

## Identifikasi Pola Struktur Geologi Sebagai Pengontrol Sebaran Mineral Radioaktif Berdasarkan Kelurusan pada Citra Landsat-8 di Mamuju, Sulawesi Barat

### *Identification of Geological Structure Pattern as Radioactive Minerals Distribution Control Based on Landsat-8 Imagery Lineaments in Mamuju, Sulawesi Barat*

Frederikus Dian Indrastomo\*, I Gde Sukadana, Suharji

Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir-BATAN, Jl. Lebak Bulus Raya No.9, Ps. Jumat, Jakarta, Indonesia, 12440

\*E-mail: indrastomo@batan.go.id

Naskah diterima: 6 November 2017, direvisi: 20 November 2017, disetujui: 30 November 2017

DOI: <https://doi.org/10.17146/eksplorium.2017.38.2.3874>

#### ABSTRAK

Daerah Mamuju dan sekitarnya tersusun atas batuan gunung api dengan komposisi mineral mengandung unsur radioaktif seperti uranium (U) dan thorium (Th). Konsentrasi unsur radioaktif di daerah ini mencapai 1.529 ppm eU dan 817 ppm eTh. Mineral-mineral radioaktif yang teridentifikasi terdiri dari *thorianite*,  *davidite*, *gummite*, dan *autunite*. Aktivitas tektonika kemunculan gunung api menyebabkan terbentuknya struktur-struktur geologi yang mengontrol pembentukan kompleks gunung api dan mineralisasi U-Th di daerah tersebut. Identifikasi struktur geologi regional dan rinci di lapangan sangat sulit dilakukan karena vegetasi yang lebat dan tingkat pelapukan yang tinggi. Kelurusan hasil interpretasi dari citra Landsat-8 merupakan manifestasi keberadaan struktur geologi yang mengontrol keberadaan U dan Th. Analisis kelurusan punggung bukit menggunakan formula Sastratenaya digunakan untuk mengetahui umur dan kronologi kelurusan yang terbentuk. Pengukuran laju dosis di daerah penelitian menunjukkan kecenderungan arah sebaran anomali radioaktivitas berarah tenggara–baratlaut. Hasil analisis menggunakan formula Sastratenaya menunjukkan bahwa struktur yang terbentuk adalah struktur berumur relatif tua dan memiliki arah dominan tenggara–baratlaut (N 140–150° E). Berdasarkan interpretasi kelurusan, arah dominan memiliki kemiripan dengan arah sebaran gunung api dan sebaran radioaktivitas. Struktur yang mengontrol pembentukan gunung api dan terkait dengan mineralisasi U dan Th secara umum merupakan struktur berarah tenggara–baratlaut dan terbentuk bersamaan dengan proses mineralisasi U dan Th.

**Kata kunci:** uranium, thorium, struktur geologi, kelurusan, formula Sastratenaya, landsat-8

#### ABSTRACT

*Mamuju area and its surrounding are composed of volcanic rock containing uranium (U) and thorium (Th) elements. Radioelement concentrations in the area reach 1,529 ppm eU and 817 ppm eTh. Radioactive minerals identified in the area are thorianite, davidite, gummite, and autunite. The geological structures were formed by tectonic activities which controlled the creation of volcanic complex and U-Th mineralization in the complex. Identification of geological structure in the field is very difficult due to densely vegetation and highly degree of weathering. The interpreted lineaments from Landsat-8 imagery are the manifestation of geological structures which have controlled the existence of U and Th. Lineaments analysis using Sastratenaya formula is used to obtain the relative age and chronologies of the lineaments. Dose rate measurements in the area show the trend of radioactivity anomalies are trending northwest–southeast. The Sastratenaya formula results the formed structures are relatively older and dominantly directing northwest–southeast (N 140°–150° E). Based on the lineament interpretation, the dominant direction has similarity with volcanic and radioactivity distribution.*

*Structures which controlling the volcanic formation and related to U and Th mineralization generally are the northwest–southeast trending structures, which were created along with U and Th mineralization.*

**Keywords:** *uranium, thorium, geological structure, lineament, Sastratenaya formula, Landsat-8*

## **PENDAHULUAN**

Penelitian sumber daya mineral radioaktif di daerah Mamuju dan sekitarnya telah dilakukan sejak tahun 2013. Penelitian ini merupakan tindak lanjut dari hasil pengukuran radioaktivitas lingkungan yang menunjukkan nilai radiometri cukup tinggi, yaitu mencapai 2.800 nSv/jam [1]. Nilai radiometri tinggi ini berasal dari material alamiah yang mengandung bahan radioaktif, disebut juga sebagai *Naturally Occurring Radioactive Materials* (NORM). Sumber NORM di Mamuju telah diidentifikasi berasal dari sebaran batuan gunung api Adang dengan konsentrasi mencapai 1.529 ppm eU dan 817 ppm eTh [2]. Nilai tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kadar normal di dalam kerak bumi sebesar 3 ppm U [3] dan 12 ppm Th [4].

Secara geologi, daerah Mamuju disusun oleh batuan gunung api Adang (Tma), batuan gunung api Talaya (Tmt), batugamping Formasi Mamuju (Tmm), batugamping Anggota Tapalang Formasi Mamuju (Tmmt), dan endapan aluvium (Qa) [5]. Aktivitas gunung api purba mengontrol pembentukan morfologi berupa perbukitan. Ini terlihat dari adanya beberapa pusat erupsi gunung api yang teridentifikasi dari citra satelit [6]. Komposisi batuan gunung api di Mamuju, terutama di daerah dengan nilai radiometri tinggi didominasi oleh batuan *thephrite*, *tephriphonolite*, *phonotephrite*, dan *phonolite*. Batuan-batuan tersebut berkomposisi ultrapotasik yang terbentuk pada tataan tektonik benua aktif dengan kerak benua mikro blok Sulawesi [7]. Beberapa mineral radioaktif yang ditemukan terkait dengan

keberadaan batuan ultrapotasik tersebut, diantaranya  *davidite*, *thorianite*, *gummite*, dan *autunite* [8]. Keterdapatannya mineral radioaktif di daerah Mamuju dikontrol oleh tiga hal, yaitu litologi, struktur geologi, dan proses hidrotermal [7]. Kontrol litologi dan proses hidrotermal dapat diketahui dengan cara melakukan pemetaan geologi rinci serta pengamatan alterasi dan mineralisasi. Analisis komponen struktur geologi secara regional maupun detail sangat sulit dilakukan di lapangan. Hal ini disebabkan oleh tingginya tingkat pelapukan dan vegetasi yang sangat lebat sehingga sangat sulit mendapatkan singkapan pada daerah punggung struktur geologi yang jelas. Untuk mengetahui pola struktur geologi regional diperlukan metode tidak langsung untuk mengidentifikasi pola kelurusan dominan.

Analisis kelurusan morfologi menggunakan data citra satelit untuk menemukan deposit mineral berharga seperti emas yang dikontrol oleh keberadaan struktur telah banyak dilakukan. Pemanfaatan data citra satelit sangat membantu untuk daerah yang memiliki data geologi permukaan terbatas. Beberapa peneliti telah mengidentifikasi suatu mineralisasi logam yang dikontrol oleh sesar menggunakan pendekatan kelurusan morfologi pada citra Landsat-7 [9,10].

Pembentukan morfologi perbukitan dengan sudut lereng curam di daerah Mamuju dan sekitarnya dipengaruhi oleh adanya aktivitas gunung api purba dan struktur geologi. Hal ini menyebabkan kesulitan di dalam pengambilan data sehingga

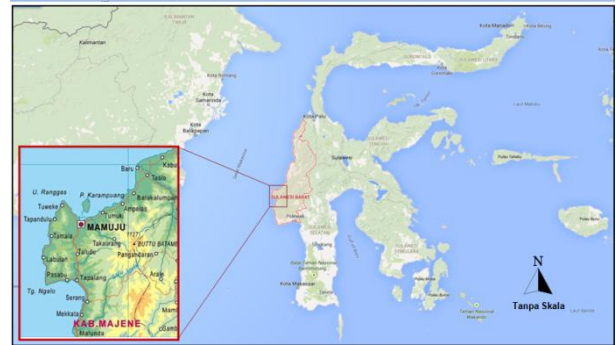
penggunaan citra satelit akan sangat membantu di dalam interpretasi data.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui arah dominan kelurusan serta umur relatif struktur yang mempengaruhinya. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui hubungan antara sistem kelurusan tersebut dengan pembentukan gunung api dan mineralisasi U-Th di daerah Mamuju dan sekitarnya. Hasil analisis ini diharapkan dapat dipakai sebagai salah satu acuan dalam menganalisis sebaran mineral radioaktif menggunakan metode serupa di daerah yang memiliki kemiripan kondisi geologi dengan daerah Mamuju.

## METODOLOGI

Lokasi penelitian secara administratif terletak di Kabupaten Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat (Gambar 1). Luas daerah penelitian mencakup area seluas kurang lebih 800 km<sup>2</sup>.

Secara regional struktur geologi menunjukkan kecenderungan arah umum timurlaut–baratdaya dan baratlaut–tenggara [5]. Untuk mendapatkan gambaran struktur geologi lebih rinci maka dilakukan analisis struktur geologi daerah penelitian. Analisis struktur geologi dilakukan dengan menggunakan citra Landsat-8 dan pengukuran data struktur geologi di lapangan. Citra yang digunakan merupakan citra yang diakuisisi pada tanggal 23 Juli 2013, level 1T berkode lokasi *WRS-Path* = 115 dan *WRS-Row* = 62. Citra Landsat-8 merupakan citra yang dikembangkan oleh *United States Geological Survey* (USGS) dan *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) untuk keperluan eksplorasi sumber daya yang terdiri dari empat saluran tampak, lima saluran infra merah, satu saluran pankromatik, dan satu saluran awan *cirrus* [11].



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian terletak di Kabupaten Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat.

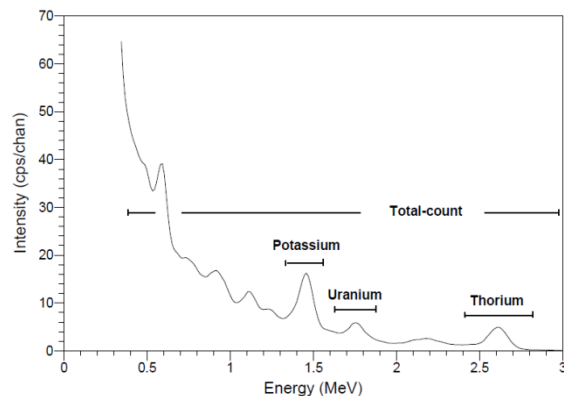
Analisis dilakukan dengan cara menginterpretasi kelurusan-kelurusan pada morfologi punggung yang terekam pada citra. Pemilihan kelurusan punggung karena merupakan cerminan pengaruh struktur dan resistensi batuan terhadap proses eksogenik. Untuk memudahkan penarikan garis-garis kelurusan maka citra Landsat-8 dikomposit dengan saluran 5, 6, 7 (R, G, B) dan ditajamkan menggunakan saluran pankromatik. Selain itu, teknik filter citra dapat digunakan untuk membantu menarik kelurusan punggung bukit dan lembah. Salah satu filter yang digunakan adalah filter sobel, baik secara horisontal maupun vertikal [12,13].

Penarikan kelurusan morfologi pada punggung bukit bertujuan untuk mengetahui keterkaitannya dengan struktur geologi yang berkembang. Garis-garis kelurusan yang diinterpretasi pada citra kemudian dianalisis menggunakan pendekatan formula Sastretenaya. Metode ini dikombinasikan dengan fitur kelurusan panjang yang dapat diidentifikasi pada citra Landsat-8 yang diyakini sebagai sesar utama di daerah penelitian. Formula tersebut dirumuskan menggunakan persamaan [12]:

$$Q = \frac{\text{Panjang Kumulatif (\%)}}{\text{Frekuensi Relatif (\%)}} = \frac{PK}{FR}$$

Untuk suatu kelas arah, bila  $Q < 1$  maka mencerminkan suatu sistem kelurusan relatif tua. Sementara bila  $Q > 1$  maka mencerminkan suatu sistem kelurusan relatif muda. Arah-arrah kelurusan dominan ditentukan berdasarkan pada jumlah persentase Panjang Kumulatif (PK) dan Frekuensi Relatif (FR). Semakin besar nilainya maka semakin dominan. Harga PK dan FR sebaiknya di atas harga rerata. Bila rentang nilai  $Q$  berada di rentang 0,9–1,1 maka kelurusan yang terbentuk merupakan akibat dari reaktivasi sesar. Formula ini efektif untuk mengidentifikasi tidak hanya sesar-sesar regional tetapi juga kronologi pembentukannya [14]. Hasil analisis pada kelurusan morfologi akan menentukan apakah kelurusan tersebut terkait dengan sesar yang berumur tua atau sesar yang berumur muda. Selain pengukuran struktur geologi, juga dilakukan pengukuran radioaktivitas batuan dan tanah di daerah penelitian.

Pengukuran radioaktivitas tanah/batuan secara regional di daerah Mamuju menggunakan peralatan spektrometer gamma RS-125. Spektrometer ini mengukur nilai laju dosis, kadar kalium (K), U, dan Th berdasarkan jendela standar energi yang telah ditetapkan (Gambar 2), yaitu 1,460 MeV untuk kalium ( $^{40}\text{K}$ ), 1,765 MeV untuk bismuth ( $^{214}\text{Bi}$ ), dan 2,614 MeV untuk thalium ( $^{208}\text{Tl}$ ). Energi standar pada  $^{214}\text{Bi}$  dan  $^{208}\text{Tl}$  secara berurutan digunakan untuk mengestimasi kadar U dan Th [15]. Pengukuran radioaktivitas dilakukan pada daerah yang mudah dijangkau oleh orang, baik dengan menggunakan kendaraan maupun berjalan kaki. Pengukuran pada daerah dengan nilai radioaktivitas tinggi dilakukan lebih rapat sehingga diketahui pola sebaran anomali radioaktivitasnya dengan resolusi yang tinggi.



Gambar 2. Jendela spektrum sinar gamma dari  $^{40}\text{K}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ , dan  $^{210}\text{Tl}$  yang digunakan untuk mengukur kadar K, U, dan Th [15].

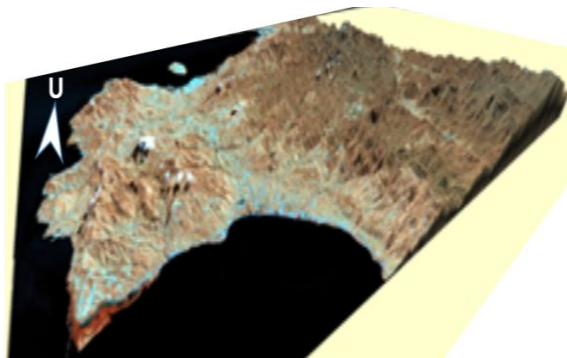
Hasil pengukuran radioaktivitas batuan dan tanah yang selanjutnya dibandingkan dengan sebaran data radiometri regional yang telah diukur di daerah tersebut. Analisis terpadu kedua data tersebut digunakan untuk mengetahui arah struktur yang mengontrol penyebaran mineralisasi U dan Th di daerah Mamuju.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan geologi di lapangan menunjukkan batuan gunung api berkomposisi ultrapotasik dicirikan oleh adanya mineral leusit di dalam batuan. Secara geokimia, batuan tersebut dikategorikan sebagai batuan kelompok *phonolite* [7]. Batuan ini tersebar di daerah Pangasaan, Botteng, Takandeang, Ahu, sampai ke daerah Taan. Mineral radioaktif yang teridentifikasi dari pengamatan di lapangan merupakan mineral sekunder *gummite* dan *autinite* yang terakumulasi di dalam pori batuan dan sistem frakturasi batuan *phonolitic* tersebut. Sementara itu, mineral primer berdasarkan hasil analisis *Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM/EDS) merupakan  *davidite* dan *thorianite* [8].

Secara umum, morfologi perbukitan bergelombang terlihat sangat dominan di

daerah Mamuju dan sekitarnya (Gambar 3). Morfologi tersebut dipengaruhi oleh sebaran batuan gunung api yang memberikan bentuk-bentuk khusus seperti leher gunung api (Gambar 4), kubah lava, dan lain sebagainya. Pengamatan geomorfologi menunjukkan bahwa daerah Mamuju dan sekitarnya, dengan mengacu pada klasifikasi Bentuk Muka Bumi (BMB) [16], berdasarkan genetiknya dengan mempertimbangkan faktor yang paling dominan, terbagi menjadi bentang alam pegunungan sesar, pegunungan gunung api, pegunungan karst, dataran sungai dan danau, serta dataran pantai, delta, dan laut [6].



Gambar 3. Morfologi perbukitan bergelombang dengan beberapa kelurusan punggung bukit terlihat pada bentukan tiga dimensi yang dibangun dari hasil pemodelan *digital elevation model* (DEM) dan citra Landsat-8 saluran 5, 6, 7 daerah penelitian.



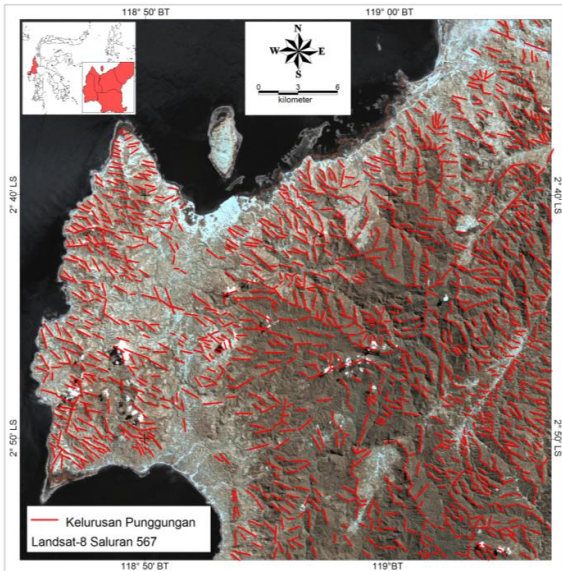
Gambar 4. Leher gunung api di Pangasaan yang merupakan salah satu morfologi akibat aktifitas magmatik.

Kelurusan punggung dan interpretasi sesar diidentifikasi menggunakan saluran 5, 6, 7 (R, G, B) yang dipertajam dengan

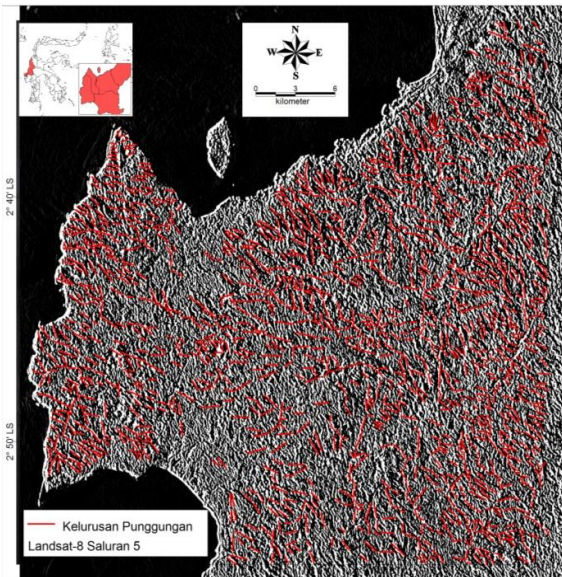
menggunakan saluran pankromatik beresolusi 15 m (Gambar 5). Selain itu, dengan menggunakan teknik filter pada citra menggunakan filter sobel dapat mempertajam bentukan-bentukan kelurusan punggung bukit dan lembah (Gambar 6 dan 7). Penarikan kelurusan punggung bukit dilakukan karena daerah punggung bukit pembentukannya dapat dikontrol oleh suatu struktur sesar. Selain punggung, lembah juga dapat diinterpretasikan sebagai daerah yang terbentuk karena kontrol struktur. Lembah memanjang berarah tenggara–baratlaut di daerah Sungai Mamuju dan Sungai Ampalas, diinterpretasi merupakan suatu lembah yang terbentuk karena adanya sesar dan erupsi Gunung api Adang. Sementara itu, di daerah Sumare, terlihat adanya interpretasi sesar-sesar yang membentuk morfologi faset segitiga di daerah tersebut, dengan arah dominan utara–selatan. Suatu lembah besar di bagian tenggara, daerah Malunda dan sekitarnya diinterpretasikan sebagai suatu lembah yang terbentuk karena sesar berarah timurlaut–baratdaya. Begitupun di daerah Tapalang, terdapat kelurusan yang diinterpretasikan sebagai sesar berarah relatif timurlaut–baratdaya. Sementara itu, di daerah Pangasaan dan Ahu terlihat suatu bentuk kelurusan berarah tenggara–baratdaya yang diinterpretasikan sebagai sebuah sesar.

Interpretasi kelurusan sesar dan lembah menghasilkan sejumlah kelurusan dengan arah yang bervariasi (Gambar 8 dan 9). Tabulasi data menunjukkan bahwa arah umum kelurusan paling dominan berkisar N 140–150° E atau berarah relatif tenggara–baratlaut (Tabel 1). Arah umum ini memiliki kemiripan dengan sesar mendatar berarah tenggara–baratlaut yang membentuk Sungai Mamuju dan Sungai Ampalas. Selain arah tenggara–baratlaut, arah umum kelurusan juga memperlihatkan arah umum utara–

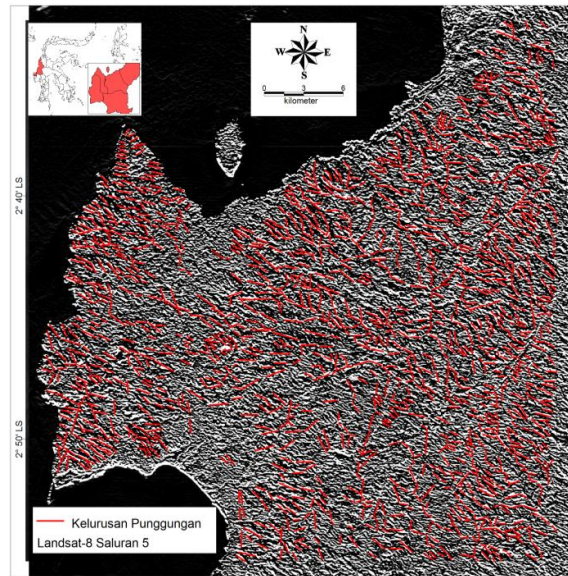
selatan (N 0–10° E). Arah kelurusan ini memiliki kemiripan dengan sesar-sesar berarah utara–selatan yang ditemukan di Desa Ahu, Takandeang, dan Sumare.



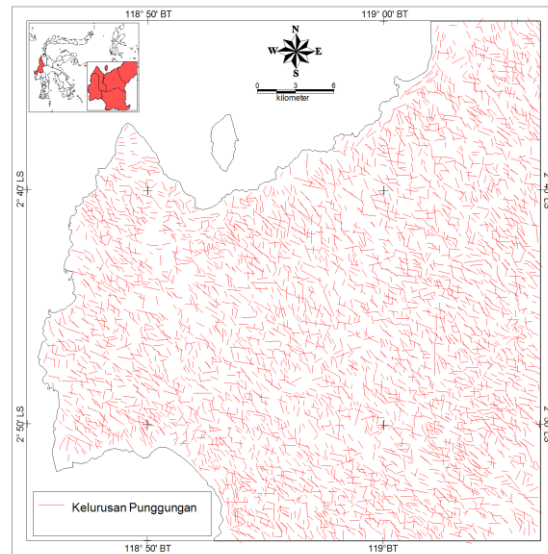
Gambar 5. Interpretasi sebaran kelurusan punggug bukit (garis merah) pada citra Landsat-8 menggunakan saluran 5, 6, 7 (R, G, B) yang dipertajam dengan saluran pankromatik.



Gambar 6. Penarikan kelurusan punggug dengan dibantu filter sobel untuk kelurusan relatif utara–selatan pada citra Landsat-8 saluran 5.



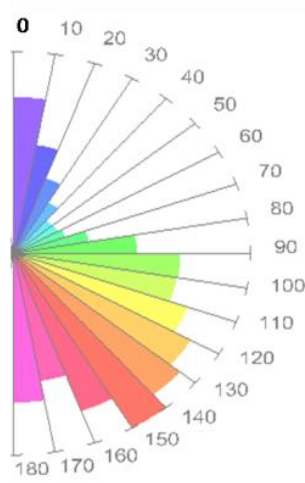
Gambar 7. Penarikan kelurusan punggug dengan dibantu filter sobel untuk kelurusan relatif timur–barat pada citra Landsat-8 saluran 5.



Gambar 8. Kelurusan punggug bukit hasil itepretasi citra dengan teknik penajaman citra di daerah Mamuju.

Analisis kelurusan dengan menggunakan formula Sastratenaya menunjukkan bahwa arah kelurusan terbagi menjadi sistem kelurusan relatif tua dan muda (Tabel 1). Sistem kelurusan relatif tua berarah N 0–30° E dan N 80–150° E, sementara sistem kelurusan relatif muda berarah N 30–80° E dan N 150–180° E. Rentang nilai Q sebesar 0,13–0,84 dan 1,32–3,21 menunjukkan sistem

kelurusan yang terbentuk bukan disebabkan oleh adanya suatu reaktivasi sesar.



Gambar 9. Diagram kipas menunjukkan sebaran kelurusan morfologi memiliki arah dominan N 140°–150° E.

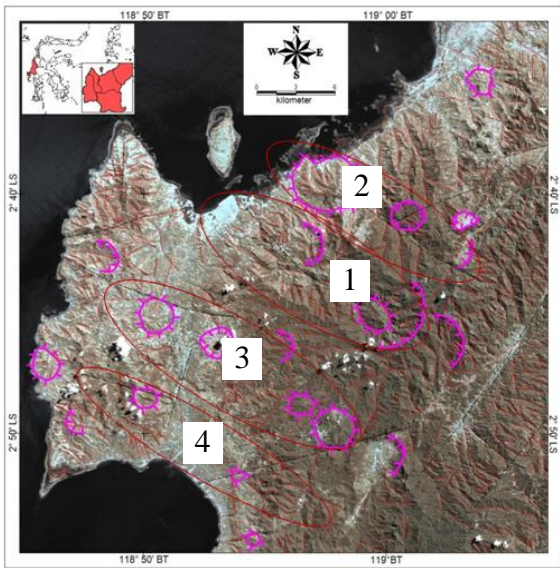
Kelurusan lembah dan sesar di daerah penelitian menunjukkan adanya arah umum kelurusan berarah tenggara–barat laut dan utara–selatan. Kelurusan-kelurusan ini merupakan suatu zona lemah yang dapat ditembus oleh larutan magmatik atau larutan hidrotermal. Proses alterasi batuan yang

membawa mineral radioaktif akan terkonsentrasi dan dikontrol oleh keberadaan zona lemah tersebut.

Interpretasi sesar di daerah Mamuju memperlihatkan adanya sesar besar yang berhubungan dengan arah sebaran pusat gunung api. Sesar-sesar berarah tenggara–baratlaut merupakan zona lemah yang mengontrol terbentuknya kompleks gunung api Mamuju (Gambar 10). Sesar yang berada di Sungai Mamuju merupakan pengontrol terbentuknya gunung api Adang dengan pusat aktivitas erupsi di hulu Sungai Mamuju dan arah erupsi ke baratlaut. Kubah lava di hulu Sungai Mamuju terbentuk di zona sesar tersebut. Selain di hulu Mamuju, terbentuknya kubah lava Ampalas dikontrol oleh sesar dengan arah yang sama. Pusat-pusat vulkanisme di daerah Pangasaan-Botteng-Takandeang memiliki sebaran berarah tenggara–aratlaut. Demikian juga dengan pusat vulkanisme di daerah Ahu dan Taan yang memiliki kesamaan dengan arah sesar-sesar di gunung api Adang.

**Tabel 1.** Hasil analisis kelurusan morfostruktural regional pada citra Landsat-8 daerah Mamuju dan sekitarnya menggunakan formula Sastratenaya [12]. Tanda (\*) merupakan arah dominan (berturut-turut dari yang paling dominan).

Arah (.....°E)	Frekuensi Relatif (FR)		> xFR %	Panjang Kumulatif (PK)		> xPK %	Kelurusan Dominan %	Kelurusan %	PK/FR (Q)	Kronologi	Kelurusan Teraktifkan		
	Σ	%		Σ	%								
0-10	335	7,99	7,99	184946,73	1,02	-		4,50	< 1	0,13	1	-	
10-20	166	3,96	-	273934,25	1,50	-		2,73	< 1	0,38	2	-	
20-30	87	2,07	-	315498,65	1,73	-		1,90	< 1	0,84	10	-	
30-40	47	1,12	-	336277,66	1,85	-		1,48	> 1	1,65	12	-	
40-50	25	0,60	-	347943,48	1,91	-		1,25	> 1	3,20	17	-	
50-60	26	0,62	-	362818,78	1,99	-		1,31	> 1	3,21	18	-	
60-70	30	0,72	-	382836,83	2,10	-		1,41	> 1	2,94	16	-	
70-80	58	1,38	-	418553,12	2,30	-		1,84	> 1	1,66	13	-	
80-90	151	3,60	-	523197,23	2,87	-		3,24	< 1	0,80	7	-	
90-100	277	6,61	6,61	714389,37	3,92	-		5,26	< 1	0,59	3	-	
100-110	274	6,53	6,53	914451,29	5,02	-		5,78	< 1	0,77	4	-	
110-120	343	8,18	8,18	1157486,06	6,36	6,36	10,30	7,27	< 1	0,78	5	-	
120-130	417	9,95	9,95	1427238,08	7,84	7,84	12,60	**	8,89	< 1	0,79	6	-
130-140	470	11,21	11,21	1696555,77	9,32	9,32	14,54	***	10,26	< 1	0,83	9	-
140-150	560	13,36	13,36	2005787,07	11,02	11,02	17,27	*****	12,19	< 1	0,82	8	-
150-160	388	9,25	9,25	2228720,20	12,24	12,24	15,23	*****	10,75	> 1	1,32	11	-
160-170	232	5,53	-	2370589,45	13,02	-		9,28	> 1	2,35	15	-	
170-180	307	7,32	7,32	2547389,66	13,99	13,99	15,10	****	10,66	> 1	1,91	14	-
<b>Jumlah</b>	<b>4193</b>	<b>100</b>		<b>18208613,68</b>	<b>100</b>			<b>100</b>					

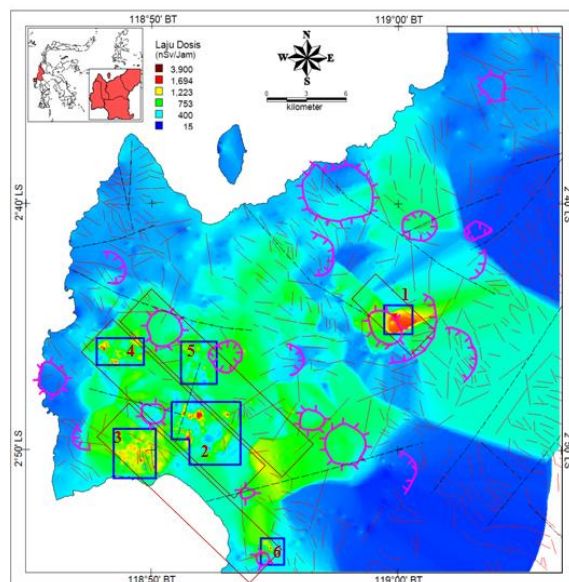


**Gambar 10.** Peta sebaran kelurusan lembah, sesar, dan bentuk melingkar menggunakan citra komposit 5, 6, 7 (R, G, B) menunjukkan arah sebaran produk gunung api, diantaranya gunung api Adang (1), gunung api Ampalas (2), gunung api Botteng dan Tapalang (3), gunung api Ahu (4) [6]. Sebaran produk gunung api berarah tenggara–baratlaut yang merupakan arah umum untuk kelurusan dan sesar di daerah penelitian.

Pengukuran laju dosis radiasi digunakan untuk membatasi sebaran anomali NORM. Nilai laju dosis radiasi dapat merepresentasikan keberadaan unsur U dan Th. Secara regional, nilai laju dosis radiasi 400 nSv/jam merupakan nilai latar (*background*) sementara nilai sebesar 2–3 kali latar merupakan nilai anomali, yaitu 800–1.200 nSv/jam [2]. Anomali tersebut ditemukan di daerah Ahu, Takandeang, Botteng, Pangasaan, Tande-tande, Taan, dan Mamunyu. Pengukuran secara sistematis dengan spasi jalur pengukuran 200 m dilakukan di Ahu, Takandeang, Taan, Botteng, dan hulu Sungai Mamuju (Mamunyu) dilakukan untuk melengkapi data radiometri di daerah penelitian, terutama daerah anomali radiometri. Hasilnya, nilai kadar U dan Th di daerah penelitian didapatkan mencapai 1.529 ppm eU dan 826 ppm eTh dengan laju dosis mencapai 11.264 nSv/jam (Gambar 12).

Sebaran anomali radioaktivitas di Taan memiliki arah sebaran tenggara–baratlaut dan dapat dikorelasikan dengan sebaran anomali radioaktivitas di daerah Taan. Sementara itu, anomali radioaktivitas di Takandeang memiliki sebaran berarah tenggara–baratlaut dan dapat dikorelasikan dengan anomali radioaktivitas di Pangasaan yang memiliki arah relatif sama. Selain itu, anomali radioaktivitas di Takandeang juga dapat berkorelasi dengan anomali radioaktivitas di Botteng (Gambar 11).

Sebaran anomali radioaktivitas di daerah ini ternyata memiliki kesamaan dengan arah struktur yang mengontrol pembentukan pusat-pusat gunung api Adang. Mineralisasi uranium dan thorium diinterpretasikan terjadi di sebaran struktur berarah tenggara–baratlaut. Larutan magmatis yang berasal dari aktivitas gunung api Adang diinterpretasi sebagai larutan pembawa mineralisasi di daerah penelitian yang sebarannya dikontrol oleh arah tenggara–baratlaut.



**Gambar 11.** Sebaran anomali laju dosis yang menunjukkan sebaran mineral radioaktif di daerah penelitian, antara lain di hulu Sungai Mamuju (1), Takandeang (2), Ahu (3), Pangasaan (4), Botteng (5), dan Taan (6) yang dikorelasikan dengan pola struktur geologi berarah tenggara–baratlaut (kotak merah).



## KESIMPULAN DAN SARAN

Sistem kelurusan berumur relatif tua memiliki arah N 0–80° E dan N 80–150° E, sementara yang berumur muda berarah N 30–80° E dan N 150–180° E. Arah dominan kelurusan punggung bukit menunjukkan arah N 140–150° E. Sistem kelurusan tersebut terkait dengan sistem sesar berumur relatif tua dan tidak tereaktivasi. Sistem kelurusan berarah tenggara–baratlaut mengontrol pembentukan gunung api dan mineralisasi U-Th di daerah Mamuju.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kepala Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir-BATAN atas kesempatan yang telah diberikan untuk melakukan penelitian di daerah Mamuju dan sekitarnya. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada rekan-rekan sejawat yang telah banyak membantu terutama untuk diskusi-diskusi yang sangat membangun. Terakhir, tak lupa ucapan terima kasih kepada Dr. Maria Margaretha Suliyanti dan Prof. Subyakto atas bimbingan dan review yang diberikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Iskandar, Syarbaini, and Kusdiana, "Map of Environmental Gamma Dose Rate of Indonesia." National Nuclear Energy Agency," 2014.
- [2] 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, p. 35, May 2014.
- [3] F. Bea, "Uranium," in *Encyclopedia of Geochemistry*, C. . Marshall and R. W. Fairbridge, Eds. Kluwer Academic Publishers, London, 1999, p. 712.
- [4] S. Krishnaswami, "Thorium," in *Encyclopedia of Geochemistry*, C. . Marshall and R. W. Fairbridge, Eds. Kluwer Academic Publishers, London, 1999, p. 712.
- [5] N. Ratman and S. Atmawainata, "Peta Geologi Lembar Mamuju, Sulawesi," Bandung, 1993.
- [6] F. D. Indrastomo, I. G. Sukadana, A. Saepuloh, A. H. Harsolumakso, and D. Kamajati, "Interpretasi Volkanostratigrafi Daerah Mamuju Berdasarkan Analisis Citra Landsat-8," *Eksplorium*, vol. 36, no. 2, pp. 71–88, 2015.
- [7] I. G. Sukadana, A. Harijoko, and L. D. Setijadji, "Tataan Tektonika Batuan Gunungapi di Komplek Adang, Kabupaten Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat," *Eksplorium*, vol. 36, no. 1, pp. 31–44, 2015.
- [8] I. G. Sukadana, H. Syaeful, F. D. Indrastomo, K. S. Widana, and E. Rakhma, "Identification of Mineralization Type and Specific Radioactive Minerals in Mamuju, West Sulawesi," *J. East China Univ. Technol.*, vol. 39, pp. 39–48, 2016.
- [9] W. S. Ibrahim, K. Watanabe, and K. Yonezu, "Structural and litho-tectonic controls on Neoproterozoic base metal sulfide and gold mineralization in North Hamisana shear zone, South Eastern Desert, Egypt: The integrated field, structural, Landsat 7 ETM+ and ASTER data approach," *Ore Geol. Rev.*, vol. 79, pp. 62–77, 2016.
- [10] S. A. Meshkani, B. Mehrabi, A. Yaghubpur, and M. Sadeghi, "Recognition of the regional lineaments of Iran: Using geospatial data and their implications for exploration of metallic ore deposits," *Ore Geol. Rev.*, vol. 55, no. C, pp. 48–63, 2013.
- [11] U.S. Geological Survey (USGS), "Landsat — A Global Land-Imaging Mission," *U.S. Geol. Surv. Fact Sheet 2012-3072*, no. May, p. 4, 2012.
- [12] A. S. Sastratenaya, "Deformation et Mobilite Megaprisme Tectonique De Pinoh-Sayan, Kalimantan, Indonesie," These Docteur, L'Universite Louis Pasteur De Strassbourg, France, 1991.
- [13] S. O. Hermi, R. Fadlalla, A. Elsheikh, M. Aziz, and S. Bouaziz, "Structural Interpretation of

- Lineaments Uses Satellite Images Processing : A Case Study in North-Eastern Tunisia,” pp. 440–455, 2017.
- [14] Yuliasuti, H. Susiati, Y. Daud, and A. S. Sastratenaya, “Identifikasi Sistem Kelurusan Di Tapak Banten Menggunakan Data Citra Satelit SPOT-5,” *JPEN*, vol. 15, no. 1, pp. 9–16, 2013.
- [15] International Atomic Energy Agency (IAEA), *Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data*. 2003.
- [16] B. Brahmantyo and Bandonono, “Klasifikasi Bentuk Muka Bumi (Landform) untuk Pemetaan Geomorfologi pada Skala 1:25.000 dan Aplikasinya untuk Penataan Ruang,” *J. Geoplrika*, vol. 1, no. 2, pp. 71–78, 2006.