

ANALISIS DATA RADIOMETRI SEKTOR LEMAJUNG, KALAN, KALIMANTAN BARAT

Heri Syaeful, Suharji, Dhatu Kamajati

Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional

Jl. Lebak Bulus Raya No. 9, Pasar Jumat, Jakarta Selatan

email: syaeful@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS DATA RADIOMETRI SEKTOR LEMAJUNG, KALAN, KALIMANTAN BARAT.

Pemetaan radiometri merupakan salah satu metoda dalam eksplorasi uranium. Analisis data radiometri diperlukan untuk mendapatkan hubungan antara data hasil pengukuran di permukaan dengan data bijih uranium yang didapatkan dari pekerjaan pemboran. Hasil analisis diharapkan dapat jadi acuan dalam prediksi keberadaan bijih uranium di bawah permukaan berdasarkan data radiometri permukaan, dengan memperhatikan proses oksidasi, pelapukan, dan aliran air yang berlangsung setelah pembentukan bijih. Selain itu analisis juga bertujuan untuk menguji prosedur interpretasi log gamma (ILG). Metode yang dilakukan dalam analisis adalah pembuatan peta iso-kadar dan rasio kadar, dan mengkomparasi data permukaan dengan bawah permukaan dan data dosis radiasi dengan kadar unsur. Hasil analisis menunjukkan terdapat korelasi yang baik antara data bijih uranium di bawah permukaan dengan data kadar U, rasio U/K, dan rasio U/Th. Dalam rangka analisis kesesuaian aplikasi metoda ILG untuk mendapatkan kadar U dari data TC GR maka disimpulkan terdapat korelasi yang sangat baik antara kedua data tersebut.

Kata kunci: radiometri, eksplorasi, uranium, *gamma ray*

ABSTRACT

ANALYSIS OF RADIOMETRIC DATA OF LEMAJUNG SECTOR, KALAN, WEST

KALIMANTAN. Radiometric mapping is one of the methods in uranium exploration. Radiometric data analysis is needed to obtain the relationship between surface measurement data and uranium ore data obtained from drilling work. The result of the analysis is expected to be a reference in predicting the existence of uranium ore below the surface based on surface radiometry data, taking into account processes of oxidation, weathering, and water flow which is a modification factor after ore formation. In addition, the analysis also aims to test the gamma log interpretation procedure (ILG). Methodology applied on analysis is create the iso-grade and ratio map, and compares the surface with sub-surface data and dose rate with element grade data. The results show that there is a good correlation between uranium ore data below the surface with U, U/K, and U/Th ratio. In order to analyze the suitability of the application of the ILG method to obtain the U content of the TC GR data, it is concluded that there is a very good correlation between the two data.

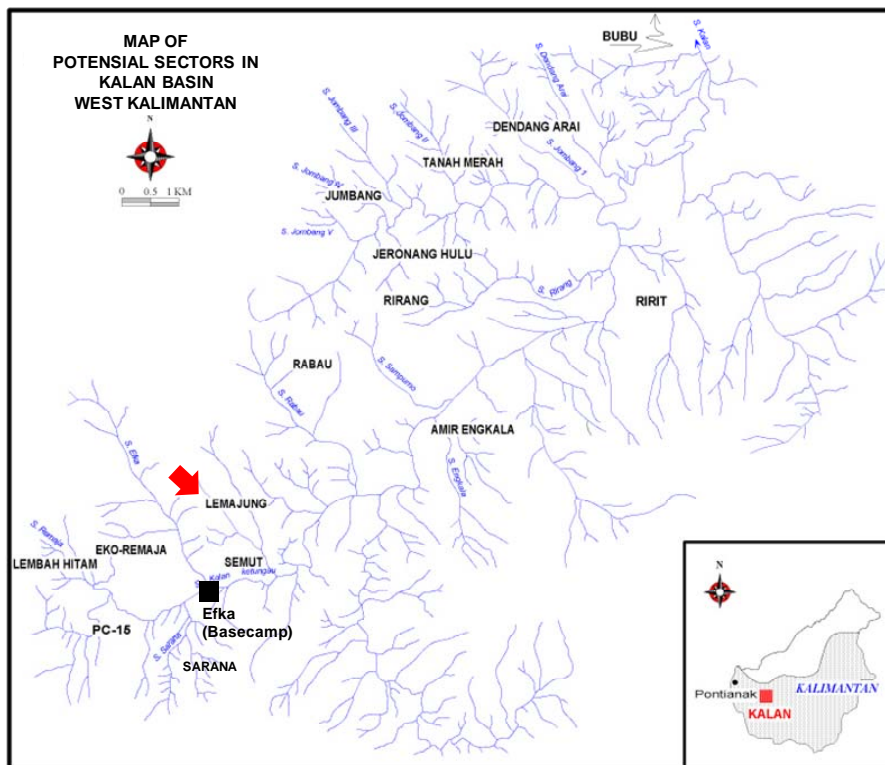
Keywords: radiometry, exploration, uranium, *gamma ray*

PENDAHULUAN

Kalan adalah salah satu daerah mineralisasi uranium (U) di Kalimantan Barat. Secara geografis daerah Kalan terletak di Lembah S. Kalan bagian hulu, merupakan cabang kiri S. Ella Ilir yang bermuara di S. Melawi dan secara administratif termasuk dalam wilayah Kecamatan Ella Ilir, Kabupaten Melawi, Kalimantan Barat. Mineralisasi uranium berupa urat mengisi fraktur, breksi tektonik, dan sekistositas batuan, terdiri dari mineral uraninit, branerit, dan davidit dan berasosiasi dengan sulfida, terdapat pada batuan metamorfik regional. Karakter mineralisasi termasuk karakter batuan induknya berbeda-beda sesuai dengan posisi geografi dan kondisi geologi setempat. Posisi geologi zona mineralisasi Kalan, terdiri dari 16 sektor yaitu: Jumbang I, Jumbang II, Jumbang III, Tanah Merah, Dendang Arai; Rabau Hulu, Jeronang Hulu, Rirang Hulu, Eko-Remaja, Lembah Hitam, Lemajung, Semut, Kalan Ketungau, Sarana, Amir Engkala, dan Tiga Dara (Gambar 1) [1].

Pada tahun 2013 dilakukan kegiatan reevaluasi sumberdaya uranium di sektor Lemajung. Kegiatan mencakup pemboran geologi, logging geofisika, pemetaan geologi/radiometri, pemodelan geologi, dan estimasi sumberdaya. Penelitian ini bertujuan

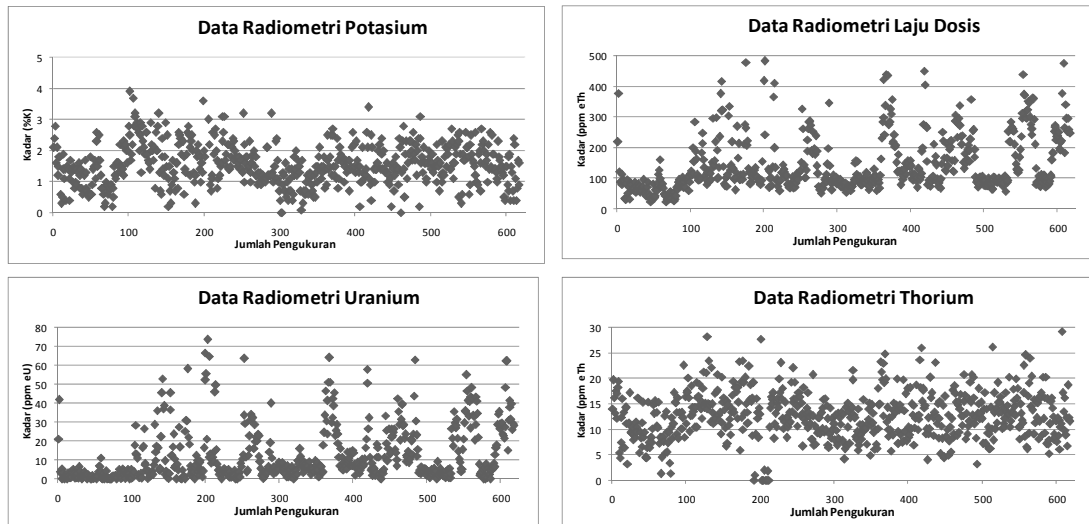
untuk mendapatkan data korelasi antara data radiometri dengan jenis satuan batuan dan area sebaran anomali, dan menganalisis korelasi antara nilai *total count gamma ray* (TC GR) atau dosis radiasi gamma dengan kadar uranium yang merupakan prinsip dasar instruksi kerja/prosedur interpretasi log gamma, yang menghasilkan data kadar uranium pada lubang bor dari konversi data log gamma.



Gambar 1. Sektor potensial di Cekungan Kalan, Kalimantan Barat

METODOLOGI

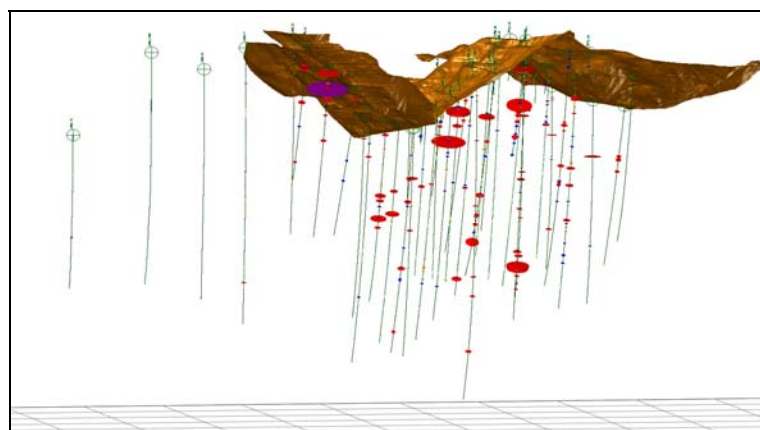
Spektrometri sinar gamma telah digunakan sejak tahun 1960an untuk eksplorasi uranium, pemetaan geologi, dan studi lingkungan. Prosedur dalam pengukuran, kalibrasi instrument dan prosesi data telah tersedia dengan sangat baik [2]. Secara prinsip metoda ini mengukur kelimpahan potassium, thorium dan uranium yang merupakan *naturally occurring radioactive materials (NORM)* di permukaan bumi [3]. Data yang digunakan adalah data hasil pengukuran *ground radiometric* menggunakan alat RS125. Pengukuran lapangan dilakukan secara acak dengan pertimbangan akses dan morfologi yang terjal. Sebaran titik-titik pengukuran diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik sebaran titik pengukuran berdasarkan kadar

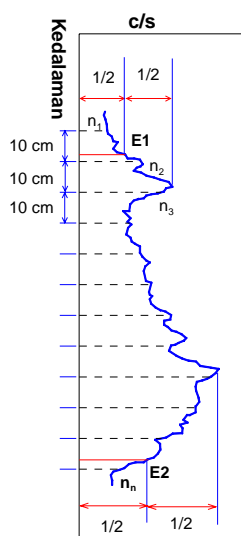
Metode yang digunakan dalam analisis terhadap data radiometri adalah:

- analisis pembuatan peta menggunakan sistem 6 dimensi, yaitu peta potassium (K), thorium (Th), uranium (U), rasio U/Th, rasio Th/K, dan rasio U/K [4]. Interpretasi dari data rasio U/Th atau Th/U dapat digunakan untuk membedakan derajat differensiasi [5]. Selain itu untuk mempelajari proses-proses geomorfologi dan pelapukan dapat dengan mengamati mobilisasi radioelemen K oleh aliran air dan pelarutan. Unsur tersebut jauh lebih mudah termobilisasi daripada U dan Th. Penentuan litologi dan alterasi yang terkait dengan mineralisasi dapat pula dilakukan [6]. Karakter dari anomali radiometrik yang berasosiasi dengan bawah permukaan dan tersingkapnya mineralisasi U bergantung pada bentuk mineralisasi U, batuan *host*, dan tatanan geologi. Beberapa kondisi batasan untuk identifikasi mineralisasi U atau batasan nilai anomali yang terdeteksi dipermukaan diantaranya konsentrasi U antara 4-20 ppm, asosiasi Th antara 5-40 ppm, rasio Th/U < 1, U/K > 5-10, dan Th/K antara 4-5 [7].
- komparasi antara hasil pengukuran radiometri di permukaan dengan keberadaan bijih di bawah permukaan yang diketahui dari hasil pemboran sebelumnya. Data hasil pemboran disajikan dalam bentuk kadar pada data *collar* (kedalaman dan kadar U) (Gambar 3).



Gambar 3. Penampang tiga dimensi menunjukkan morfologi, lubang bor dan keberadaan uranium

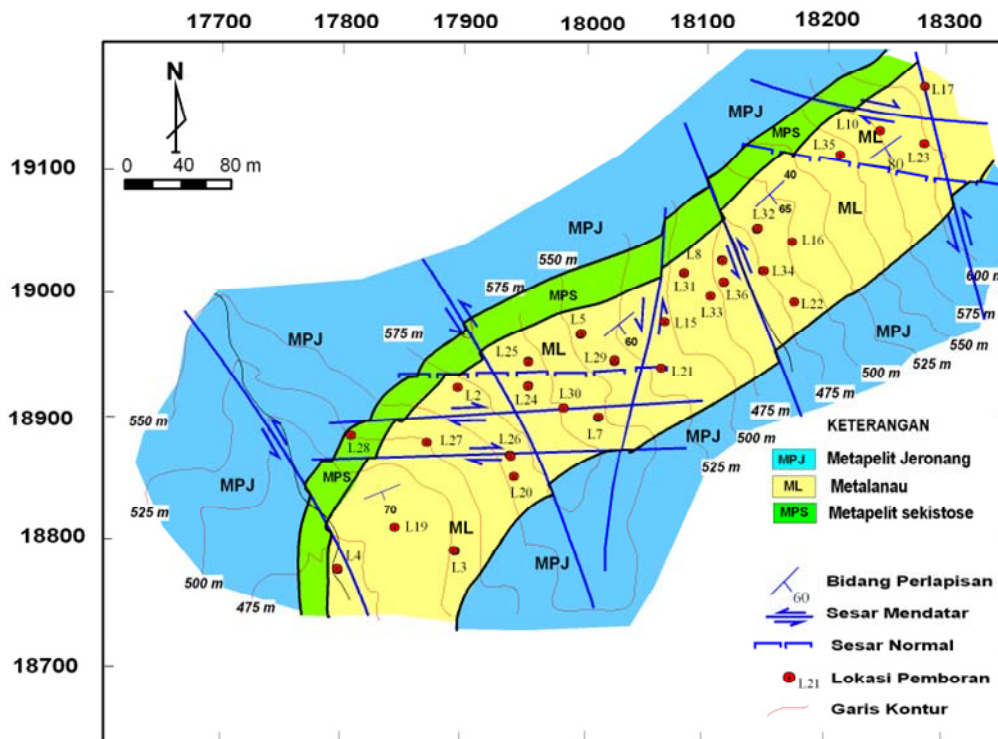
- analisis kesesuaian penerapan Interpretasi Log Gamma (ILG) atau mendapatkan data kadar uranium dari data log sinar gamma. Interpretasi log gamma (ILG) merupakan suatu metoda untuk mendapatkan data kadar uranium dari konversi nilai bacaan sinar gamma yang terbaca pada saat pengukuran logging di dalam lubang bor. Tahapan ILG dengan metoda area total yaitu menghitung ketebalan bijih dengan mengkoreksi ketebalan semu yang terbaca pada logging terhadap sudut antara bidang mineralisasi dengan lubang bor, menghitung faktor koreksi lubang bor, menghitung area terkoreksi, menghitung *apparent grade thickness*, menghitung kadar-tebal rata-rata, menghitung kadar terkoreksi, dan menghitung kadar. ILG dilakukan secara terpisah untuk masing-masing bidang mineralisasi yang terbaca pada log gamma (Gambar 4) [8]. Dalam rangka menguji kesesuaian aplikasi metoda ini di sektor Lemajung untuk mendapatkan kadar U dari nilai bacaan gamma total, maka perlu dilakukan korelasi antara data U dan data TC GR atau dosis radiasi untuk mendapatkan hubungan kesesuaian aplikasi.



Gambar 4. Interpretasi log gamma menggunakan metoda *total area* [8]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Litologi sektor Lemajung terdiri atas metapelite biotit, metapelite sekistosan, metabatulanau dan metapelite andalusit. Metapelite biotit, segar berwarna abu-abu kehijauan, lapuk abu-abu kecoklatan, ukuran butir lempung. Komposisi mineral terdiri dari feldspar, kuarsa, biotit, andalusit dan mineral opak. Metapelite sekistosan, segar berwarna abu-abu kehijauan, lapuk abu-abu kecoklatan, ukuran butir lempung. Komposisi mineral terdiri atas feldspar, serisit, kuarsa, biotit, klorit dan mineral opak. Metabatulanau, segar berwarna abu-abu, lapuk abu-abu kecoklatan, ukuran butir lanau hingga pasir halus. Komposisi mineral terdiri atas feldspar, kuarsa, andalusit, biotit dan mineral opak. Semua tipe mineralisasi tersebut hanya terdapat di lapisan favorabel (metabatulanau dan metapelite sekistosan), di lapisan steril baik metapelite andalusit maupun metapelite biotit mineralisasi tidak dijumpai (Gambar 5) [9]. Pola mineralisasi uranium dapat dikelompokkan menjadi 3 tipe, yaitu mineralisasi U yang berbentuk lensa dan berasosiasi dengan turmalin, berarah Barat-Timur dan vertikal, mineralisasi U yang menempati bidang-bidang terbuka berarah Barat-Timur miring 70° ke Utara dan sejajar S1, berasosiasi dengan kuarsa feldspatik dan pirit dengan ketebalan berkisar antara 1 cm hingga 2 m, dan mineralisasi uranium yang mengisi fraktur-fraktur terbuka berarah N $110-130^\circ$ E miring 70° ke Timur Laut hingga subvertikal.



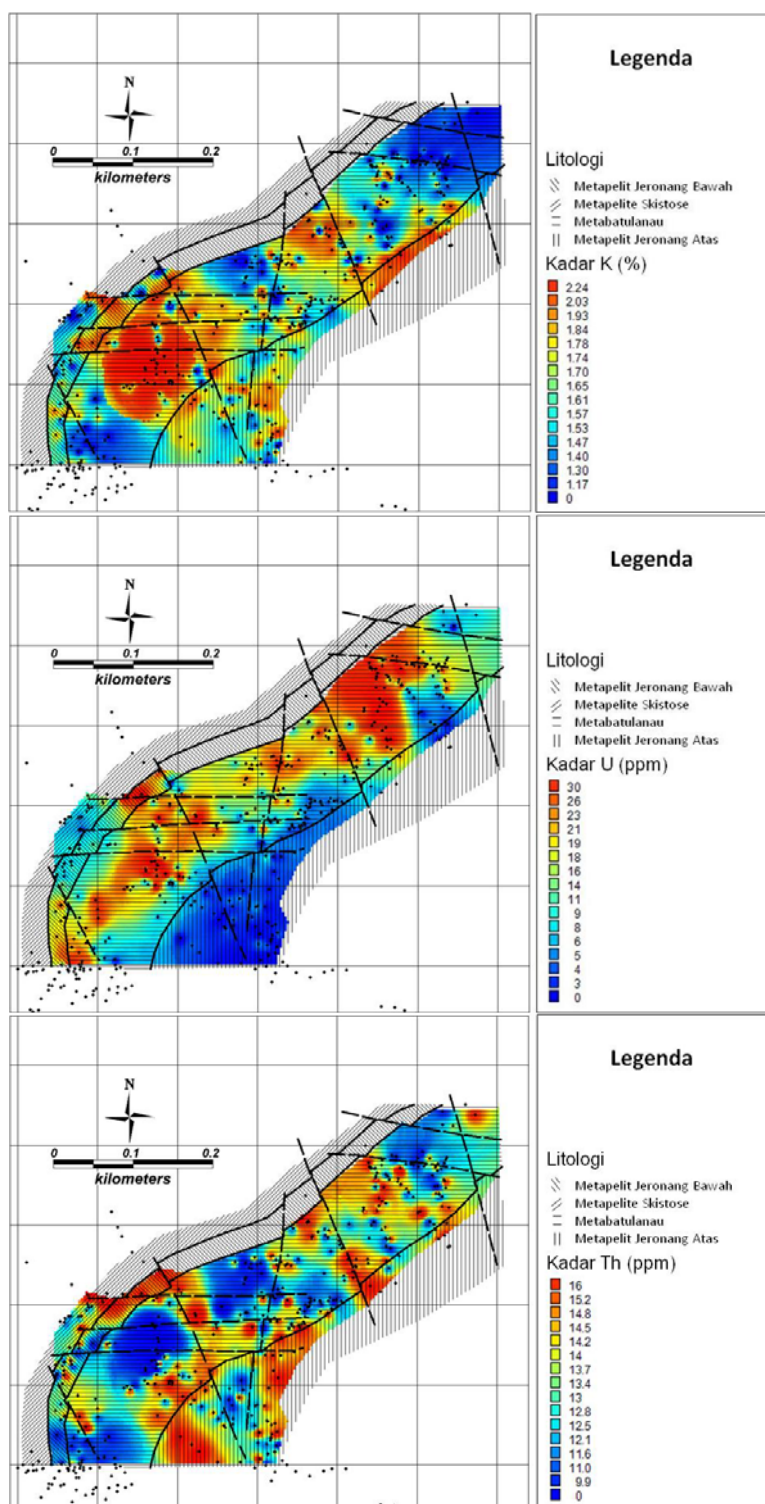
Gambar 5. Peta geologi sektor Lemajung Barat[9]

Berdasarkan hasil pengukuran lapangan didapatkan variasi harga K, U, Th, dan dosis radiasi (Tabel 1). Kadar U tinggi terukur di sekitar daerah yang teramati merupakan bijih uranium. Beberapa bukaan paritan yang telah dilakukan memberikan visual yang sangat jelas terhadap bentuk dan arah bijih uranium yang tersingkap. Kadar maksimum U berada pada nilai 1370 ppm.

Tabel 1. Variasi harga

| | K (%) | U (ppm) | Th (ppm) | Dosis Radiasi (nSv/th) |
|-----------------|-------|---------|----------|------------------------|
| Minimum | 0 | 0 | 2,7 | 50,9 |
| Maksimum | 11 | 1.370 | 144,4 | 9.653 |
| Rata-rata | 1,5 | 27,34 | 14,82 | 251,68 |
| Standar deviasi | 0,86 | 82,39 | 9,35 | 575,37 |

Pembuatan peta radiometri dilakukan dengan menggunakan metoda *inverse distance*. Sebelumnya dilakukan iterasi terlebih dahulu untuk menentukan besaran grid dan radius pengaruh agar hasil peta radiometri mendekati kondisi lapangan. Ukuran grid ditentukan sebesar 3 m, dan jarak pengaruh sebesar 250 m dengan menggunakan teknik rata-rata. Selanjutnya *overlay* dilakukan dengan peta geologi agar diketahui hubungan antara jenis litologi dan kadar radionuklida. Pada peta radiometri K didapatkan anomali pada daerah tengah-barat daya, lokasi berada pada lereng yang terjal dengan kemiringan berkisar 45°. Beberapa hipotesa pada daerah anomali tersebut diantaranya adalah hubungan dengan alterasi potasik yang menyebabkan nilai K dapat mencapai 11%. Pada lokasi tersebut nilai kadar U sangat tinggi mencapai 1370 ppm dan kadar Th 144,4 ppm. Berdasarkan kondisi ini diperkirakan terjadi alterasi pada kondisi tekanan dan suhu yang cukup tinggi yang menyebabkan radionuklida K, U, dan Th dapat terakumulasi pada satu tubuh bijih (Gambar 6).



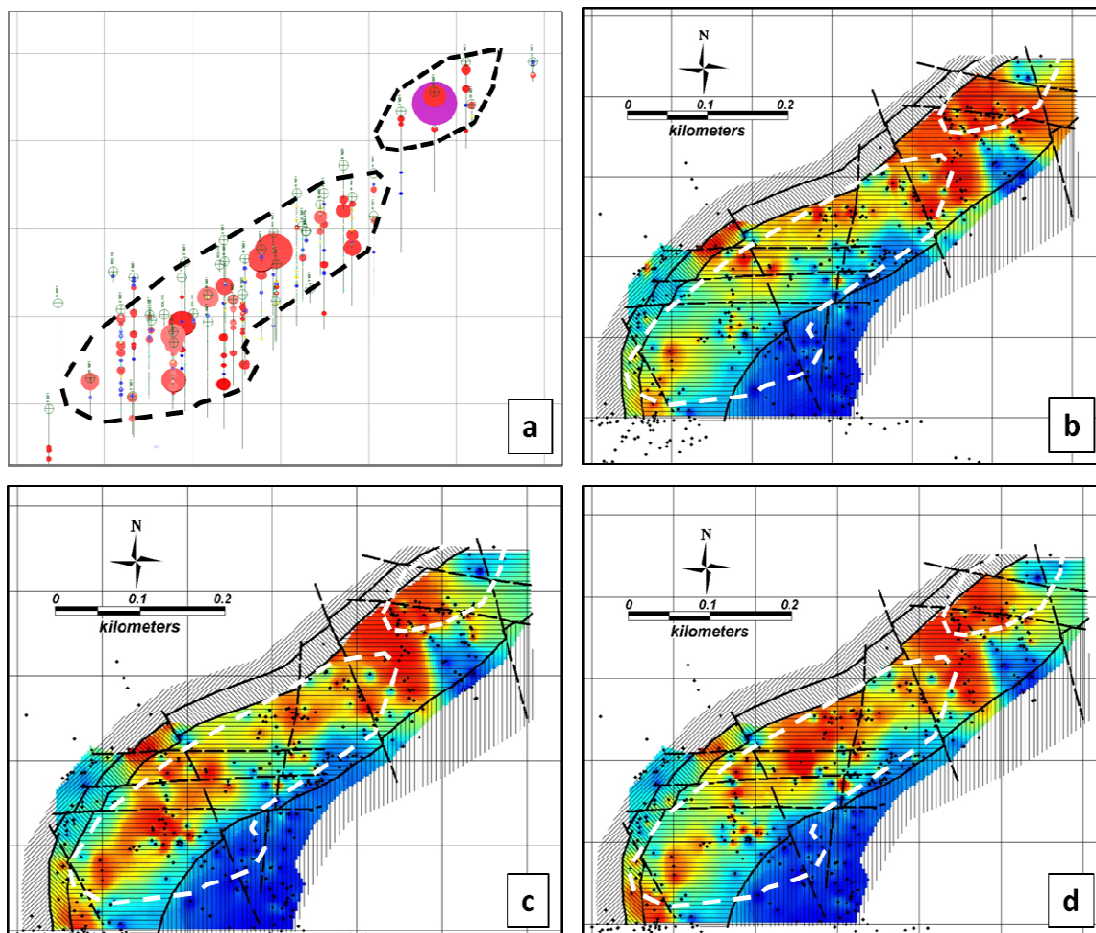
Gambar 6. Peta radiometri K, U, dan Th

Analisis rasio dan teknik pengolahan statistik dapat meningkatkan indikasi anomali. Khusus pada metoda rasio, endapan polimetalik (Au-Co-Cu-Bi-W-As) Sue-Dianne di Kanada yang berjarak 20 km di bagian utara dari sistem hidrotermal, ditemukan pertama kali dengan metoda rasio U/Th pada saat survey regional tahun 1974. Endapan uranium di sekitar sistem hidrotermal berhubungan dengan beberapa urat *pitchblende*. Di La Libertad-Nikaragua, sebaran urat epitermal kuarsa pada lava basaltik berumur Tersier memiliki pola peningkatan konsentrasi K, rasio Th/K dan rasio K U/Th mendekati urat mineralisasi emas

[2]. Di daerah Mamuju, Sulawesi Barat peta rasio U/K digunakan sebagai *targeting area* program eksplorasi lanjutan dihubungkan dengan proses alterasi dan pengendapan uranium [3].

Pembuatan peta rasio di lokasi penelitian untuk memprediksi proses-proses yang terjadi pada saat mineralisasi terutama berhubungan dengan migrasi fluida yang terjadi pada saat metamorfisme regional. Suhu pembentukan mineralisasi di sektor Lemajung yang berada satu jalur dengan sektor Lembah Hitam dan Remaja, berdasarkan data suhu pembentukan bijih berkisar antara 260-270°C [1]. Bidang mineralisasi menunjukkan kontrol litologi dan tektonik, pada batuan yang paling halus (metapelit) bidang mineralisasi mempunyai arah relatif yang tidak berbeda dengan arah jurus sekistosisitas, sedangkan pada metabatulanau yang lebih massif bidang mineralisasi mengikuti bidang rekahan tertentu yang arah jurusnya menyudut cukup besar terhadap arah jurus bidang sekistosisitas atau bidang perlapisan, bentuk yang pada umumnya berbentuk breksi mineralisasi [10].

Sebagai pembandingan untuk prediksi data permukaan dan data bawah permukaan adalah data lubang bor dan kadar uranium yang mencerminkan terdapatnya lokasi bijih (Gambar 7a). Data bijih uranium tersebut terdapat pada kedalaman 0-300 m. Overlay area bijih dilakukan untuk mendapatkan komparasi spasial terhadap data permukaan radiometri. Perbandingan dengan peta rasio U/K mendapatkan gambaran kesesuaian kadar tinggi yang terdapat di bagian timur laut (warna ungu), sedangkan di bagian tengah sampai barat daya anomali rasio U/K tidak merefleksikan keberadaan bijih di bawah permukaan (Gambar 7b). Perbandingan dengan data kadar uranium mencerminkan anomali permukaan untuk bijih yang berada di bagian barat daya, sedangkan di timur laut tidak mencerminkan anomali permukaan (Gamber 7c). Perbandingan dengan data rasio U/Th mencerminkan korelasi dengan data bawah permukaan untuk anomali di bagian tengah, sedangkan di bagian lainnya tidak mencerminkan korelasi.

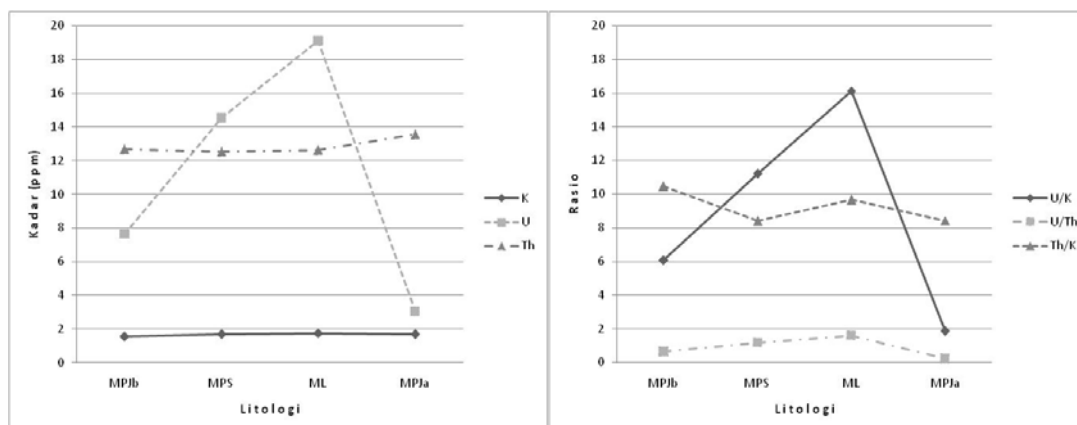


Gambar 7. (a) Peta proyeksi lubang bor dan kadar uranium dipermukaan, (b) Peta rasio kadar U/K, (c) Peta radiometri U, dan (d) Peta rasio kadar U/Th

Dalam rangka mendapatkan hubungan antara data radiometri dan jenis litologi dilakukan analisis statistik dasar. Analisis mencakup nilai minimum, maksimum, rata-rata, dan standar deviasi. Data statistik rata-rata ditampilkan pada Tabel 2. Berdasarkan hubungan data radiometri dan rasio radionuklida untuk masing-masing jenis litologi diketahui untuk kandungan K tidak terdapat perbedaan pada litologi yang berbeda, begitupun untuk kandungan Th, sedangkan kandungan U terdapat perbedaan signifikan dimana rata-rata kadar untuk Metapelit Jeronang Bawah (MPJb) sebesar 7,64 ppm dan Metapelit Jeronang Atas sebesar 3,04 ppm. Kedua batuan tersebut merupakan batuan steril dimana bijih uranium tidak pernah ditemukan. Sedangkan pada batuan Metapelit sekistosan dan Metabatulanau yang merupakan batuan favorabel keterdapatan uranium, kadar uranium mencapai 14,52 ppm dan 19,10 ppm secara berurutan (Gambar 8a). Berdasarkan hubungan data rasio, anomali ditemukan secara kontras pada rasio U/K dan U/Th (Gambar 8b).

Tabel 2. Data statistik kadar dan rasio radionuklida berdasarkan jenis litologi

| Litologi | K | U | Th | U/K | U/Th | Th/K |
|----------|------|-------|-------|-------|------|-------|
| MPJb | 1,56 | 7,64 | 12,67 | 6,05 | 0,65 | 10,44 |
| MPS | 1,69 | 14,52 | 12,53 | 11,20 | 1,18 | 8,39 |
| ML | 1,76 | 19,10 | 12,61 | 16,13 | 1,60 | 9,67 |
| MPJa | 1,7 | 3,04 | 13,56 | 1,86 | 0,24 | 8,43 |



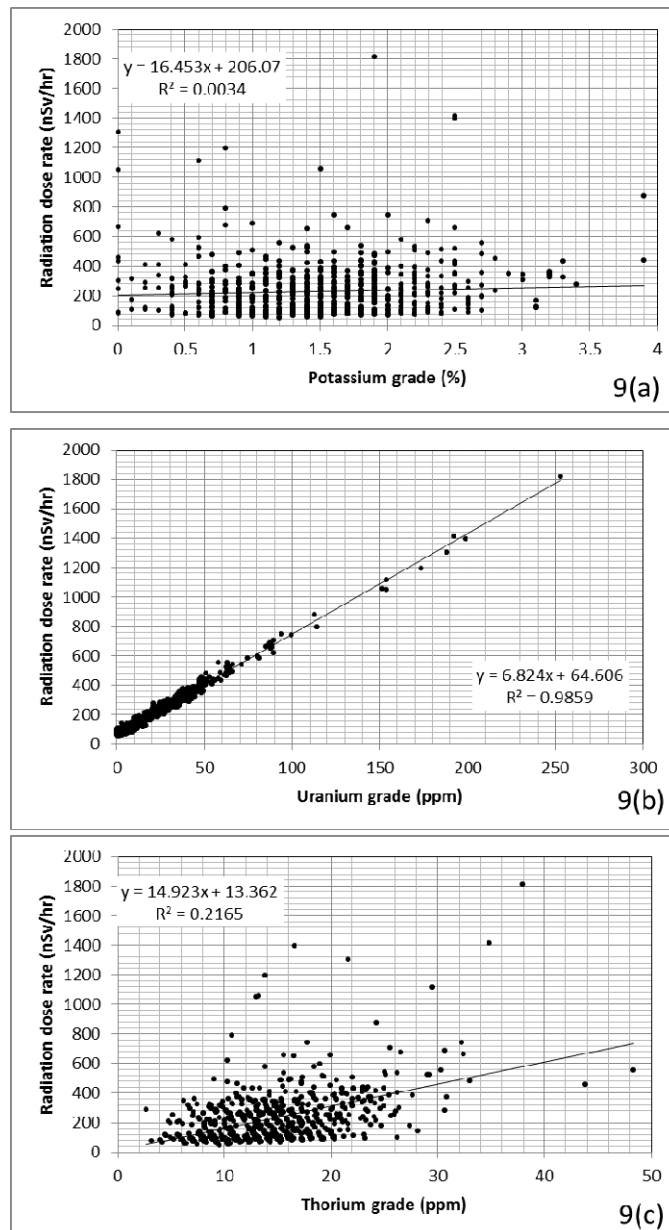
Gambar 8. (a) Kadar K, U, dan Th dan (b) Rasio kadar U/K, U/Th dan Th/K, pada masing-masing jenis litologi.

Data assay atau kadar dari bidang mineralisasi untuk pemodelan dan estimasi sumberdaya uranium didapatkan dari konversi data logging *gamma-ray*. Di industri pertambangan uranium, logging lubang bor merupakan metode dasar pada eksplorasi dan delineasi endapan uranium. Logging *gamma-ray* merupakan teknik paling efektif untuk mendelineasi mineralisasi uranium dan mengestimasi kadar bijih uranium. Pengukuran logging *gamma-ray* pada lubang bor dilakukan dengan alat Mountsopris MGX-II.

Kadar uranium untuk pemodelan dan estimasi sumberdaya didapatkan dari data TC GR, menggunakan metoda interpretasi log gamma (ILG). Tahapan ILG dengan metoda *total area* yaitu menghitung ketebalan bijih dengan mengkoreksi ketebalan semu yang terbaca pada logging terhadap sudut antara bidang mineralisasi dengan lubang bor, menghitung faktor koreksi lubang bor, menghitung area terkoreksi, menghitung *apparent grade thickness*, menghitung kadar-tebal rata-rata, menghitung kadar terkoreksi, dan menghitung kadar [8]. ILG dilakukan secara terpisah untuk masing-masing bidang mineralisasi yang terbaca pada log gamma, dan digunakan untuk menyusun basis data *collar* yang merupakan tahap awal dalam pemodelan dan estimasi sumber daya [11][12][13].

Asumsi dasar dalam mendapatkan data kadar U dari TC GR adalah terdapat hubungan yang linear antara keduanya dan unsur radioaktif lainnya (K dan Th) tidak berkontribusi tinggi terhadap bacaan total. Dalam rangka mengetahui kesesuaian korelasi antara TC GR (diwakili dengan data dosis radiasi) dengan data K, U, dan Th maka perlu

dilakukan analisis korelasi linearitas. Hasil analisis memperlihatkan korelasi linear yang sangat rendah antara K dan dosis radiasi sebesar 0,003, atau dengan kata lain kedua parameter tidak berkorelasi (Gambar 9a). Korelasi linear yang tinggi terdapat antara U dan dosis radiasi sebesar 0,985 (Gambar 9b), atau didalam bijih terdapat hubungan yang relatif konstan antara peningkatan kadar U dengan peningkatan dosis radiasi. Korelasi linear antara Th dan dosis radiasi sangat rendah sebesar 0,236, atau tidak terdapat korelasi yang konstan antara kedua parameter (Gambar 9c). Berdasarkan hal tersebut maka data dosis radiasi atau TC GR sesuai untuk digunakan untuk mendapatkan data kadar U di lokasi penelitian.



Gambar 9. (a) Korelasi kadar K dan *dose rate*, (b) korelasi kadar U dan *dose rate*, dan (c) korelasi kadar Th dan *dose rate*.

KESIMPULAN

Pengolahan dan analisis data radiometri menggunakan metoda 6 dimensi yaitu peta potassium (K), Thorium (Th), uranium (U), rasio U/Th, rasio Th/K, dan rasio U/K sesuai untuk diaplikasikan pada eksplorasi uranium. Korelasi antara data bijih uranium dibawah

permukaan dengan hasil pemetaan radiometri permukaan di Sektor Lemajung menunjukkan korelasi yang baik dengan peta kadar U, peta rasio U/K, dan rasio U/Th. Peta-peta tersebut dapat digunakan sebagai prediktor yang baik untuk menentukan target pemboran di bawah permukaan. Berdasarkan jenis litologi kadar U, rasio U/K, dan rasio U/Th di batuan metapelit sekistosan (MPS) dan metabatuanau (ML) memiliki kontras yang baik dibandingkan pada batuan metapelit Jeronang bawah (MPJb) dan metapelit Jeronang atas (MPJa). Dalam rangka analisis kesesuaian aplikasi metoda ILG untuk mendapatkan kadar U dari data TC GR maka terdapat korelasi yang sangat baik antara kedua data tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis ucapkan kepada Kepala Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir (PTBGN) – BATAN, dan rekan-rekan di fasilitas instalasi nuklir Kalan yang telah membantu selama pekerjaan pendataan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Tjokrokardono, B. Sutopo, L. Subiantoro, and K. Setiawan, "Geologi dan Mineralisasi Uranium Kalan, Kalimantan Barat," in *Kumpulan Laporan Hasil Penelitian Tahun 2005*, 2005, pp. 27–52.
- [2] International Atomic Energy Agency (IAEA), *Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data*, no. July. 2003.
- [3] H. Syaeful, I. G. Sukadana, and A. Sumaryanto, "Radiometric Mapping for Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) Assessment in Mamuju, West Sulawesi," *Atom Indones.*, vol. 40, no. 1, pp. 33–39, 2014.
- [4] J. R. Harris, "Clustering of gamma ray spectrometer data using a computer image analysis system.," 1989.
- [5] B. L. Dickson and K. M. Scott, "Interpretation of aerial gamma ray surveys-adding the geochemical factors," *AGSO J. Aust. Geol. Geophys.*, vol. 17, no. 2, pp. 187–200, 1997.
- [6] P. G. Killeen, C. J. Mwenifumbo, and K. L. Ford, "Tools and Techniques: Radiometric Methods," in *Treatise on Geophysics*, Elsevier B.V., 2015, pp. 447–524.
- [7] A.I. Krosnov, *Geophysical airborne methods of uranium deposits prognostication (in Russian)*. 1980.
- [8] Suharji and Slamet, "Instruksi Kerja Interpretasi Log Gamma." Pusat Pengembangan Geologi Nuklir, Jakarta, p. 10, 2008.
- [9] Ngadenin and P. Sularto, "Evaluasi Model Struktur Geologi dan Pola Mineralisasi Uranium Sektor Lemajung Barat, Cekungan Kalan, Kalimantan Barat," in *Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir V*, 2000, pp. 41–53.
- [10] H. S. Karyono, "Analisis Kontrol Tektonik pada Vein Mineralisasi di Bukit Eko, Kalan, Kalimantan Barat," in *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan ke-2 IAGI*, 1991, pp. 115–128.
- [11] A. G. Muhammad and B. Soetopo, "Pemodelan dan Estimasi Sumber Daya Uranium di Sektor Lembah Hitam, Kalan, Kalimantan Barat," *Eksplorium*, vol. 37, no. 1, pp. 1–12, 2016.
- [12] Suharji, "Re-evaluasi Sumber Daya Uranium di Sektor Semut, Kalan, Kalimantan Barat," in *Prosiding Seminar Nasional Geologi Nuklir dan Sumber Daya Tambang Tahun 2014*, 2014, pp. 35–50.
- [13] H. Syaeful, Suharji, and A. Sumaryanto, "Pemodelan Geologi dan Estimasi Sumber Daya Uranium di Sektor Lemajung, Kalan, Kalimantan Barat," in *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir Tahun 2014*, 2014, pp. 329–342.