

KONTUR KONSENTRASI RADIONUKLIDA K-40 PADA SEDIMEN LAUT BANGKA

Chevy Cahyana

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, BATAN
Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang

ABSTRAK

KONTUR KONSENTRASI RADIONUKLIDA K-40 PADA SEDIMEN LAUT BANGKA. Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA) mengatur bahwa pemantauan radioaktivitas lingkungan harus dilakukan sebelum pembangunan konstruksi pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) dimulai dan harus kontinyu selama beroperasi. Bangka Barat dan Bangka Selatan merupakan calon tapak PLTN pertama di Indonesia. Oleh karena itu pemantauan radioaktivitas lingkungan kelautan di Bangka Barat dan Bangka Selatan harus dilakukan. Dalam sedimen laut di Indonesia, radionuklida alam lebih dominan daripada radionuklida antropogenik. K-40 merupakan radionuklida alam pemancar gamma, Dalam penelitian ini telah dilakukan analisis konsentrasi radionuklida K-40 pada sampel sedimen laut Bangka dengan menggunakan sistem spektrometri gamma. Untuk melihat pola sebaran radionuklida K-40, data konsentrasi diplot pada peta dengan menggunakan metoda interpolasi inverse distance weighted dan ekstrapolasi linier. Besarnya standard error hasil interpolasi adalah sebesar 36,02.

Kata kunci: radionuklida K-40, sedimen laut, interpolasi inverse distance weighted.

ABSTRACT

CONCENTRATION CONTOUR OF K-40 RADIONUCLIDE IN BANGKA SEA SEDIMENT. The International Atomic Energy Agency (IAEA) regulated that marine environment radioactivity monitoring must be done before the start of construction of the plant, and should continue for its lifetime. West Bangka and South Bangka are site candidates of first nuclear power plant (NPP) at Indonesia. Based on this reason, marine environment radioactivity monitoring at West Bangka and South Bangka must be done. In Indonesia's sea sediment, the natural radionuclide is more dominant than anthropogenic radionuclide. K-40 is gamma emitter natural radionuclide. On this research, analysis of the concentration of K-40 radionuclide in Bangka's sediment sample has been done by mean of gamma spectrometry system. In order to see the distribution pattern of K-40, the concentration data are plotted on the map using the inverse distance weighted interpolation method and linear extrapolation method. The standard error of interpolation result is 36,02.

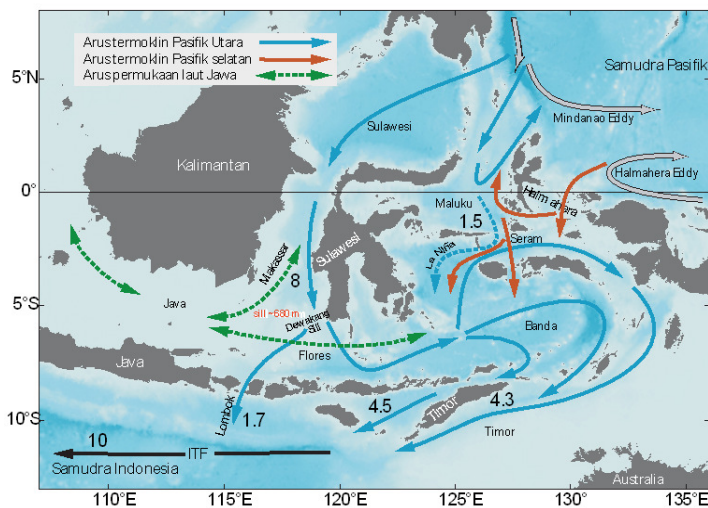
Keywords: K-40 radionuclide, sea sediment, inverse distance weighted interpolation.

PENDAHULUAN

Radionuklida antropogenik dapat masuk ke dalam laut secara langsung sebagai jatuhan dari atmosfer dan secara tidak langsung melalui aliran sungai yang bermuara ke laut. Laut dapat juga secara langsung menerima material radioaktif yang berasal dari pembuangan limbah cair di laut maupun yang berasal dari penimbunan limbah padat di dasar laut. Sumber utama radionuklida antropogenik di laut adalah berasal dari uji coba senjata nuklir, kecelakaan Chernobyl dan lepasan dari instalasi daur ulang nuklir (*nuclear reprocessing plants*) yang berada di Sellafield, Inggris dan Cap de la Hague, Perancis [1,2]. Sumber radionuklida antropogenik di samudera Pasifik dan samudera Hindia sebagian besar berasal dari jatuhan global yang disebabkan oleh uji coba senjata nuklir yang dilakukan pada antara tahun 1950 dan 1960 [3]. Sumber lainnya dapat berasal dari lepasan rutin pembangkit listrik tenaga nuklir, kapal selam nuklir, lepasan dari satelit, serta penggunaan radioisotop untuk pengobatan, industri dan penelitian [2,4].

Kecelakaan PLTN Fukushima Dai-ichi akibat gempa dan tsunami di Tohoku yang terjadi pada tanggal 11 Maret 2011 menyebabkan material radioaktif terlepas ke lingkungan [5]. Kontaminasi lingkungan pada laut berasal dari tiga proses, yaitu deposisi kering dan deposisi basah dari atmosfer yang terkontaminasi, lepasan langsung dari air yang terkontaminasi, serta perpindahan polusi radioaktif yang berasal dari tanah yang terkontaminasi [6].

Walaupun sumber-sumber radionuklida antropogenik berada di bumi bagian utara yang cukup jauh dari Indonesia, namun dapat mempengaruhi kondisi radioaktivitas perairan laut Indonesia, hal ini disebabkan oleh adanya arus laut perputaran sabuk dunia yang dikenal sebagai *The Great Ocean Conveyor Belt*. Arus perputaran sabuk dunia mengalir di permukaan dari samudera Hindia menuju samudera Atlantik, lalu berputar di Atlantik bagian utara sekitar pulau Greenland dan masuk ke laut dalam ke Atlantik selatan dan mengalir menuju samudera Pasifik utara dan sebelah barat samudera Hindia. Karena berbagai proses fisik, arus perputaran sabuk dunia ini mengakibatkan terjadinya aliran arus lintas Indonesia atau ARLINDO (Gambar 1) [7]. Dengan adanya arus lintas Indonesia, maka radionuklida antropogenik yang terdeposisi dalam laut global maupun regional dapat terbawa arus masuk ke perairan laut Indonesia dan dapat mempengaruhi kondisi radioaktivitas lingkungan kelautan Indonesia.



Gambar 1. Arus utama dari arus lintas Indonesia [7]

Kondisi radioaktivitas lingkungan kelautan di Indonesia harus selalu dipantau untuk mengetahui kemungkinan adanya peningkatan kadar radioaktivitas lingkungan kelautan yang disebabkan oleh lepasan material radioaktif yang terjadi pada laut global maupun regional. Sebagai calon tapak pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN), pemantauan radioaktivitas lingkungan kelautan di perairan laut Bangka Barat dan Bangka Selatan harus dilakukan sebagaimana yang telah dipersyaratkan oleh Badan Tenaga Atom Internasional (*International Atomic Energy Agency, IAEA*) bahwa pemantauan radioaktivitas lingkungan harus dilakukan sebelum pembangunan PLTN dan dilanjutkan selama PLTN beroperasi [8].

Besarnya radioaktivitas lingkungan kelautan, termasuk yang berasal dari radionuklida antropogenik, dapat diketahui dengan metode analisis teknik nuklir terhadap sampel lingkungan berupa air laut, sedimen dan biota. Untuk memperoleh *baseline data* radioaktivitas lingkungan kelautan di Bangka Barat dan Bangka Selatan sebagai calon tapak PLTN, dalam penelitian ini telah dilakukan analisis radionuklida pemancar gamma yang terkandung dalam sampel sedimen laut Bangka. Analisis kandungan radionuklida pemancar gamma dalam sampel sedimen dilakukan dengan menggunakan *gamma spectrometry system*.

Untuk mempermudah interpretasi data, hasil analisis sampel berupa data konsentrasi radionuklida dalam sampel sedimen diplot pada peta lokasi sampling. Agar pola sebaran konsentrasi radionuklida pada sedimen laut Bangka dapat terlihat dengan jelas, maka perlu dilakukan interpolasi dan ekstrapolasi terhadap data hasil analisis. Metoda interpolasi dan ekstrapolasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah interpolasi *Inverse Distance Weighted*

(IDW) dan ekstrapolasi linier. Interpolasi IDW mengasumsikan bahwa satu titik yang diperkirakan dipengaruhi oleh titik-titik yang ada di sekitarnya, sehingga setiap titik pengamatan memberi bobot yang besarnya berbanding terbalik dengan jarak ke titik yang diperkirakan [9]. Dalam penelitian ini interpretasi data hasil analisis dilakukan terhadap data konsentrasi radionuklida K-40 yang merupakan radionuklida alam pemancar gamma yang terkandung di dalam sampel sedimen. Dalam sampel sedimen laut Indonesia, kandungan radionuklida alam jauh lebih besar dibandingkan dengan radionuklida antropogenik. Hal ini disebabkan oleh letak Indonesia yang cukup jauh dari sumber-sumber radionuklida antropogenik di laut.

BAHAN DAN METODA

Pencuplikan dan Analisis Sampel

Sampel sedimen dicuplik dari perairan laut Bangka Barat dan Bangka Selatan secara bertahap mulai bulan Mei 2011 sampai dengan Desember 2011. Titik-titik sampling berjarak 2-10 km dari garis pantai pada rentang koordinat antara 105°5.734'BT 2°1.314'LS sampai 105°53.592'BT 2°42.060'LS. Pada setiap titik sampling diambil sebanyak lebih kurang 2 kg sampel sedimen.

Analisis sampel dilakukan dengan cara mencacah 1 kg sampel sediment kering menggunakan *gamma spectrometry system* dengan detektor *High Purity Germanium* (HPGe) merek *Canberra* tipe GX2018 dengan efisiensi 20%.

Pengolahan Data

Untuk memperoleh pola sebaran konsentrasi radionuklida K-40 dalam sedimen, data hasil analisis berupa konsentrasi radionuklida dalam sampel sedimen diolah dengan metoda interpolasi *Inverse Distance Weighted* (IDW) dan ekstrapolasi linier. Metode interpolasi IDW ditunjukkan oleh persamaan berikut [9],

$$z(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i f_i \quad (1)$$

dimana n adalah banyaknya titik pengamatan, f_i adalah nilai pada titik yang diamati, w_i adalah besarnya bobot terkait dengan masing-masing titik pengamatan relatif terhadap nilai pengamatan pada (x, y) . Besarnya bobot dihitung menggunakan fungsi bobot sebagai berikut [9],

$$w_i = \frac{h_i^{-p}}{\sum_{i=1}^n h_i^{-p}} \quad (2)$$

dimana p adalah parameter pangkat yang mendefinisikan laju pengurangan bobot seiring dengan pertambahan jarak, sedangkan h_i adalah jarak antara titik pengamatan dengan titik yang diperkirakan.

$$h_i = \left((x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 \right)^{1/2} \quad (3)$$

dimana (x, y) dan (x_i, y_i) adalah koordinat titik interpolasi dan titik sebaran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

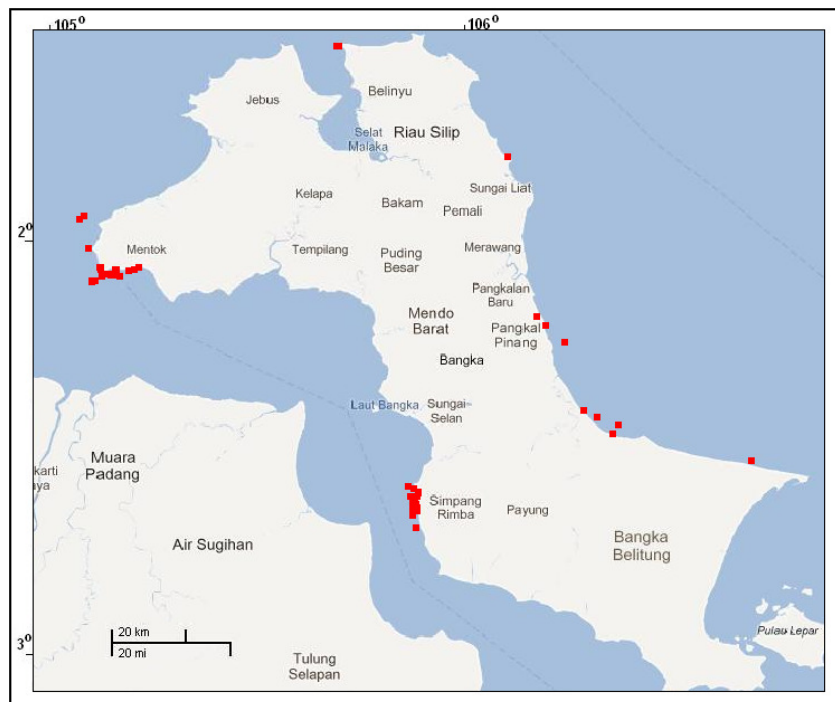
Pada pengambilan sampel sedimen laut Bangka dalam kurun waktu Mei sampai Desember 2011 diperoleh 58 paket sampel sedimen yang dicuplik dari 25 titik sampling di Bangka Barat dan 33 titik sampling di Bangka Selatan (Tabel 1, Tabel 2 dan Gambar 2). Titik sampling di Bangka Barat sebagian besar berada di sekitar Mentok dan Tanjung Kelian, hal ini disebabkan oleh struktur dasar laut di sekitar Tanjung Besayap dan Tanjung Ular merupakan batu karang, sehingga sangat sulit untuk mendapatkan sampel sedimen di lokasi tersebut. Pengambilan sampel sedimen di laut Bangka Selatan relatif lebih mudah karena struktur dasar lautnya tidak banyak mengandung batu karang, sehingga sebaran titik-titik sampling di Bangka Selatan lebih merata dibandingkan dengan di Bangka Barat.

Tabel 1. Titik sampling Bangka Barat

| Titik Sampling | Koordinat | Titik Sampling | Koordinat |
|----------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|
| ST 01 | 105° 08.606' BT 02° 05.020' LS | ST 14 | 105° 13.000' BT 02° 04.100' LS |
| ST 02 | 105° 08.856' BT 02° 05.229' LS | ST 15 | 105° 12.300' BT 02° 04.380' LS |
| ST 03 | 105° 09.703' BT 02° 05.212' LS | ST 16 | 105° 11.500' BT 02° 04.530' LS |
| ST 04 | 105° 10.269' BT 02° 05.300' LS | ST 17 | 105° 09.660' BT 02° 04.360' LS |
| ST 05 | 105° 07.381' BT 02° 04.182' LS | ST 18 | 105° 09.600' BT 02° 04.280' LS |
| ST 06 | 105° 07.400' BT 02° 04.100' LS | ST 19 | 105° 07.560' BT 02° 05.304' LS |
| ST 07 | 105° 07.381' BT 02° 04.182' LS | ST 20 | 105° 07.550' BT 02° 05.070' LS |
| ST 08 | 105° 07.382' BT 02° 04.106' LS | ST 21 | 105° 05.734' BT 02° 01.314' LS |
| ST 09 | 105° 07.325' BT 02° 03.991' LS | ST 22 | 105° 04.406' BT 01° 56.983' LS |
| ST 10 | 105° 07.393' BT 02° 04.255' LS | ST 23 | 105° 04.991' BT 01° 56.446' LS |
| ST 11 | 105° 07.393' BT 02° 04.316' LS | ST 24 | 105° 06.600' BT 02° 06.070' LS |
| ST 12 | 105° 07.422' BT 02° 04.341' LS | ST 25 | 105° 06.100' BT 02° 06.030' LS |
| ST 13 | 105° 07.424' BT 02° 04.366' LS | | |

Tabel 2. Titik sampling Bangka Selatan

| Titik Sampling | Koordinat | Titik Sampling | Koordinat |
|----------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|
| ST 01 | 105° 53.305' BT 02° 38.247' LS | ST 18 | 105° 53.000' BT 02° 39.800' LS |
| ST 02 | 105° 53.287' BT 02° 38.663' LS | ST 19 | 105° 53.000' BT 02° 40.300' LS |
| ST 03 | 105° 53.419' BT 02° 37.995' LS | ST 20 | 105° 42.000' BT 01° 31.700' LS |
| ST 04 | 105° 53.623' BT 02° 37.467' LS | ST 21 | 105° 53.025' BT 02° 40.073' LS |
| ST 05 | 105° 53.814' BT 02° 36.948' LS | ST 22 | 105° 52.696' BT 02° 37.567' LS |
| ST 06 | 105° 53.400' BT 02° 38.700' LS | ST 23 | 105° 52.407' BT 02° 35.983' LS |
| ST 07 | 105° 53.460' BT 02° 38.740' LS | ST 24 | 105° 53.592' BT 02° 42.060' LS |
| ST 08 | 105° 53.580' BT 02° 38.890' LS | ST 25 | 107° 37.852' BT 02° 44.759' LS |
| ST 09 | 105° 53.720' BT 02° 39.230' LS | ST 26 | 106° 42.500' BT 02° 32.300' LS |
| ST 10 | 105° 53.800' BT 02° 36.900' LS | ST 27 | 106° 22.260' BT 02° 28.300' LS |
| ST 11 | 105° 53.600' BT 02° 39.600' LS | ST 28 | 106° 23.000' BT 02° 27.000' LS |
| ST 12 | 105° 42.300' BT 01° 31.700' LS | ST 29 | 106° 18.000' BT 02° 25.000' LS |
| ST 13 | 105° 42.200' BT 01° 31.700' LS | ST 30 | 106° 20.000' BT 02° 26.000' LS |
| ST 14 | 106° 06.900' BT 01° 47.900' LS | ST 31 | 106° 15.240' BT 02° 14.900' LS |
| ST 15 | 105° 53.000' BT 02° 38.300' LS | ST 32 | 106° 12.440' BT 02° 12.500' LS |
| ST 16 | 105° 53.000' BT 02° 38.800' LS | ST 33 | 106° 11.212' BT 02° 11.212' LS |
| ST 17 | 105° 53.000' BT 02° 39.300' LS | | |

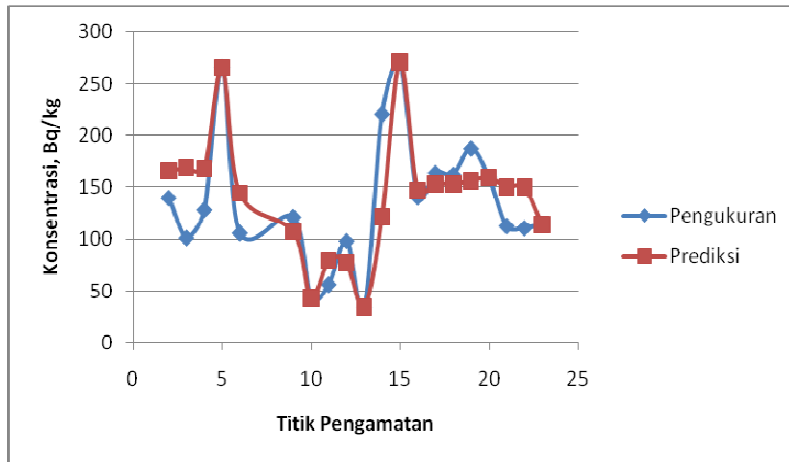


Gambar 2. Titik-titik sampling di laut Bangka (peta: Google Maps)

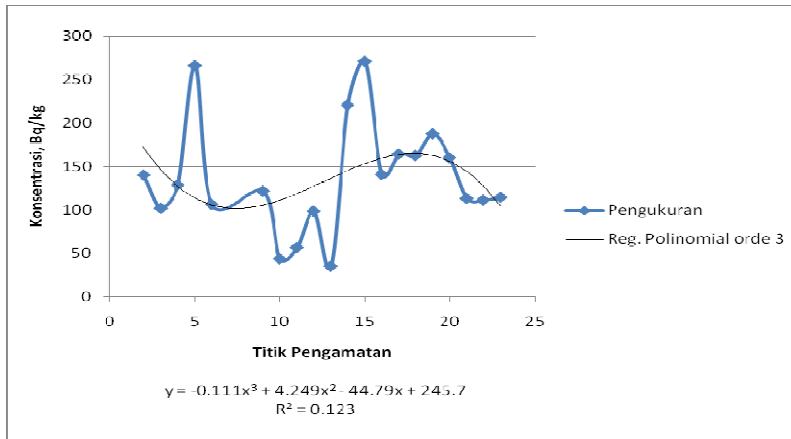
Konsentrasi rata-rata radionuklida K-40 dalam sampel sedimen yang dicuplik di perairan Bangka Barat adalah 124,81 Bq/kg. Konsentrasi K-40 tertinggi sebesar $263,52 \pm 27,81$ Bq/kg terdapat pada sampel sedimen dari titik sampling ST 01. Konsentrasi K-40 terendah sebesar $16,83 \pm 2,18$ Bq/kg terdapat pada sampel sedimen dari titik sampling ST 05. Sementara itu hasil analisis sampel sedimen Bangka Selatan menunjukkan konsentrasi rata-rata radionuklida K-40 sebesar 137,13 Bq/kg dengan konsentrasi tertinggi sebesar $301,19 \pm 38,24$ terdapat pada sampel sedimen dari titik sampling ST 09. Konsentrasi K-40 terendah sebesar $10,01 \pm 1,77$ terdapat pada sampel sedimen dari titik sampling ST 20.

Untuk mengetahui pola sebaran konsentrasi radionuklida K-40 pada sedimen laut di perairan pulau Bangka, dilakukan interpolasi dan ekstrapolasi terhadap data konsentrasi hasil pengukuran dengan metoda ekstrapolasi linier dan interpolasi IDW menggunakan persamaan 1, 2 dan 3 (lihat bahan dan metoda). Hasil interpolasi dengan metoda interpolasi IDW diuji dengan cara memprediksi data konsentrasi hasil pengukuran menggunakan tujuh buah data hasil pengukuran yang berdekatan. Hasil pengujian ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 3. Diperoleh selisih antara hasil penghitungan dengan hasil prediksi berkisar antara 0% sampai 66,27%, dengan standard error sebesar 36,02 (26,27% dari nilai rata-rata hasil pengukuran).

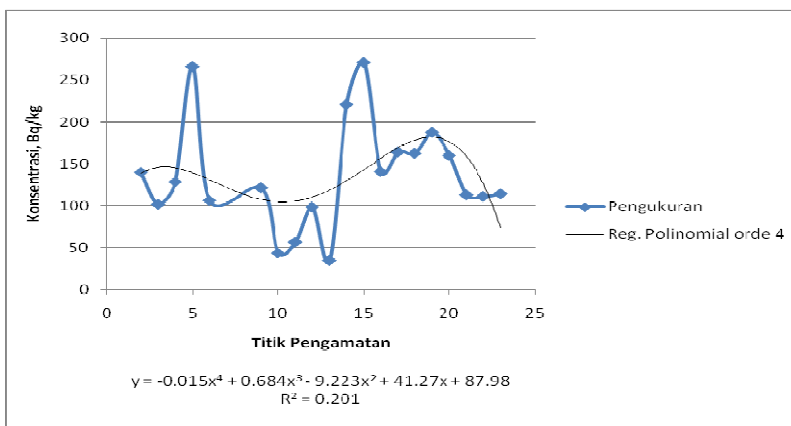
Hasil interpolasi IDW juga dibandingkan dengan hasil pendekatan data pengukuran dengan metoda regresi polinomial orde 3 dan 4 (lihat Gambar 4a, dan 4b). Nilai koefisien determinasi R^2 yang diperoleh dari pendekatan dengan regresi polinomial orde 3 dan 4 cukup kecil, yaitu sebesar 0,123 dan 0,201 yang berarti bahwa pada kedua pendekatan ini variabel bebas berupa titik pengamatan sangat kecil pengaruhnya terhadap variabel konsentrasi. Dengan demikian pendekatan dengan metoda regresi polinomial ini tidak dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi pada titik-titik yang tidak diketahui.



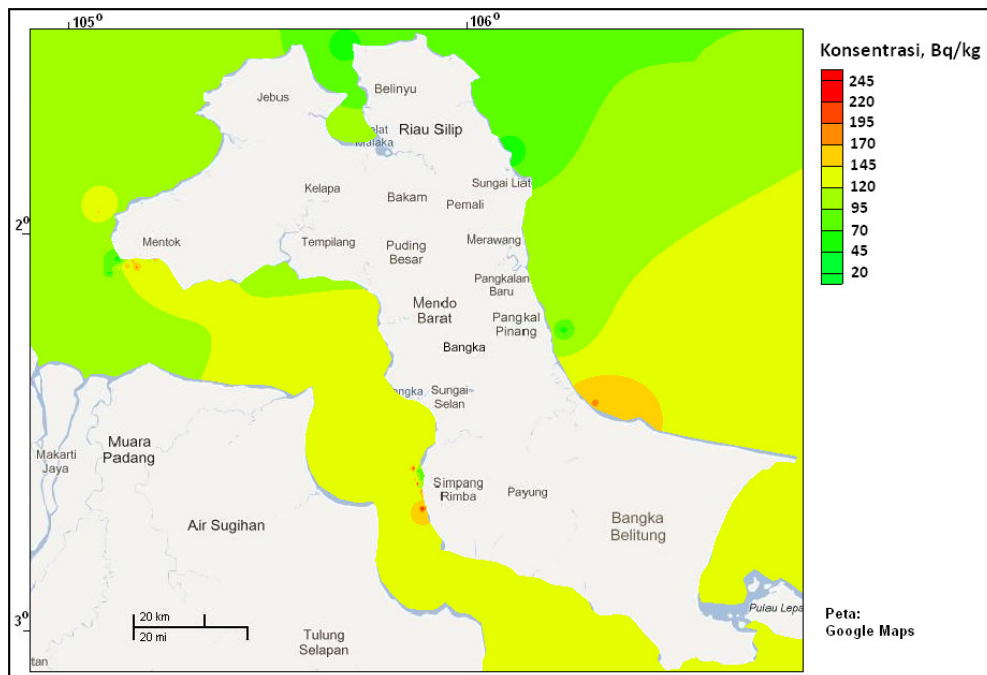
Gambar 3. Perbandingan data konsentrasi K-40 hasil pengukuran dengan hasil prediksi menggunakan interpolasi IDW



Gambar 4a. Pendekatan data pengukuran dengan metoda regresi polinomial orde 3



Gambar 4b. Pendekatan data pengukuran dengan metoda regresi polinomial orde 4



Gambar 5. Sebaran konsentrasi K-40 dalam sedimen laut Bangka

Plot data konsentrasi K-40 pada sedimen laut Bangka hasil interpolasi dan ekstrapolasi ditunjukkan pada Gambar 5. Tampak bahwa dengan menggunakan metoda interpolasi dan ekstrapolasi pola sebaran radionuklida K-40 pada sedimen laut Bangka dapat terlihat dengan jelas. Dari Gambar 5 dapat diinterpretasikan bahwa konsentrasi K-40 yang besar berada di sekitar Bangka Selatan dan Bangka Tengah. Sedangkan konsentrasi K-40 yang kecil berada di sekitar Bangka Utara.

KESIMPULAN

Metoda interpolasi dan ekstrapolasi dapat digunakan untuk plotting data hasil pengukuran pada peta. Kecilnya selisih antara data hasil pengukuran dengan hasil prediksi menunjukkan bahwa metoda interpolasi *inverse distance weighted* memberikan hasil interpolasi yang baik. Dengan metoda interpolasi dan ekstrapolasi, pola sebaran data hasil pengukuran dapat terlihat dengan jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Nakano, M. and P. P. Povinec.: Oceanic General Circulation Model for the Assessment of the Distribution of ^{137}Cs in the World Ocean, *Deep-Sea Research II* 50, 2803-2816, (2003).
- [2]. IAEA: TECDOC-1429. *Worldwide Marine Radioactivity Studies (WOMARS), Radionuclide Levels in Oceans and Seas*, International Atomic Energy Agency, Vienna, (2005).
- [3]. Povinec, P. P. et al.: ^{90}Sr , ^{137}Cs and $^{239,240}\text{Pu}$ Concentration Surface Water Time Series in the Pacific and Indian Oceans – WOMARS Results, *Journal of Environmental Radioactivity* 81, 63-87, (2005).
- [4]. Livingston, H. D. and P. P. Povinec.: Anthropogenic Marine Radioactivity, *Ocean & Coastal Management* 43, 689-712, (2000).
- [5]. Tsumune, D. et al.: Distribution of Oceanic ^{137}Cs from the Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant Simulated Numerically by a Regional Ocean Model, *Journal of Environmental Radioactivity* 111, 100-108, (2012).

- [6]. Bailly du Bois, P.: Estimation of Marine Source-Term Following Fukushima Dai-Ichi Accident, *Journal of Environmental Radioactivity* 114, 2-9, (2012).
- [7]. Aldrian, E.: *Meteorologi Laut Indonesia*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta, (2008).
- [8]. Safety Standards Series No. NS-G-3.2. Dispersion of Radioactive Material in Air and Water and Consideration of Population Distribution in Site Evaluation for Nuclear Power Plants, International Atomic Energy Agency, Vienna, (2002).
- [9]. Sheikhhasan, H.: A Comparison of Interpolation Techniques for Spatial Data Prediction, Thesis, Faculty of Science, Universiteit van Amsterdam, Amsterdam, (2006).