

Secara umum, pemodelan dan perhitungan cadangan batukapur (*limestone*) memerlukan data-data dasar sebagai berikut:

- a. Peta topografi
- b. Data dan sebaran titik bor
- c. Peta geologi lokal (meliputi keadaan geologi, litologi, dan stratigrafi)

Pemodelan dan perhitungan sumberdaya dan cadangan adalah suatu kegiatan yang menjadi dasar perencanaan tambang. Pemodelan dan perhitungan sumberdaya dan cadangan harus dilakukan sebelum kegiatan penambangan dimulai.

4 Metode Penelitian

4.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian yang bersifat kuantitatif yang mengacu kepada penelitian terapan. Teknik pengambilan sampel pada umumnya dilakukan secara random, pengumpulan data menggunakan instrumen penelitian, analisis data bersifat kuantitatif/statistik dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan.

Penelitian ini dilakukan dengan dua metode, yaitu dengan metoda krigging dalam mengestimasi nilai dari sebuah titik atau blok sebagai kombinasi linier dari nilai contoh yang terdapat disekitar titik yang akan diestimasi.

4.2 Teknik Pengumpulan Data

Teknik yang dilakukan dalam pengumpulan data adalah teknik observasi dan sebagian besar data yang dipakai adalah data sekunder yang didapatkan dari perusahaan. Urutan pengumpulan data adalah sebagai berikut :

4.2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mencari referensi yang menunjang, yang diperoleh dari instansi terkait (data perusahaan), perpustakaan (literatur) dan mempelajari laporan penelitian terdahulu.

4.2.2 Orientasi Lapangan

Kegiatan orientasi lapangan dilakukan dengan peninjauan lapangan bersama para karyawan perusahaan dan operator untuk melakukan pengamatan langsung terhadap kondisi daerah penelitian dan kegiatan penambangan di lokasi tersebut.

4.2.3 Pengambilan Data

Pengumpulan data dilakukan setelah mempelajari literature dan melakukan orientasi lapangan. Data yang diambil dapat dikelompokkan menjadi:

1. Data Primer

Pengukuran data primer dilakukan dengan cara mengukur dan mengamati kondisi yang ada di lapangan. Pada penelitian ini data primer yang di dapat adalah data *drill hole* yang di olah dari data mentah logbor dari perusahaan dan dokumentasi.

2. Data Sekunder

Pada penelitian ini data sekunder yang didapatkan oleh peneliti ini berupa :

- Peta geologi yang menunjukkan bagaimana keadaan geologi dari PT.Semen Padang
- Pemetaan litologi dan korelasi log bor yang menunjukkan persebaran titik bor pada area bukit tajarang.
- Peta Topografi dari area tajarang
- Batas Izin Usaha Pertambangan (IUP) dari PT.Semen Padang
- Data bor hasil eksplorasi.
- Parameter kualitas material yang menunjukkan nilai *cut off grade* dari masing-masing kadar SiO₂, Al₂O₃, CaO dan MgO.

4.2.3 Pengolahan Data

Semua data yang didapatkan selama penelitian diolah dengan melakukan perhitungan dan analisis yang kemudian selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel, grafik, gambar dan perhitungan dalam penyelesaian masalahnya. Perhitungan cadangan batukapur dilakukan dengan menggunakan metode *indicator krigging*.

4.2.4 Pembahasan

Hasil pengolahan data berupa *block model* dari sebaran kadar-kadar batukapur sesuai dengan *cut off grade* PT. Semen Padang, dan hasil perhitungan jumlah sumberdaya batukapur di area bukit tajarang PT. Semen Padang.

4.2.5 Penyusunan Laporan

Pada tahap ini dilakukan pembuatan laporan berdasarkan data-data yang didapat. Tahap ini merupakan tahap akhir dari kegiatan penelitian.

4.3 Teknik Analisis Data

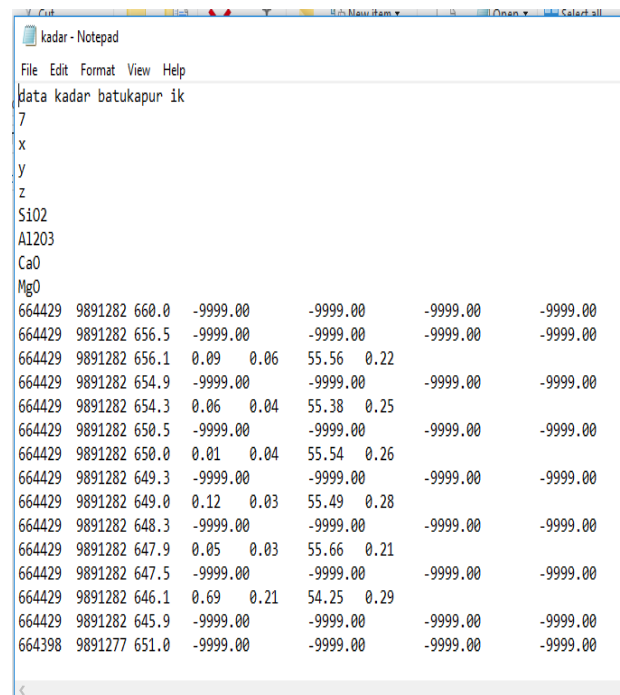
Teknik analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan menggabungkan antara teori dengan data-data lapangan, sehingga dari keduanya di dapat pendekatan penyelesaian masalah. Setelah mendapatkan data-data yang diperlukan penulis menggunakan rumus-rumus melalui literatur yang ada untuk menganalisis data.

5 Hasil dan Pembahasan

5.1 Rekapitulasi Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data *drill hole* dan data topografi dari hasil pengeboran eksplorasi di area bukit tajarang Pt. semen padang. Data tersebut di susun dengan format yang sesuai untuk *software SGeMs* (*Stanford Geostatistical Earth Modeling Software*). Data untuk di olah *SGeMs* di susun dengan aplikasi *notepad*

yang berformat *text document (*.txt)*. Setelah itu data di *import* ke *software SGeMs*. Contoh format data yang akan diimport ke *software SGeMs* dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini.



```
data kadar batukapur ik
7
x
y
z
SiO2
Al2O3
CaO
MgO
664429 9891282 660.0 -9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00
664429 9891282 656.5 -9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00
664429 9891282 656.1 0.09 0.06 55.56 0.22
664429 9891282 654.9 -9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00
664429 9891282 654.3 0.06 0.04 55.38 0.25
664429 9891282 650.5 -9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00
664429 9891282 650.0 0.01 0.04 55.54 0.26
664429 9891282 649.3 -9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00
664429 9891282 649.0 0.12 0.03 55.49 0.28
664429 9891282 648.3 -9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00
664429 9891282 647.9 0.05 0.03 55.66 0.21
664429 9891282 647.5 -9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00
664429 9891282 646.1 0.69 0.21 54.25 0.29
664429 9891282 645.9 -9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00
664398 9891277 651.0 -9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00
```

Gambar 6. Format data untuk *software sgems*^{[10] [11]}

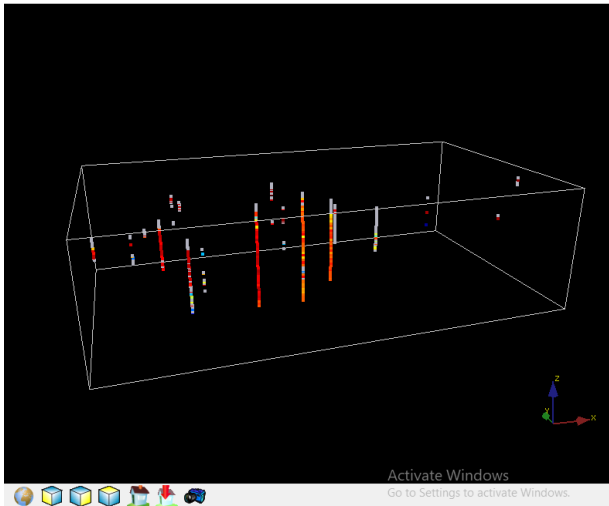
Pada rekapitulasi data diatas, “data kadar batukapur ik” adalah judul data set, “7” merupakan jumlah parameter yang digunakan, “x” adalah data pada kolom pertama yang berisi data koordiant x, “y” merupakan data pada kolom kedua yang berisi data koordinat y, “z” adalah data kolom ketiga yang merupakan elevasi, SiO₂, Al₂O₃, CaO, dan MgO adalah data pada kolom keempat, lima, enam dan tujuh yang merupakan parameter kadar batu kapur yang akan dilakukan estimasi *indicator krigging*. Setelah itu dilakukan plotting data *drill hole* untuk melihat sebaran data tersebut. Data yang digunakan berjumlah 18 titik bor. Sebaran data tersebut dapat dilihat pada gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. Plotting *drillhole*

Tahap selanjutnya adalah pembuatan grid untuk membatasi area estimasi. Grid dibuat dengan

perhitungan berdasarkan dari nilai koordinat dan elevasi maksimal dan minimal, jarak rata-rata lubang bor dan kedalaman rata-rata lubang bor agar tidak ada data yang berada di luar grid tersebut. Berdasarkan perhitungan data didapatkan grid dengan ukuran blok 35x35x1 meter dan ukuran area grid adalah 1225x700x340 meter. Grid dapat dilihat pada gambar 8 dibawah ini.

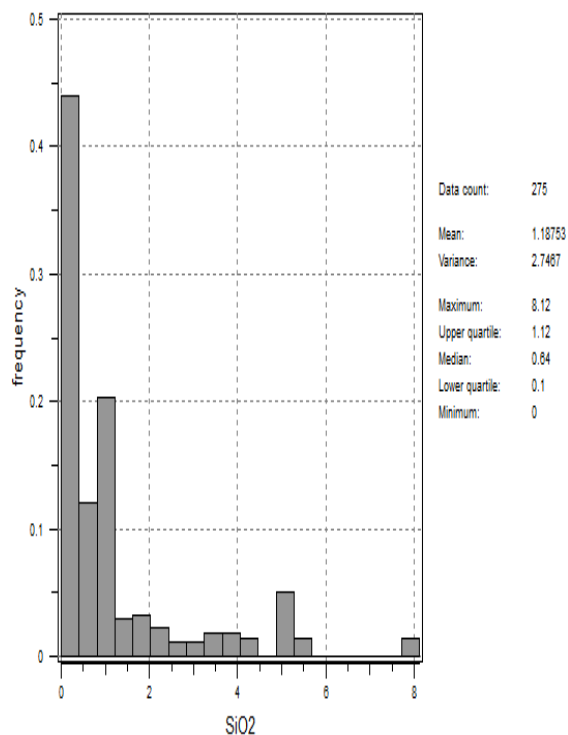


Gambar 8. Plotting drillhole

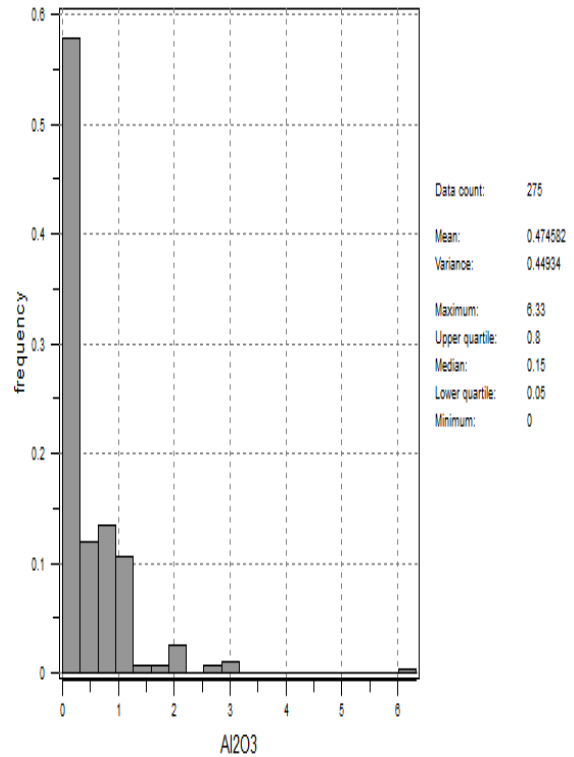
5.2 Analisis statistik univariate

Pada statistik univariate ini akan didapatkan hasil kurva histogram dari nilai data drillhole kita yang diplot pada software SGeMs.

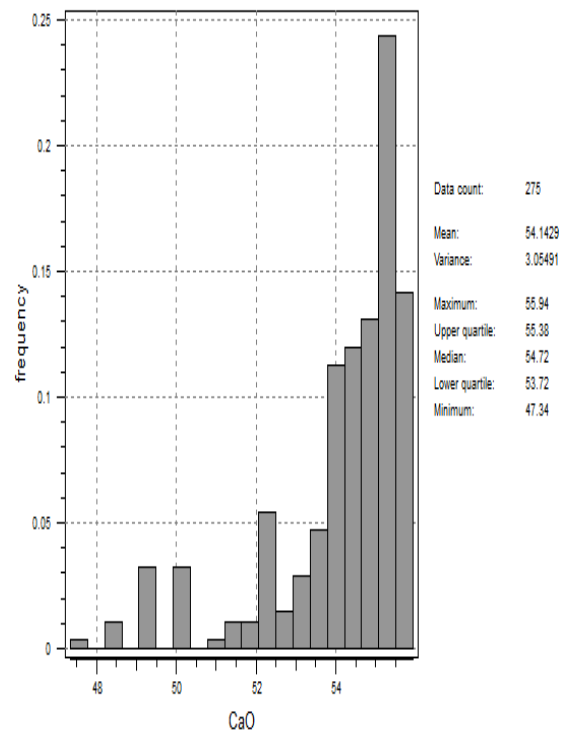
Kurva histogram hasil analisis statistik univariate data kadar batukpaur dapat dilihat pada gambar 9 sampai gambar 12 berikut ini.



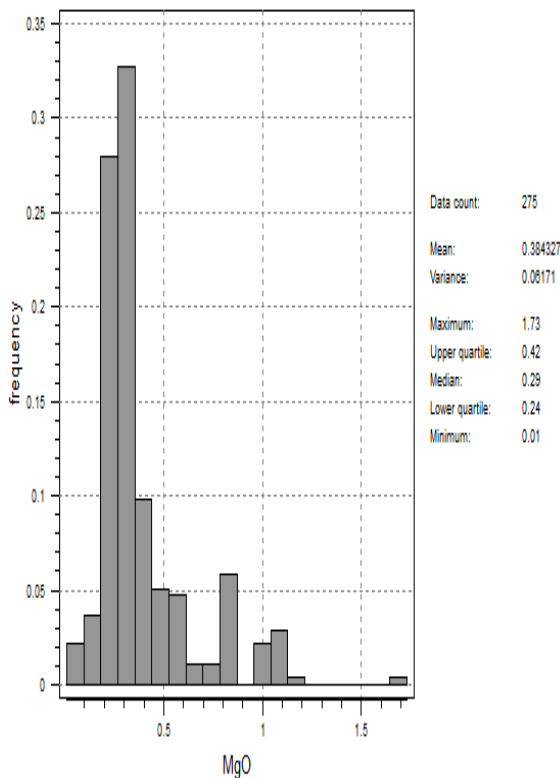
Gambar 9. Histogram SiO2 Batukpaur



Gambar 10. Histogram Al2O3 Batukpaur



Gambar 11. Histogram CaO Batukpaur



Gambar 12. Histogram MgO Batukapur

Hasil analisis statistik *univariate* data kadar batukapur dapat dilihat pada tabel 1 berikut :

Tabel 1. Hasil analisis statistik *univariate* data kadar batukapur

Parameter	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)
Mean	1,188	0,475	54,142	0,384
Variance	2,747	0,449	3,054	0,06
Median	0,64	0,15	54,72	0,29
Upper quartile	1,12	0,8	55,38	0,42
Lower quartile	0,1	0,05	53,72	0,24
Maximum	8,12	6,33	55,94	1,73
Minimum	0	0	47,34	0,01

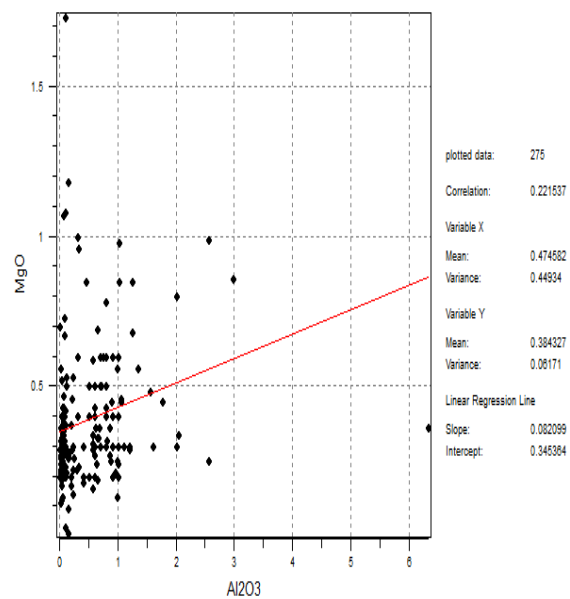
Pada tabel 1 diatas dapat kita lihat bahwa untuk data kadar SiO₂ memiliki nilai rata-rata (*mean*) sebesar 1,188%, nilai *varianceny*a sebesar 2,747%, median atau nilai tengah nya sebesar 0,64%, quartile atas (*upperquartil*) 1,12%, *quartil* bawah (*lowerquartil*) 0,1%, nilai tertinggi 8,12% dan terendah sebesar 0%. Selanjutnya untuk data kadar Al₂O₃ memiliki nilai rata-rata (*mean*) sebesar 0,475%, nilai *varianceny*a sebesar 0,449%, *median* atau nilai tengahnya sebesar 0,15%, *quartile* atas (*upperquartil*) 0,8%, *quartil* bawah (*lower quartil*) 0,05%, nilai tertinggi 6,33% dan terendah sebesar 0%. untuk data kadar CaO memiliki nilai rata-rata (*mean*) sebesar 54,142%, nilai *varianceny*a sebesar 3,054%, median atau nilai tengah nya sebesar 54,72%, *quartile* atas (*upperquartil*) 55,38%, *quartil* bawah (*lower quartil*) 53,72%, nilai *maximumnya* 55,94% dan

minimum sebesar 47,34%. Dan untuk data kadar MgO memiliki nilai rata-rata (*mean*) sebesar 0,384%, nilai *varianceny*a sebesar 0,06%, *median* atau nilai tengahnya sebesar 0,29%, *quartile* atas (*upperquartil*) 0,42%, *quartil* bawah (*lower quartil*) 0,24%, nilai *maximumnya* 1,73% dan *minimum* sebesar 0,01%

5.3 Analisis statistik bivariate

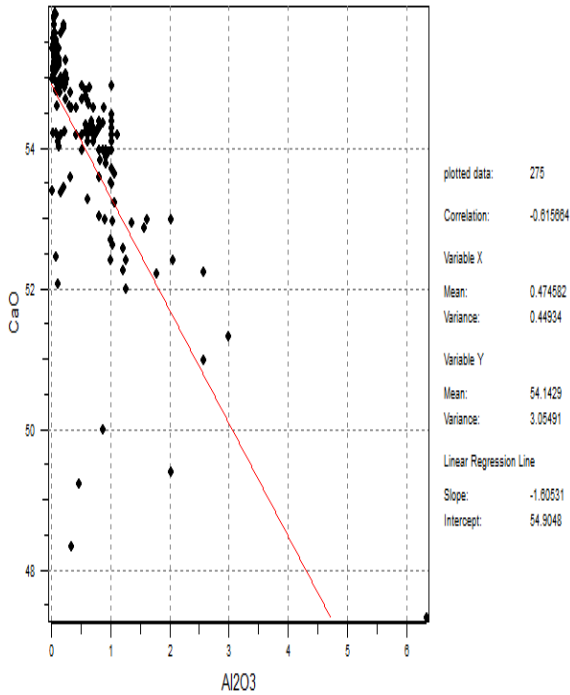
Pada analisis statistik bivariate ini akan menghasilkan scatter plot yang menunjukkan hubungan antar dua kadar yang berbeda pada batukapur.

Hasil analisis statistik bivariate dapat dilihat pada gambar 13 sampai gambar 18 berikut.



Gambar 13. Scatter plot Al₂O₃-MgO pada batukapur

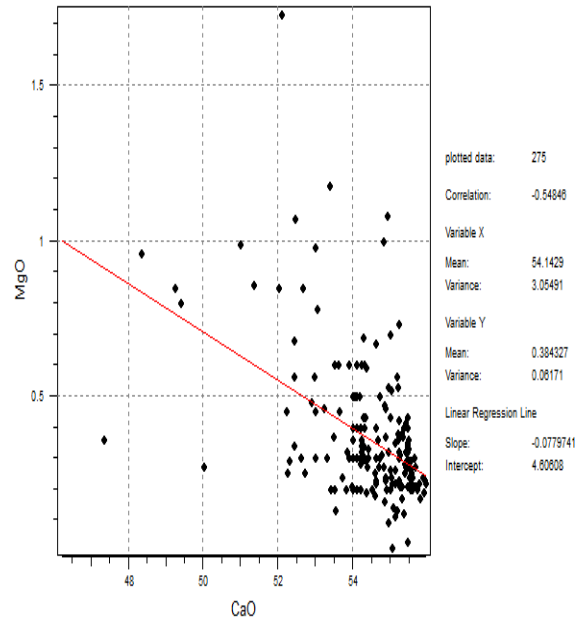
Pada *scatter plot* Al₂O₃-MgO dapat dilihat nilai *correlation* 0,2215, yang termasuk pada kelompok nilai korelasi positif yang artinya setiap kenaikan nilai kadar Al₂O₃ akan di ikuti oleh kenaikan kadar MgO, begitupun dengan sebaliknya. Hal tersebut disebabkan karena proses kalsinasi yang dilakukan pada batukapur yaitu proses dekomposisi. Proses dekomposisi ini dilakukan untuk mengeluarkan kristalin air yang terkandung pada batukapur, dimana setiap kenaikan suhu kalsinasi akan terjadi pengurangan nilai kadar oksida sehingga nilai kadar Al₂O₃ dan MgO semakin rendah.



Gambar 14. Scatter plot Al₂O₃-CaO pada batukapur

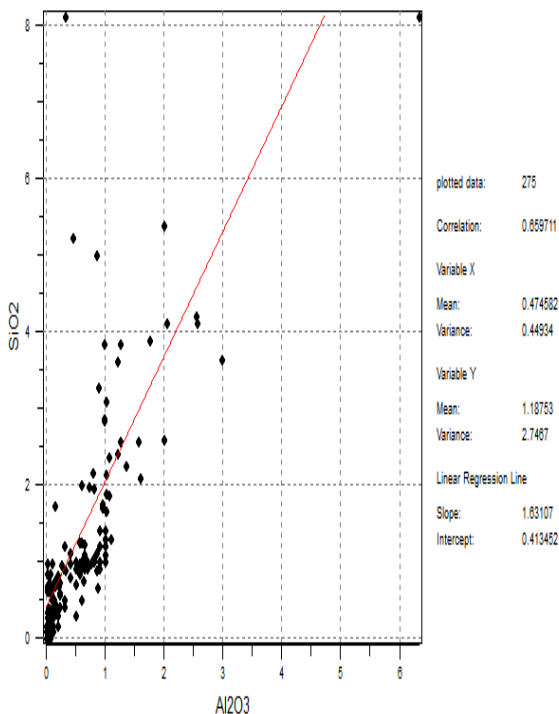
Scatter plot Al₂O₃-CaO di atas menunjukkan nilai *correlation* -0,816 yang termasuk pada kelompok korelasi negatif mendekati nol. Itu artinya hubungan keduanya tidak terlalu berpengaruh.

Al₂O₃ akan diikuti oleh kenaikan kadar SiO₂, begitupun dengan sebaliknya.



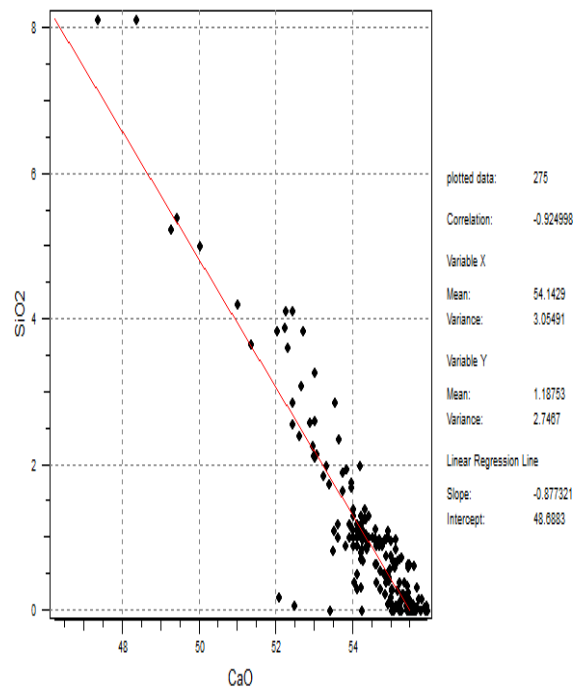
Gambar 16. Scatter plot CaO-MgO pada batukapur

Pada scatter plot antara CaO dan MgO diatas menunjukkan nilai *correlation* -0,548 yang termasuk pada kelompok korelasi negatif kuat yang berarti setiap kenaikan nilai kadar CaO akan diikuti oleh penurunan kadar MgO, begitupun sebaliknya.



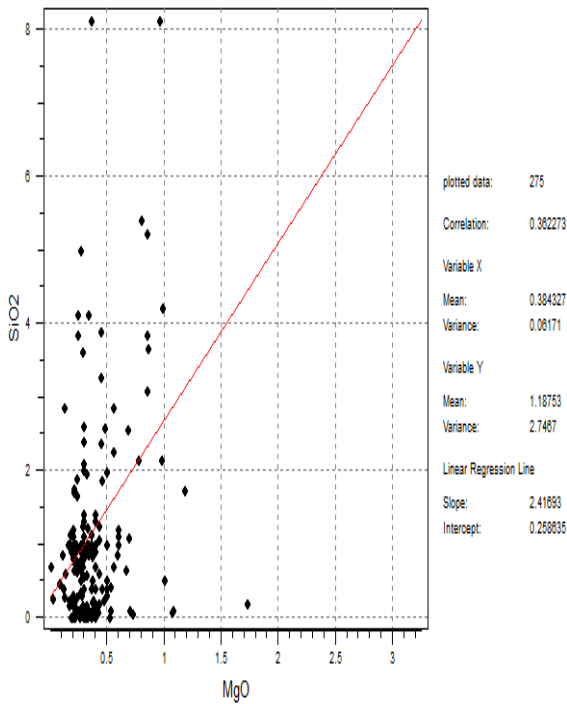
Gambar 15. Scatter plot Al₂O₃-SiO₂ pada batukapur

scatter plot Al₂O₃-SiO₂ menunjukkan nilai *correlation* 0,8697, yang termasuk pada kelompok nilai korelasi positif yang artinya setiap kenaikan nilai kadar



Gambar 17. Scatter plot CaO-SiO₂ pada batukapur

Pada scatter plot antara CaO dan MgO diatas menunjukkan nilai *correlation* -0,924 yang termasuk pada kelompok korelasi negatif kuat yang berarti setiap kenaikan nilai kadar CaO akan diikuti oleh penurunan kadar SiO₂, begitupun sebaliknya.



Gambar 18. Scatter plot MgO-SiO₂ pada batukapur

Pada scatter plot MgO-SiO₂ dapat dilihat nilai correlation 0,36227, yang termasuk pada kelompok nilai korelasi positif yang artinya setiap kenaikan nilai kadar MgO akan diikuti oleh kenaikan kadar SiO₂, begitupun dengan sebaliknya

5.4 Analisis statistik spasial (geostatic)

Pada analisis statistik spasial ini dilakukan pembuatan variogram untuk menganalisis tingkat kemiripan atau variabilitas dari masing-masing kadar SiO₂, Al₂O₃, CaO dan MgO.

5.4.1 Variogram Experimental

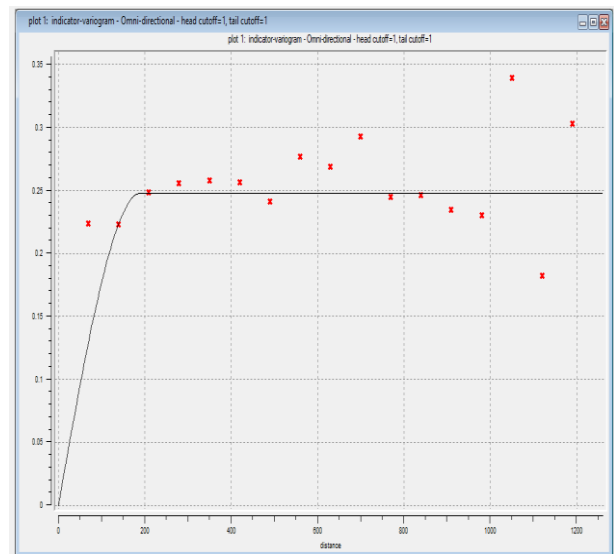
Variogram digunakan untuk menganalisis tingkat kemiripan atau variabilitas dari kadar batukapur. Agar dapat menentukan variogram yang sesuai maka perlu dilakukan pembuatan variogram experimental. Variogram experimental dibuat berdasarkan parameter yang ditentukan dengan memperhatikan pola sebaran dan jarak antar data. Pembuatan variogram pada analisis spasial ini dilakukan pada arah horizontal dan vertikal yang bertujuan untuk dapat mengetahui kontinuitas data secara tiga dimensi (3D) dan mendapatkan parameter penaksiran yang *representative*. Pada arah *horizontal* akan diamati empat arah utama yaitu arah NE-SW, E-W, SE-NW, dan N-S. Pada pembuatan variogram eksperimental ini digunakan nilai *lag separation* 70 m, *lag tolerance* 35 m untuk batukapur arah *horizontal* pada semua arah (*Omni-directional*) dan *lag separation* 5 m, *lag tolerance* 2,5 m untuk arah vertikal.

5.4.2 indicator Variogram

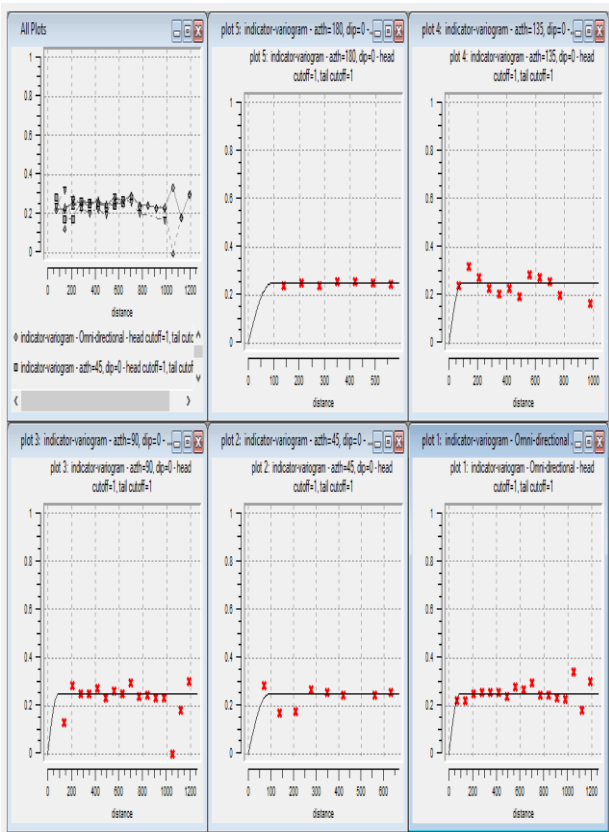
Berdasarkan data di titik awal yang berperilaku linear, maka model variogram yang digunakan adalah mode *spherical*. Berikut dapat dilihat hasil *fitting variogram*.



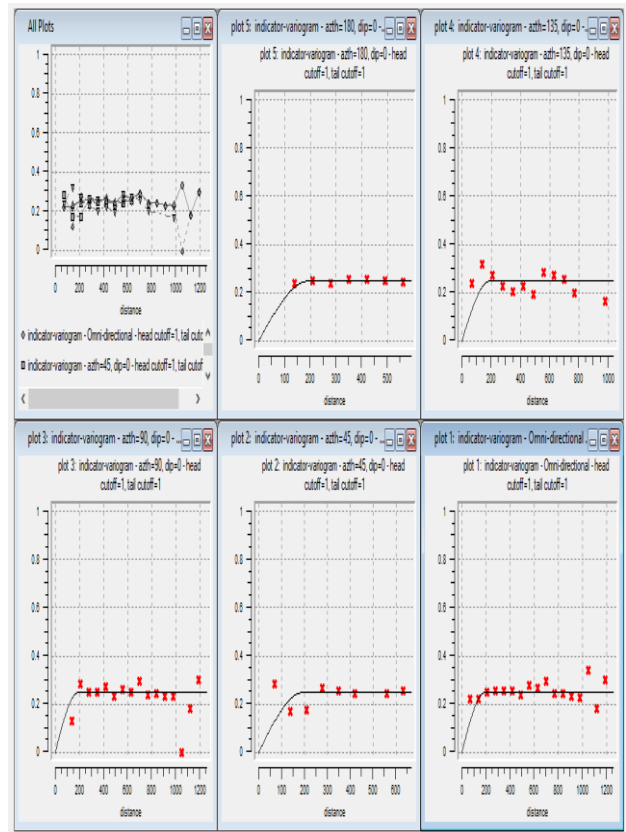
Gambar 19. Indicator variogram 3D Model horizontal SiO₂



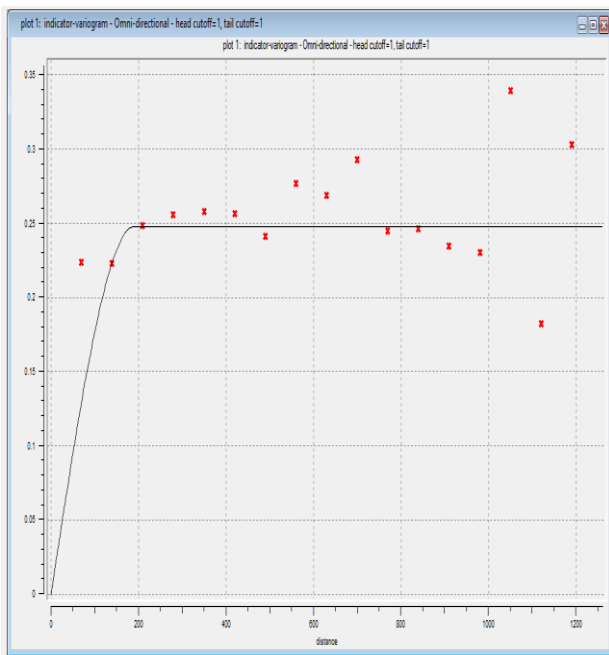
Gambar 20. Indicator variogram 3D Model vertical SiO₂



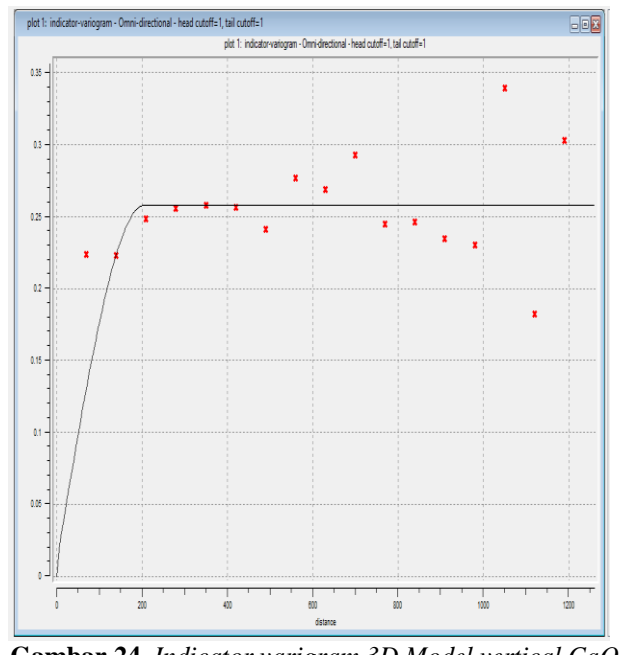
Gambar 21. Indicator variogram 3D Model horizontal Al2O3



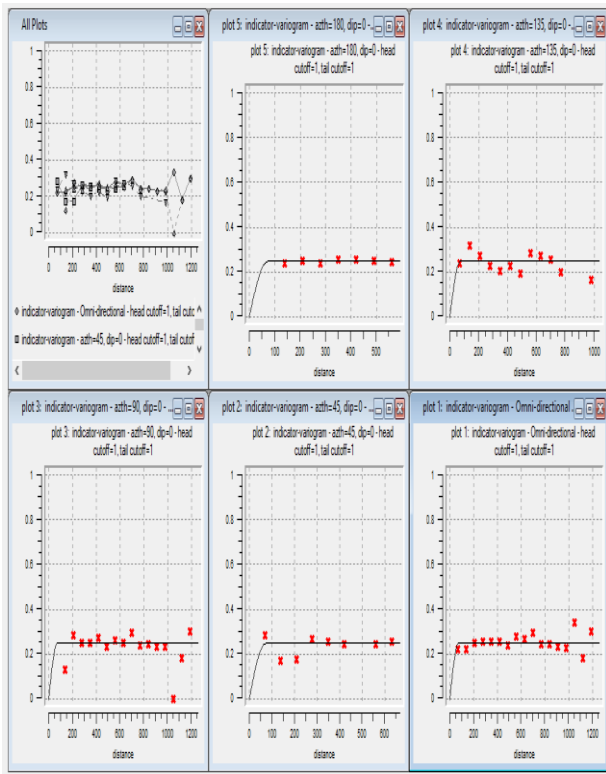
Gambar 23. Indicator variogram 3D Model horizontal CaO



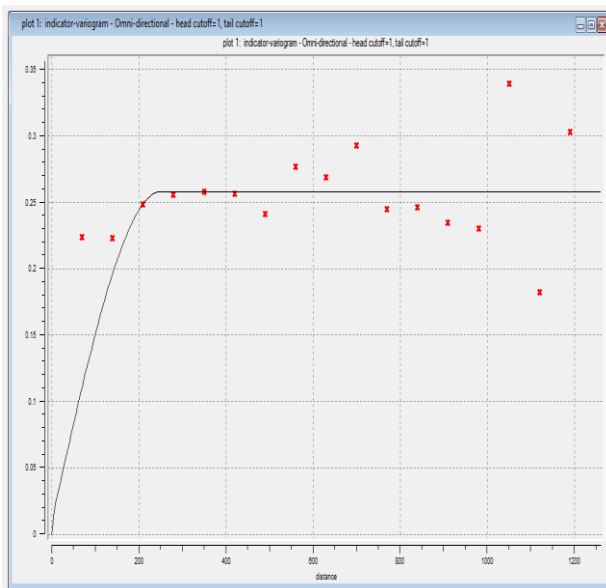
Gambar 22. Indicator variogram 3D Model vertical Al2O3



Gambar 24. Indicator variogram 3D Model vertical CaO



Gambar 25. Indicator variogram 3D Model horizontal MgO



Gambar 25. Indicator variogram 3D Model vertical MgO

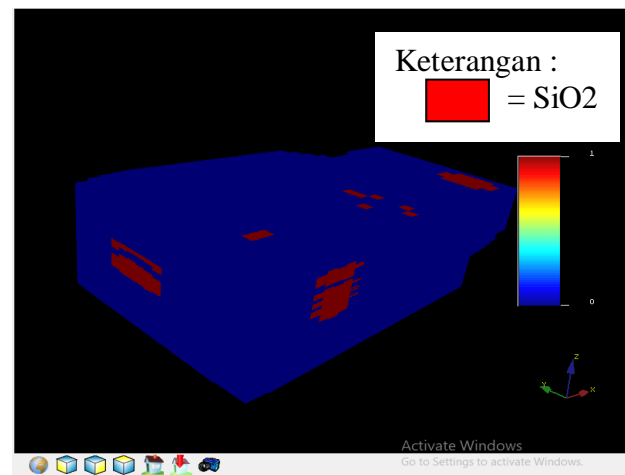
5.5 Estimasi dengan Metode Indicator Krigging

Estimasi dengan metode *indicator krigging* di lakukan pada setiap parameter kadar SiO₂, Al₂O₃, CaO, dan MgO dengan berdasarkan nilai *cut off grade* dari pt semen padang. Data kadar yang memenuhi syarat *cut off grade* akan di buat dengan nilai 1 dan yang tidak memenuhi syarat *cut off grade* di buat dengan nilai 0.

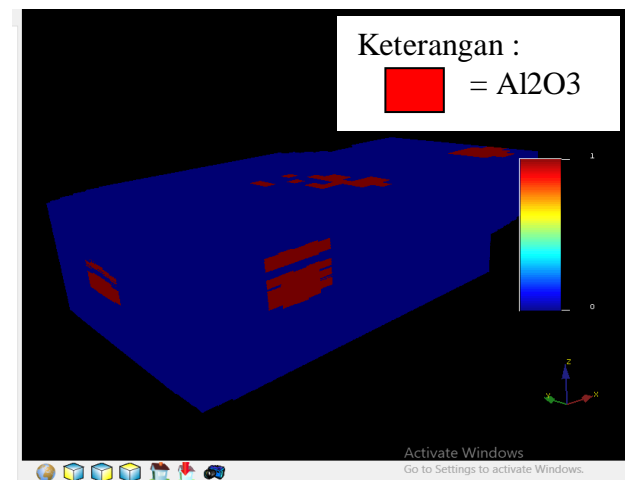
Berikut adalah parameter yang di gunakan untuk estimasi *indicator krigging* :

- Data lubang bor sebanyak 18 titik bor
- Dimensi setiap unit blok model dengan ukuran 35x35x1 m
- Luas daerah pencarian (search area) berupa *ellipsoid* yang dinyatakan dengan parameter sumbu yaitu : Rmax = 460 m, Rmed = 460m, dan Rmin = 50 m. Pemilihan nilai Rmax sebesar 460 meter di dasarkan pada nilai estimasi terjauh. Pemilihan sudut 0° karena pada cadangan batupaku memiliki sifat keseragaman yang tinggi (*homogen*).
- Parameter pembuatan variogram di sesuaikan dengan hasil sebelumnya dari batupaku. Untuk parameter sudut yaitu α , β , dan θ yang semua sudutnya dibuat bernilai 0.

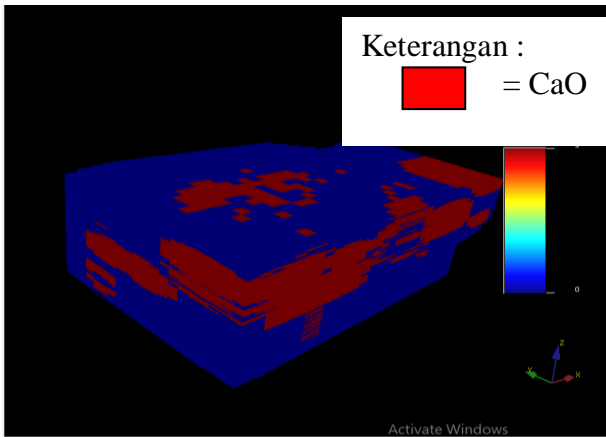
Hasil estimasi kadar batupaku dengan menggunakan metode *indicator krigging* dapat dihat pada gambar dibawah ini :



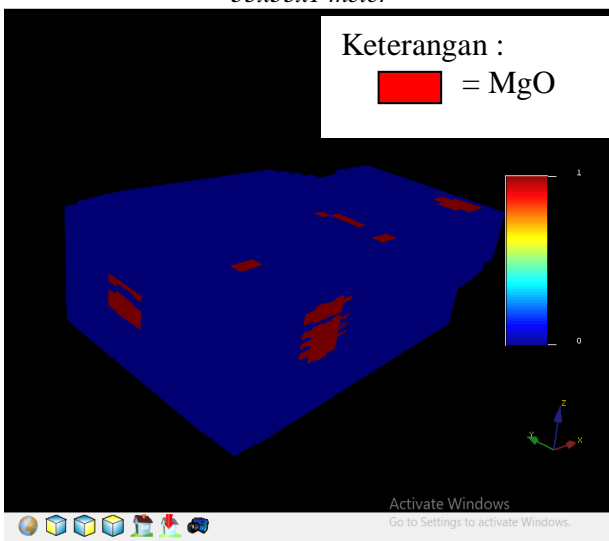
Gambar 26. Hasil estimasi SiO₂ dengan Blok Ukuran 35x35x1 meter



Gambar 27. Hasil estimasi Al₂O₃ dengan Blok Ukuran 35x35x1 meter



Gambar 28. Hasil estimasi CaO dengan Blok Ukuran 35x35x1 meter



Gambar 29. Hasil estimasi MgO dengan Blok Ukuran 35x35x1 meter

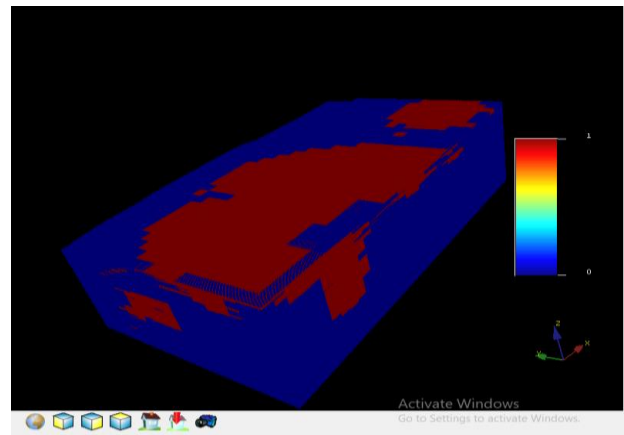
5.6 Koreksi Blok Model Hasil Estimasi *Indicator Krigging*

Hasil dari estimasi *indicator krigging* mengandung informasi tentang nilai ketebalan dan daerah yang potensial mengandung batukapur berdasarkan nilai *cut off grade* dari kadar-kadar nya. Namun perlu dilakukan koreksi terlebih dahulu terhadap batas topografi daerah tersebut dan nilai elevasi *bottomnya* agar dapat dilakukan perhitungan volume dari batukapur.

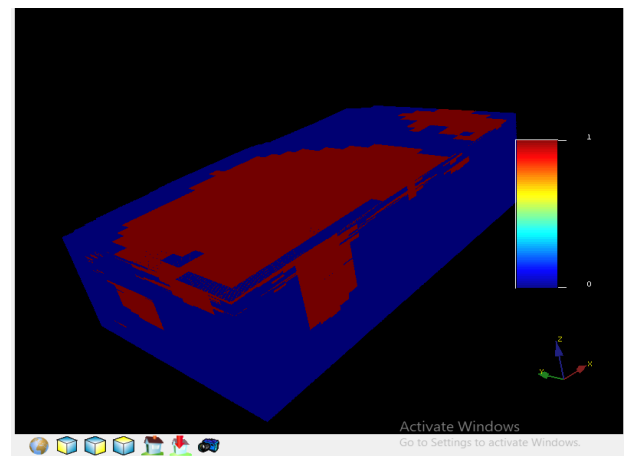
Untuk melakukan koreksi topografi serta *top* dan *bottom* dari lapisan dibutuhkan bantuan *software python Command Line* untuk mendapataka nilai *z top* dan *z bottom*. Kemudian nilai hasil dari koreksi ini akan digunakan untuk permodelan lapisan dan perhitungan volume dari batukapur.

Langkah untuk melakukan koreksi topografi dimulai dengan menyusun data hasil estimasi *indicator krigging* pada *Microsoft excel* dan di gabung dengan nilai koordinat pada masing-masing blok agar nilai tiap-tiap blok sesuai dengan koordinat lokasi. Selanjutnya dilakukan seleksi data *top* dan *bottom* dengan mencari

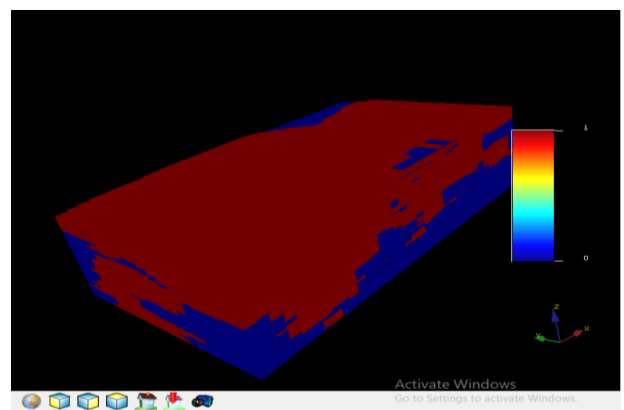
nilai selisih *top* dan *bottom* dari masing-masing koordinat *z* block terhadap nilai estimasi *z top* dan *z bottom* yang didapat dari hasil kriging sebelumnya. Langkah terakhir dalam koreksi topografi adalah dengan memodelkan kembali hasil *output* nilai model tersebut untuk merepresentasikan masing-masing ketebalan dari batukapur dalam bentuk tiga dimensi. Selanjutnya data hasil koreksi topografi diolah lagi dengan *software SGeMs*. *Block model* hasil estimasi *indicator krigging* setelah koreksi dapat dilihat pada gambar berikut:



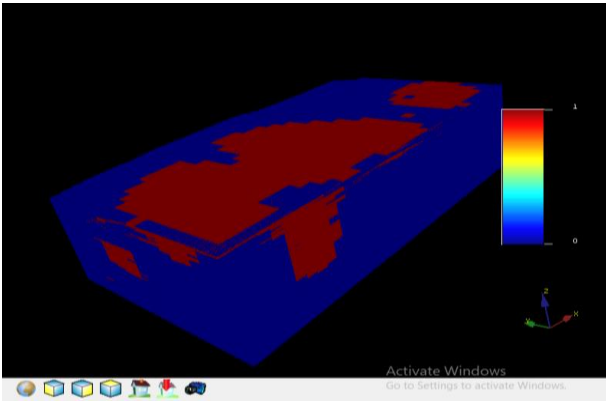
Gambar 30. Block model SiO2 setelah koreksi



Gambar 31. Block model Al2O3 setelah koreksi



Gambar 32. Block model CaO setelah koreksi



Gambar 33. Block model MgO setelah koreksi

Pada model estimasi setelah koreksi *top* dan *bottom* persebaran kadar dari batukapur terlihat lebih jelas dari pada model estimasi sebelum koreksi *top* dan *bottom*.

5.7 Perhitungan Volume dan Tonase Sumberdaya Batukapur Berdasarkan Nilai Cut Off Grade

Perhitungan volume dan tonase sumberdaya batukapur di area bukit tajarang Pt. Semen Padang sampai dengan level 359 Mdpl adalah sebagai berikut :

- a. Volume batukapur = jumlah blok x ukuran grid
 $= 30.012 \text{ blok} \times (35 \times 35 \times 1) \text{ m}$
 $= 36.764.700 \text{ m}^3$
- b. Tonase batukapur = volume x *density*
 $= 36.764.700 \text{ m}^3 \times 2.65 \text{ ton/ m}^3$
 $= 97.426.455 \text{ ton}$

6 Kesimpulan dan Saran

6.1 Kesimpulan

1. Penelitian melakukan estimasi sumberdaya batukapur berdasarkan *cut off grade* kadar SiO₂, Al₂O₃, CaO, dan MgO dari pt. semen padang.
2. Dari hasil perhitungan sumberdaya batukapur dengan menggunakan metode *indicator krigging* berdasarkan nilai *cut off grade* Pt. Semen Padang didapat jumlah sumberdaya batukapur sebesar 36.764.700 m^3 atau 97.426.455 ton

6.2 Saran

1. Dari kegiatan penelitian yang telah dilakukan, peneliti memberikan saran diperlukan sense khusus dalam ketentuan *fitting* variogram untuk meminimalisir kesalahan dalam mengestimasi data kualitas persebaran batukapur .
2. Diperlukan pemantauan lebih lanjut untuk mengetahui keakuratan hasil perhitungan dengan kenyataan di lapangan pada saat melakukan penambangan dan setelah operasi penambangan.

Daftar Pustaka

- [1] Gusman, Mulya. *Estimasi Cadangan Batugamping dengan Metoda Krigging Block 3 (Tiga) Dimensi Studi Kasus : Endapan Batugamping PT. Semen Padang.* ITB : Bandung.(2009)
- [2] *Google Earth* ,April (2019)
- [3] (SNI 13-4726-1998 serta amandemennya 13-4726-1998/AMD 1:1999)
- [4] Noviana Ervin N. 2015. *Metode Robust Kriging Dan Penerapannya Pada Data Geostatistika.* Universitas Negeri Yogyakarta: Yogyakarta.
- [5] Puspita, W., Rahmatin, D., & Suherman, M. (2013). *Analisis Data Geostatistik Menggunakan Metode Ordinary Krigging.* Jurnal Eurekamatika, 1(1).
- [6] Cressie. Noel, A. C. 1993. *Statistic for Spatial Data.* NewYork : John Wiley & SonsInc
- [7] Guskarnali, G. (2016). *Metode Point krigging Untuk Estimasi Sumberdaya Bijih Besi (Fe) Menggunakan Data Assay (3D) Pada Daerah Tanjung Buli Kabupaten Halmahera Timur.* PROMINE 4(2)
- [8] Sari, C. D. P., Lepong, P., & Natalisanto, A. I. (2019). *Analisis Penyebaran Sifat Fisis Batuan Reservoir Dengan Metode Geostatistik* (studi kasus : lapangan boonsville, texas, amerika serikat). Goesains kutai basin, 2(1)
- [9] Bargawa, W. S. (2009). *Aplikasi Krigging Non-Linear Pada Peanaksiran Kadar Bijih Emas.* JIK TEKMIN, 22(2), 101-114.
- [10] Remy, Nicolas, Alexandre Boucher and Jianbing WU. 2009. *Applied Geostatistics with SGeMS.* Cambridge : Cambridge University Press.
- [11] Yulhendra, D., & Anaperta, Y. M. (2013). *Estimasi Sumberdaya Batubara dengan Menggunakan Geostatistik (Krigging).* Jurnal Teknologi Informasi & pendidikan issn, 2086-4981.
- [12] Ersyad, F., Yulhendra D., & Prabowo, H. (2018). *Kajian Teknis dan Ekonomis Perancangan Design Kemajuan Penambangan Quarry Batukapur pada Bulan April–Agustus 2017 di Front III B–IV B Bukit Karang Putih PT. Semen Padang.* Bina Tambang, 3(3), 1185-1201.
- [13] Mahraza, C., & Octova, A. (2018). *Estimasi Sumberdaya Batubara dengan Menggunakan Metode Ordinary krigging di Pit 2 PT. Tambang Bukit tambu, Site Padang Kelapo, Kec. Muaro Sebo Ulu, Kab. Batanghari, Provinsi Jambi.* Bina Tambang, 3(4), 1793-1803.
- [14] Taufiqurrahman, R., Yulhendra, D., & Octova, A. (2015). *Perbandingan Estimasi Sumberdaya Batubara Menggunakan Metode Ordinary Krigging dan Metode Cross Section di PT. Nan Riang Jambi.* Bina Tambang, 2(1), 311-325
- [15] Awali, A. A., Yasin, H., & Rahmawati, R. (2013). *Estimasi Kandungan Hasil Tambang Menggunakan Ordinary Indicator krigging.* Jurnal Gaussian, 2(1), 1-10