

# Interpolasi Decline Rate Menggunakan Kriging Sekuensial

SUTAWANIR DARWIS, GAN GAN SAEFULLAH

Statistics Research Group, Faculty of Mathematics & Natural Sciences,  
Institut Teknologi Bandung

## ABSTRAKSI

Kriging sebagai metode interpolasi membutuhkan proses inversi matriks korelasi antar sample. Secara empiris, observasi yang berada jauh dari titik interpolasi cenderung memiliki bobot nol atau negative (screen effect). Tulisan ini mengusulkan metode kriging sekuensial untuk interpolasi laju penurunan (decline rate) laju alir (mass flow) sumur produksi disekitar sumur produksi. Kriging sekuensial merupakan proses updating penambahan data disekitar titik interpolasi. Laju penurunan produksi ditaksir melalui regresi  $\ln(\text{mass flow})$  terhadap waktu menggunakan model laju alir eksponensial. Korelasi spasial laju alir penurunan mass flow interpolasi kriging sekuensial mengikuti pola sferikal. Interpolasi kriging sekuensial menghasilkan kontur merepresentasikan distribusi laju penurunan disekitar sumur produksi. Hasil interpolasi dapat digunakan untuk memperkirakan cadangan (energi) lapangan panas bumi.

**Kata kunci:** laju penurunan, kriging sekuensial, korelasi spasial

## 1. Pendahuluan

Sumur injeksi pada lapangan panas bumi berperan menstabilkan massa uap di dalam reservoir panas bumi yang berkurang disebabkan pengurasan reservoir untuk dialirkan ke pembangkit listrik melalui sumur produksi. Melalui kajian type curve matching, laju alir (decline rate) sumur produksi disekitar sumur injeksi cenderung lebih rendah dibanding sumur yang jaraknya lebih jauh (Sasradipoera et al. 2005). Kriging sebagai interpolasi spasial memiliki beberapa kelemahan antara lain membutuhkan komputasi inverse, memungkinkan terjadinya bobot negatif sebagai akibat fenomena screen effect. Tulisan ini mengusulkan pendekatan kriging sekuensial untuk memprediksi perubahan laju alir sumur-sumur produksi disekitar sumur injeksi. Melalui pendekatan sekuensial hanya titik-titik disekitar titik interpolasi yang digunakan untuk menaksir bobot interpolasi. Sebagai batas pemilahan data digunakan range model semivariogram laju penurunan produksi uap. Laju penurunan produksi uap sumur produksi di hitung melalui persamaan Arps menggunakan data mass flow (ton/jam). Laju penurunan di lokasi  $S_0$  diprediksi menggunakan data laju penurunan sumur-sumur disekitarnya melalui interpolasi kriging dua titik. Masalah prediksi cadangan panas bumi berkaitan dengan laju penurunan produksi uap. Injeksi bertujuan mempertahankan tingkat laju penurunan dalam batas ekonomis produksi. Kajian interpolasi kriging sekuensial diharapkan memberikan kontribusi signifikan dalam memprediksi cadangan sisa (remaining reserve) dan kelayakan peningkatan produksi listrik panas bumi.

## 2. Metode Penelitian

Laju penurunan  $D = -\frac{dq(t)/dt}{q(t)}$  memenuhi persamaan Arps (Arps, 1945)

$$\frac{q(t)}{q(0)} = (1 + bDt)^{-1/b}, 0 \leq b \leq 1$$

dengan  $q(0)$  menyatakan laju penuruanan awal. Untuk  $b \rightarrow 0$ , diperoleh laju penurunan eksponensial  $q(t) = q(0)e^{-Dt}$ . Nilai laju penurunan  $D$  dan laju alir awal  $q(0)$  ditaksir melalui regresi  $\ln q(t)$  terhadap  $t$ .

### 32 Sutawanir Darwis, Gan Gan Saefullah

Interpolasi kriging sekuensial laju penurunan di  $s_0, \hat{Z}(s_0) = \hat{Z}_0$ , berdasarkan laju penurunan dua sumur di lokasi  $s_1, s_2$ ;  $Z(s_1) = Z_1, Z(s_2) = Z_2$  diberikan oleh

$$\hat{Z}_0^{(2)} = \hat{Z}_0^{(1)} + \frac{\rho_{02} - \rho_{21}\rho_{01}}{1 - \rho_{21}^2} (Z_2 - \hat{Z}_2^{(1)}) = \frac{\rho_{01} - \rho_{02}\rho_{21}}{1 - \rho_{21}^2} Z_1 + \frac{\rho_{02} - \rho_{01}\rho_{21}}{1 - \rho_{21}^2} Z_2$$

dengan  $\hat{Z}_0^{(1)} = \rho_{01}Z_1, \hat{Z}_2^{(1)} = \rho_{21}Z_1$ , dan  $\rho_{ij} = Corr(Z(s_i), Z(s_j))$ . Interpolasi (updating)  $Z(s_0) = Z_0$  berdasarkan laju alir tiga sumur diberikan oleh

$$\hat{Z}_0^{(3)} = \hat{Z}_0^{(2)} + \frac{\rho_{03} - \rho_{01}\rho_{13} - \theta_{02}(\rho_{23} - \rho_{12}\rho_{13})}{1 - \rho_{21}^2} (Z_3 - (\rho_{13}Z_1 + \rho_{23}Z_2))$$

dengan  $\theta_{02} = \frac{\rho_{02} - \rho_{21}\rho_{01}}{1 - \rho_{21}^2}$ . Penambahan data laju alir akan memberikan koreksi

(updating) terhadap hasil interpolasi sebelumnya. Data yang digunakan untuk interpolasi sekuensial adalah semua data yang berada dalam range semivariogram laju alir. Data yang berada diluar range memberikan kontribusi tidak signifikan. Hal ini akan mereduksi waktu komputasi interpolasi.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1 memperlihatkan laju alir sumur produksi disekitar sumur injeksi 15 dan 32. Nilai skewness mengindikasikan bahwa distribusi data tidak simetri. Untuk itu dilakukan transformasi akar  $\sqrt{D}$ . Diagram batang-daun memperlihatkan distribusi  $\sqrt{D}$  mendekati distribusi normal.

**Tabel 1.** Nilai laju alir sumur-sumur disekitar sumur injeksi 15, 32

| No | Sumur Injeksi | Sumur Produksi | Koodinat |      | D     |
|----|---------------|----------------|----------|------|-------|
|    |               |                | x        | y    |       |
| 1  | 15            | 11             | 20576    | 2943 | ,0058 |
| 2  |               | 14             | 20229    | 2966 | ,0048 |
| 3  |               | 17             | 20008    | 2704 | ,0021 |
| 4  |               | 18             | 20385    | 2613 | ,0025 |
| 5  |               | 20             | 19621    | 2749 | ,0043 |
| 6  |               | 22             | 21795    | 2089 | ,0036 |
| 7  |               | 24             | 20721    | 3466 | ,0023 |
| 8  |               | 25             | 20385    | 3392 | ,0099 |
| 9  |               | 26             | 21664    | 2344 | ,0073 |
| 10 |               | 27             | 21827    | 2651 | ,0051 |
| 11 |               | 43             | 20842    | 3168 | ,0040 |
| 12 | 32            | 31             | 21536    | 1351 | ,0070 |
| 13 |               | 36             | 21631    | 3051 | ,0032 |
| 14 |               | 37             | 22107    | 1779 | ,0015 |
| 15 |               | 41             | 22233    | 2015 | ,0018 |
| 16 |               | 45             | 20991    | 1059 | ,0088 |
| 17 |               | 46             | 22363    | 2714 | ,0071 |
| 18 |               | 51             | 21391    | 3626 | ,0035 |
| 19 |               | 52             | 22186    | 1526 | ,0040 |
| 20 |               | 62             | 21786    | 2697 | ,0009 |

Tabel 2 memperlihatkan semivariogram empiris laju alir sumur produksi. Fitting semivariogram sferikal memberikan model Sph(range a = 794, sill c = ,0004).

**Tabel 2.** Semivariogram empiris  $\sqrt{\text{laju penurunan}}$

| Lag | d    | $\gamma(d)$ |
|-----|------|-------------|
| 1   | 353  | ,00034      |
| 2   | 367  | ,00039      |
| 3   | 594  | ,00038      |
| 4   | 605  | ,00037      |
| 5   | 884  | ,00024      |
| 6   | 889  | ,00037      |
| 7   | 1141 | ,00023      |
| 8   | 1191 | ,00041      |
| 9   | 1423 | ,00047      |

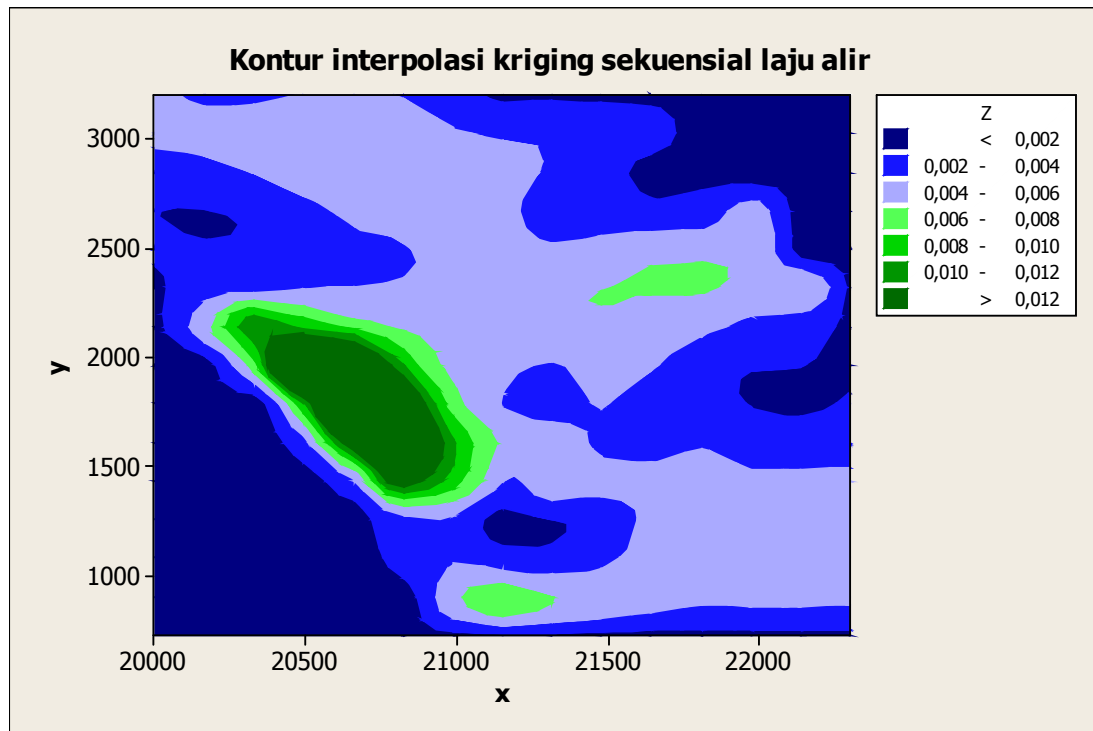
Tabel 3 memperlihatkan interpolasi kriging sekuensial  $\sqrt{D}$  sumur produksi dengan (x,y) menyatakan lokasi sumur produksi. Hasil interpolasi kriging sekuensial berupa kontur distribusi laju penurunan produksi uap diperlihatkan pada Gambar 1. Graduasi warna memperlihatkan perubahan nilai laju penurunan produksi uap disekitar sumur injeksi. Pola kontur plot mendukung dugaan bahwa laju penurunan produksi uap merupakan fungsi dari jarak sumur produksi terhadap sumur injeksi. Laju penurunan produksi uap berkaitan dengan cadangan panas bumi

$$Q(t) = \int_0^t q(s) ds = \int_0^t q(0)e^{-Ds} ds$$

dengan Q(t) menyatakan produksi dalam selang (0,t). Informasi distribusi laju penurunan produksi melalui kontur plot laju penurunan dapat digunakan untuk memprediksi cadangan panas bumi melalui simulasi Monte Carlo.

**Tabel 3.** Interpolasi kriging sekuensial  $\sqrt{D}$  sumur produksi

| x     | y    | $\sqrt{D}$ | x     | y    | $\sqrt{D}$ |
|-------|------|------------|-------|------|------------|
| 20576 | 2943 | ,0058      | 21100 | 900  | ,007       |
| 20229 | 2966 | ,0048      | 21100 | 1200 | ,0016      |
| 20008 | 2704 | ,0021      | 21100 | 1500 | ,0056      |
| 20385 | 2613 | ,0025      | 21100 | 1800 | ,0043      |
| 20842 | 3168 | ,0040      | 21300 | 900  | ,0061      |



**Gambar 1** Interpolasi kriging sekuensial laju penurunan produksi

#### 4. Kesimpulan dan Saran

Tulisan ini mengusulkan pendekatan sekuensial untuk mengatasi masalah screen effect pada interpolasi spasial. Interpolasi laju penurunan produksi melalui pendekatan kriging sekuensial menghasilkan peta distribusi laju penurunan. Studi kasus laju penurunan produksi uap disekitar sumur injeksi cenderung rendah dibanding sumur yang jauh dari sumur injeksi. Hasil ini sesuai dengan temuan melalui pendekatan history matching (Sasradipoera et al, 2000). Kontur distribusi laju penurunan diharapkan dapat digunakan sebagai masukan prediksi cadangan melalui pendekatan simulasi stokastik.

#### 5. Daftar Pustaka

- Arps JJ, 1945, Analysis of decline curves, Trans AIME, **160**, 228-247  
 Sasradipoera D S, Sujata I K, Komaruddin U, 2000, Evaluation of steam production decline in the Kamojang geothermal field, Proceeding World Geothermal Congress, Japan