

ANALISIS SPASIAL DATA TAHANAN KONUS MENGGUNAKAN METODE ORDINARY KRIGING (OK)

Ririn Amelia

Email: rynamelia.babel@yahoo.com

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung
Kampus Terpadu UBB Balunijuk, Merawang, Kab. Bangka

ABSTRAK

Untuk memperoleh gambaran atau pemodelan hubungan spasial pada suatu data observasi dapat menggunakan perhitungan semivariogram. Semivariogram bertujuan untuk menentukan jarak dimana nilai-nilai data pengamatan menjadi tidak saling tergantung (tidak ada korelasi) dengan kata lain mengukur efek spasial dengan menggunakan jarak sebagai pedomannya. Jika semivariogram diukur hanya bergantung pada jarak maka digunakan semivariogram isotropik. Dalam geoteknik, pemodelan semivariogram isotropik digunakan untuk mengukur kebergantungan antar nilai observasi dari hasil penyelidikan tanah. Data yang digunakan merupakan data tahanan konus (q_c) dari hasil penyelidikan tanah menggunakan Cone Penetration Test (CPT) atau lebih dikenal sebagai sondir. Data tersebut dimodelkan dengan menggunakan semivariogram isotropik dan untuk menginterpolasi variabel di sekitar lokasi observasi digunakan metode Ordinary Kriging (OK). Pola penyebaran data tahanan konus (q_c) menunjukkan nilai q_c bervariasi dari Barat laut-Tenggara. Model semivariogram isotropik yang sesuai dengan data tahanan konus (q_c) adalah model sferikal. Berdasarkan analisis spasial menggunakan metode Ordinary Kriging diperoleh bahwa model sferikal cocok untuk merepresentatifkan keseluruhan data dari tahanan konus yang ditunjukkan dari nilai koefisien korelasi yang diperoleh sebesar 0,914.

Kata kunci : tahanan konus, semivariogram, sferikal, ordinary kriging

PENDAHULUAN

Perencanaan suatu konstruksi bangunan harus memperhatikan dan memperhitungkan aspek-aspek yang berkaitan dengan bangunan tersebut, misalnya jenis bangunan yang akan didirikan, perhitungan beban bangunan, biaya anggaran dan lain sebagainya. Banyak sekali fenomena bangunan yang mengalami kegagalan konstruksi (runtuh) meskipun masih dalam tahap pelaksanaan. Salah satu yang menyebabkan hal tersebut adalah kegagalan dalam perencanaan pondasi sehingga menyebabkan struktur bangunan di atasnya tidak dapat ditopang dengan baik. Menurut Rao (2011) pondasi

memiliki sifat yang mendasar untuk meneruskan beban yang datang dari struktur bagian atas. Sebuah pondasi harus direncanakan agar mampu menopang beban struktur yang ada di atasnya. Data perhitungan besarnya beban dan berat bangunan sangat penting dalam perencanaan pondasi begitu juga dengan data tanah, Tanah merupakan tumpuan utama dari suatu pondasi maka disinilah peranan perencana bangunan untuk mendapatkan ketelitian data tanah agar pondasi dapat direncanakan dengan baik. Sehingga diperlukan gambaran profil tanah secara rinci yang dapat dikembangkan dan digunakan dalam perencanaan pondasi.

Caranya adalah dengan melakukan penyelidikan tanah, pengambilan sampel tanah kemudian dianalisis di laboratorium agar diketahui gambaran karakteristik tanah tersebut. Salah satu alat yang dapat digunakan dalam penyelidikan tanah adalah *Cone Penetration Test* (CPT), CPT digunakan untuk penyelidikan tanah secara detail sebagai kontrol kualitas konstruksi (Tarawneh, 2014). CPT merupakan alat sederhana yang lebih dikenal dengan *sondir*. *Sondir* dapat menghasilkan data yang cukup akurat dan detail dalam memperkirakan letak lapisan tanah keras. Sebelum melakukan pekerjaan penyelidikan tanah ditentukan dahulu letak dan banyaknya titik *sondir*. Penentuan tersebut didasarkan pada jenis dan karakteristik struktur bangunan yang direncanakan. Jika dalam suatu wilayah rencana belum ada hasil penyelidikan tanah, maka dapat dimanfaatkan dari hasil uji *sondir* terdahulu, dengan menganggap bahwa lokasi wilayah rencana dekat dengan lokasi terdahulu. Tentu saja anggapan tersebut tidak sepenuhnya benar tetapi paling tidak dapat memberikan gambaran kondisi tanah pada wilayah rencana.

Dengan alasan bahwa ada fenomena yang saling berhubungan antara lokasi *sondir* satu ke lokasi *sondir* lainnya. Kejadian seperti ini merupakan salah satu contoh dari proses stokastik dengan indeks parameternya adalah lokasi. Sehingga proses stokastik tersebut dapat dianalisis menggunakan analisis spasial atau dikenal sebagai geostatistika. Hubungan antar lokasi yang terdistribusi secara spasial dapat dipelajari dalam geostatistik.

Pemodelan spasial memuat informasi mengenai hubungan antara observasi di beberapa lokasi yang berbeda. Alat untuk mengukur kebergantungan antar observasi yang didasarkan pada perbedaan jarak tertentu disebut semivariogram.

Semivariogram sering digunakan untuk menggambarkan, memodelkan dan menjelaskan korelasi spasial antar observasi. Terdapat dua jenis semivariogram yaitu semivariogram isotropik dan semivariogram anisotropik. Perbedaannya adalah isotropik hanya bergantung pada jarak sedangkan anisotropik tidak hanya bergantung pada jarak namun juga pada arah. Beberapa model semivariogram yang banyak digunakan adalah sferikal, eksponensial, dan Gaussian.

Dalam geoteknik, banyak pemodelan semivariogram yang dilakukan seperti menggambarkan variabilitas spasial dari kuat geser tanah lempung yang dilakukan oleh Jaksa, Kaggwa, dan Brooker (1993). Samui dan Sitharam (2007) menerapkan hal yang serupa untuk menggambarkan variabilitas spasial yang digunakan dalam aproksimasi kriging. Selanjutnya Sakata, Ashida, dan Tanaka (2010) memodelkan stabilisasi estimasi parameter untuk aproksimasi kriging menggunakan model Gaussian. Model eksponensial digunakan oleh Altun, Goktepe dan Sezer (2013) dalam memodelkan data penyelidikan tanah di wilayah Izmir, Turki yang selanjutnya digunakan untuk pendekatan kriging. Pemodelan yang dilakukan tersebut menggunakan semivariogram isotropik.

Dalam penelitian ini, penulis mencoba untuk menganalisis data *sondir* menggunakan semivariogram isotropik yang selanjutnya akan dilakukan pemodelan kriging. Keheterogenan sifat tanah dan adanya fenomena kebergantungan antar lokasi titik *sondir*, membuat penulis tertarik untuk mengkaji analisis spasial dari data *sondir* tersebut. Kemudian akan dikembangkan untuk suatu informasi yang bermanfaat bagi berbagai pihak.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Analisis Spasial

Data yang diperoleh dari hasil observasi dilapangan dapat dipandang sebagai koleksi peubah acak dengan indeks parameter lokasi, $\{Z(s), s \in D\}$ dengan s adalah himpunan lokasi dan D adalah himpunan bagian dari ruang berdimensi- d . Peubah acak tersebut di analisis untuk mendapatkan gambaran atau pemodelan hubungan spasial dengan menggunakan semivariogram. Semivariogram bertujuan untuk menentukan jarak dimana nilai-nilai data pengamatan menjadi tidak saling tergantung atau tidak ada korelasinya dengan kata lain adalah mengukur efek spasial dengan menggunakan jarak sebagai pedomannya. Semivariogram teoritis dapat didefinisikan sebagai:

$$\begin{aligned} \gamma(d) &= \frac{1}{2} \text{Var}[Z(s+d) - Z(d)] \\ &= \frac{1}{2} E[Z(s+d) - Z(d)]^2 \end{aligned} \dots\dots\dots(1)$$

Kemudian untuk data observasi tersebut dapat di aproksimasi menggunakan semivariogram eksperimental:

$$\hat{\gamma}(d) = \frac{1}{2(N(d))} \sum_{i \neq j, i=1}^{N(d)} [Z(s_j) - Z(s_i)]^2 \dots\dots\dots(2)$$

dengan:

- $s_j = s_i + d$
- s_i = lokasi - lokasi sampel
- $Z(s_i)$ = Nilai observasi pada lokasi s
- $N(d)$ = Nilai Banyaknya pasangan data yang berjarak d
- $\hat{\gamma}(d)$ = Semivariogram eksperimental pada jarak d

Terdapat tiga parameter yang ada pada semivariogram yaitu:

a. *Nugget effect* (C_0)

Nugget effect merupakan petunjuk bahwa data mempunyai ketidakteraturan yang tinggi yang merupakan kesalahan pengukuran dimana semivariogram yang di ukur pada lag jarak nol. *Nugget effect* dapat dihilangkan dengan memperkecil jarak antara titik-titik sampel.

b. *Sill* (C)

Sill adalah nilai semivariogram yang konstan untuk jarak yang tidak terbatas, dimana tidak ada lagi korelasi antar sampel. Umumnya nilai *sill* mendekati nilai variansi data.

c. *Range* (a)

Range merupakan jarak maksimum antara titik-titik yang masih memiliki korelasi spasial yang juga menunjukkan zona pengaruh antar titik-titik observasi.

Dalam hal ini, ketiga parameter tersebut diperhitungkan menunjukkan sifat yang sama untuk ke segala arah, fenomena ini disebut sebagai semivariogram isotropik. Terdapat tiga model semivariogram yang akan digunakan, yaitu:

Spherikal,

$$\gamma(d) = C_0 + C \left[\frac{3}{2} \left(\frac{d}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{d}{a} \right)^3 \right], 0 \leq d \leq a \dots\dots\dots(3)$$

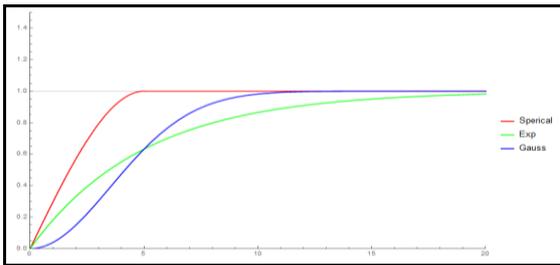
Exponential,

$$\gamma(d) = C_0 + C \left[1 - \exp\left(-\frac{d}{a}\right) \right] \dots\dots\dots(4)$$

Gaussian,

$$\gamma(d) = C_0 + C \left[1 - \exp\left(-\left(\frac{d}{a}\right)^2\right) \right] \dots\dots\dots(5)$$

Model semivariogram ini diperlukan untuk menginterpolasi variabel di sekitar lokasi observasi dengan menggunakan metode *Ordinary Kriging* (OK).



Gambar 1. Model Semivariogram (sferikal, eksponensial dan Gaussian)

2. Metode *Ordinary Kriging* (OK)

Ordinary kriging mengasumsikan mean populasi adalah konstan, tetapi tidak diketahui, sedangkan variogram dari $Z(s)$ diketahui. Metode *Ordinary Kriging* (OK) menghasilkan prediksi atau kesalahan minimum (variansi kriging) dari tiap-tiap grid yang memiliki satu nilai estimasi dan variansi kriging. Metode *Ordinary Kriging* juga merupakan metode interpolasi yang menghasilkan prediksi atau estimasi tak bias yang disebut juga sebagai *Best Linear Unbiased Estimator* (BLUE). Nilai estimasi pada variabel yang ditaksir menggunakan persamaan $\hat{Z} = \sum_{i=1}^n w_i Z_i$ dengan $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

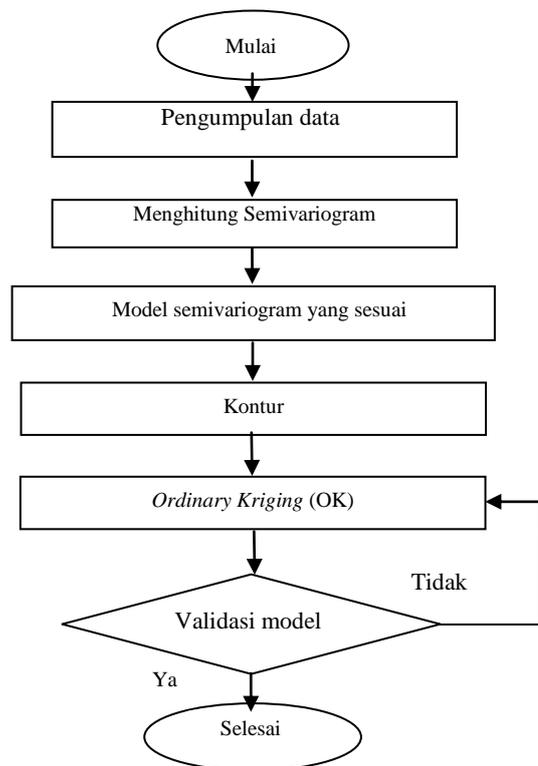
\hat{Z} merupakan nilai taksiran dan Z_i nilai dari sampel di lokasi- i yang dibobot, w_i merupakan bobot sampel (*weighted average*). Bobot sampel tidak hanya didasarkan pada jarak antara ukuran dan

lokasi titik prediksi tetapi juga pada keseluruhan letak titik-titik yang diukur.

METODE PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini secara umum terdiri dari pengumpulan data, pengolahan data, hasil dan pembahasan. Tahapan penelitian tersebut dapat dilihat dari Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Data

Data yang digunakan sebagai studi kasus dalam penelitian ini adalah data tahanan konus (q_c) dari hasil penyelidikan tanah (*soil test investigation*) menggunakan alat *sondir* pada pekerjaan pembangunan gedung perkuliahan dan auditorium Universitas Bangka Belitung. Data yang dihasilkan sebanyak 15 titik lokasi yang tersebar di kawasan Universitas Bangka

Belitung. Lokasi tersebut yang akan dijadikan sebagai data observasi. Kelimabelas lokasi dapat dilihat pada Gambar 2 dan koordinat titik lokasi disajikan pada Tabel 1.



Gambar 3. Kelimabelas titik lokasi penyelidikan tanah

Tabel 1. Data tahanan konus pada kedalaman lapisan tanah keras

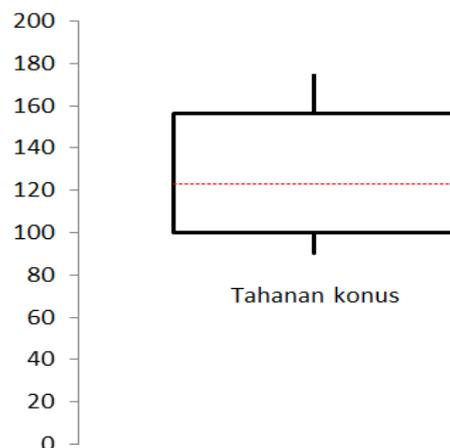
Titik Sampel	X	Y	Tahanan Konus
1	619648	9771224	170
2	619617	9771170	175
3	619589	9771117	165
4	619617	9771022	150
5	619667	9770989	160
6	619717	9770961	152
7	619764	9770829	90
8	619762	9770881	90
9	619727	9770893	90
10	619975	9770900	100
11	619904	9770874	100
12	619862	9770915	100
13	619903	9771077	100
14	619986	9771096	100
15	620013	9771038	100

Pengolahan Data

Dalam penelitian ini statistik deskriptif digunakan untuk memuat gambaran data tahanan konus (q_c) secara umum. Informasi mengenai data tersebut dapat dilihat pada sari numerik dan diagram kotak titik yang disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 4.

Tabel 2. Sari numerik data tahanan konus (q_c) pada kedalaman lapisan tanah keras

Ukuran Data	Tahanan Konus (q_c)
Rata-rata	122,8
Median	100
Modus	100
Deviasi Standar	33,8657
Variansi	1146,885
Jangkauan	85
Kemencengan	0.514
Kurtosis	-1,777
Minimum	90
Maksimum	175
Jumlah	1842
Banyaknya data	15



Gambar 4. Diagram kotak titik data tahanan konus (q_c)

Dari Tabel 2. dan Gambar 4. diperoleh beberapa informasi sebagai berikut:

1. Sebanyak 15 data yang ada diperoleh rata-rata dari tahanan konus yaitu 122,8 dengan nilai minimum 90 dan maksimumnya 175.
2. Variabilitas dari data cukup tinggi, terlihat dari nilai jangkauannya yang mencapai 85. Hal ini juga sesuai dengan nilai deviasi standar yang dihasilkan yaitu 33,8657.
3. Nilai kemencengan (*skewness*) data positif artinya sebagian besar nilai berada dibawah rata-rata dan sebagian

kecil nilai berada di atas rata-rata. Distribusi data tidak simetri mengingat nilai *skewness* yang tidak mendekati nol dan dapat dilihat juga dari diagram kotak titik, panjang garis di atas dan di bawah kotak tidak sama dan kotak lebih cenderung ke nilai yang lebih besar.

4. Hampir terdapat pencilan pada data tahanan konus, ini terlihat dari garis di atas diagram kotak titik terlihat jauh lebih panjang di dibandingkan garis yang di bawah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

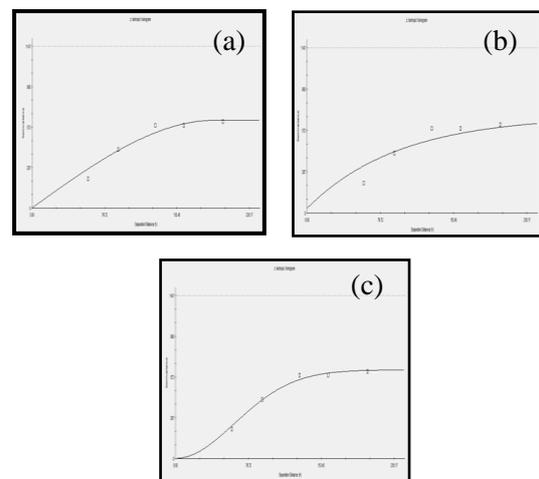
Untuk membantu menganalisis data tahanan konus (q_c) digunakan aplikasi *GS+* (*Geostatistical Software*) dengan ukuran grid interval 5×5 pada metode *Ordinary Kriging* (OK) dengan luas daerah pencarian penaksiran radius sebesar 193 dengan sampel sebanyak 15 sampel.

Metode *ordinary kriging* memiliki parameter hubungan secara spasial yang membantu menginterpolasi antar data tahanan konus (q_c) di daerah penelitian. Analisis spasial yang dilakukan berupa semivariogram dengan model sferikal, eksponensial, dan Gaussian. Pencarian hubungan antar data tahanan konus (q_c) di daerah penelitian menggunakan semivariogram yang bersifat isotropik. Pemilihan semivariogram tersebut merupakan pencarian korelasi spasial antar data tahanan konus (q_c) ke segala arah. Model semivariogram teoritis yang digunakan yaitu model sferikal. Model ini memiliki parameter semivariogram yang hampir sama dengan model

eksponensial tetapi besaran pengaruh data terhadap variasi data tahanan konus (q_c) yang besar daripada model sferikal, sementara terhadap model Gaussian nilai *nugget effect* yang sama tetapi jarak (*range*) dari model sferikal lebih luas sebesar 193 meter daripada model Gaussian. Artinya pada model sferikal data tahanan konus (q_c) saling berkorelasi. Jarak rata-rata antar pasangan data atau titik lokasi (*uniform interval*) dari data tahanan konus (q_c) sebesar 37 meter dengan *offset tolerance* (sudut toleransi pencarian data interpolasi) sebesar $22,5^\circ$. Adapun parameter model semivariogram digunakan sebagai analisis spasial data tahanan konus (q_c) ditunjukkan pada Tabel 3 dan model semivariogram pada Gambar 5.

Tabel 3. Parameter model semivariogram

Model	Spherikal	Exponential	Gaussian
<i>Nugget effect</i>	1	32	1
<i>Sill</i>	623.2	674.9	623.6
<i>Range</i>	193	290.1	151.9
r^2	0.955	0.935	0.988
<i>Propotion</i>	0.998	0.953	0.998



Gambar 5. Model Semivariogram, (a) spherikal; (b) Eksponensial; (c) Gaussian

Sferikal,

$$\gamma(d) = 1 + 632,2 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{d}{193} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{d}{193} \right)^3 \right], 0 \leq d \leq 193$$

Exponential,

$$\gamma(d) = 32 + 674,9 \left[1 - \exp \left(-\frac{d}{290,1} \right) \right]$$

Gaussian,

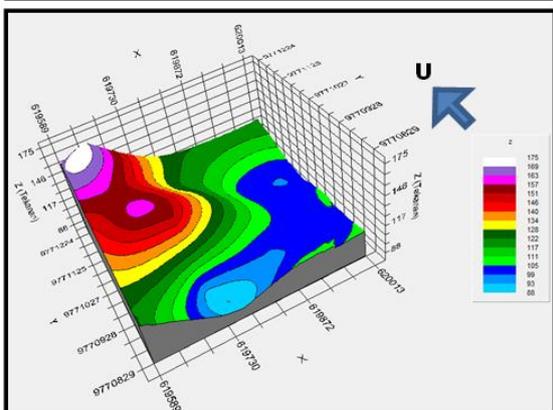
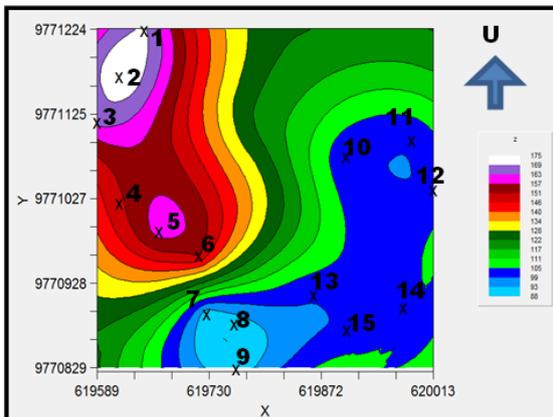
$$\gamma(d) = 1 + 623,6 \left[1 - \exp \left(-\left(\frac{d}{151,9} \right)^2 \right) \right]$$

Karena jangkauan zona pengaruh antar titik-titik observasi dari model sferikal lebih luas maka model sferikal dipilih sebagai model terbaik. Selanjutnya model sferikal akan digunakan untuk menginterpolasi data secara spasial menggunakan metode *Ordinary Kriging* (OK) yang ditampilkan pada Gambar 5.

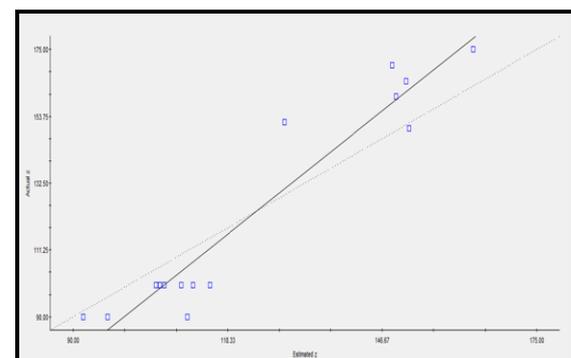
Berdasarkan hasil interpolasi, estimasi nilai tahanan konus (q_c) diperoleh kisaran nilai sebesar 88-175 kg/cm². Pola penyebaran data tahanan konus menunjukkan nilai yang bervariasi dari Barat laut-Tenggara dengan nilai yang semakin menurun (lihat Gambar 6). Setelah diperoleh model terbaik, langkah selanjutnya adalah melakukan uji kecocokan model (validasi silang) untuk mengetahui apakah model tersebut cocok (valid) dan dapat digunakan untuk melakukan pendugaan. Hasil uji validasi silang dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 7.

Tabel.4 Parameter validasi silang data tahanan konus

No.	Parameter validasi silang	Nilai
1	<i>Regression coefficient</i>	1.384
2	<i>SE (Standard Error)</i>	0.118
3	<i>R² (Coefficient correlation)</i>	0.914
4	<i>y-intercept</i>	-47.56
5	<i>SE Prediction</i>	9.915



Gambar 6. Hasil analisis spasial data tahanan konus (q_c) menggunakan *Ordinary Kriging* (OK) 2D dan 3D.



Gambar 7. Validasi silang data tahanan konus (q_c)

Hasil analisis spasial tahanan konus (q_c) dilakukan untuk mengetahui apakah hasil estimasi diperoleh sudah cukup baik dan representatif atau tidak. Dalam hal ini model sferikal cukup baik merepresentatif keseluruhan data yang ditunjukkan dari nilai

koefisien korelasi sebesar 0.914. Hasil ini menunjukkan bahwa analisis spasial dari data tahanan konus (q_c) cukup merepresentatifkan keseluruhan data yang diperoleh (Tabel 3).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Terdapat tiga model yang digunakan dalam semivariogram dan yang terbaik dari ketiga model tersebut adalah sferikal dengan zona pengaruh antar titik-titik observasi lebih luas dan kesalahan pengukurannya kecil.
2. Pola penyebaran data tahanan konus (q_c) menunjukkan nilai q_c bervariasi dari Barat laut-Tenggara.
3. Berdasarkan analisis spasial menggunakan metode *Ordinary Kriging* (OK) diperoleh bahwa model sferikal cocok untuk merepresentatifkan keseluruhan data dari tahanan konus yang ditunjukkan dari nilai koefisien korelasi yang diperoleh sebesar 0.914

Saran

1. Perlu pengkajian secara detail untuk perhitungan semivariogram, bisa juga dengan mengolah data dengan memperhitungkan jarak dan arah (semivariogram anisotropik).
2. Pertimbangkan juga untuk mengolah data hasil penyelidikan tanah lainnya, seperti data jumlah hambatan lekat, atau bisa juga pengolahan data dengan mengikutsertakan kedalaman tanah sehingga diperoleh data dalam ruang tiga dimensi.

3. Untuk memberikan hasil yang maksimal pada penelitian selanjutnya, jika memungkinkan sebaiknya data yang digunakan lebih dari 15 titik observasi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Universitas Bangka Belitung dan Jurusan Teknik Sipil khususnya yang telah memberikan tempat dan data untuk melaksanakan penelitian serta semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Altun, Selim., Goktepe, A Burak., dan Sezer, Alper., 2013, *Geostatistical Interpolation for modelling SPT data in northern Izmir*. Indian Academy of Sciences, Vol.38 halaman 1451 – 1468.
- Amstrong, M., 1998, *Basic Linear Geostatistics*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Anonim., 2007, *Pekerjaan Soil Test Investigation Untuk Pembangunan Gedung Perkuliahan dan Auditorium*, Laboratorium Jurusan Teknik Sipil-Universitas Bangka Belitung.
- Anonim., 2008, *Cara uji penetrasi lapangan dengan alat sondir, SNI 2827-2008*, Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim., 2012, *Pekerjaan Soil Test Investigation Untuk Pembangunan Gedung Perkuliahan dan Auditorium*, Laboratorium Jurusan Teknik Sipil-Universitas Bangka Belitung.

- Bowles, Joesephe., 1997, *Analisa dan Desain Pondasi*, Erlangga, Jakarta.
- Jaksa, M.B., and Kaggwa, W.S., Brooker, P.I., 1993, Geostatistical modelling of the spatial variation of the shear strength of a stiff, overconsolidated clay. *Probabilistic Methods in Geotechnical Engineering*, Li & Lo.
- Budi, S. G., 2011, *Pondasi Dangkal*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Guskarnali, Sagisollo, Y.T., Wibawa, R.R., 2015, *Perbandingan Akurasi Metode IDW dan Ordinary Kriging (OK) terhadap sumberdaya Nikel Laterit-2D*, UPN "Veteran", Yogyakarta.
- Isaaks, Edward H., and Srivastava, R. Mohan, , 1989, *Applied Geostatistics*, Oxford University Press, New York.
- P. K. Kintanidis, 1997, *Introduction to Geostatistics: Applications to Hydrogeology*", New York: Cambridge University Press.
- Romadoni, 2004, *Spatial Analysis: The Semivariogram modelling of the Population of Bradysia ocellaris insect at Oyster Mushroom*, ITB, Bandung.
- Sakata, S., and Ashida, F., Tanaka,H., 2010, Stabilization of parameter estimation for Kriging-based approximation with empirical semivariogram. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Elsevier, halaman 1710-1721.
- Samui, Pijush., and Sitharam, T.G., 2007, Spatial variability of SPT data using ordinary and disjunctive kriging. *ISGSR2007 First International Symposium on Geotechnical Safety & Risk*.China.
- Sari, RR.Kurnia Novita, 2009, *Tesis :Model Semivariogram dan Estimasi Ordinary Kriging untuk Nilai Ujian Nasional SMP di Kota Bandung dan Cimahi*. Institiut Teknologi Bandung
- Sari, RR.Kurnia Novita., Amelia, Ririn., 2014, *Statistics Analysis of Distribution of Bradysia Ocellaris Insect on Oyster Mushroom Cultivation*, ITB, Bandung.
- Sarma, D.D., 2009. *Geostatistics with Applications in Earth Sciences*. Springer, India.
- Tarawneh, Bashar., 2014, Correlation of Standard and Cone Penetration Tests for Sandy and Silty Sand to Sandy Silt Soil. *EJGE*, Vol.19.
- Wackernagel, Hans., 2003, *Multivariate Geostatistics*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.

