

---

## Identifikasi Uranium dan Thorium di Desa Takandeang Mamuju Sulawesi Barat dengan Menginterpretasikan Data Radiometri Tanah atau Batuan

Mutia Khairani <sup>1,†</sup>, Sutrisno<sup>1</sup>, Frederikus Dian Indrastomo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta

<sup>2</sup>Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir – BATAN

<sup>†</sup>corresponding author: mkhairani23@gmail.com

**Abstrak.** Hasil survey dosis radiasi lingkungan menunjukkan di daerah Mamuju memiliki nilai laju dosis radiasi (radioaktivitas) yang cukup tinggi. Nilai radioaktivitas tinggi yang dijumpai pada batuan diperkirakan berasal dari keterdapatannya kandungan radioaktif alami seperti unsur uranium (U) dan thorium (Th). Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mendapatkan kesimpulan unsur radioaktif apa yang mempengaruhi nilai laju dosis di daerah tersebut tinggi. Metode penelitian yang diterapkan adalah pengukuran radiometri, penentuan nilai ambang (*threshold*), menentukan populasi anomali pada unsur radioaktif dari data radiometri dengan menggunakan metode kurva probabilitas, interpolasi kriging dengan metode *ordinary* kriging dan analisis peta sebaran laju dosis, peta sebaran uranium, dan peta sebaran thorium. geologi daerah penelitian tersusun atas batu gamping, batu lava, batuan breksi dan endapan aluvial. Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa nilai laju dosis tinggi mencapai 4.271,3 nSv/h di Desa Takandeang dipengaruhi oleh keterdapatannya unsur thorium, dengan kadar 435,7 ppm eTh dan uranium berkadar 426 ppm eU.

**Kata kunci:** anomali, kriging, metode kurva probabilitas, Mamuju, radioaktivitas, Takandeang, thorium, threshold, uranium,

**Abstract.** Survey results of environment radiation in Mamuju show that the value of dose rate of radiation (radioactivity) is high enough. That high radioactivity value that is found in rocks is hypothesized to be generated by natural radioactive unsure such as uranium (U) and thorium (Th). The aim of this study is to get conclusion of what radioactive unsure that influences high dose rate in that region. The methods in this study are radiometry measurement, determination of threshold, determination of anomaly population on radioactive unsure from radiometry data using probability curve method, kriging interpolation with ordinary kriging method and analysis of dose rate distribution map, uranium distribution map, and thorium distribution map. The geology of studied region is composed of limestones, lava rocks, breccia rocks, and alluvial sediments. According to the result of analysis, we conclude that the value of high dose rate in Takandeang Village that reaches 4.271,3 nSv/h is influenced by thorium, with level 435,7 ppm eTh and uranium with level 426 ppmeU.

**Keywords:** anomali, kriging, metode kurva probabilitas, Mamuju, radioaktivitas, Takandeang, thorium, threshold, uranium.

### PENDAHULUAN

Mamuju merupakan ibukota Provinsi Sulawesi Barat hasil pemekaran dari Provinsi Sulawesi Selatan pada tahun 2004 berdasarkan UU No. 26 Tahun 2004, dengan luas daerah sekitar 16.796,19 km<sup>2</sup>. Beberapa kecamatan di Kabupaten Mamuju merupakan daerah yang memiliki nilai laju dosis radiasi (radioaktivitas) tinggi, yaitu antara 100-2.800 nSv/jam. Hasil tersebut didapatkan

dari pengukuran radiasi lingkungan di daerah Sulawesi yang dilakukan oleh Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTKMT-BATAN) pada tahun 2007[1]. Nilai tersebut terbilang cukup tinggi bila dibandingkan dengan nilai laju dosis di daerah lain yang ada di Indonesia (Gambar 1.1).

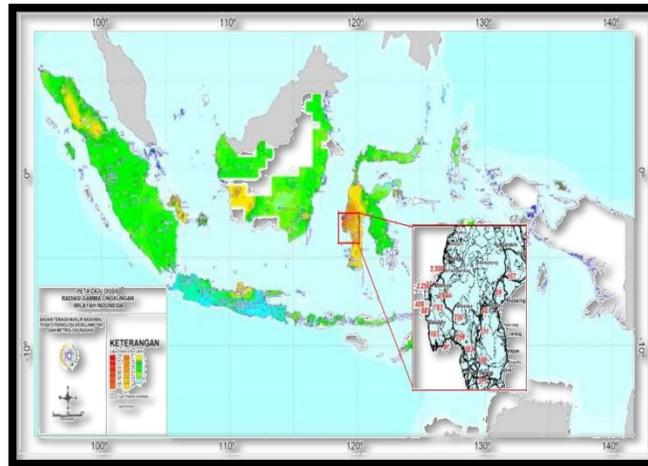
Nilai laju dosis alamiah yang tinggi di suatu daerah mencerminkan keterdapatannya unsur radioaktif yang terkandung dalam batuan, seperti uranium (U), thorium (Th), dan potassium (K) atau keterdapatannya unsur anak luruhnya [3]. Pada umumnya, keterdapatannya unsur radioaktif terutama U dan Th sangat erat kaitannya dengan batuan berkomposisi asam, baik plutonik (granitik) maupun vulkanik (riolitik), seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.1[4].

**TABEL 1** Perkiraan rerata kadar U dan Th di beberapa kerak bumi yang berbeda (Hazen dkk, 2009).

Reservoir	U (ppm)	Th (ppm)	References
CI Carbonaceous Chondrites	0.0074	0.002*	Plant et.al. (1999)
Eucrite meteorites	0.07 to 0.15	0.3 tp 0.8	T. McCoy and L. Nittlers, pers.com.
Bulk silicate earth	0.02	0.06*	Plant et.al (1999); Palme and O'Neill (2003)
Crust	1 to 2.7	~10	Taylor (1964); Plant, et al, (1999); Emsley (1991)
MORB	0.05 to 0.15	~0.15 to 0.45	Lunstrom (2003); Workman and Hart, (2004)
OIB	1	3*	Plant, et.al (1999)
Granite	10	30	Plant, et.al (1999)
High-Grade Ore Deposits	10 <sup>4</sup> to 10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup>	Plant, et.al (1999); Deer et.al, (1997)
Average Seawater	3 x 10 <sup>-3</sup>	9 x 10 <sup>-6</sup>	Miyake et.al, (1970); Emsley (1991); Chen and Wesserburg (1986)
Average river water	~10 <sup>-4</sup>	~2.5 x 10 <sup>-4</sup>	Bertine et.al (1970); Moore (1967); Windom et.al, (2000)

\*Estimation from known U concentration and average U:Th ~1:3

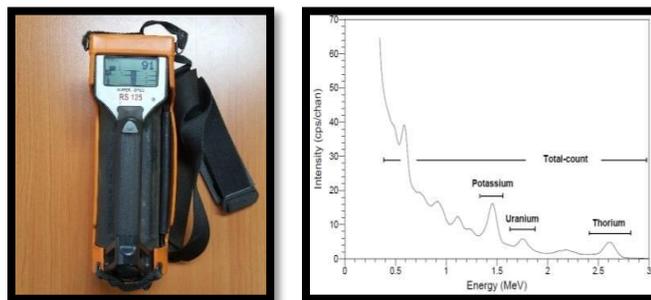
Salah satu metode geofisika yang dapat mengidentifikasi keberadaan unsur radioaktif tersebut adalah metode radiometri. Metode radiometri adalah salah satu metode geofisika yang merupakan cara utama untuk prospeksi, mengevaluasi bahan baku radioaktif dan pemetaan geologi dengan mengukur radiasi nuklir [7]. Prinsip kerja pada metode radiometri yaitu mengukur proses radiasi yang dicapai melalui sifat pengionnya. Sensor radiometri mengkonversi radiasi sinyal listrik, yang kemudian dihitung dan dijumlahkan selama satu interval waktu yang ditetapkan. Sensor performing konversi ini disebut detektor [7].



**GAMBAR 1.** Peta laju dosis radiasi gamma lingkungan di Indonesia menunjukkan nilai laju dosis.

## TEORI

Radioaktivitas adalah kemampuan inti atom yang tak stabil untuk memancarkan radiasi dan berubah menjadi inti yang stabil. Proses perubahan ini disebut peluruhan dan inti atom yang tak stabil disebut radionuklida [9]. Materi yang mengandung radionuklida disebut radioaktif. Terdapat tiga jenis radiasi yang dipancarkan oleh radionuklida, yakni sinar alfa, sinar beta, dan sinar gamma. Energi sinar gamma lebih besar dari pada energi sinar beta dan alfa. Radiasi yang energinya terkecil adalah sinar alfa [9]. Pada awalnya cara mengetahui radiasi bahan radioaktif menggunakan plat fotografi. Plat fotografi ini kemudian berkembang menjadi teknik deteksi dengan emulsi fotografi. Kemudian disusul dengan detektor Geiger Muller. Detektor ini memanfaatkan ionisasi menjadi pulsa listrik. Selanjutnya alat ini berkembang menjadi detektor tabung ionisasi. Di samping itu juga ditemukan bahan sintilasi. Detektor sintilasi menduduki tempat tersendiri dalam bidang pengukuran energi radiasi (spektrometri energi). Kristal sodium iodide yang diaktivasi oleh thalium / NaI(Tl) adalah detektor yang paling umum digunakan dalam pemetaan unsur radioaktif alami (Gambar 2).



**GAMBAR 2.** (a) Detektor sintilasi NaI(Tl) tipe RS-125 untuk mengukur total gamma batuan atau tanah, serta menghitung laju dosis, kadar ekuivalen uranium dan thorium; (b) Jendela energi hasil pengukuran total gamma yang kemudian dipisahkan unsur uranium dan thorium berdasarkan karakteristik puncak energinya (IAEA, 2003).

## METODOLOGI PENELITIAN

Penentuan nilai ambang digunakan untuk menandakan nilai spesifik yang secara efektif memisahkan nilai data rendah dan tinggi dari karakter yang berbeda [10]. Dimana batas tersebut berada pada perpotongan dua populasi yaitu populasi latar belakang (*background*) dan populasi anomaly. Nilai latar belakang (*background*) adalah nilai rata-rata unsur di bumi yang normal atau belum termineralisasi. Nilai latar belakang membentuk suatu populasi yang memiliki pola sebaran relatif dominan di suatu tempat. Nilai anomaly adalah penyimpangan dari nilai latar belakang atau nilai yang normal. Nilai anomaly membentuk suatu populasi anomaly yang memiliki pola sebaran yang menyimpang dari populasi latar belakang. Penyimpangan tersebut dapat dipengaruhi oleh adanya mineralisasi. Sedangkan nilai ambang adalah nilai batas antara nilai latar belakang dengan nilai anomaly. Nilai ambang suatu unsur di suatu tempat dapat berbeda dengan tempat lain karena konsentrasi suatu unsur tidak sama di setiap tempat. Populasi tunggal akan membentuk garis lurus sedangkan untuk populasi ganda akan menghasilkan dua garis lurus yang berbeda arah dimana perpotongan kedua garis merupakan nilai ambang [5].

*Kriging* merupakan suatu metode yang digunakan untuk menganalisis data geostatistik, yaitu untuk menginterpolasi suatu nilai kandungan berdasarkan data sampel. Data sampel dari ilmu kebumihan biasanya diambil di lokasi-lokasi atau titik-titik yang tidak beraturan. Dengan kata lain, metode ini digunakan untuk mengestimasi besarnya nilai karakteristik  $Z$  pada titik tidak tersampel berdasarkan informasi dari karakteristik titik-titik tersampel  $Z$  yang berada di sekitarnya dengan mempertimbangkan korelasi yang ada dalam data tersebut. *Ordinary kriging* adalah salah satu metode yang terdapat pada metode kriging yang sering digunakan pada geostatistika.

*Ordinary kriging* merupakan suatu metode yang menghasilkan sifat BLUE yaitu *Best Linear Unbiased Estimation*, yakni penaksiran tak bias dengan variansi minimum dan merupakan kombinasi linear. Penerapan teknik *ordinary kriging* di lapangan telah membuktikan bahwa hasil taksiran sumber daya dan cadangan akan akurat apabila dilakukan pada nilai koefisien variansi mendekati satu.

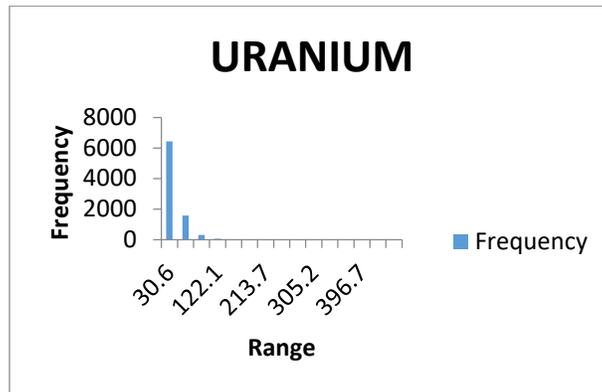
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Uji Analisis Data

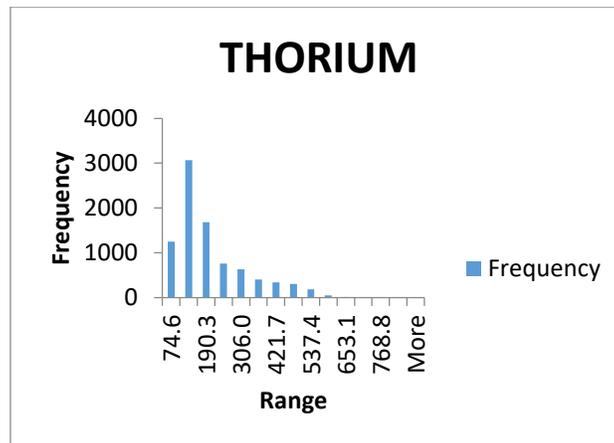
Populasi data kedua unsur yaitu, uranium dan thorium merupakan populasi data yang berdistribusi tidak normal. Kedua unsur tersebut memiliki nilai standar deviasi yang lebih besar dari nilai rata-rata (Tabel 3.1). Grafik histogram pada kedua populasi data juga menunjukkan kurva yang tidak simetris dan tidak menyerupai bentuk lonceng (Gambar 3.5-3.6)

**TABEL 2.** Nilai standar deviasi kedua unsur lebih besar dari nilai rata-rata sehingga populasi data kedua unsur berdistribusi tidak normal.

Unsur	Nilai rata-rata	Nilai standar deviasi
Uranium	24,46	25,88
Thorium	118,87	175,64



GAMBAR 3. Grafik histogram uranium menunjukkan populasi data berdistribusi tidak normal.



GAMBAR 4. Grafik histogram thorium menunjukkan populasi data berdistribusi tidak normal.

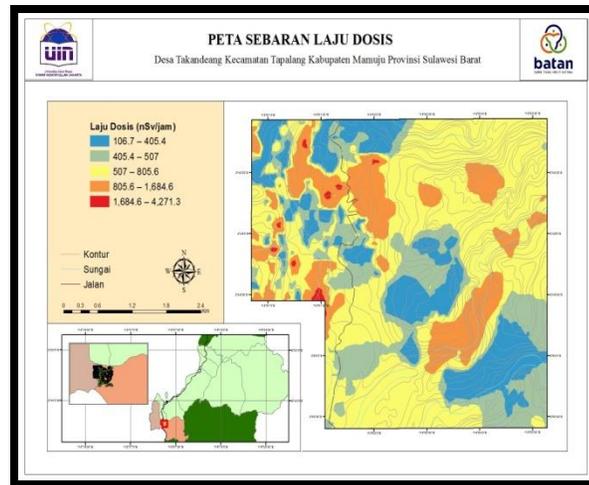
### Penentuan Nilai Ambang

Berdasarkan uji data yang sudah dilakukan dimana kedua unsur merupakan populasi data yang berdistribusi tidak normal maka penentuan nilai ambang menggunakan metode kurva probabilitas. Pada unsur uranium nilai ambang berada pada nilai 1,5 log ppm yang bernilai 31,7 ppm kadar uranium. Sedangkan, pada unsur thorium nilai ambang berada pada nilai 2,2 log ppm yang bernilai 158,5 ppm kadar thorium.

### Analisis Sebaran Laju Dosis, Uranium dan Thorium

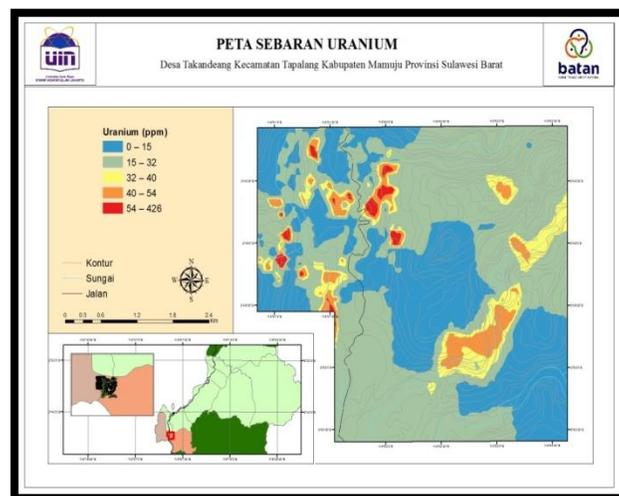
Interpolasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan metode *kriging*. Dimana, *kriging* dapat digolongkan kedalam estimasi *stochastic* dimana perhitungan secara statistik dilakukan untuk menghasilkan interpolasi (Gatot H. Pramono, 2008). Metode *kriging* sangat banyak menggunakan sistem komputer dalam perhitungan. Kecepatan perhitungan tergantung dari banyaknya sampel data yang digunakan dan cakupan dari wilayah yang diperhitungkan. Metode ini menggunakan semivariogram yang mempresentasikan perbedaan spasial dan nilai diantara semua pasangan sampel data. Jenis semivariogram pada *kriging* yang bisa

dilakukan adalah dengan cara *spherical*, *circular*, *exponential*, *gaussian*, dan *linear*. Penentuan jenis semivariogram tersebut ditentukan berdasarkan beberapa parameter diantaranya dilihat dari hasil prediksi nilai yang ditandai dengan nilai *root-mean-square standardized prediction error* mendekati 1. Jenis semivariogram yang digunakan pada data laju dosis, uranium, dan thorium yaitu *exponential*, karena model ini memberikan prediksi paling baik dengan nilai *root-mean-square standardized prediction error* mendekati satu, sebagai syarat bahwa hasil prediksi tidak bias (*unbiased*).



**GAMBAR 4.** Peta sebaran laju dosis di Desa Takandeang hasil interpolasi kriging menggunakan tipe semivariogram *exponential*.

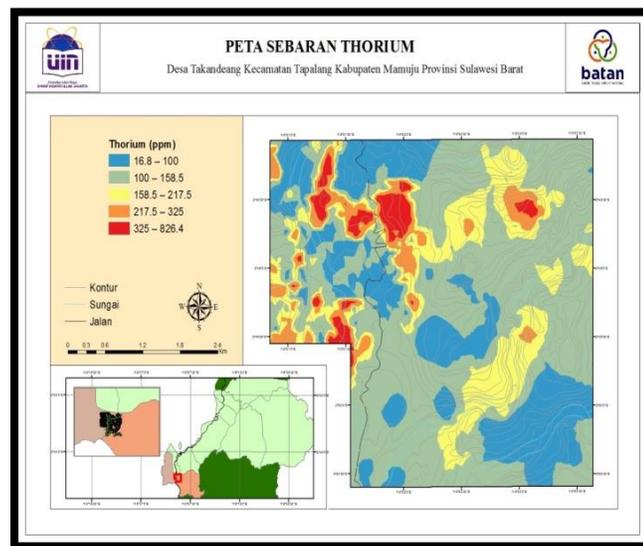
Sebaran laju dosis (Gambar 5) dapat disimpulkan bahwa Desa Takandeang, Mamuju, Sulawesi Barat memiliki nilai radioaktivitas yang tinggi. Berdasarkan hasil survei laju dosis radiasi di seluruh lintasan diketahui nilai kisaran laju dosis radiasi antara 106,7 – 4.271,3 nSv/jam. Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat unsur radioaktif yang terkandung dalam batuan. Jika kita melihat dari hasil penelitian yang dilakukan Frederikus Dian Indrastomo dkk (2015), kandungan terbesar radioaktivitas berada pada kompleks batuan gunung api Adang.



**GAMBAR 5.** Peta sebaran uranium di Desa Takandeang hasil interpolasi kriging menggunakan tipe semivariogram *exponential*.

Data unsur uranium memiliki nilai kisaran 0 - 426 ppm eU dengan nilai ambang 31,7 ppm eU, oleh karena itu pada gambar 4.4 menunjukkan warna biru dan hijau sebagai latar belakang (*background*) serta warna kuning hingga merah sebagai anomali. Nilai kisaran 32-40 ppm eU merupakan anomali rendah berwarna kuning, nilai kisaran 40-54 ppm eU merupakan anomali sedang berwarna *orange* dan 54-426 eU ppm merupakan anomali tinggi berwarna merah.

Pada peta sebaran thorium (Gambar 6) memiliki nilai kisaran 16,8 – 826,4 ppm eTh dengan nilai ambang 158,5 ppm eTh, oleh karena itu pada gambar 4.5 menunjukkan warna biru dan hijau sebagai latar belakang (*background*) serta warna kuning hingga merah sebagai anomali. Nilai kisaran 158,5-217,5 ppm eTh merupakan anomali rendah berwarna kuning, nilai kisaran 217,5 - 325 ppm eTh merupakan anomali sedang berwarna *orange* dan 325 – 826,4 eTh ppm merupakan anomali tinggi berwarna merah.



**GAMBAR 6.** Peta sebaran thorium di Desa Takandeang hasil interpolasi kriging menggunakan tipe semivariogram *exponential*.

Nilai laju dosis tinggi mencerminkan keterdapatannya unsur radioaktif yang terkandung dalam batuan, seperti uranium (U) dan thorium (Th). Pada tabel 3 menunjukkan nilai laju dosis tinggi dipengaruhi karena unsur thorium pada batuan di daerah penelitian.

**TABEL 3** Analisis nilai laju dosis dengan kadar eU dan eTh.

No.	Laju Dosis	Uranium	Thorium
1.	4.271,3 nSv/h	426 ppm	435.7 ppm
2.	3.100 nSv/h	108 ppm	723,4 ppm
3.	3.099 nSv/h	56.5 ppm	826,4 ppm

---

4.	2684,1 nSv/h	66 ppm	678,6 ppm
----	--------------	--------	-----------

---

Berdasarkan hasil yang didapatkan, batuan penyusun daerah penelitian berdasarkan peta geologi dari penelitian yang dilakukan I Gede Sukadana, dkk (2015) ialah kadar anomali uranium dan thorium tinggi (anomali) tersebar di beberapa titik pada daerah penelitian, antara lain terdapat di sekitar batuan lava Takandeang, batuan breksi dan batu gamping. Secara geologi, batuan yang berpotensi mengandung uranium adalah batuan lava dan breksi, sementara batu gamping pada umumnya tidak mengandung uranium dalam jumlah tinggi. Nilai anomali tinggi yang muncul di sebaran batu gamping kemungkinan timbul akibat distorsi nilai interpolasi. Selain itu, kemungkinan kesalahan batas batuan pada peta geologi berskala besar (1:50.000) juga dapat menyebabkan kesalahan sebaran nilai anomali dan litologi.

### KESIMPULAN

Populasi kedua unsur uranium dan thorium tidak berdistribusi normal sehingga harus menggunakan metode kurva probabilitas untuk penentuan nilai ambang. Pada data uranium memiliki nilai ambang 31,7 ppm eU dan untuk thorium memiliki nilai ambang 158,5 ppm eTh. Pada peta sebaran laju dosis di Desa Takandeang memiliki rentang nilai laju dosis 106,7-4.271,3 nSv/h. Nilai laju dosis radiasi di desa Takandeang tinggi karena keterdapatannya unsur radioaktif alami pada batuan, yaitu thorium. Anomali uranium dan thorium tinggi (anomali) tersebar di beberapa titik pada daerah penelitian, antara lain terdapat di sekitar batuan lava Takandeang, batuan breksi dan batu gamping.

### REFERENSI

- [1] Iskandar, D., Syarbaini dan Kusdiana, "Map of Environmental Gamma Dose Rate of Indonesian", PTKMR-BATAN, tidak dipublikasikan, 2007.
- [2] Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR) - BATAN, "Pemetaan Laju Dosis Radiasi Lingkungan di Daerah Biak Numfor", Laporan Internal PTKMR-BATAN, 2012.
- [3] Ratman, N. dan Atmawinata, S., "Peta Geologi Lembar Mamuju, Sulawesi", Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1993.
- [4] Hazen, R.M., Ewing, R.C., dan Sverjensky, D.A., "Evolution of Uranium and Thorium Minerals", *American Mineralogist*, **94**, 1293-1311, 2009.
- [5] Sinclair, A., "Selection of Threshold Values in Geochemical Data Using Probability Graphs. *Journal of Geochemical Exploration*, 129-149. 1974
- [6] Syaeful, H., Sukadana, I. G., Sumaryanto, A., "Radiometric Mapping for Naturally Occuring Radioactive Materials (NORM) Assessment in Mamuju, West Sulawesi, *Atom Indonesia*, **40**, 33-39, 2014.
- [7] IAEA, "Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data", International Atomic Energy Agency, IAEA Tecdoc-1363, 2003.
- [8] IAEA, "Exploitation of Different Type for U Deposits", International Atomic Energy Agency, Vienna, IAEA Tecdoc, 2000.
- [9] WIYATMO, YUSMAN., "*Fisika Nuklir*", Pustaka Pelajar, Jakarta, 2012.
- [10] SINCLAIR, A., "Selection of Threshold Values in Geochemical Data Using Probability Graphs. *Journal of Geochemical Exploration*, 129-149. 1