



Seminar Nasional Kebumihian VIII-2013

Yogyakarta, 5 September 2013



No ISBN : 978-602-19765-2-4

PROSIDING

**Menuju Pengelolaan Energi dan Sumberdaya Mineral
Indonesia Yang Lebih Berdaulat :
Tantangan, Teknologi, Sistem, dan Solusi**

**FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
YOGYAKARTA**

Seminar Nasional Kebumihan VIII - 2013

Menuju Pengolahan Energi dan Sumberdaya Mineral Indonesia Yang Lebih Bedaulat:
Tantangan, Teknologi, Sistem dan Solusi

Fakultas Teknologi Mineral
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatur Yogyakarta
Gedung Arie F. Lasut, Telp. (0274) 487813, 487814, Fax. (0274) 487813
Email : semnas_ftm@upnyk.ac.id

Sanksi Pelanggaran Pasal 72 Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta

1. Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 Ayat (1) atau Pasal 9 Ayat (1) dan Ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima milyar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait sebagai dimaksud pada Ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

PERPUSTAKAAN PRIBADI

NUR ALI AMRI

05092013

Sambutan
Dekan Fakultas Teknologi Mineral

SEMINAR NASIONAL KEBUMIHAN VIII - 2013
Yogyakarta, 5 September 2013

Pembaca yang budiman,

Seminar Nasional Kebumihan ke VIII tahun 2013 ini diselenggarakan oleh Fakultas Teknologi Mineral dengan tema “Menuju Pengelolaan Energi dan Sumberdaya Mineral Indonesia Yang Lebih Berdaulat : Tantangan, Teknologi, Sistem, dan Solusi (Toward More Sovereign Management of The Indonesia’s Energy & Mineral Resources : Challenge, Technology, System & Solution)” dan dilaksanakan pada tanggal 5 September 2013, selain sebagai acara tahunan seminar ini diselenggarakan sekaligus juga dalam rangka Dies Natalis ke 55 UPN “Veteran” Yogyakarta. Pemilihan tema berkaitan dengan upaya peran serta UPN “Veteran” Yogyakarta untuk menjaga komitmen sebagai institusi pendidikan tinggi yang sudah banyak menghasilkan pakar dalam bidang sewajarnya dengan komitmen dasar Disiplin, Kejuangan, dan Kreatifitas tetap mengendalikan dan menjaga eksistensi, keseimbangan bumi dan pengelolaannya dengan landasan sesanti Widya Mwat Yasa.

Pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Rektor UPN “Veteran” Yogyakarta, Prof. Dr. Didit Welly Udjiyanto, MS
2. Pembicara Kunci I, Dirjen Migas, Ir. A. Edy Hermantoro M.Si
3. Pembicara Kunci II, Dr. Ir. Ridho K Watimena, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan ITB
4. Para pemakalah dari berbagai universitas dan instansi
5. Para peserta seminar dari Instansi, Lembaga dan Perguruan Tinggi

Selain itu kami juga berterimakasih dan menyampaikan penghargaan yang tinggi kepada para sponsor, seluruh panitia, semua pendukung acara dan segenap panitia mahasiswa yang telah bekerja keras demi suksesnya acara ini.

Yogyakarta, 5 September 2013

(Dr. Ir. S. Koesnaryo, MSc, IPM).



**Rektor
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta**

**Sambutan
SEMINAR NASIONAL KEBUMIHAN VIII - 2013
Yogyakarta, 5 September 2013**

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Sumberdaya bumi dan alam, termasuk didalamnya sumberdaya mineral dan energi yang kita miliki adalah karunia luar biasa dari Allah, yang disediakan bagi kita penghuni bumi untuk dapat dimanfaatkan dan dikelola sebaik-baiknya. Dalam kelangsungan hidupnya, manusia akan selalu memenuhi kebutuhan hidupnya dan meningkatkan kesejahteraan dengan melakukan pembangunan, dengan memanfaatkan sumberdaya alam yang ada di bumi ini. Upaya-upaya pemenuhan kebutuhan dan pembangunan yang dilaksanakan acap kali mengabaikan cara-cara pemanfaatan dan tatakelola yang berkelanjutan. Sehingga akan berdampak pada eksploitasi sumberdaya alam dan bumi berlebihan yang akan berakibat pada kerusakan atau turunnya kualitas lingkungan seperti pencemaran tanah, udara, air dan bencana, serta akan mengorbankan hak pemenuhan kebutuhan generasi yang akan datang. Untuk itu diperlukan upaya pengelolaan lingkungan eksplorasi dan eksploitasi sumberdaya alam yang lebih baik (*good mining practice*).

Selain masalah diatas, dalam pengelolaan sumberdaya bumi dan alam untuk pembangunan, kita rakyat Indonesia sebagai pemilik bumi Indonesia ini, masih belum sepenuhnya berdaulat mengelola dan memanfaatkan sumberdaya bumi dan alam. Terbukti bahwa sebagian besar daerah yang kaya akan tambang minyak dan gas, tambang batubara, tambang emas dan lain-lain, rakyat disekitarnya tetap miskin, pendidikan rendah, tempat tinggal tidak layak, dll. Artinya kekayaan yang melimpah ini tidak dapat memenuhi kebutuhan hidup dan peningkatan kesejahteraan masyarakat, masyarakat hanya akan diberikan sisa hasil yang berupa kerusakan lingkungan, dan bencana serta CSR seadanya, jadi tidak benar-benar ingin meningkatkan kesejahteraan dan pendidikan. Pengelolaan energi dan sumberdaya yang belum

seungguhnya berdaulat, menyebabkan Indonesia sebagai negara di dunia yang memiliki energi dan sumberdaya mineral cukup besar, pengelolaan energi dan kebijakan pengelolaan energi dan mineral selama ini masih dicampuri dan didominasi oleh pihak asing, serta pihak-pihak yang hanya mementingkan diri sendiri. Selama ini, penyelesaian persoalan terkait pengelolaan energi dan sumberdaya mineral dilakukan secara parsial dan berorientasi jangka pendek.

Inti permasalahan terkait dengan pengelolaan energi dan sumberdaya mineral di Indonesia tidak lain disebabkan oleh tergerusnya kedaulatan energi di Negeri ini. Kedaulatan energi seharusnya menjadi hak seluruh rakyat karena di Indonesia memiliki UUD 1945 Pasal 33 ayat (3), yang berbunyi: bumi, air, dan segala kekayaan yang terkandung didalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan bagi sebesar-besarnya kemakmuran rakyat.

UPN "Veteran" Yogyakarta sebagai institusi pendidikan tinggi yang sudah banyak menghasilkan pakar dan lulusan bidang kebumihan (pertambangan, perminyakan, geologi dan geofisika, serta pengelolaan lingkungan), sudah sewajarnya dengan komitmen dasar Disiplin, Kejuangan, dan Kreatifitas tetap mengendalikan dan menjaga eksistensi keseimbangan bumi dan pengelolaannya dengan landasan sesanti Widya Mwat Yasa (ilmu pengetahuan untuk diabdikan secara tulus kepada bangsa dan Negara). Kami berharap, pada perkembangan ilmu dan teknologi akan memberikan peran dan sumbang sih kepada Negara baik dalam teknologi eksplorasi, eksploitasi dan pengeioloan serta kebijakan pengelolaan dan pemanfaatannya, karena sektor energy adalah sumber pendapat Negara terbesar kedua sesudah pajak. Peran besar ini harus kita hayati dan dukung bersama pelaksanaannya, agar tercapailah peningkatan kesejahteraan masyarakat serta pengelolaan energy yang lebih berdaulat.

Seminar Nasional Kebumihan VIII dengan tema "**Menuju Pengelolaan Energi dan Sumberdaya Mineral Indonesia Yang Lebih Berdaulat : Tantangan, Teknologi, Sistem, dan Solusi (Toward More Sovereign Management of The Indonesia's Energy & Mineral Resources : Challenge, Technology, System & Solution)**", yang sekaligus diselenggarakan dalam rangka Dies Natalis ke 55 Tahun UPN "Veteran" Yogyakarta ini diharapkan menjadi ajang saling bertukar ilmu, bertukar pengalaman bagi para peneliti, para pemangku kepentingan dan para stakeholder tentang tantangan, teknologi, sistem, dan solusi, dalam upaya kita bersama ikut serta dalam pengelolaan energi dan sumberdaya mineral indonesia yang lebih berdaulat.

Pada kesempatan ini, kami sampaikan terimakasih sebesar-besarnya kepada Dirjen Migas dan Dr. Ir. Ridho K Watimena, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan ITB sebagai Pembicara Kunci yang telah berkenan hadir pada seminar ini. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada para pemalakah dari berbagai instansi, lembaga, perguruan tinggi dan

seluruh peserta seminar, yang telah menyempatkan diri untuk hadir ditengah kesibukan bapak dan ibu sekalian dalam seminar ini.

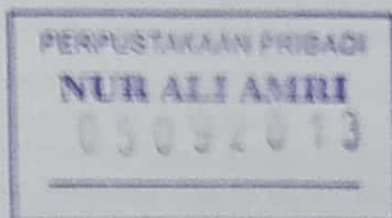
Wassalamu'alikum warahmatullahi wabarakatuh

Rektor,

Ttd

Prof. Dr. Didit Wahyu Udimanto, MS

NIP. 197501062010080051001



Daftar Isi

KATA PENGANTAR	ii
SAMBUTAN DEKAN FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL	iii
SAMBUTAN REKTOR UPN “VETERAN” YOGYAKARTA	iv
DAFTAR ISI	vii
SUSUNAN PANITIA.....	xi
UCAPAN TERIMAKASIH.....	xii

Tema I : Kebijakan Minerba, Migas dan Panasbumi

- Regulation On Electrical Power Theft and Costumers Behavior Bambang SUPRIHADI	1
- Praktek CSR pada Industri Energi dan Isu Pengembangan Wilayah di Daerah Tertinggal S. KOESNARYO	8
- Penerapan CSR secara Efisien dalam Perusahaan Flora AWOITAUW	16

Tema II : Problem & Solusi Kedepan Pengembangan Panasbumi dan Energi

- Problema Pengembangan Energi Terbarukan sebagai Alternatif Energi Fosil S. KOESNARYO	23
- Aplikasi Metode Perhitungan Green-Willhite dalam Penentuan Tekanan Injeksi Polimer Harry BUDI HARJO S	29
- Penyelidikan Suhu Reservoir di Lapangan Panas Bumi Suli, Maluku Tengah Helda ANDAYANY	39
- Penentuan Sumur-sumur Konversi Injeksi Air dengan Menggunakan Data Performance Produksi dalam Lapangan Minyak “X” Edgie YUDA KAESTI, HARYADI	49
- Kemungkinan Kesalahan di dalam Penggunaan Persamaan Material Balance dan Drive Index Untuk Reservoir Minyak Yosaphat SUMANTRI, SUNINDYO	55
- Simulasi Metode Jaringan dan Fasilitas Permukaan Injeksi CO ₂ dengan Injection Plant Tersebar WIBOWO, Djoko ASKEYANTO, Lutvy JUNIARDI, dan Rhindani Jaya WARDHANI	66

- Evaluasi Penyebab dan Penanggulangan Hilang Lumpur pada Operasi Pemboran Sumur X Lapangan Y HERIANTO	76
- Penyelidikan Pendahuluan Geokimia Panas Bumi Daerah Gunung Pandan Provinsi Jawa Timur Intan Paramita HATY	86
- Identifikasi, Pencegahan, dan Penanganan Hidrat pada Lapangan Gas Anas Puji SANTOSO	95

Tema III : Pengelolaan Limbah & Lingkungan Pertambangan

- Evaluasi Pembangunan Terminal Khusus (Jetty) dan Stockpile Batubara Tahap Konstruksi Terhadap Parameter TSS, Minyak dan Lemak Muhammad BUSYAIRI	107
- Kajian Daya Dukung Air Pulau Bintang Dian Hudawan SANTOSO	116
- Ancaman Bencana Lingkungan di Kecamatan Mlati Tahun 2025 Aditya Pandu WICAKSONO, Farida Afriani ASTUTI	124
- Potensi Degradasi Lahan Kawasan Karst di Das Oyo Aditya Pandu WICAKSONO	131
- Kajian Bencana Banjir Benanain Timor Barat Eko Teguh PARIPURNO, Theresia SITI, Donatue JO, Kelik ISMUNANDAR, Karen Cambell NELSON, Silvia FANGIDAE, Saverrapall S. KORVANDUS, Kunera Bui MAU	138

Tema IV : Problem & Solusi Pengembangan Minerba

- Evaluasi Potensi Penerapan Teknologi <i>Underground Coal Gasification</i> Daerah Nibung, Cekungan Sumatera Selatan • Yan Bachtiar MUSLIH, Widiastuti Nur FARIDA, Frisca Marina RENANDIA, dan Osa Irda INSANI	147
- Kandungan Maseral Batubara Peringkat Rendah Kalimantan Selatan dan Pengaruhnya terhadap Konversi Batubara Cair Sebagai Energi Alternatif Edy NURSANTO, Arifudin IDRUS, Hendra AMIJAYA, dan Subagyo PRAMUMIJOYO	158
- Karakteristik Massa Batuan pada Zona <i>Cavity</i> di Tambang Kuari Batugamping Blok Sawir Tuban R. Andy Erwin WIJAYA, Dwikorita KARNAWATI, SRIJONO, dan Wahyu WILOPO	166
- Pengaruh Getaran Peledakan pada Stabilitas Lereng Penambangan Singgih SAPTONO, Ganda SIMANGUNSONG, dan Handoyo MARMER	174
- Impak Fitting Model Semivariogram pada Perhitungan Range Nur Ali AMRI	182

- Pra Studi Kelayakan Potensi Sumberdaya Batubara di Kabupaten Tanjung Jabung Barat Provinsi Jambi
Eddy WINARNO, Wawong Dwi RATMINAH,
Dyah PROBOWATI, Andi SUBRIYANDA 189

Tema V : Problem & Solusi Pengembangan Penerapan Geofisika

- Prospeksi Kehadiran Hidrokarbon Menggunakan Kombinasi Analisa Geofisika (Kombinasi Attribute Seismik) Lapangan "Siva" Cekungan Sumatera Tengah
Ardian NOVIANTO 199
- Interpretation Of Curie Point Depth and Thermal Gradient Based on Magnetic Anomaly Data at Southern Sumatra Geothermal Area
Syamsurijal RASIMENG, Wawan Gunawan A. KADIR, Hendra GRANDIS dan Chalid Idham ABDULLAH 209
- Identifikasi Potensial Air Tanah dengan Menggunakan Metode Geolistrik di Desa Girijati Kecamatan Purwosari Kabupaten Gunungkidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta
Wahyu HIDAYAT, Indriati RETNO PALUPI, Ardian NOVIANTO 219
- Respon Polarisasi Terinduksi dalam Kawasan Waktu (TDIP) pada Medium Air Tanah
YATINI, Djoko SANTOSO, Agus LAESANPURA 226
- Studi Geokimia dan Potensi *Shale Hydrocarbon* Formasi Brown Shale Sumur Gamma, Jeta dan Kilo, Cekungan Sumatra Tengah Berdasarkan Data Log Mekanik
Sugeng WIDADA, Salatun SAID, Kuwat SANTOSO dan HENDARYONO... 235
- Analisa Struktur pada Lapangan "Felysia" Menggunakan Seismikrefleksi Atribut Koherensi pada Formasi Telisa Cekungan Sumatera Tengah
Febiyanti FELYSIA, Suharsono, Mahap MAHA 246
- Penentuan Adanya Rongga-Rongga dalam Batuan Berdasar Metode Geolistrik 2D Daerah Bukit Karangputih PT Semen Padang Indarung IV Sumatera Barat
Agus SANTOSO, SISMANTO, Ari SETIAWAN, SUBAGYO 258

Tema VI : Problem & Solusi Pengembangan Penerapan Geologi Umum

- Geologi dan Paragenesis Alterasi serta Kontrol Struktur Geologi Terhadap Alterasi Hidrotermal Daerah Gagamba dan Sekitarnya, Distrik Homeyo, Kabupaten Intan Jaya, Provinsi Papua
Arief PRABOWO, Jatmika SETIAWAN,
Agus HARJANTO, Fafa HEDITYA 268

- The Formation of Steam Heated - Acid Sulphate (Advance Argillic) Alteration in Associated with Low Sulfidation Epithermal Deposit in The Oligo-Miocene Volcanism, Kalibangkang Hope, Ayah Area, Southern Central Java
Adi SULAKSONO, Putu A. ANDHIRA, Bambang PRASTISTHO, Joko SOESILO, SUTARTO 277
- Karakteristik Geometri Lapisan Batubara di Antiklin Palaran
Bambang KUNCORO Prasongko..... 287
- Alterasi dan Komposisi Kimia Epidot pada Sumur Kmj-26 Lapangan Panasbumi Kamojang, Jawa Barat, Indonesia
D.F.YUDIANTORO, Emmy SUPARKA, Suyatno YUWONO, Isao TAKASHIMA dan Yustin KAMAH 298
- Studi Mineralisasi Daerah Paslaten dan Sekitarnya, Kecamatan Tatapaan, Kabupaten Minahasa Selatan, Sulawesi Utara
Hari Wiki UTAMA, SUPRAPTO, SUTANTO 307
- Magmatism and Porphyry Cu-Au Mineralisation at Randu Kuning Prospect, Selogiri Area, Central Java
SUTARTO, Arifudin IDRUS, Sapto PUTRANTO, Agung HARJOKO, Lucas DONNY, SETIADJI, Michael MEYER and Rama DANY 316
- Hidrogeologi dan Program Konservasi Airtanah Daerah Lereng Gunung Arjuno, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur
Sari BAHAGIARTI K., Puji PRATIKNYO, Herry RISWANDI, Eni MURYANI..... 330
- Arti Penting Fragmen Breksi Formasi Mandalika di Daerah Selogiri, Wonogiri, Jawa Tengah
Rama DANNY, SUTARTO, C. PRASETYADI, dan Sapto PUTRANTO..... 348
- Perkembangan Struktur Geologi dan Sedimentasi selama Fase Synrift, Sagging sampai dengan Kompresi di Lapangan "Key" Block, Cekungan Sumatera Tengah
Jatmika SETIAWAN, Bambang TRIWIBOWO 357

Impak Fitting Model Semivariogram pada Perhitungan Range

Nur Ali Amri
nuraliamri@yahoo.com

Abstract

Semivariogram is a visualization of the geostatistical variance parameters, while fitting semivariogram is one of important factor in determining the effect of range or influence distance between sample points, which is in the mining industry useful for the estimation of mineral reserves. Based on calculation of gold grades distributions, obtained that the robust semivariogram method is better than the classical method. Range based on fitting (OLS and WLS) robust method also produces longer or better of distances influence. Nonetheless, implicitly, the robust semivariogram OLS fitting model is still better than WLS model. This applies to both the exponential and spherical models.

Abstrak

Semivariogram merupakan visualisasi parameter variance pada geostatistik, sedangkan fitting semivariogram adalah salah satu factor penting dalam penentuan range atau jarak pengaruh antar titik-titik sampel, yang di dalam industry pertambangan berguna dalam estimasi cadangan bahan galian. Berdasarkan hasil perhitungan terhadap sebaran kadar emas ini diperoleh informasi bahwa semivariogram dengan metode robust lebih baik dibandingkan metode classical. Range berdasarkan fitting (OLS dan WLS) metode robust juga menghasilkan jarak pengaruh yang lebih panjang atau lebih baik. Meskipun demikian, secara implicit, metode robust fitting semivariogram model OLS lebih baik dibandingkan model WLS. Kejadian ini berlaku baik pada model exponential maupun spherical.

1. Pendahuluan

Salah satu tujuan utama dari penggunaan geostatistik di dalam industry pertambangan adalah menghitung cadangan, dalam hal ini didasarkan pada estimasi kriging. Operasional kriging, bagaimanapun, sangat bergantung kepada variografi dimana parameter-parameter utama yang dihasilkan mencakup nugget, sill dan range. Ketiga parameter-parameter tersebut diperoleh melalui fitting variogram eksperimental kepada variogram teoritikal.

Dua cara metode fitting yang lazim digunakan dalam variografi adalah manual (atau pengamatan mata) dan otomatis. Tulisan ini menitik beratkan kepada automatical fitting dengan least squares, khususnya ordinary least squares (OLS) dan weighted least squares (WLS) dengan dua model utama variogram teoritikal, yaitu spherical dan exponential untuk memperoleh range yang tepat. Kasus yang digunakan ialah sebaran emas di salah satu lokasi di wilayah Ciurug, milik PT. Aneka Tambang UPBE Pongkor.

Range merupakan jarak maksimum suatu titik observasi berpengaruh terhadap sekitarnya. Di dalam geologi pertambangan, terutamanya sebaran emas, parameter ini sangat krusial karena akan menentukan akurasi jarak pengaruh yang boleh jadi digunakan pada rekomendasi pengambilan sampel baru (biasanya dilakukan dengan pemboran).



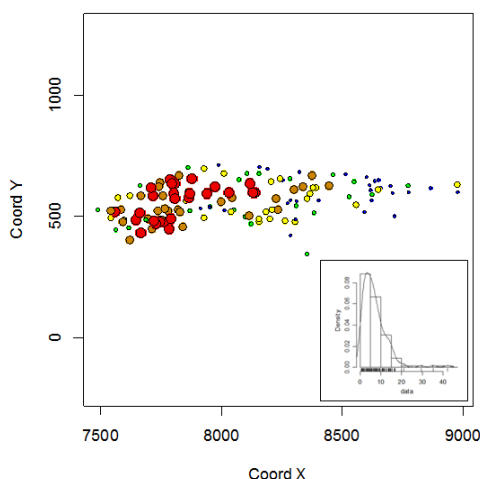
2. Material dan Metode

Lokasi dan sebaran data

Kertas ini mengkaji sebaran kadar assay emas yang diambil dari 138 titik-titik bor (Gambar1) pada quartz vein di kawasan Ciurug, yang merupakan wilayah milik PT. Aneka Tambang UBPE Pongkor, Bogor, Indonesia. Sebaran titik-titik bor sebagaimana pada Gambar 1 menunjukkan bahwa kadar tinggi atau zona kaya, sebagaimana ditunjukkan dengan lingkaran yang lebih besar dengan warna tegas, mengelompok pada hampir separoh sisi kiri. Sedangkan pada sisi kanan merupakan zona relative “miskin” dengan titik-titik bor yang lebih sedikit dibandingkan zona kaya.

Grafik density sebagaimana Gambar 1 menunjukkan terjadinya skewed yang menunjukkan keeratikan data, sebagaimana lazimnya pada sebaran emas primer. Sampel-sampel eratik (outlier) pada tahap ini sengaja dibiarkan dalam perhitungan, dalam rangka melakukan komparasi penggunaan pada model semivariogram eksperimental (classical dan robust) dan fitting semivariogram yang mencakup ordinary least squares dan weighted least squares.

Sebagaimana umumnya di industry pertambangan, semivariogram teoritik yang digunakan adalah model exponential dan model spherical. Hasil fitting terbaik (terutama sill dan range) pada model ini digunakan sebagai dasar (asas) dalam perhitungan estimasi kriging.



Gambar 1 Sebaran Grid Emas berdasar Titik Bor (semakin besar lingkaran/ berwarna tegas menunjukkan semakin besar kadar)

Beberapa langkah penting dalam metode ini antara lain adalah, memperoleh semivariogram (baikpun numerical maupun grafik) berdasarkan formula classical semivariogram dan robust semivariogram. Kedua semivariogram tersebut, kemudian dicocokkan (fitted) dengan automatic fitting berdasarkan Ordinary Least Squares (OLS) dan Weighted Least Squares (WLS).

Range (dan parameter variogram lain, nugget dan sill) yang menggunakan status omnidirectional digunakan sebagai dasar perhitungan estimasi. Eksekusi data pada penyelidikan ini menggunakan open source R package dengan basis library geoR.

Semivariogram eksperimental

Andaikan kadar (grade) dari badan bijih pada titik \mathbf{s} (di dalam R^2) merupakan suatu realisasi dari proses random $\{Z(\mathbf{s}); \mathbf{s} \in D\}$ yang diamati pada titik-titik tertentu $\{\mathbf{s}_i; i = 1, \dots, n\}$ dan $\mathbf{h} = \mathbf{s}_i - \mathbf{s}_j$, maka estimator classical untuk semivariogram didefinisikan (Matheron, 1962),

$$\hat{\gamma}(\mathbf{h}) = \frac{1}{2|N(\mathbf{h})|} \sum_{i=1}^{N(\mathbf{h})} [Z(\mathbf{s}_i) - Z(\mathbf{s}_j)]^2$$

Dilatarbelakangi oleh pemikiran bahwa estimator classical sangat dipengaruhi oleh pengamatan atipikal, Cressie dan Hawkins (1980) kemudian melakukan transformasi Box & Cox (1964). Dengan asumsi normalitas dan distribusi chi-kuadrat akar pangkat empat dari $(Z(\mathbf{s} + \mathbf{h}) - Z(\mathbf{s}))^2$ membuat estimator semivariogram yang diberi notasi $\bar{\gamma}(\mathbf{h})$ ini lebih kuat (robust). Estimator robust tersebut disajikan sebagai

$$\bar{\gamma}(\mathbf{h}) = \left(\frac{1}{2|N(\mathbf{h})|} \sum_{i=1}^{N(\mathbf{h})} [Z(\mathbf{s}_i) - Z(\mathbf{s}_j)]^{1/2} \right)^4 / \left(0.457 + \frac{0.494}{|N(\mathbf{h})|} \right).$$

dimana jumlahan $N(\mathbf{h}) \equiv \{(i, j); \mathbf{s}_i - \mathbf{s}_j = \mathbf{h}\}$ dan $|N(\mathbf{h})|$ merupakan pasangan titik-titik sampel (*pair*) yang dipisahkan pada jarak \mathbf{h} .

Semivariogram teoritikal

Kedua semivariogram di atas merupakan semivariogram eksperimental yang dalam perjalanannya (untuk memperoleh parameter-parameter, terutama sill dan range) perlu dilakukan fitting dengan semivariogram teoritikal. Dua model semivariogram yang digunakan di dalam paper ini adalah,

1. Spherical model

$$\gamma(\mathbf{h}) = \begin{cases} 0, & \mathbf{h} = 0 \\ C_0 + C[(3/2)(|\mathbf{h}|/a) - (1/2)(|\mathbf{h}|/a)^3], & 0 < |\mathbf{h}| \leq a \\ C_0 + C, & |\mathbf{h}| \geq a \end{cases}$$

2. Exponential model

$$\gamma(\mathbf{h}) = \begin{cases} 0, & \mathbf{h} = 0 \\ C_0 + C[1 - \exp(-|\mathbf{h}|/a)], & \mathbf{h} \neq 0 \end{cases}$$

Fitting semivariogram

Model fitting yang juga sering digunakan adalah *least squares* dimana estimasi semivariogram dilakukan dengan meminimumkan jumlah perbedaan kuadrat dari $R(\theta)$

$$R(\theta) = \sum_{i=1}^k w_i^2 [\gamma_z^*(\mathbf{h}_i) - \gamma_z(\mathbf{h}_i; \theta)]^2 \text{ yaitu,}$$

$$\min \sum_{i=1}^k w_i^2 [\gamma_z^*(\mathbf{h}_i) - \gamma_z(\mathbf{h}_i; \theta)]^2.$$

Fitting jenis ini antara lain ordinary least squares (OLS), dimana estimasinya menggunakan formula

$$R(\theta)_{OLS} = \sum_{i=1}^k [\gamma_z^*(\mathbf{h}_i) - \gamma_z(\mathbf{h}_i; \theta)]^2$$

$$\min \sum_{i=1}^k [\gamma_z^*(\mathbf{h}_i) - \gamma_z(\mathbf{h}_i; \theta)]^2.$$

Sedangkan untuk weighted least squares (WLS) estimasi semivariogram menggunakan

$$R(\theta)_{WLS} = \sum_{i=1}^k \frac{1}{\frac{2\gamma(\mathbf{h}_i; \theta)^2}{N(\mathbf{h}_i)}} [\gamma_z^*(\mathbf{h}_i) - \gamma_z(\mathbf{h}_i; \theta)]^2 = \sum_{i=1}^k N(\mathbf{h}_i) \left[\frac{\gamma_z^*(\mathbf{h}_i)}{\gamma_z(\mathbf{h}_i; \theta)} - 1 \right]^2 \text{ dengan}$$

$$\min \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k N(\mathbf{h}_i) \left[\frac{\gamma_z^*(\mathbf{h}_i)}{\gamma_z(\mathbf{h}_i; \theta)} - 1 \right]^2$$

Pada kasus classical, $\gamma_z^*(\cdot) = \hat{\gamma}(\cdot)$ sedangkan untuk kasus robust $\gamma_z^*(\cdot) = \bar{\gamma}(\cdot)$.

Range (practical) adalah jarak maksimum ketika semivariogram mencapai sill, atau secara matematik ditulis $\lim_{|\mathbf{h}| \rightarrow \infty} \gamma(|\mathbf{h}|) = \gamma_\infty < \infty$.

3. Diskusi

Semivariogram

Perhitungan didasarkan pada asumsi omnidirectional, maknanya semivariogram sama pada berbagai arah. Tabel 1 menyajikan nilai-nilai semivariogram omnidirectional dengan jarak (lag) teratur setiap 100 m pada absis antara 7500 sehingga 9000. Secara umum terlihat bahwa model robust menghasilkan nilai-nilai semivariogram yang lebih kecil (atau lebih baik) dibandingkan dengan metode classical.

Jumlah pasangan titik (pairs) yang semakin kecil lebih disebabkan oleh banyaknya data, dimana semakin ke kanan menjadi semakin sedikit (dibandingkan sisi sebelah kiri, sekitar absis 7500 – 8250).

Tabel 1 Omnidirectional Semivariogram Model Classical dan Robust

Lag Dist	Classical		Robust	
	Semivariogram*	Pairs	Semivariogram*	Pairs
0	20.2009	228	11.2368	228
100	31.6134	1361	18.7594	1361
200	35.8524	1540	21.4820	1540
300	30.2789	1268	19.8783	1268
400	31.5002	1114	21.0602	1114

500	42.6662	981	29.5125	981
600	47.3042	840	30.6192	840
700	38.7292	629	23.8864	629
800	46.2893	514	36.8325	514
900	72.7232	370	63.7272	370
1000	66.1483	280	51.1714	280
1100	58.0729	170	44.1763	170
1200	59.5987	94	55.8303	94
1300	66.6048	39	44.2586	39
1400	16.5173	23	15.8729	23
1500	2.44872	2	1.5134	2

*(g/t)² Au.

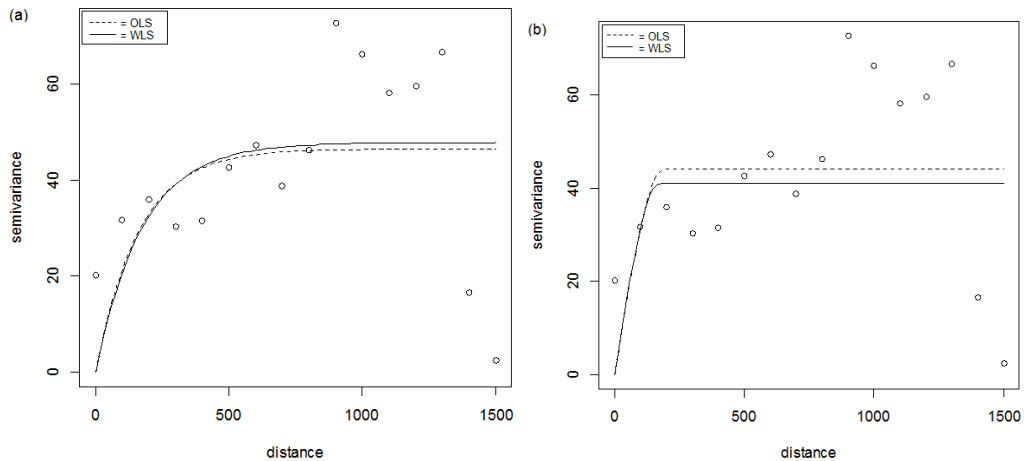
Fitting Semivariogram

Fitting semivariogram eksperimental dilakukan untuk memperoleh (utamanya) sill dan range, yang pada penyelidikan ini dilakukan terhadap model exponential dan spherical. Berdasarkan Tabel 2, fitting semivariogram robust menggunakan ordinary least squares (OLS) menghasilkan sill yang lebih kecil (atau boleh dikata lebih baik) dibandingkan dengan weighted least squares fitting (WLS). Hal ini terjadi pada kedua model, yaitu exponential dan spherical. Jarak pengaruh antar titik-titik sample (range) juga lebih besar (atau lebih panjang/luas) dibandingkan dengan jarak pengaruh (range) antar titik-titik sampel pada keseluruhan semivariogram classical.

Tabel 2 Parameter Semivariogram Classical dan Robust

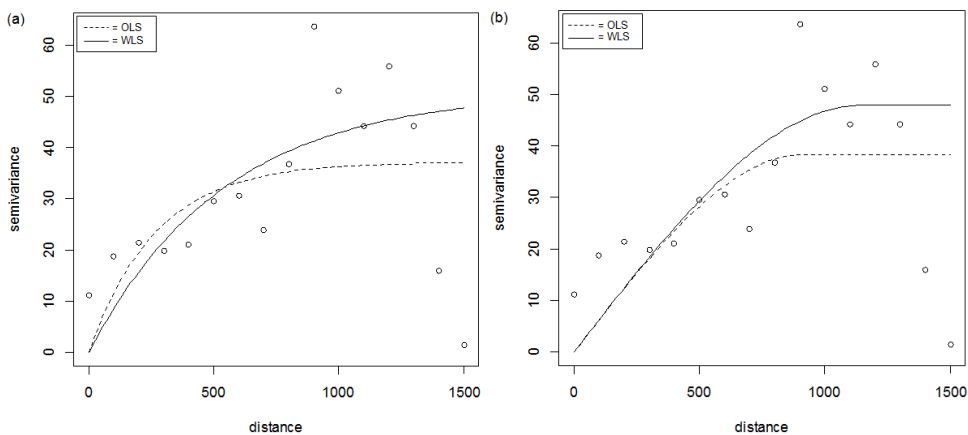
	Classical		Robust	
	OLS	WLS	OLS	WLS
<i>Exponential</i>				
Sill	46.4174	47.7480	37.1690	50.9362
Pract. Range	482.3617	525.8793	799.8702	1622.5230
<i>Spherical</i>				
Sill	43.9096	40.9878	38.4487	47.8651
Pract. Range	188.8761	172.7595	920.3455	1143.7160

Grafik hasil fitting semivariogram, baikpun menggunakan OLS maupun WLS dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3. Pada Gambar 2 ditampilkan semivariogram model classical, dimana (a) merupakan visualisasi semivariogram classical model exponential dan (b) adalah model spherical.



Gambar 2 Semivariogram Classical (a) Exponential Model dan (b) Spherical Model

Sill WLS semivariogram classical pada model exponential (Gambar 2 (a)) terlihat lebih besar dibandingkan dengan hasil fitting OLS. Sebaliknya, fitting WLS untuk semivariogram classical menghasilkan sill yang lebih kecil dibandingkan fitting OLS (Gambar 2 (b)).



Gambar 3 Semivariogram Robust (a) Exponential Model dan (b) Spherical Model

Gambar 3 menampilkan semivariogram model robust, dimana (a) merupakan visualisasi semivariogram untuk model exponential, sedangkan (b) adalah model spherical. Range hasil fitting semivariogram robust untuk model WLS lebih panjang dibandingkan dengan OLS. Meski demikian sill semivariogram robust untuk model exponential dan spherical untuk OLS lebih kecil dibandingkan dengan fitting WLS.

4. Simpulan

1. Secara umum semivariogram robust memberikan hasil perhitungan yang lebih baik dibandingkan dengan model classical.
2. Pada model semivariogram robust, fitting menggunakan OLS memberikan sill yang lebih kecil dibandingkan hasil fitting dengan WLS.

3. Jika dilihat dari jarak pengaruh antar titik-titik sampel, perhitungan semivariogram dengan metode robust menghasilkan range yang lebih baik. Fakta ini dapat dijadikan sebagai rujukan bagi rekomendasi perlu atau tidaknya penambahan sampel baru. Tetapi secara praktikal, terutama pada perhitungan kriging, kondisi semacam ini menjadi relative untuk dijadikan atau diabaikannya pada pertimbangan estimasi.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada PT. Aneka Tambang UBPE Pongkor, khususnya Ir. Rustaman, Or. Yoseph dan Ir. Kristiawan yang telah memberikan fasilitasi ke perusahaan untuk memperoleh data sebagai bagian dari penyelidikan ini.

5. Daftar Pustaka

- Bachmaier, M. & Backes, M. 2008. Variogram or semivariogram? Understanding the variances in a variogram. New York: Springer Series in Statistics, Springer Science + Business Media, LLC. 9: 173-175.
- Bivand, R.S., Pebesma, E.J. & Rubio, V.G. 2008. *Applied spatial data analysis with R*. New York: Springer Science+Business Media, LLC.
- Carrasco, P.C. 2010. Nugget effect, artificial or natural? *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy* 110 (June): 299-305.
- Clark, I. 2010. Statistics or geostatistics? Sampling error or nugget effect? *International Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 110 (2): 307-312.
- Crawley, M.J. 2007. *The R Book*. England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Cressie, N. 1993. *Statistics for spatial data*. New York. Chichester. Toronto. Brisbane. Singapore: John Wiley & Sons, Inc.
- Jabro, J.D., Stevens, B.W. & Evans, R.G. 2006. Spatial relationships among soil physical properties in a grass-alfalfa hay field. *Journal of Soil Science* 171 (9): 719-727.
- Maglione, D.S. & Diblasi, A.M. 2004. Exploring a valid model for the variogram of an isotropic spatial process. *New York: Springer-Verlag, Stoch Environ Res Risk Assess* 18: 366-376.
- Matheron, G. 1963. Principles of geostatistics. *Journal of Economic Geology* 58: 1246-1266.
- Schabenberger, O. & Gotway, C.A. 2005. *Statistical methods for spatial data analysis*. Boca Raton London New York: Chapman & Hall/CRC.