

INTERPOLASI SPASIAL REKONSTRUKSI PERUBAHAN PERMUKAAN TANAH MELALUI OTOMASI *INVERSE DISTANCE WEIGHTING* (IDW) UNTUK MEMANTAU KEMAJUAN PENAMBANGAN TERBUKA DI PT. AVOCET KABUPATEN BOLAANG MONGONDOW PROPINSI SULAWESI UTARA

BUDIRAHARDJA dan NANA SURYANA

Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara
Jalan Jenderal Sudirman 623, Bandung 40211
Telp. 022 6030483, Fax. 022 6003373
e-mail: nanans@tekmira.esdm.go.id; braharja@tekmira.esdm.go.id

SARI

Untuk memantau kemajuan suatu tambang terbuka dilakukan dengan cara menghitung volume tanah yang digali atau dipindahkan dari suatu lokasi tambang yang terukur. Perhitungan volume tanah dilakukan pada bidang permukaan kontinu dari susunan titik-titik lokasi yang teratur, yang berasal dari permukaan diskontinu dari sebaran data XYZ yang tidak teratur. Dapat dikatakan bahwa permukaan diskontinu tersebut tidak memiliki data Z. Tulisan ini mengemukakan penggunaan *inverse distance weighting interpolator* (IDW) untuk eksplorasi dan interpolasi nilai Z dan mengisi lubang titik lokasi secara keseluruhan, sehingga terbentuk suatu bidang kontinu. Ketika dua buah bidang kontinu yang mewakili permukaan tanah sebelum dan sesudah penggalian terbentuk, maka perhitungan volume tanah dapat dilakukan. Aplikasi komputer telah dibangun untuk keperluan pemantauan ini dan studi kasus telah dilakukan di lokasi PT AVOCET, Kabupaten Bolaang Mongondow, Propinsi Sulawesi Utara. Parameter IDW yang digunakan adalah : jarak antar titik grid = 2 – 5 m, pangkat = 2, parameter *smoothing* = 0 dan radius pencarian maksimum 200 m. Hasil proses aplikasi kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran lapangan, dan hasil yang didapat adalah penyimpangan baku terhitung 7,0 m³ dan dapat diterima baik oleh pemangku kepentingan sebagai bahan pemantauan dan pengawasan.

Kata kunci: Permukaan diskontinu, interpolasi spasial, *inverse distance weighting* (IDW), kemajuan tambang

ABSTRACT

Surface mining progress can be monitored through a series calculation of excavated soil volume. The use of inverse-distance weighting interpolator (IDW) is intended to create a continue imaginary plane. If two planes that represent ground surface prior and after excavation are available then the calculation begins.

A Computer Application was developed and case study was taken place at PT. AVOCET, Bolaang Mongondow Region, North Sulawesi Province. Parameters were applied on IDW as follows: power = 2, grid spacing = 2 – 5 m, smoothing parameter = 0 and search radius set at the maximum extend of data 500 m. The results were then compared with the actual values measured at the certain locations in the measured area. The overall root-mean-squared-error (RMSE) between observed and measured was 7.00 cubic meter. This result has been accepted by both mining administrator and operator as a tool for reporting purpose.

Keywords: discontinuous surfaces, spatial interpolation, inverse distance weighting (IDW), surface mining progress

PENDAHULUAN

Permukaan tambang terbuka merupakan suatu area terbatas yang di dalamnya terdapat beberapa “titik lokasi” pengukuran yang memiliki informasi dalam jumlah terbatas serta tersebar secara tidak teratur. Informasi tersebut terdiri dari koordinat lokasi X , Y dan ketinggian Z , sedangkan permukaan tanahnya disebut sebagai “bidang diskontinu”. Disebut bidang diskontinu, karena mempunyai banyak area atau “lubang titik lokasi” yang terletak di antara titik-titik pengukuran yang tidak mempunyai informasi ketinggian Z .

Dalam tulisan ini, digunakan *inverse distance weighting interpolator* (IDW) untuk melakukan transformasi dari bidang diskontinu menjadi “bidang kontinu”. Agar pemrosesan IDW lebih mudah dibangun suatu aplikasi komputer untuk otomatisasi penanganan data, pemrosesan IDW, perhitungan volume dan penanganan keluaran, dilengkapi dengan dialog untuk mengatur nilai parameter yang akan digunakan dalam proses.

Dibandingkan dengan proses ekstrapolasi dan interpolasi lain, proses IDW lebih mudah untuk diprogramkan dan tidak memerlukan pra-modeling dan asumsi subjektif untuk memilih model variogram (Henley, 1981). Selain itu juga nilai estimasi didapat secara internal dengan menggunakan nilai yang tersedia, hal ini berbeda dengan *Kriging*, diperlukan nilai eksternal penyimpangan baku melalui permodelan semi-variogram (Adisoma dan Hester, 1996). Sebagai tambahan yang penting adalah IDW

cocok untuk suatu set data yang berukuran kecil seperti area penggalian dari suatu tambang terbuka, karena set data yang kecil ini sangat sulit diterima oleh pemodelan semi-variogram (Rasmussen-Rhodes dan Mayers, 1993).

Studi pemantauan kemajuan tambang ini ditujukan agar pemerintah daerah (Dinas Pertambangan) selaku pengawas terhadap kegiatan tambang di daerahnya dapat memantau kemajuan tambang suatu perusahaan tambang dengan mengolah data yang dilaporkan.

Studi ini dilakukan PT AVOCET, Kabupaten Bolaang Mongondow Provinsi Sulawesi Utara.

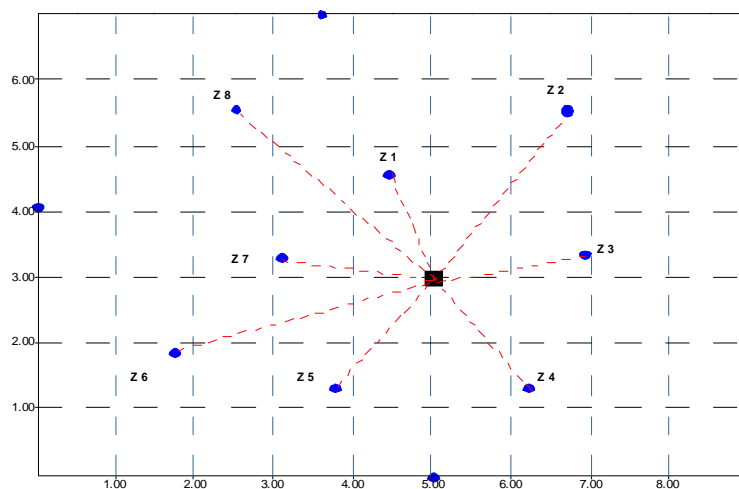
METODOLOGI

Metoda yang digunakan adalah :

- Studi pustaka
- Pembangunan aplikasi
- Analisis terhadap hasil yang diperoleh dari aplikasi yang dibangun dan hasil yang diperoleh oleh perangkat lunak komersial.

STUDI PUSTAKA

Objektivitas dari ekstrapolasi dan interpolasi lokasi dua dimensi (XY), adalah untuk mengestimasi nilai Z_i pada lokasi lubang ke i berdasarkan titik lokasi pengukuran k yang mempunyai nilai Z_k . Persamaan umum yang digunakan adalah *weighting averages* (Clark, 1979), lihat formula (1) dan Gambar 1.



Gambar 1. Metoda interpolasi *weighting average*

$$Z_i = \sum_{k=1}^{k=m} a_{ik} * Z_k \dots\dots\dots (1)$$

keterangan: Z_i adalah nilai yang diestimasi pada titik lokasi ke i , a_{ik} adalah bobot estimasi untuk titik ke i yang bersumber dari titik pengestimasi ke k dan Z_k = nilai hasil pengukuran pada titik ke k .

Metode ini dikembangkan menjadi *Inverse Distance Weighting* (IDW) seperti yang digunakan dalam studi kasus ini, dengan bobot masing-masing titik pengestimasi berbanding terbalik dengan jarak dari titik tersebut dengan titik yang diestimasi, maka algoritma IDW diterapkan pada setiap lokasi yang diestimasi berdasarkan formula (2), (Song dan DePinto, 1995), sebagai berikut :

$$Z_j = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{(h_{ij} + \delta)^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(h_{ij} + \delta)^\beta}} \dots\dots\dots (2)$$

Z_j adalah nilai interpolasi pada lokasi j , Z_i adalah nilai titik lokasi i yang masuk dalam radius pencarian, h_{ij} adalah jarak antara lokasi i dan j , β adalah pangkat (*weighting power*) , δ adalah parameter “smoothing” yang digunakan jika ditemukan indikasi “anisotropic” (misal : adanya indikasi pelapisan yang memengaruhi proses penggalian). Dalam kasus ini parameter *smoothing* dianggap tidak ada atau 0, maka perhitungan jarak antara titik estimasi dengan titik pengestimasi dapat digunakan persamaan Euclidean sederhana, formula (3), yaitu sebagai berikut :

$$h_{ij} = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan : “x dan “y adalah perbedaan koordinat horizontal dan vertikal antara titik yang diestimasi j dan titik lokasi kontribusi nilai i .

Dalam situasi keterdapat *anisotropi*, misalnya terdapat topografi atau kemiringan lapisan tanah yang secara nyata memengaruhi proses penggalian sehingga mengakibatkan kecenderungan arah dan kemiringan dari hasil akhir penggalian, maka jarak sebenarnya h_{ij} seperti yang tercantum pada persamaan (3) digantikan dengan jarak efektif h_{ij-eff} yang dihitung melalui persamaan (4), (Keckler, komunikasi pribadi, 1997).

$$h_{ij-eff} = \sqrt{A_{xx} \cdot (\Delta x)^2 + A_{xy} \cdot \Delta x \cdot \Delta y + A_{yy} (\Delta y)^2}$$

$$A_{xx} = T_{xx}^2 + T_{yx}^2 \quad T_{xx} = \frac{\cos(\theta)}{\rho}$$

$$A_{xy} = 2 \cdot (T_{xx} \cdot T_{yx} + T_{yx} \cdot T_{yy}) \quad T_{xy} = \frac{\sin(\theta)}{\rho} \dots\dots (4)$$

$$A_{yy} = T_{yy}^2 + T_{xy}^2 \quad T_{yx} = \sin(\theta)$$

$$T_{yy} = \cos(\theta)$$

θ adalah sudut anisotropi, searah azimuth, dihitung mulai arah Utara magnet, sumbu Y, searah jarum jam.

Dasar pemikirannya, jarak efektif dari titik yang diketahui ke arah titik yang akan diinterpolasi nilai Z nya, akan dapat lebih pendek dari sebenarnya tergantung dari nilai rasio anisotropinya, ρ , untuk kondisi isotropi $\rho = 1$.

Parameter IDW

Secara khusus, parameter yang berperan dalam IDW dan dapat dipilih untuk kesesuaian keadaan lapangan adalah :

- β – bobot pangkat (*exponent*)
- δ – *parameter smoothing*
- ρ – rasio anisotropi
- θ - sudut anisotropi

Sedangkan satu parameter lagi yang berlaku umum dan tidak terpengaruh oleh kondisi lapangan adalah radius pencarian yang digunakan untuk menentukan besar kecilnya jumlah titik referensi yang terjaring bagi setiap titik yang diinterpolasi. Pembatasan radius pencarian dalam hal ini digunakan untuk meningkatkan efisiensi algoritma agar dapat menangani jumlah data yang tersebar dengan cakupan lokasi yang luas.

Jika parameter IDW tersebut diatas diyakini terpengaruh oleh konfigurasi titik data referensi hasil pengukuran yang ada, maka penentuan nilainya dapat dilakukan dengan menggunakan “skenario pengecekan silang”. Pelaksanaan skenario ini dapat dilihat pada penentuan bobot pangkat IDW yang diuraikan secara rinci pada bagian tulisan berikutnya. Algoritma pencarian titik referensi dapat ditingkatkan lagi sehubungan dengan arah pencarian, misalnya dibentuk area pencarian menjadi ellips, searah kuadran tertentu atau pengaturan jumlah iterasi dalam pengambilan nilai rata-rata setelah melewati

jarak tertentu. Walaupun parameter-parameter IDW tersebut di atas dapat dihitung, tetapi dalam hal ini nilai parameter ditetapkan berdasarkan penyederhanaan keadaan lapangan, yaitu rasio anisotropi ditetapkan tidak ada atau bernilai 1, parameter *smoothing* = 0 dan sudut anisotropi = 0. Selanjutnya yang perlu dihitung adalah parameter bobot pangkat IDW.

Penentuan Bobot Pangkat IDW.

Oleh karena tidak ada prasyarat dalam menentukan parameter IDW secara universal, penggunaan skenario pengecekan silang atau “*leaving-one-out*”, (Davis, 1987; Song dan DePinto, 1995), digunakan dalam penentuan parameter IDW sesuai kebutuhan, dalam hal ini digunakan untuk menentukan bobot pangkat dari IDW atau β.

Cara ini dilakukan dengan menggunakan bobot pangkat tertentu dari persamaan (2) di atas, dalam hal ini dimulai dari mulai bobot pangkat β = 1. Dengan mengabaikan satu titik data referensi hasil pengukuran pada lokasi ke i, sebut nilai titik referensi ini adalah Z_i dan menghitung nilai interpolasi pada titik lokasi ke i tersebut dengan menggunakan titik data referensi yang tersisa, sebagai ilustrasi nilai yang dihasilkan adalah Z_{i(int)}. Selanjutnya jalankan skenario ini hingga semua titik referensi mendapat giliran dihilangkan, dan ulangi skenario di atas dengan menggunakan pangkat lain, dan seterusnya hingga bobot pangkat 10.

Untuk masing-masing bobot pangkat, dihitung nilai akar kuadrat rata-rata kesalahan atau “*root-mean of square residual error*” dari selisih nilai Z_i dan Z_{i(int)} tersebut di atas, dengan menggunakan formula (5).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{i(int)} - Z_i)^2}{n}} \dots\dots\dots (5)$$

- keterangan:
 RMSE akar kuadrat rata-rata kesalahan
 n = jumlah titik referensi hasil pengukuran.
 Z_{i(int)} = nilai Z pada titik referensi yang ke i dengan menggunakan jumlah titik referensi yang tersisa, n - 1
 Z_i = nilai Z hasil pengukuran dari titik referensi ke i yang dihilangkan.

Bobot pangkat yang digunakan dalam kasus ini ditentukan dari nilai RMSE yang terkecil.

Untuk mendapatkan nilai bobot pangkat, maka dilakukan *sampling* dari populasi 5962 data referensi terukur menjadi satu set data *sampling* berjumlah 150 data. Terhadap data *sampling* tersebut, dilakukan pengecekan silang untuk mendapatkan RMSE mulai dari bobot pangkat β = 1 s/d β = 10 dengan *incremen* 1.

Dari hasil perhitungan RMSE setiap bobot pangkat didapat hasil seperti terlihat pada Tabel 1, maka RMSE terkecil terjadi pada bobot pangkat β = 2.

Tabel 1. Akar kuadrat rata-rata kesalahan (RMSE)

Bobot Pangkat (β)	RMSE
1	11.836
2	8.751
3	13.911
4	17.237
5	19.813
6	21.773
7	21.514
8	23.779
9	27.416
10	29.331

Perubahan Permukaan Tanah

Dasar pemikiran perubahan permukaan tanah adalah terjadinya perpindahan material tanah akibat kegiatan penambangan terbuka, indikasinya terjadi perubahan ketinggian di beberapa titik lokasi tertentu. Untuk mendeteksi perubahan permukaan tanah, diawali dengan koleksi data ketinggian hasil pengukuran di beberapa titik lokasi sebelum penggalian, dan dilanjutkan dengan koleksi data ketinggian hasil pengukuran di beberapa titik lokasi sesudah penggalian. Data ketinggian dalam hal ini diukur relatif terhadap suatu lokasi titik referensi ketinggian tertentu.

Titik data ketinggian yang menjadi koleksi, baik sebelum maupun sesudah penggalian, mempunyai lokasi yang tidak teratur dan tersebar di area penambangan terbuka. Oleh karena penyebaran lokasi yang tidak teratur, maka permukaan tanah tersebut dikenal sebagai bidang diskontinu.

Melalui otomasi interpolator IDW, area yang semula diwakili oleh bidang diskontinu, direkonstruksi menjadi suatu bidang kontinu, bidang kontinu

tersebut dipenuhi oleh sebaran merata "titik grid". Titik grid dalam hal ini adalah titik data yang berisi informasi ketinggian hasil interpolasi dengan jarak (spasi) antar titik lokasi yang teratur. Spasi dinyatakan dengan "x dan "y sedangkan nilai ketinggian dinyatakan dengan Z. Selanjutnya, sebuah bidang kontinu dapat diekpresikan melalui sumbu koordinat X, Y dan Z sebagai sumbu ketinggian, lihat Gambar 2.

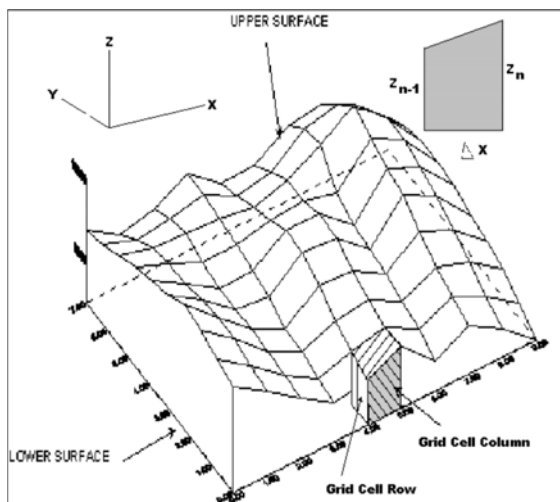
Jika direkonstruksikan dua buah bidang kontinu, bidang kontinu pertama mewakili permukaan tanah sebelum terjadi penggalian dan bidang kontinu kedua mewakili permukaan tanah setelah proses penggalian, maka dapat dideteksi perubahan permukaan dengan cara menghitung perbedaan volume dan menggambarkan kontur ketinggian dari kedua bidang tersebut.

Perbedaan volume dihitung dengan menggunakan cara Trapezoidal dan Simpson, dimana pada lokasi titik grid yang sama terdapat selisih ketinggian antar *upper surface* dan *lower surface*, (Keckler, 1996).

Aturan Trapezoidal

Aturan trapezoidal adalah suatu metode numerik untuk menghitung luas/volume suatu integral definit, lihat Gambar 2., yaitu hasil integral suatu fungsi permukaan f(x) pada suatu jarak (range) yang terbatas, misalnya dari batas a hingga b dapat dituliskan sebagai berikut: (Keckler, 1996):

$$\int_a^b f(x) dx \text{ dengan interfal } a < x < b$$



Gambar 2. Perhitungan volume

Integral dari a ke b adalah jumlah integral dari a ke x₁, dari x₁ ke x₂ dan seterusnya yang tidak lain adalah jumlah luas (T) masing masing *sub interval* , dan luas sub interval dinyatakan dengan rumus :

$$T_i = \frac{1}{2} (Z_0 + Z_1) DX + \frac{1}{2} (Z_1 + Z_2) DX + \dots + \frac{1}{2} (Z_{n-2} + Z_{n-1}) DX + \frac{1}{2} (Z_{n-1} + Z_n) DX \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan : T_i adalah luas dari sub interval ke i

Aturan Simpson

Aturan ini dikenal juga sebagai aturan "Simpson 4/3".

Aturan Simpson menyatakan bahwa sebuah bidang kontinu, sebutlah *upper surface*, merupakan fungsi matematis dari suatu (busur) parabola, lihat Gambar 3. Luas area di bawah fungsi tersebut diekpresikan dengan formula (8) (Keckler, 1996), dengan pola koefisien yang digunakan adalah {1,4,2,4,2,4,2,...,4,2,1}:

$$A_i = \frac{X}{3} (Z_{i,1} + 4Z_{i,2} + 2Z_{i,3} + 4Z_{i,4} + \dots + 4Z_{i,n-2} + 2Z_{i,n-1} + Z_{i,n} \dots \dots \dots (8)$$

Sedangkan volume dihitung dengan formula (9), sebagai berikut :

$$\text{Volume H} \approx \frac{Y}{3} (A_1 + 4A_2 + 2A_3 + 4A_4 + \dots + 4A_{n-2} + 2A_{n-1} + A_n) \dots \dots \dots (9)$$

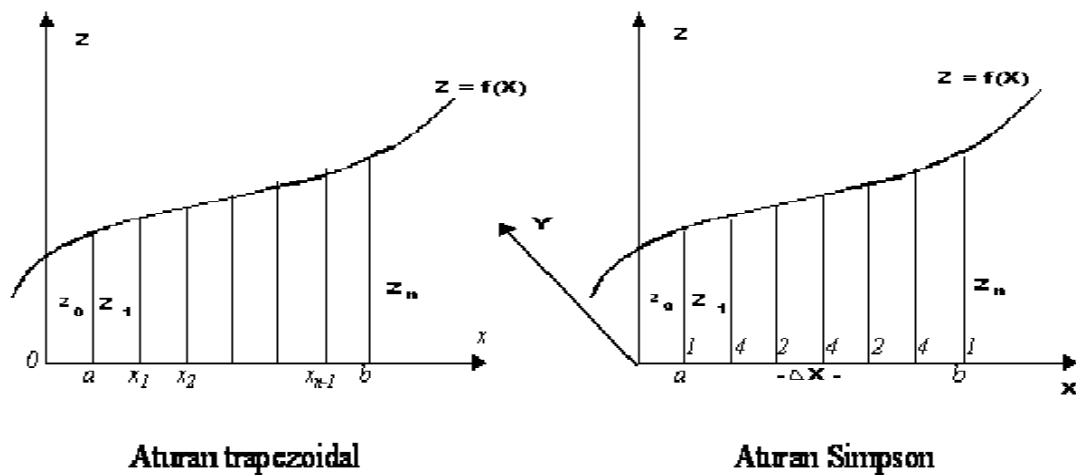
Keterangan:

- A_i = luas dari sub interval atau baris yang ke i
- Z_{i,1} = nilai ketinggian pada titik grid baris ke i dan kolom ke 1.
- "X, "Y = jarak atau spasi antar titik grid, kolom, baris.

Aturan Simpson Diperluas

Aturan Simpson diperluas merupakan modifikasi untuk mengantisipasi kelebihan atau kekurangan perhitungan volume yang disebabkan fungsi yang ekstrim atau keadaan permukaan yang lebih bervariasi topografinya. Aturan ini dikenal juga dengan formula "Simpson 3/8". Luas area di bawah fungsi X tertentu diekpresikan dengan formula (10) (Keckler, 1996), dengan pola koefisien yang digunakan adalah {1,3,3,2,3,3,2,...,3,3,2,1}:

$$A_i = \frac{3X}{8} (Z_{i,1} + 3Z_{i,2} + 3Z_{i,3} + 2Z_{i,4} + \dots + 3Z_{i,n-2} + 2Z_{i,n-1} + Z_{i,n} \dots \dots \dots (10)$$



Gambar 3. Perhitungan luas area di bawah fungsi matematis

Sedangkan volumenya dihitung dengan formula (11), sebagai berikut :

$$\text{Volume H} \approx 3"Y/8 (A_1 + 3A_2 + 3A_3 + 2A_4 + \dots + 3A_1 + 2A_1 + A_n) \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan:

- A_i = luas dari sub interval atau baris yang ke i
- Z_{i, 1} = nilai ketinggian pada titik grid baris ke i dan kolom ke 1.
- "X, "Y = jarak atau spasi antar titik grid, kolom, baris.

Volume Final

Dari masing-masing aturan tersebut di atas, Trapezoidal, Simpson dan Simpson 3/8, diterapkan terhadap *upper surface* (Vup) dan *lower surface* (Vlo), sehingga didapat perbedaan volume (Volume), seperti diperlihatkan berikut :

$$\Delta\text{Volume} = V_{up} - V_{lo}$$

Perbedaan volume ini selanjutnya disebut sebagai volume tergal; terdapat tiga buah volume tergal, masing-masing volume tergal dari Trapezoidal (Vt), volume tergal dari Simpson 3/4 (V4) dan volume tergal dari Simpson 3/8 (V8).

Untuk menghitung volume final, maka dilakukan perhitungan rata-ratanya dengan menggunakan rumus:

$$\text{Volume Final} = 1/3 (Vt + V4 + V8) \dots\dots\dots (12)$$

Pembuatan Kontur

Kontur adalah suatu cara untuk memvisualisasi permukaan tiga dimensi dalam media dua dimensi,

seperti peta cetakan ataupun layar monitor komputer. Menampilkan fitur topologi seperti kontur dalam hal ini adalah pada intinya melakukan plotting suatu fungsi dari dua variabel, yaitu variabel longitude dan variabel latitude atau sumbu X dan sumbu Y dimana Y = f(x).

Untuk membuat otomatis pembuatan kontur dibutuhkan suatu array data yang berupa titik grid dari suatu bidang kontinu yang telah diuraikan di atas. Penempatan titik grid dalam array dapat dilihat pada Gambar 4. Selanjutnya garis kontur dapat dibuat dengan mengarahkannya di antara nilai yang ada pada susunan (array) titik grid.

Sedangkan algoritmanya adalah sebagai berikut:

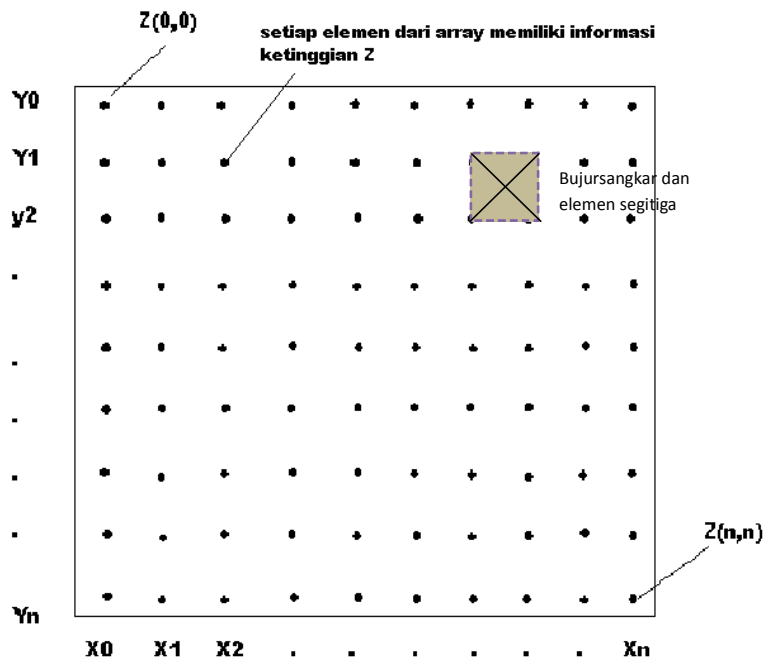
- Setiap lokasi, dibuatkan bujursangkar yang terbentuk dari empat buah titik grid yang berdekatan, misalnya Z(i,j), Z(i + 1,j), Z(i,j + 1), dan Z(i + 1,j + 1). Titik tengahnya diberi nilai rata-rata nilai keempat titik grid tersebut.
- Setiap bujursangkar dibagi menjadi empat segitiga berdasarkan perpotongan garis diagonalnya.
- Untuk suatu nilai ketinggian tertentu, lakukan pengecekan dan interpolasi pada batas segitiga untuk mendapatkan nilai koordinat awal atau akhir dari garis kontur, jika ditemukan koordinat tersebut, buat garis dari koordinat awal ke koordinat akhir. Garis yang terbentuk dalam segitiga merupakan penggal garis dari garis kontur tertentu.
- Sebagai ilustrasi, sebuah bujur titik sudutnya mempunyai nilai 0, dan 4, rata-rata titik tengah = 2, maka dalam bujursangkar tersebut terdapat

3 segitiga yang dilewati oleh garis kontur ketinggian 1, (lihat Gambar 5).

- Lakukan iterasi seluruh segitiga yang ada dalam bujur sangkar, dilanjutkan iterasinya kepada bujursangkar lainnya, sehingga semua bujursangkar yang terbentuk dari titik grid.

Perhitungan Volume

Volume penggalian atau penimbunan tanah merupakan parameter utama yang digunakan untuk pemantauan kemajuan tambang. Kemudian akan dibahas mengenai analisis ketepatan aplikasi dalam menghitung perbedaan volume dari dua buah permukaan tanah yang dimasukkan sebagai data



Gambar 4. Pemetaan titik grid bidang kontinu dalam array

HASIL DAN PEMBAHASAN

Diskusi ini mengulas kinerja dari aplikasi yang dibangun untuk otomasi IDW dalam pemantauan kemajuan penambangan terbuka dari PT Avocet Bolaang Mongondow, Kabupaten Bolaang Mongondow, Propinsi Sulawesi Utara.

Seperti yang telah diulas sebelumnya, bahwa perubahan permukaan tanah dapat diaktualisasi melalui perhitungan volume penggalian dan penampilan peta kontur ketinggian sebelum dan sesudah penggalian.

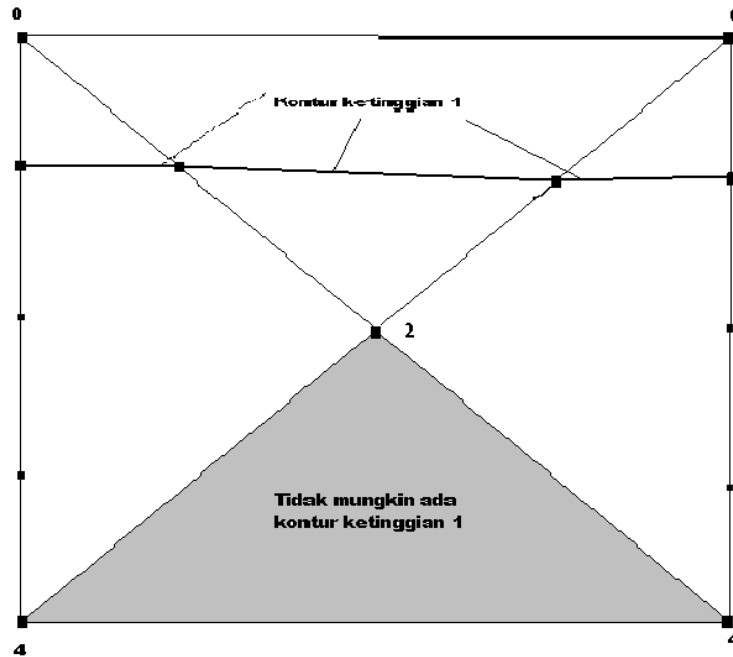
Kemudian akan diulas mengenai perhitungan volume dan penampilan peta kontur untuk mengekspresikan kinerja penggunaan otomasi IDW untuk memantau kemajuan penambangan terbuka.

Untuk menganalisis ketepatan perhitungan perbedaan volume, digunakan data primer hasil survei lapangan di lokasi Riska Pit, PT. Avocet Bolaang Mongondow (ABM), Sulawesi Utara berselang 5 hari penggalian.

Analisis dilakukan dengan cara menghitung perbedaan volume dengan menggunakan perangkat lunak komersial, yaitu : Surfer v.8.0 yang dimiliki oleh Puslitbang tekMIRA dan Surpac v.6.0m milik ABM.

Parameter yang digunakan untuk analisis perhitungan volume adalah :

- Perangkat lunak, yaitu *Surfer*, *Surpac* dan Aplikasi.
- Metode pembentukan *Grid*, yaitu *Krigging* dan *IDS power 2*.



Gambar 5. Ilustrasi penggambaran garis kontur

- Metode pembentukan *Grid* yang digunakan oleh Aplikasi adalah IDW power 2.
- Interval grid, yaitu : satu meter hingga lima meter.
- Dilakukan terhadap 5 pasangan data titik XYZ permukaan, 1 pasang berupa data real dan 4 pasang merupakan data real yang dimodifikasi ketinggiannya.

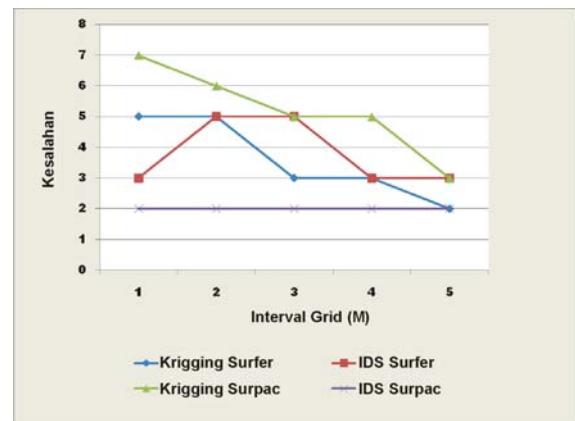
Untuk menilai kinerja dari aplikasi, dilakukan analisis kesalahan volume melalui metode RMSE seperti yang telah diuraikan sebelumnya dengan sedikit modifikasi, formulanya dapat dilihat pada persamaan (13).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{app} - Z_{soft})^2}{n}} \dots\dots\dots (13)$$

keterangan:
 RMSE akar rata-rata kesalahan
 V_{app} = volume hasil perhitungan aplikasi
 Z_{soft} = volume perhitungan software komersial
 n = jumlah pasangan data

Dalam analisis ini dilakukan terhadap 30 pasangan data hasil modifikasi, $n = 30$, yang diproses masing-masing oleh aplikasi yang dibangun maupun perangkat lunak komersial.

Hasil yang didapat berupa “kesalahan” dalam kubik meter yang didefinisikan sebagai harga absolut (toleransi plus minus) perbedaan perhitungan volume antara *software* komersial dengan Aplikasi, lihat Gambar 6.



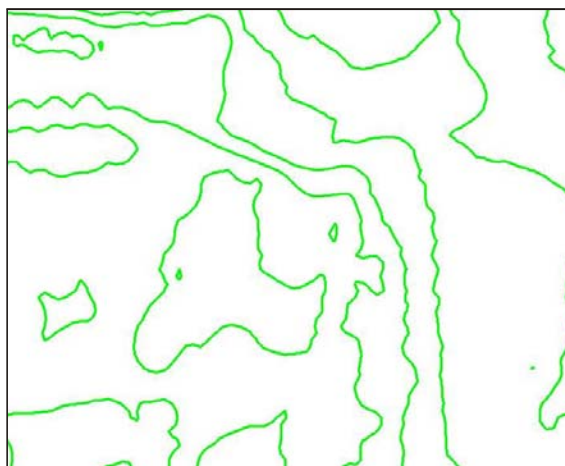
Gambar 6. Perbandingan kesalahan hasil perhitungan perbedaan volume antara perangkat lunak komersial dengan aplikasi

Dari Gambar 6, terlihat bahwa :

- Kesalahan menurun sejalan dengan membesarnya interval grid, hal ini disebabkan makin berkurangnya jumlah grid yang masuk dalam perhitungan.
- Metode Krigging mempunyai kesalahan yang lebih besar daripada IDS, hal ini disebabkan karena aplikasi menerapkan nilai *co-variance* dari histogram secara bawaan perangkat lunak (*default*), yang belum tentu sesuai dengan keadaan penyebaran nilai data. Metode ini diperlukan pengalaman untuk menetapkan nilai *co-variance*, dan nilai *co-variance* yang tepat akan memberikan hasil yang lebih mendekati.
- Metode IDS lebih memberikan hasil yang mendekati. Hal ini sesuai dengan pemilihan metode IDS Surpac yang digunakan oleh ABM.

Penampilan Kontur

Penampilan peta kontur ketinggian akhir dari suatu permukaan yang menjadi objek penggalian atau penimbunan tanah juga merupakan parameter utama yang digunakan untuk pemantauan kemajuan tambang. Berikut ini akan dibahas mengenai *analisis* hasil penampilan peta kontur yang dibentuk melalui aplikasi sebuah data permukaan tanah sebagai data masukan. Untuk menganalisis ketepatan tampilan peta kontur, digunakan data riil hasil survai lapangan di lokasi Riska Pit yang merupakan salah satu pit/tambang di PT Avocet.



Gambar7. Peta kontur hasil dari metode Krigging, Surfer v.8.0

Analisis dilakukan dengan cara menggunakan perangkat lunak komersial, yaitu : *Surfer v.8.0* yang dimiliki oleh Puslitbang tekMIRA dan *Surpac v.6.0m* milik ABM.

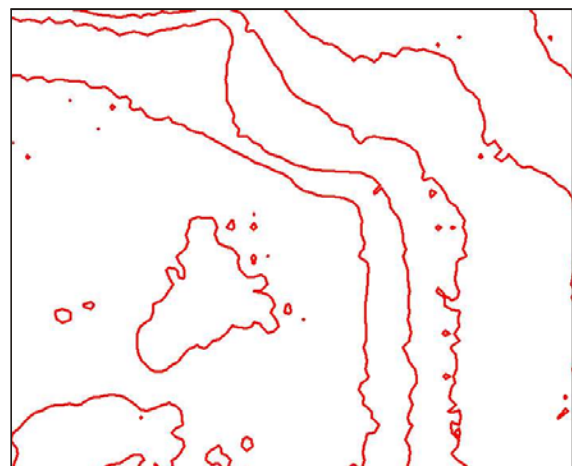
Parameter yang digunakan untuk analisis tampilan peta kontur adalah :

- Perangkat lunak, yaitu *Surfer* dan aplikasi yang dibangun.
- Metode pembentukan *Grid* permukaan yaitu *Krigging* IDS power 2.
- Metode pembentukan *Grid* permukaan digunakan oleh Aplikasi adalah IDW power 2.
- Interval grid lima meter, dilakukan terhadap 5 data permukaan, satu data berupa data riil dan empat data riil yang dimodifikasi ketinggiannya.

Hasil yang didapat berupa masing-masing sebuah tampilan peta kontur hasil penggunaan perangkat lunak komersial untuk dibandingkan dengan hasil yang ditampilkan oleh Aplikasi.

Untuk tampilan peta kontur dengan menggunakan *Surfer v.8.0*, metode Krigging, lihat Gambar 7.

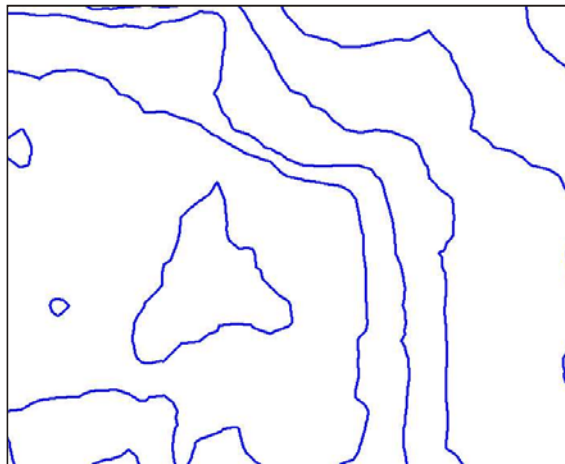
Untuk tampilan peta kontur dengan menggunakan *Surfer v.8.0*, metoda IDS power 2, lihat Gambar 8. Untuk tampilan peta kontur dengan menggunakan metode IDS power 2, Aplikasi Pemantauan Kemajuan Tambang, lihat Gambar 9.



Gambar 8. Peta kontur hasil dari metode IDS, Surfer v.8.0

Dengan melihat hasil tampilan kontur gabungan yang terlihat pada Gambar 10, dapat diuraikan sebagai berikut :

- Tampilan dapat dianggap serupa, dengan alasan bahwa semua garis kontur yang terpenting dapat ditampilkan.
- Tampilan kontur hasil *Krigging*, warna hijau, menunjukkan penempatan garis yang paling teliti dengan ditandai dengan lekukan yang lebih rinci dan munculnya pulau-pulau kecil di antara garis kontur yang serasi.
- Tampilan kontur hasil IDS, warna merah, menunjukkan penempatan garis kontur yang cukup teliti hal ini diperlihatkan oleh lekukan pada garis yang halus (smooth), tetapi terlihat banyak pulau-pulau kecil yang seharusnya tidak perlu.
- Tampilan kontur hasil aplikasi yang dibangun, warna biru, menunjukkan penempatan garis yang wajar dan mempunyai lekukan yang sederhana.



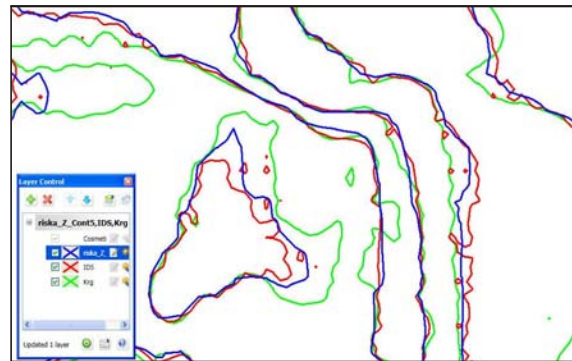
Gambar 9. Peta kontur hasil dari metode IDS, aplikasi

KESIMPULAN

Hasil penelitian dan pengembangan IDW untuk pemantauan kemajuan tambang terbuka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Dari hasil uji coba kinerja aplikasi yang dibangun, dapat meningkatkan efektifitas proses pemantauan kemajuan tambang dengan dicirikan adanya perpendekan waktu dalam proses perhitungan volume.

- Dengan diterapkan aplikasi ke dalam proses pelaksanaan tugas dan fungsi administrator pertambangan (Distamben), khususnya dalam hal pemantauan kemajuan tambang, maka tercipta peran yang aktif bagi staf dalam pengolahan data spasial kemajuan tambang.
- Dengan diterapkan “sharing data” ke dalam proses pemantauan, maka tercipta jalinan saling percaya antara administrator dan operator, lebih luas lagi, tercipta kesepahaman antar sesama pemangku kepentingan (*stakeholder*) dalam penyelenggaraan pemanfaatan sumberdaya mineral dan batubara yang sesuai dengan perundang-undangan.
- Kemampuan untuk menerapkan penggunaan data geografis baku dalam aplikasi, dapat meningkatkan koordinasi dengan sektor terkait lainnya, khususnya dalam kesepahaman informasi keruangan untuk pemanfaatan lahan,



Gambar 10. Tampilan gabungan peta kontur hasil perangkat lunak komersial dan aplikasi

misalnya dalam koordinasi rencana tata ruang wilayah yang berlaku di lingkungan pemerintah propinsi dan kabupaten/kota.

DAFTAR PUSTAKA

- Adisoma, G. S. dan M. G. Hester 1996. Grade estimation and its precision in mineral resources: the Jackknife approach. *Mining Engineering*. 48(2); 84-88.
- Clark, I., 1979. *Practical Geostatistics*, <http://www.kriging.com/RSMA1978/>, diunduh 2/10/2009, j 20.00.

- Davis, B. M., 1987. Uses and abuses of Cross-validation in geostatistics. *Mathematical Geology*, 19(3); 241-248.
- Henley, S., 1981. *Nonparametric Geostatistics*. London: Applied Science Publishers, Ltd.
- Keckler, D. 1996. *Surfer for Windows, Version 6 User's Guide*, Golden Software, Inc. , Colorado.
- Rasmunsen-Rhodes, H. dan D. E. Mayers, 1993. *GRASS Used in the geostatistical analysis of lakewater data from the Eastern Lake survey, Phase I*. In M. F. Goodchild, B. O. Parks and L.T. Steyaert (eds.): *Environmental Modeling with GIS*, M.F. Oxford: Oxford University Press, Inc.
- Song, J. dan J. V. DePinto, 1995. *A GIS-based Data Query System*. Presented at the International Association for Great Lakes Research (IAGLR) Conference, Windsor, Ontario.