

EFEKTIVITAS *ORDINARY COKRIGING* DAN *KRIGING* UNTUK KARAKTERISASI POTENSI MANIFESTASI PANAS BUMI

Ishaq

ishaqitb14@gmail.com

Pengajar Jurusan Teknologi Pertambangan, Akademi Teknik Pembangunan Nasional
(ATPN) Banjarbaru

Ringkasan

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengkarakterisasi manifestasi permukaan adalah metode geostatistik, dalam hal ini menggunakan metode *Ordinary Cokriging* (COK) dan *Ordinary Kriging* (OK). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi manifestasi di permukaan sekitar Wayang Windu dengan parameter fisis manifestasi permukaan berupa pH dan konduktivitas serta mengevaluasi hasil estimasi metode COK terhadap metode OK.

Data yang digunakan adalah data primer berupa sifat fisis tanah, yaitu pH dan konduktivitas yang diukur langsung di zona manifestasi permukaan. Sedangkan data sekunder yang digunakan berupa data hasil pemodelan kekasaran permukaan (*Roughness*) dari *Intensitas Hamburan Balik* (*Back Scattering*) citra ALOS PALSAR dengan dua polarisasi, yaitu: HV dan VH. Model variogram yang digunakan untuk kedua parameter adalah struktur bersarang dengan dua struktur model variogram sferikal. Parameter variogram range (a) adalah 900 m untuk skala lokal dan 4000 m untuk skala regional.

Hasil menunjukkan metode COK lebih efektif daripada metode OK yang dapat diketahui dari rata-rata varians estimasi dan regresi linier data hasil estimasi terhadap data lapangan, di mana rata-rata varians estimasi metode COK lebih rendah dari rata-rata varians estimasi metode OK. Estimasi kedua parameter menunjukkan zona potensi mengarah ke utara. Zona manifestasi memiliki karakteristik pH rendah dan konduktivitas yang tinggi.

Kata kunci: *Ordinary Kriging, Ordinary Cokriging, manifestasi, sifat fisis tanah.*

A. PENDAHULUAN

Latar Belakang Masalah

Pengembangan lapangan panas bumi perlu dilakukan untuk menopang sumber energi listrik berbasis non fosil yang berkelanjutan. Salah satu yang perlu dilakukan adalah mengeksplorasi daerah manifestasi panas bumi. Bentuk manifestasi permukaan di daerah penelitian adalah kawah dan air panas (*hot spring*). Daerah penelitian tersebut termasuk sistem panas bumi Wayang Windu yang berasosiasi dengan fluida uap yang dominan (Purnanto & Purwakusumah, 2015).

Eksplorasi dapat dilakukan salah satunya dengan mengkarakterisasi zona manifestasi panas bumi. Zona manifestasi umumnya memiliki nilai pH rendah (asam). Hal ini disebabkan kandungan mineral yang bersifat asam yang terbentuk, seperti fluida tinggi SO_4 , rendah Na, K, Ca, Mg and HCO_3 , sehingga rendah pH (Susanto dkk, 2011). Sedangkan nilai konduktivitasnya bernilai tinggi, terutama pada manifestasi kawah. Hal ini dikarenakan adanya lapisan permukaan lempung alterasi di daerah kawah (Bogie dkk., 2008).

Sampai saat ini terus dilakukan karakterisasi dari manifestasi permukaan di daerah panas bumi Wayang Windu, namun baru sebatas di wilayah manifestasi (Ishaq dkk., 2016). Untuk mengetahui ada tidaknya potensi manifestasi di lokasi lain yang lebih luas dan jauh dari manifestasi yang ada, maka diperlukan pengolahan lebih lanjut. Metode yang dapat digunakan adalah geostatistik *Ordinary Cokriging* (COK) dan *Ordinary Kriging* (OK).

Metode COK menggabungkan data parameter fisis tanah sebagai data primer dengan data penginderaan jauh sebagai data sekunder yang digunakan untuk mengkarakterisasi zona potensi manifestasi, sedangkan metode OK hanya menggunakan data parameter fisis tanah tanpa menggunakan data sekunder.

Metode COK memiliki keunggulan untuk memberikan estimasi yang lebih akurat dan dapat diketahui korelasi spasial antara parameter. Penggunaan data penginderaan jauh sebagai parameter data sekunder memiliki keunggulan tersendiri karena dapat menjangkau wilayah yang luas, sehingga jumlah data sekunder jauh lebih banyak

daripada data primer. Ketika data sekunder jauh lebih banyak dari data primer, metode COK umumnya lebih bagus (Wackernagel, 1995).

B. LANDASAN TEORI

Metode Geostatistik

Geostatistik adalah metode statistik yang digunakan untuk melihat hubungan antar variabel yang diukur pada titik tertentu dengan variabel yang sama diukur pada titik dengan jarak tertentu dari titik pertama dan digunakan untuk mengestimasi parameter di tempat yang tidak diketahui datanya. Perbedaan metode ini terhadap statistik konvensional adalah unsur spasial pada data yang digunakan.

Ada beberapa jenis metode yang dapat digunakan pada geostatistik, diantaranya:

1. Ordinary Kriging (OK)

Ordinary Kriging merupakan metode estimasi yang tidak memperhatikan nilai rata-rata sampel. Pada prinsipnya, misalkan terdapat n sampel pada posisi $z(x_i)$ untuk penaksiran nilai pada x_0 sebagai berikut (Meilianda dkk., 2012):

$$Z_{OK}(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i \cdot z(x_i) \quad (1)$$

Selanjutnya sistem persamaan linier (sistem kriging) untuk mendapatkan faktor bobot λ_j dapat ditulis sebagai berikut (Meilianda dkk., 2012):

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j \gamma(S_i, S_j) + v = \bar{\gamma}(x_i, x_0) \quad (2)$$

Varian estimasi OK dengan memperhatikan faktor bobot adalah (Meilianda dkk., 2012):

$$\sigma_{OK}^2(x_0) = -\bar{\gamma}(x_0, x_0) + v + \sum_{i=1}^N \lambda_i \bar{\gamma}(x_i, x_0) \quad (3)$$

2. Ordinary Cokriging (COK)

Estimasi kriging biasa adalah kombinasi linear dari bobot λ_α dengan data dari variabel yang berbeda yang terletak pada titik-titik sampel di lingkungan titik x_0 . Setiap variabel didefinisikan pada kumpulan sampel (mungkin berbeda) ukuran n_i dan estimator didefinisikan sebagai:

$$Z_i(x_0) = \sum_{\alpha=1}^{n_i} \lambda_\alpha Z_i(x_\alpha) \quad (4)$$

dimana indeks i mengacu pada variabel tertentu dari kumpulan variabel N . Itu jumlah sampel n_i tergantung pada indeks i dari variabel, sehingga mencakup ke dalam notasi kemungkinan data heterotopik (Wackernagel, 1995).

Sistem persamaan linier Ordinary Cokriging (COK) untuk kasus dua variabel data (variabel data primer dan sekunder) sebagai berikut (Meilianda dkk., 2012):

$$\sum_{\beta_i=1}^{n_i} \lambda_{\beta_i} \gamma_{ii}(x_{\alpha_i}, x_{\beta_i}) + \sum_{\beta_j=1}^{n_j} \lambda_{\beta_j} \gamma_{ij}(x_{\alpha_i}, x_{\beta_j}) + \mu_i = \bar{\gamma}_{ii}(x_{\alpha_i}, V), \alpha_i = 1, \dots, n_i; \forall \alpha_i \in S_1 \quad (5)$$

$$\sum_{\beta_i=1}^{n_i} \lambda_{\beta_i} \gamma_{ji}(x_{\alpha_j}, x_{\beta_i}) + \sum_{\beta_j=1}^{n_j} \lambda_{\beta_j} \gamma_{jj}(x_{\alpha_j}, x_{\beta_j}) + \mu_j = \bar{\gamma}_{ji}(x_{\alpha_j}, V), \alpha_j = 1, \dots, n_j; \forall \alpha_j \in S_2 \quad (6)$$

$$\sum_{\beta_i=1}^{n_i} \lambda_{\beta_i} = 1, \beta_i \in S_1$$

$$\sum_{\beta_j=1}^{n_j} \lambda_{\beta_j} = 0, \beta_j \in S_2$$

dimana, S_1 dan S_2 variabel data primer dan data sekunder, γ_{ii} dan γ_{jj} variogram variabel i dan j dan γ_{ij} dan γ_{ji} cross variogram antara variabel i dan j .

Rumus untuk mencari varians Ordinary Cokriging sebagai berikut:

$$\sigma_{COK}^2 = \sum_{\beta_i} \lambda_{\beta_i} \bar{\gamma}_{ii}(x_{\beta_i}, V) + \sum_{\beta_j} \lambda_{\beta_j} \bar{\gamma}_{ij}(x_{\beta_j}, V) + \mu_i - \bar{\gamma}_{ii}(V, V) \quad (7)$$

Variogram

Variogram adalah karakteristik spasial variabel diantara dua kuantitas (contoh) $z(x_i)$ dan $z(x_{i+h})$, yang digunakan untuk menganalisis struktur spasial variabel tunggal. Variogram ini menunjukkan varians rata-rata antara data pengamatan dengan jarak h , dimana dirumuskan sebagai berikut (Meilianda dkk., 2012):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_i \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2 \quad (8)$$

dimana, $Z(x_i)$ lokasi pengukuran x_i , $Z(x_i + h)$ pengukuran pada lokasi $x_i + h$, $\gamma(h)$ variogram untuk jarak h antara $Z(x_i)$ dengan $Z(x_i + h)$, $N(h)$ jumlah pasangan data dengan jarak h (Wackernagel, 1995).

Cross-variogram digunakan untuk memperoleh kovarians antara data primer dan data sekunder. Nilai cross-variogram dihitung langsung dari data sampel dengan rumus (Meilianda dkk., 2012):

$$\gamma_{ij}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{\alpha=1}^N \{z_i(x_\alpha + h) - z_i(x_\alpha)\} \{z_j(x_\alpha + h) - z_j(x_\alpha)\} \quad (9)$$

dimana $\gamma_{ij}(h)$ adalah nilai cross-variogram pada jarak h .

Model Linier Coregionalisasi

Pemodelan coregionalisasi dilakukan untuk melihat korelasi antara data primer dan data sekunder pada skala yang sama. Dari hasil pemodelan variogram dan cross-variogram, model linier coregionalisasi dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\rho_{ij}^u = \frac{b_{ij}}{\sqrt{b_{ii}b_{jj}}} \quad (10)$$

Dalam melakukan *fitting cross-variogram* harus memenuhi syarat *Linier Coregionalization Model* (LCM) sebagai berikut:

$$-\sqrt{b_{ii}^u b_{jj}^u} \leq b_{ij}^u \leq +\sqrt{b_{ii}^u b_{jj}^u} \quad (11)$$

dimana, b_{ij} nilai sill *cross-variogram* antara parameter i dan j , b_{ii} nilai sill *variogram* variabel i , b_{jj} nilai sill *variogram* variabel j (Wackernagel, 1995).

C. METODE PENELITIAN

Lokasi pengambilan data pada penelitian ini di sekitar Gunung Wayang dan Gunung Windu. Berlokasi di kota Pangalengan, sekitar 40 km ke arah selatan dari kota Bandung, ibu kota Provinsi Jawa Barat, Indonesia.

Ada dua jenis metode geostatistik yang digunakan pada penelitian ini, yaitu metode Ordinary Cokriging (COK) dan Ordinary Kriging (OK).

Pada metode COK, jenis data yang digunakan berupa data primer dan data sekunder. Jumlah data primer masing-masing parameter adalah berjumlah 405 data. Sedangkan data sekunder yang digunakan berjumlah 176.970 data.

Data primer terdiri dua parameter fisis, yaitu: pH dan konduktivitas yang diukur di lokasi manifestasi dan non manifestasi. Data sekunder merupakan model kekasaran permukaan data Intensitas Hamburan Balik (back scatter) citra ALOS PALSAR yang mencakup wilayah penelitian dengan dua polarisasi: HV dan VH. Data sekunder merupakan model alterasi kawah dengan model persamaan (Saepuloh, 2016):

$$h_0(HV, VH) = (h_0^2(HV) + h_0^2(VH)) \times e^{\theta_i^3} \times 10^{\cos \theta_i^7}$$

dimana: $h_0(HV, VH)$ adalah model kekasaran permukaan menggunakan polarisasi HV dan VH , $h_0(HV)$ dan $h_0(VH)$ adalah kekasaran permukaan, θ_i adalah sudut.

Data primer berpola clustering dengan rata-rata 30 data per cluster dan jarak rata-rata antara cluster adalah 1500 m (Lampiran I). Sedangkan pada metode OK, data yang digunakan hanya berupa data parameter fisis,

yaitu: pH dan konduktivitas yang merupakan data primer pada metode COK.

Untuk pengolahan data digunakan software Microsoft Excel 2013 yang digunakan untuk menyusun dan analisis data sebelum diproses lebih lanjut. Kemudian menggunakan software SGeMS v2.1 sebagai alat untuk estimasi karakteristik data. Dilanjutkan dengan pengolahan data hasil estimasi pada software *Surfer 13.0.383*.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Statistik Bivarian

Analisis ini digunakan untuk menguji korelasi antara dua parameter data, yaitu data primer dengan data sekunder. Kedua parameter data primer dikorelasikan terhadap satu jenis parameter data sekunder. Tabel 1 menunjukkan kedua korelasi (R) parameter.

Tabel 1 Korelasi data primer terhadap data sekunder.

DATA PRIMER/SEKUNDER	KORELASI (R)
pH	-0,21
Konduktivitas	0,11

Analisis Variogram dan Cross-Variogram

Model variogram data primer yang digunakan untuk kedua parameter adalah model sferikal dengan dua struktur (skala lokal dan regional) dan jarak pengaruh (range) untuk kedua parameter fisis data adalah 900 m untuk skala lokal dan 4000 m untuk skala regional. Model variogram ini dipengaruhi oleh model variogram data sekunder. Kedua variogram harus memiliki unsur spasial yang sama, sehingga dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan 10.

Model variogram sferikal dengan dua struktur (nested) bermakna adanya dua jarak pengaruh yang berbeda dalam satu populasi data.

Cross-variogram digunakan untuk memperoleh kovarians antara data primer dan data sekunder yang dapat dihitung langsung dari data sampel (persamaan 9). Hasil analisis variogram dan cross-variogram dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Parameter hasil pemodelan variogram dan cross variogram

DATA LAPANGAN	NUGGET	SILL		UNIT	KETERANGAN
		LOKAL	REGIONAL		
pH	0,2	0,2	0,4	-	Variogram Primer

DATA LAPANGAN	NUGGET	SILL		UNIT	KETERANGAN
		LOKAL	REGIONAL		
	5,6	2	2,14		Variogram sekunder
	-0,15	-0,25	-0,22		Cross variogram
Konduktivitas	2000000	2000000	5547640	μs^2	Variogram Primer
	5,6	2	2,14		Variogram sekunder
	265	300	400		Cross variogram

Hasil analisis variogram (Tabel 2) menunjukkan adanya efek nugget, sehingga ada tiga jenis skala spasial yang mempengaruhi data. Efek nugget muncul akibat adanya fluktuasi pada jarak terkecil data. Jarak terkecil data adalah 30 m yang selanjutnya akan disebut sebagai skala mikro.

Hasil perhitungan (persamaan 10) pada tabel 3 dapat dilihat bahwa data pH pada skala mikro (0-30 m) memiliki korelasi antara data pH dengan data sekunder adalah -0,14 atau 14% sedangkan pada skala lokal (30-900 m) memiliki korelasi -0,40 atau 40% dan pada skala regional (900-4000 m) memiliki korelasi -0,24 atau 24%.

Dari ketiga jenis skala spasial, untuk skala spasial lokal menunjukkan nilai korelasi yang paling besar pada kedua parameter fisis. Hal ini menandakan data kedua karakteristik terhadap data sekunder memiliki pengaruh masing-masing data yang paling baik pada rentang jarak 30 m sampai 900 m.

Tabel 3 Hasil koefisien korelasi masing-masing skala spasial

DATA LAPANGAN	MIKRO (0-30 m)	LOKAL (30-900 m)	REGIONAL (900-4000 m)
pH	-0,14	-0,40	-0,24
Konduktivitas	0,08	0,15	0,12

Perbandingan Metode COK dan OK

Ukuran grid yang digunakan sebesar 30 × 30 m, mengikuti ukuran piksel data sekunder. Hasil estimasi metode COK secara visualisasi memberikan kenampakan yang lebih detail.

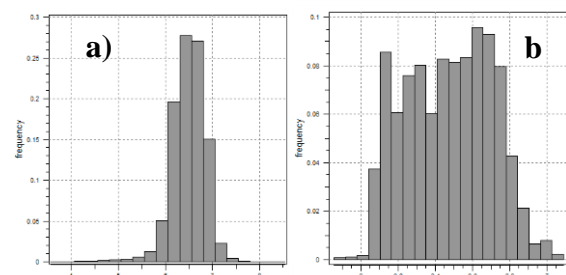
Hasil estimasi akhir metode COK pH pada zona manifestasi memiliki nilai rendah atau bersifat asam. Pada posisi dimana data primer tidak ada (bagian utara), COK memberikan nilai estimasi pH yang cukup rendah (warna biru), dengan membentuk pola-pola tertentu. Sedangkan pada OK tidak di hasilkan pola tertentu dan menghasilkan nilai

estimasi pH yang tinggi di posisi yang sama (Lampiran II, Gambar a dan b).

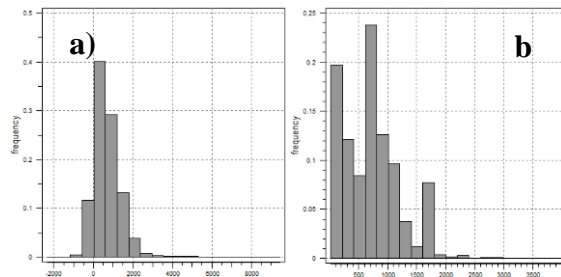
Hasil estimasi akhir konduktivitas pada metode COK memberikan kenampakan yang lebih detail terutama pada bagian utara dengan terbentuknya pola-pola tertentu. Pola-pola tersebut memiliki nilai konduktivitas yang tinggi dimana mirip dengan zona manifestasi yang ditunjukkan dengan warna kuning kemerah. Sedangkan pada metode OK tidak dihasilkan pola-pola detail tersebut (Lampiran II, Gambar a dan b).

Terbentuknya pola-pola yang menyudut pada hasil estimasi (Lampiran II, Gambar a-d) dikarenakan dari searching area yang jauh yaitu 7500 m. Sedangkan jarak pengaruh (range) terjauh dari semua variabel adalah 4000 m.

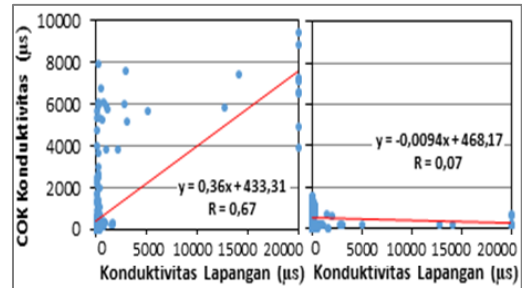
Histogram data regional hasil estimasi akhir metode OK (Gambar 1b dan Gambar 2b) menunjukkan adanya lebih dari satu puncak, artinya terdapat lebih dari satu nilai populasi. Sedangkan pada metode COK hanya memiliki satu puncak histogram yang menandakan hanya terdapat satu populasi (Gambar 1a dan Gambar 2a), sehingga hasil estimasi nantinya diharapkan lebih akurat pada metode COK. Namun, dengan adanya hasil ini menandakan pada metode OK lebih sensitif terhadap adanya perbedaan populasi.



Gambar 1. Perbandingan histogram data pH a) hasil estimasi COK, b) hasil estimasi OK



Gambar 2. Perbandingan histogram data Konduktivitas a) hasil estimasi COK, b) hasil estimasi OK



Gambar 4. Crossplot konduktivitas lapangan vs konduktivitas hasil estimasi metode COK dan OK

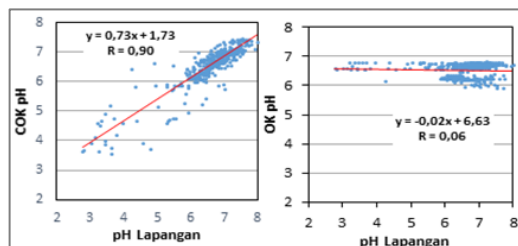
Validasi Metode COK dan OK

Korelasi yang kuat akan memberikan nilai gradien (slope) yang besar dan korelasi yang lemah akan memberikan nilai slope yang kecil, dimana rentang nilai slope adalah 0 sampai 1.

Variabel pH dari estimasi menggunakan COK memberikan nilai slope sebesar 0,73 sedangkan dari hasil estimasi OK memberikan nilai slope yang sangat kecil sebesar -0,02 (Gambar 3).

Crossplot data pH lapangan dengan COK pH dimana dari hasil COK memberikan nilai korelasi, yaitu: 0,90. Sedangkan pada OK memberikan nilai korelasi yang sangat lemah sebesar 0,06. Artinya hasil estimasi COK memiliki kemiripan data sebesar 90%, sedangkan OK justru sangat kecil, yaitu 6% memiliki kemiripan. Data COK pH ini diambil dari posisi yang sama terhadap data pH lapangan.

Cross plot data lapangan terhadap data hasil estimasi untuk data konduktivitas juga memberikan nilai korelasi yang lebih tinggi pada metode Ordinary Cokriging (COK) (Gambar 4). Secara garis besar dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 3. Crossplot pH lapangan vs pH hasil estimasi metode COK dan OK

Tabel 4 Nilai koefisien korelasi (R) data lapangan dengan hasil estimasi

DATA LAPANGAN	METODE	R	REGRESI LINIER	
			SLOPE	C
pH	Cokriging	0,90	0,73	1,73
	Kriging	0,06	-0,02	6,63
Konduktivitas	Cokriging	0,67	0,36	433,31
	Kriging	0,07	-0,0094	468,17

Korelasi yang dihasilkan pada metode COK untuk kedua parameter menunjukkan korelasi cukup tinggi yaitu 0,90 dan 0,67. Sedangkan pada Ordinary Kriging (OK) menunjukkan korelasi lemah, yaitu 0,06 dan 0,07. Dari kedua variabel data lapangan korelasi yang terbesar adalah variabel pH, yaitu 0,90. Hal ini dipengaruhi oleh korelasi data primer dengan data sekunder yang lebih baik (Tabel 2).

Standar deviasi (σ) estimasi penting untuk di deskripsikan, hal ini untuk melihat seberapa jauh rata-rata nilai simpangan estimasi. Standar deviasi ini dihitung berdasarkan nilai pada posisi data lapangan, dimana jumlah data lapangan adalah 405 untuk setiap parameter.

Metode COK pH memiliki rata-rata estimasi sebesar 6,53 dan standar deviasi estimasi sebesar $\pm 0,49$, artinya untuk semua posisi grid estimasi memiliki rentang nilai 6,53 \pm 0,49.

Tabel 5 Nilai Rata-rata estimasi dan standar deviasi (σ) estimasi

DATA LAPANGAN	METODE	RATA-RATA ESTIMASI	σ
pH	CoKriging	6,53	$\pm 0,49$
	Kriging	6,54	$\pm 0,98$

DATA LAPANGAN	METODE	RATA-RATA ESTIMASI	σ
Konduktivitas	CoKriging	664,97 μ S	$\pm 1562,05$ μ S
	Kriging	462,08 μ S	$\pm 3391,17$ μ S

Konduktivitas memiliki nilai rata-rata varian estimasi besar yang berarti semakin tinggi fluktuasi data antara satu data dengan data yang lainnya. Hal ini dibuktikan dengan rentang data lapangan konduktivitas yang sangat besar, yaitu 0.7-20.000 μ S. COK Konduktivitas memiliki rata-rata estimasi sebesar 664,97 μ S dan standar deviasi estimasi sebesar $\pm 1562,05$ μ S, artinya untuk semua posisi grid estimasi memiliki rentang nilai $664,97 \pm 1562,05$ μ S. Pada metode OK dapat dilihat pada tabel 5.

Karakterisasi Parameter Fisis

Hasil estimasi parameter dengan menggunakan metode COK secara visualisasi menampilkan hasil yang lebih bagus, dilihat dari pola yang terbentuk (Lampiran II, Gambar a–d). Kedua parameter di bagian utara menampilkan hasil yang konsisten pada posisi yang diduga adanya potensi zona manifestasi.

Dari kedua data lapangan dan hasil estimasi masing-masing parameter yang memiliki karakteristik parameter fisis yang mirip dengan zona manifestasi (lingkaran merah) adalah mengarah ke bagian utara (Lampiran II). Daerah tersebut merupakan Gunung Haruman, Puncak Besar dan Gunung Malabar (Saepuloh, 2016).

Namun, masih diperlukan pengukuran secara langsung di zona dugaan potensi manifestasi tersebut untuk memastikan ada tidaknya karakteristik parameter fisis di zona tersebut. Hal ini perlu dilakukan karena searching area yang digunakan sangat jauh, yaitu 7500 m dan pengaruh korelasi parameter fisis dan sekunder yang kecil.

1. Karakterisasi pH

Hasil estimasi menunjukkan daerah kawah memiliki nilai pH asam ($\text{pH} < 5$) sedangkan pada mata air panas cenderung mendekati pH netral ($\text{pH} 6-8$) (Lampiran II, gambar a dan b). Salah satu penyebabnya dikarenakan mata air panas memiliki sistem *outflow*, dimana aliran fluida dari *reservoir* tidak langsung menuju ke permukaan tetapi merembes terlebih dahulu melalui celah-celah batuan, mineral-mineral yang terkandung dalam fluida cenderung terendapkan pada batuan yang dilewati, sehingga pH pada mata air panas lebih netral

dibandingkan pada kawah yang memiliki aliran fluida *upflow*, dimana aliran fluidanya langsung dari reservoir yang merupakan hasil kondensasi magma.

Bagian utara yang diduga zona manifestasi memiliki nilai pH asam ($\text{pH} < 5$). Karakteristik ini memiliki nilai pH yang mirip dengan daerah kawah, diperkuat dengan daerah tersebut merupakan Gunung Haruman, Puncak Besar dan Gunung Malabar (Saepuloh, 2016). Sehingga dapat diduga daerah manifestasi yang muncul dari hasil estimasi akhir merupakan zona manifestasi kawah.

2. Karakterisasi Konduktivitas

Data konduktivitas yang diperoleh di lapangan merupakan data permukaan di daerah manifestasi. Dari hasil estimasi (Lampiran II, Gambar c dan d) diperoleh peta sebaran karakterisasi konduktivitas dimana warna kuning ke merah memiliki konduktivitas tinggi dan warna biru muda ke tua memiliki konduktivitas rendah. Daerah konduktivitas tinggi umumnya terdapat pada daerah kawah. Sedangkan daerah mata air panas memiliki konduktivitas rendah. Hal ini lebih dipengaruhi oleh adanya lapisan permukaan lempung alterasi di daerah kawah dibandingkan dengan pengaruh suhu dimana diketahui lempung yang memiliki sifat konduktor (Bogie dkk., 2008), sedangkan di daerah mata air panas permukaannya dilapisi tanah. Sehingga menyebabkan konduktivitas kawah lebih tinggi di bandingkan di mata air panas.

Bagian utara yang diduga zona manifestasi memiliki nilai konduktivitas diatas 3000 μ S, yang mana memiliki nilai konduktivitas mirip dengan daerah kawah. Sehingga dapat diduga daerah manifestasi yang muncul dari hasil estimasi akhir merupakan zona manifestasi kawah.

Secara umum dapat dikatakan daerah manifestasi yang dihasilkan dari proses estimasi merupakan daerah kawah yang memiliki nilai pH yang rendah (asam) dan konduktivitas yang tinggi.

E. PENUTUP Kesimpulan

Dari hasil pengolahan data dan pembahasan dalam penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Karakteristik manifestasi yang terbentuk dari hasil estimasi akhir metode COK untuk kedua parameter fisis umumnya berkembang ke arah Utara. Sedangkan pada hasil estimasi akhir metode OK tidak ditemukan karakteristik manifestasi di daerah lain.

2. Potensi manifestasi yang muncul diperkirakan bentuk manifestasi berupa kawah.
3. Zona manifestasi memiliki karakteristik pH yang rendah dan konduktivitas yang tinggi.
4. Metode Ordinary Cokriging (COK) memiliki hasil estimasi yang lebih baik dibandingkan dengan Metode Ordinary Kriging (OK) berdasarkan varian estimasi yang lebih rendah dan regresi linier data lapangan dengan data hasil estimasi serta memiliki slope yang lebih besar.
7. Susanto, A., Tsuchiya, N., Suparka, E., Hirano, N., Kishita, A., Kusumah, Y.I. (2011): Geology and Surface Hydrothermal Alteration of Malabar Area, Northern Part of the Wayang Windu Geothermal Field, Indonesia. GRC Transactions, Vol. 35,
8. Wackernagel, H. (1995): Multivariate Geostatistics: An Introduction with Applications. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York

Saran

1. Perlu penambahan data lapangan di daerah utara dan memperapat jarak antara *cluster* data, sehingga estimasi menghasilkan karakterisasi yang lebih baik.
2. Data awal yang digunakan belum dilakukan analisis keterdapatan *outlier* data. Dengan memisahkan *outlier* data diharapkan hasil estimasi akhir akan lebih baik.
3. Perlu adanya pemisahan data pada daerah manifestasi kawah dan mata air (*hot spot*), sehingga dapat dilihat karakteristik antara dua jenis manifestasi tersebut.

F. DAFTAR PUSTAKA

1. Bogie, I., Kusumah, Y.I., dan Wisnandary, M.C. (2008): *Overview of the Wayang Windu Geothermal Field, West Java, Indonesia*. Geothermics, vol. 37, pp. 347-365.
2. Hochstein, M.P., dan Sudarman, S. (2008): History of Geothermal Exploration in Indonesia from 1970 to 2000. Geothermics, 37: 220-266.
3. Ishaq, Heriawan, M.N., dan Saepuloh, A. (2016): Charaterizing Geothermal Surface Manifestation Based on Multivariate Geostatistics of Ground Measurements Data. *Proceedings, 5nd ITB Internatioanl Geothermal Workshop, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia*.
4. Meilianda, E., Huhn, K., Alfian, D., dan Bartholoma, A. (2012): Application of Multivariate Geostatistics to Investigate the Surface Sediment Distribution of the High-Energy and Shallow Sandy Spiekeroog Shelf at the German Bight, Southern North Sea. *Scientific Research: Open Journal of Marine Science*, 2, 103-118.
5. Purnanto, M.H., Purwakusumah, A. (2015): Fifteen Years (Mid-Life) of Wayang Windu. *Proceedings World Geothermal Congress, Melbourne, Australia*.
6. Saepuloh. (2016): Unpublished Report.