

Analisis Spasial Laju Dosis Radiasi Nuklir Terestrial di Wilayah Timur Pulau Peling Menggunakan Detektor *Pocket Geiger Type 6*

Spatial Analysis of Terrestrial Nuclear Radiation Dose Rate in the Eastern Region of Peling Island Using Type 6 Pocket Geiger Detector

Anggraini Daud*, Asri Arbie, Muh. Fachrul Latief, Syafril Agustion Tomayahu, Siti Sarah Dayanun, Awaludin Ismuhu

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Kampus IV, Jl. Prof. Dr. Ing. BJ. Habibie, Moutong Kab. Bone Bolango, Provinsi Gorontalo, Indonesia 96212

Email: *anggrainiidaud@gmail.com; arbieasri@gmail.com; muh.fachrul@ung.ac.id; syafril@ung.ac.id; sarahdayanun29@gmail.com; awalismuhu123@gmail.com

Received: 19th June 2026; Revised: 15th July 2026; Accepted: 23rd July 2026

Abstrak – Radiasi nuklir terestrial merupakan radiasi alamiah yang berasal dari peluruhan radionuklida pada batuan dan tanah, dengan distribusi yang dipengaruhi kondisi geologi dan geomorfologi wilayah. Pulau Peling, Kabupaten Banggai Kepulauan, didominasi oleh kawasan karst yang berpotensi mempengaruhi distribusi radiasi nuklir terestrial, namun informasi spasial mengenai radiasi di wilayah ini masih terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis distribusi spasial laju dosis radiasi nuklir terestrial di kawasan timur Pulau Peling. Pengukuran dilakukan pada 144 titik sampel yang tersebar secara sistematis menggunakan grid pengamatan berukuran 1500 m × 1500 m. Pada setiap titik, detektor Pocket Geiger Type 6 ditempatkan pada ketinggian ±1 m di atas permukaan tanah dan dihubungkan dengan smarphone melalui aplikasi Pocket Geiger Type 6. Data direkam setiap 2 menit, dan disimpan dalam format CSV dan KML. Data selanjutnya diolah menggunakan dua perangkat lunak yaitu, ArcGIS dengan metode IDW dan Python untuk klasifikasi dan analisis spasial. Hasil penelitian menunjukkan distribusi laju dosis radiasi menyebar secara merata tanpa adanya lonjakan atau perbedaan nilai yang ekstrem antarwilayah pengukuran, dengan rentang $\leq 0,02 - 0,14 \mu\text{Sv/h}$ dan rata-rata $0,0504 \mu\text{Sv/h}$. Dosis efektif tahunan tercatat sebesar $0,0883 \text{ mSv/y}$. Nilai tersebut masih berada di bawah batas dosis efektif masyarakat umum sebesar 1 mSv/y .

Kata kunci: Radiasi nuklir terestrial; laju dosis radiasi; distribusi spasial; Pulau Peling; pocket Geiger.

Abstract – Terrestrial nuclear radiation is natural radiation originating from the decay of radionuclides in rocks and soil, with a distribution influenced by the geological and geomorphological conditions of the region. Peling Island, Banggai Islands Regency, is dominated by karst areas that have the potential to influence the distribution of terrestrial nuclear radiation, but spatial information regarding radiation in this region is still limited. This study aims to analyze the spatial distribution of terrestrial nuclear radiation dose rates in the eastern region of Peling Island. Measurements were carried out at 144 sample points systematically distributed using an observation grid measuring 1500 m × 1500 m. At each point, a Pocket Geiger Type 6 detector was placed at a height of ±1 m above the ground surface and connected to a smartphone via the Pocket Geiger Type 6 application. Data were recorded every 2 minutes, and stored in CSV and KML formats. The data were then processed using two software, namely, ArcGIS with the IDW method and Python for spatial classification and analysis. The results showed a uniform distribution of radiation dose rates without any spikes or extreme differences between measurement areas, with a range of ≤ 0.02 to $0.14 \mu\text{Sv/h}$ and an average of $0.0504 \mu\text{Sv/h}$. The annual effective dose was recorded at 0.0883 mSv/y . This value is still below the effective dose limit for the general public of 1 mSv/y .

Keywords: *Terrestrial nuclear radiation; radiation dose rate; spatial distribution; Peling Island; pocket Geiger.*

1. Pendahuluan

Radiasi merupakan fenomena pelepasan energi dalam bentuk gelombang maupun partikel yang dipancarkan secara terus-menerus oleh material radioaktif [1,2]. Keberadaan radiasi tidak dapat dihindari dalam kehidupan manusia karena berasal dari sumber alamiah maupun aktivitas teknologi modern [3]. Sekitar 85% paparan radiasi yang diterima populasi global berasal dari sumber alamiah, sedangkan sisanya berasal dari sumber buatan manusia [4]. Salah satu komponen utama radiasi alamiah adalah radiasi terestrial yang berasal dari peluruhan radionuklida primordial seperti Kalium (^{40}K), Uranium (^{238}U), dan Thorium (^{232}Th) yang terkandung dalam batuan, tanah, dan air sejak pembentukan bumi [5,6]. Berdasarkan laporan *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* (UNSCEAR), rata-rata dosis radiasi alamiah global mencapai sekitar 2,4 mSv/y yang berasal dari paparan eksternal dan internal radionuklida alami [7].

Distribusi radionuklida alami di permukaan bumi dipengaruhi oleh kondisi geologi, litologi, dan proses geomorfologi sehingga setiap wilayah memiliki tingkat radiasi latar yang berbeda [8]. Kandungan radionuklida pada setiap jenis batuan berbeda-beda, sehingga faktor geologi regional menjadi pengontrol utama distribusi radiasi terestrial. Penelitian [9] menunjukkan bahwa variasi laju dosis radiasi memiliki hubungan yang lebih kuat dengan karakteristik geologi dibandingkan faktor meteorologis jangka pendek. Salah satu lingkungan geologi yang memiliki pengaruh penting terhadap variasi radiasi alam adalah kawasan karst yang didominasi oleh batuan karbonat seperti batu gamping dan dolomit [10]. Batuan karbonat umumnya memiliki kandungan radionuklida alami yang relatif lebih rendah dibandingkan batuan vulkanik atau granitik [11]. Selain itu, sifat batuan karbonat yang berpori dan banyak rekahan memungkinkan proses infiltrasi dan pencucian unsur terlarut berlangsung lebih cepat sehingga radionuklida tidak mudah terakumulasi di lapisan permukaan tanah [12]. Kondisi tersebut menyebabkan pola distribusi radiasi yang khas di kawasan karst. Di sisi lain, migrasi gas radon (^{222}Rn) melalui rekahan batuan juga dapat memengaruhi dinamika radiasi pada wilayah karst [13].

Kabupaten Banggai Kepulauan, khususnya Pulau Peling, merupakan wilayah dengan topografi berbukit dan dominasi bentang alam karst. Wilayah ini tersusun atas beberapa satuan geomorfologi seperti perbukitan struktural, perbukitan karst, perbukitan intrusif, dan dataran rendah dengan kenampakan khas berupa dolina, gua, serta sungai bawah tanah [14]. Rendahnya akumulasi radionuklida alami pada permukaan tanah diduga dipengaruhi oleh dominasi batuan karbonat dan sistem hidrologi bawah permukaan di Pulau Peling. Namun, data distribusi spasial laju dosis radiasi di wilayah timur Indonesia, khususnya Pulau Peling, masih sangat terbatas sehingga belum tersedia data dasar (*baseline data*) radiologi lingkungan yang memadai.

Di Indonesia, penelitian radiasi lingkungan seringkali masih berfokus pada analisis statistik deskriptif dan pengukuran lapangan. Sebagai contoh, penelitian oleh Susila et al. (2017), merancang sistem pemantauan laju dosis radiasi gamma secara kontinu di kawasan nuklir Serpong [15]. Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh Apriantoro et al. (2017), mengkaji sebaran radiasi gamma terestrial di Jakarta Pusat menggunakan alat ukur portabel [16]. Penelitian oleh Ramli et al., (2016), di Malaysia menunjukkan bahwa distribusi radiasi alami dapat dianalisis secara spasial terhadap jenis tanah menggunakan pendekatan geostatistik [17]. Selain itu, Abdullah et al., (2025), menunjukkan bahwa distribusi radioaktivitas alami sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi lokal dan karakteristik permukaan tanah [18]. Berdasarkan temuan-temuan tersebut dapat diidentifikasi bahwa kajian radiasi lingkungan pada kawasan tropis dan bentang alam karst masih relatif terbatas. Keterbatasan tersebut menunjukkan perlunya pendekatan analisis yang tidak hanya mengakomodasi data pengukuran lapangan, tetapi juga mampu mengintegrasikan informasi spasial dan lingkungan secara komprehensif.

Pesatnya perkembangan teknologi geospasial telah mendorong adanya pendekatan analisis radiasi yang lebih modern dan efektif melalui integrasi Sistem Informasi Geografis (SIG), pemrograman ilmiah, serta *cloud computing* dalam satu kerangka kerja analitis. Bahasa pemrograman Python banyak digunakan dalam penelitian geospasial untuk pengolahan data, visualisasi, dan otomatisasi analisis spasial [19]. Selain itu, *Google Earth Engine* (GEE) menyediakan platform *cloud computing* yang mampu mengolah dataset geospasial berskala besar secara efisien [20,21]. Integrasi antara Python dan GEE memungkinkan pengolahan data pengukuran lapangan dengan parameter geospasial. Pada penelitian ini, parameter *Land*

Surface Temperature (LST) MODIS hanya digunakan sebagai indikator suhu permukaan wilayah pada saat pengukuran dilakukan.

Meskipun tingkat radiasi alam umumnya relatif rendah, pemantauan berkala tetap diperlukan karena setiap paparan radiasi memiliki potensi risiko biologis terhadap kesehatan manusia [22,23]. Dalam penelitian ini, pengukuran lapangan dilakukan menggunakan detektor *Pocket Geiger Type 6* (POKEGA) yang terintegrasi dengan *smartphone* sehingga mendukung pencatatan data radiasi dan koordinat pengamatan secara *real-time* [24]. Penelitian oleh Omega et al., (2024), menunjukkan bahwa POKEGA merupakan sistem pemantauan yang efektif untuk memonitoring perubahan laju dosis radiasi lingkungan [25].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi spasial laju dosis radiasi nuklir terestrial di kawasan timur Pulau Peling melalui integrasi data pengukuran lapangan dan analisis geospasial. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan mengidentifikasi keterkaitan pola distribusi radiasi nuklir terestrial dengan karakteristik geologi karst di wilayah timur Pulau Peling. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi pola sebaran spasial paparan laju dosis radiasi nuklir di bagian timur Pulau Peling.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Pulau Peling, Kabupaten Banggai Kepulauan, Provinsi Sulawesi Tengah, yang secara geografis terletak antara 1° 06' 30" LS – 1° 35' 58" LS dan 122° 37' 6,3" BT – 123° 40' 1,9" BT di Jazirah Timur Laut Pulau Sulawesi [26]. Lokasi penelitian hanya difokuskan pada bagian timur Pulau Peling yang meliputi sebagian Kecamatan Bulagi, Peling Tengah, Liang, Tinangkung, Tinangkung Utara, Tinangkung Selatan, Totikum, dan Totikum Selatan.

Klasifikasi zonasi wilayah penelitian didasarkan pada perbedaan karakteristik penggunaan lahan serta kondisi lingkungan yang menjadi ciri utama masing-masing area. Zona pemukiman terletak di daerah dengan tingkat konstruksi, lalu lintas, dan aktivitas manusia yang cukup tinggi. Zona hutan atau vegetasi diklasifikasikan pada wilayah yang masih didominasi oleh tutupan vegetasi alami dengan tingkat intervensi antropogenik yang rendah. Sementara itu, zona pesisir ditentukan pada area transisi antara daratan dan laut yang dipengaruhi oleh proses pantai, sedimentasi, dan dinamika lingkungan pesisir [27].

Penelitian ini dilakukan pada 144 titik lokasi penelitian yang ditentukan menggunakan grid berukuran 1500 m × 1500 m yang dibuat menggunakan perangkat lunak ArcMap. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan survei lapangan dan analisis spasial. Survei lapangan dilakukan melalui observasi langsung dengan mengukur laju dosis radiasi nuklir pada wilayah timur Pulau Peling menggunakan detektor POKEGA yang dirancang untuk mengukur laju dosis radiasi nuklir terestrial secara umum tanpa membedakan jenis radiasi alfa, beta, maupun gamma. Detektor ditempatkan pada ketinggian ±1 meter dari permukaan tanah, ketinggian ini merepresentasikan laju dosis radiasi di udara yang berpotensi diterima manusia [28], selain itu titik pusat tubuh manusia berada sekitar satu meter [29]. Detektor kemudian dihubungkan ke telepon seluler melalui USB dan dikendalikan menggunakan aplikasi *Pocket Geiger Type 6*. Perekaman data dilakukan setiap 2 menit, dengan hasil pengukuran disimpan dalam format CSV untuk analisis data dan format KML untuk pemetaan distribusi radiasi secara spasial.

2.1 Pembuatan peta radiasi

Proses pembuatan peta radiasi dimulai dari pra-pemrosesan data, konversi data spasial, integrasi penggunaan lahan, klasifikasi zona wilayah, dan visualisasi peta statis dan interaktif yang dirancang untuk merepresentasikan distribusi spasial radiasi nuklir terestrial secara sistematis dan informatif. Alur proses pembuatan peta radiasi ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1 memperlihatkan, tahap awal proses pengolahan data diawali dengan membersihkan dan menormalisasi data pengukuran menggunakan pustaka *pandas*. Sebelum melakukan klasifikasi zona wilayah dan tingkat radiasi, data dikonversi menjadi format spasial (*GeoDataFrame*) dengan sistem koordinat WGS 84. Selanjutnya pada tahap akhir, peta divisualisasikan dalam bentuk peta statis menggunakan *matplotlib* dan peta interaktif menggunakan *folium*.



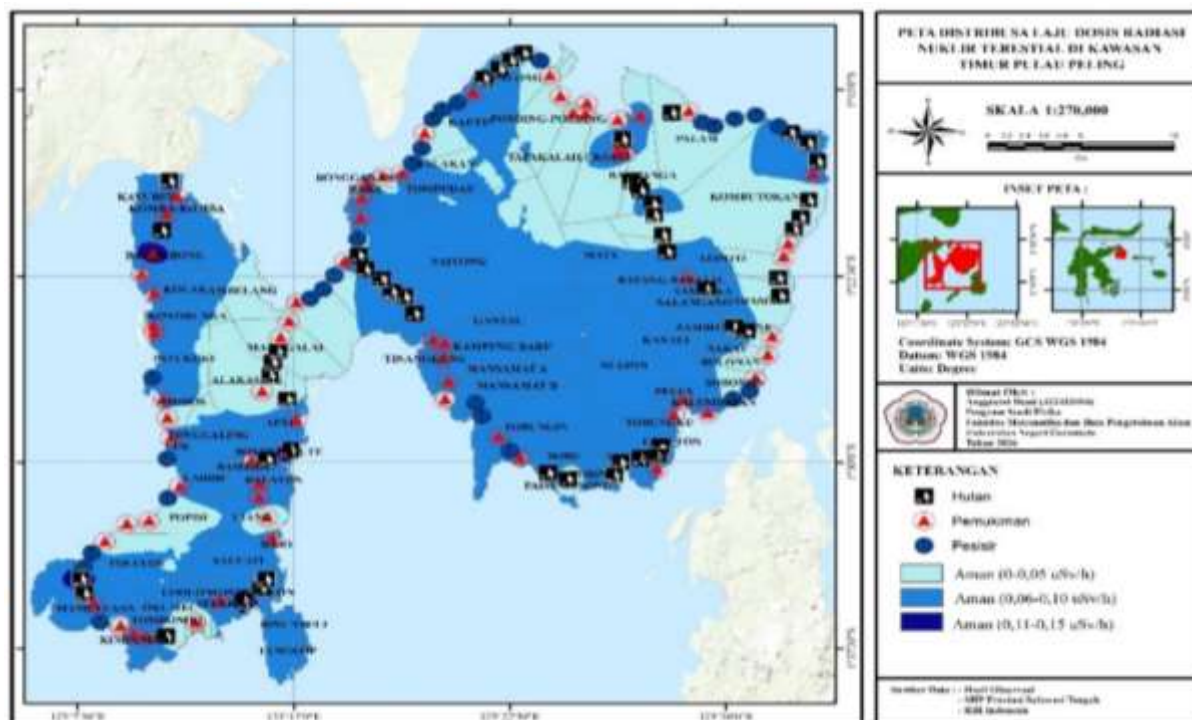
Gambar 1. Diagram alur pembuatan peta radiasi terrestrial berbasis data spasial dan visualisasi interaktif.

3. Hasil Dan Pembahasan

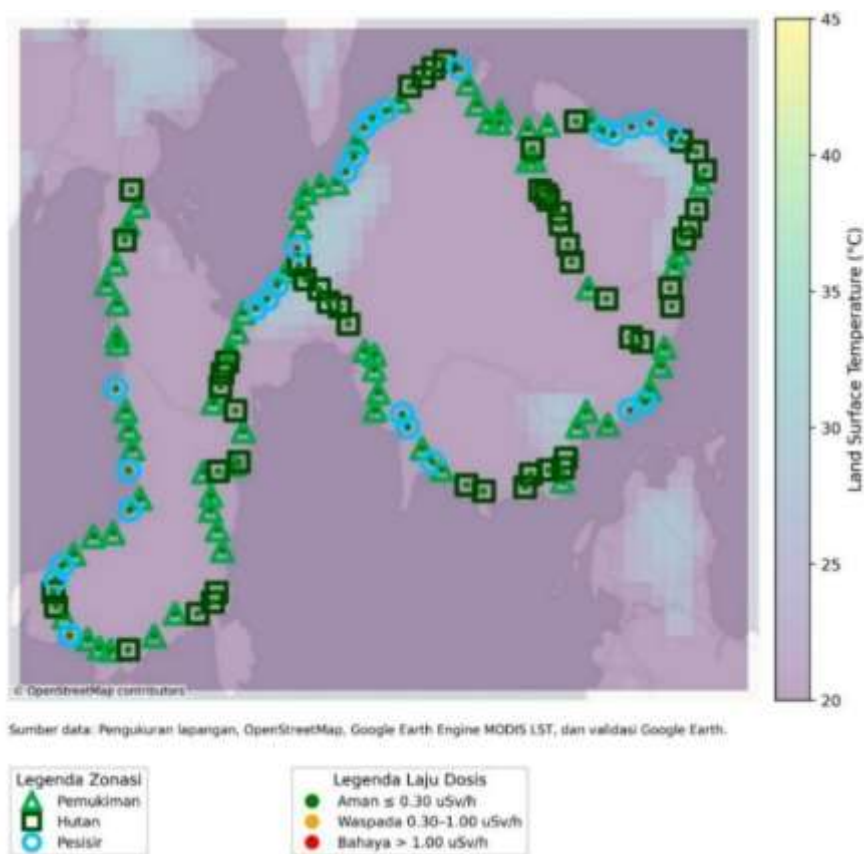
Pengukuran laju dosis radiasi nuklir terrestrial dilakukan pada 144 titik pengamatan yang tersebar di wilayah timur Pulau Peling menggunakan detektor POKEGA. Data hasil pengukuran berupa nilai laju dosis radiasi ($\mu\text{Sv/h}$) pada setiap titik, yang selanjutnya dikelompokkan berdasarkan zona penelitian, yaitu zona pemukiman, pesisir, dan vegetasi. Nilai laju dosis radiasi pada setiap zona kemudian dirata-ratakan, yang selanjutnya digunakan untuk menghitung *Annual Effective Dose Equivalent* (AEDE). Ringkasan hasil pengukuran dan hasil perhitungan AEDE pada masing-masing zona disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan keseluruhan data pengukuran, diperoleh rentang laju dosis radiasi sebesar $\leq 0,02\text{--}0,14 \mu\text{Sv/h}$ dengan rata-rata sebesar $0,0504 \mu\text{Sv/h}$. Untuk menggambarkan pola distribusi spasial laju dosis radiasi di seluruh wilayah penelitian, data hasil pengukuran pada 144 titik diinterpolasi menggunakan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW). Hasil interpolasi tersebut menghasilkan peta distribusi laju dosis radiasi nuklir terrestrial yang disajikan pada Gambar 2.

Gambar 2 memperlihatkan hasil visualisasi data pengukuran laju dosis radiasinuklir terrestrial pada 144 titik pengamatan di wilayah timur Pulau Peling. Gambar 2a menunjukkan distribusi spasial laju dosis radiasi yang diperoleh melalui interpolasi IDW menggunakan ArcGIS. Sementara itu, Gambar 2b merupakan hasil integrasi Python dan GEE yang memvisualisasikan sebaran titik pengukuran berdasarkan zonasi wilayah. LST MODIS pada Gambar 2b hanya digunakan sebagai informasi suhu permukaan wilayah pada saat pengukuran dilakukan dan bukan sebagai variabel yang dianalisis terhadap distribusi laju dosis radiasi.

Berdasarkan visualisasi pada Gambar 2, hasil dari kedua visualisasi tersebut menunjukkan pola distribusi spasial yang konsisten, di mana laju dosis radiasi memiliki variasi yang rendah dan berpola relatif seragam di seluruh wilayah pengamatan tanpa adanya peningkatan nilai radiasi yang signifikan pada lokasi tertentu. Meskipun terdapat variasi nilai laju dosis radiasi pada beberapa titik penelitian, tidak teridentifikasi adanya klaster radiasi yang tinggi. Temuan tersebut menunjukkan bahwa perbedaan zonasi wilayah penelitian tidak memberikan pengaruh terhadap distribusi radiasi nuklir terrestrial di daerah penelitian. Sebaran nilai radiasi yang berada pada kisaran rendah menunjukkan bahwa kondisi radiologis lingkungan di kawasan timur Pulau Peling berada pada kategori aman. Untuk memperjelas sebaran spasial yang ditunjukkan pada Gambar 2, nilai rata-rata laju dosis radiasi beserta AEDE yang diklasifikasikan berdasarkan zonasi wilayah diuraikan secara kuantitatif pada Tabel 1.



(a)



(b)

Gambar 2. Peta zonasi dan sebaran titik pengukuran laju dosis radiasi nuklir terestrial di wilayah timur Pulau Peling, Kabupaten Banggai Kepulauan, Sulawesi Tengah, menggunakan perangkat lunak: (a) ArcGIS; (b) Integrasi Phytion dan GEE.

Tabel 1. Rata-rata laju dosis radiasi pada setiap zona di Pulau Peling.

No	Zona	Laju Dosis Radiasi ($\mu\text{Sv/h}$)	AEDE (mSv/y)
1	Pemukiman	0,0491	0,0860
2	Pesisir	0,0423	0,0741
3	Vegetasi	0,0562	0,0984

Data pada Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran radiasi berdasarkan zonasi wilayah di timur Pulau Peling, yang mencakup pemukiman, pesisir, dan vegetasi. Pada zona pemukiman, rata-rata laju dosis radiasi tercatat sebesar $0,0491 \mu\text{Sv/h}$ dengan dosis efektif tahunan $0,0860 \text{ mSv/y}$. Nilai ini tergolong aman, sejalan dengan laporan UNSCEAR (2020), bahwa paparan radiasi permukiman umumnya rendah apabila wilayah tersebut tidak tersusun oleh batuan granitik [30]. Zona pesisir menunjukkan nilai terendah, dengan laju dosis $0,0423 \mu\text{Sv/h}$ dan dosis efektif tahunan $0,0741 \text{ mSv/y}$. Meskipun pesisir rentan terhadap akumulasi mineral berat akibat sedimentasi laut [31], rendahnya radioaktivitas di wilayah ini kemungkinan dipengaruhi oleh karakteristik geologinya yang didominasi material karbonat dan sistem karst dengan kandungan radionuklida rendah [32, 33]. Sementara itu, zona hutan mencatat nilai tertinggi, yakni $0,0562 \mu\text{Sv/h}$ dan $0,0984 \text{ mSv/y}$. Meskipun relatif lebih tinggi, angka ini masih berada jauh di bawah batas aman publik sebesar 1 mSv/y . Tingginya akumulasi di kawasan ini diduga dipengaruhi oleh tutupan vegetasi dan dinamika tanah yang efektif menahan perpindahan radionuklida serta mengurangi pelepasannya melalui proses limpasan maupun erosi [34, 35].

Selain tinjauan berdasarkan zonasi lingkungan, analisis variasi nilai juga dipetakan secara administratif. Tabel 2 menunjukkan perbandingan rata-rata laju dosis radiasi nuklir terestrial pada setiap kecamatan di kawasan timur Pulau Peling. Berdasarkan hasil pengukuran, seluruh wilayah memiliki nilai laju dosis yang relatif rendah dengan rentang rata-rata sebesar $0,0388 - 0,0840 \mu\text{Sv/h}$ ($0,3402 - 0,7350 \text{ mSv/y}$, nilai ini merupakan nilai estimasi konservatif dan belum memperhitungkan *occupancy factor* luar ruang). Kecamatan Bulagi menunjukkan nilai rata-rata laju dosis tertinggi ($0,0840 \mu\text{Sv/h}$), sedangkan Kecamatan Tinangkung Utara memiliki nilai rata-rata terendah ($0,0388 \mu\text{Sv/h}$). Meskipun terdapat variasi antarwilayah, seluruh nilai masih berada dibawah batas dosis efektif tahunan yang direkomendasikan untuk masyarakat umum. Pola nilai yang relatif seragam menunjukkan bahwa kondisi radiologis kawasan timur Pulau Peling cenderung stabil dan tidak dipengaruhi oleh keberadaan sumber radionuklida alami berkonsentrasi tinggi. Adanya variasi kecil antar kecamatan diduga berkaitan dengan perbedaan kondisi litologi lokal, karakteristik permukaan tanah, dan distribusi sedimen di masing-masing wilayah penelitian.

Tabel 2. Laju dosis radiasi terestrial pada setiap kecamatan di Pulau Peling.

No.	Kecamatan	Tinggi Wilayah (mdpl) ^a	Rata-rata Laju Dosis Radiasi		AEDE (mSv/y)
			$\mu\text{Sv/h}$	mSv/y	
1	Bulagi	3	0,0840	0,7350	0,1471
2	Peling Tengah	2	0,0494	0,4333	0,0865
3	Liang	2	0,0604	0,5295	0,1058
4	Tinangkung	3	0,0484	0,4243	0,0847
5	Tinangkung Utara	1	0,0388	0,3402	0,0679
6	Tinangkung Selatan	3	0,0389	0,3411	0,0681
7	Totikum	10	0,0644	0,5645	0,1129
8	Totikum Selatan	2	0,0575	0,5037	0,1007

^a sumber [26].

Apabila nilai laju dosis tertinggi ($0,0840 \mu\text{Sv/h}$) pada Tabel 2, dikonversi menjadi dosis efektif tahunan dengan asumsi paparan kontinu selama 24 jam per hari dan 365 hari per tahun, dengan mempertimbangkan *occupancy factor* luar ruang sebesar 0,2 sesuai rekomendasi UNSCEAR [36], diperoleh nilai dosis efektif tahunan sekitar $0,1471 \text{ mSv/y}$. Nilai tersebut masih berada di bawah batas dosis efektif tahunan untuk masyarakat umum sebesar 1 mSv/y sebagaimana direkomendasikan oleh *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) dan diadopsi dalam *IAEA General Safety Requirements Part 3* (GSR Part 3) [37] serta sesuai dengan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) No. 4 Tahun 2013 [38] mengenai proteksi dan keselamatan radiasi untuk paparan publik. Dengan demikian, kondisi radiologis kawasan timur Pulau Peling dapat dikategorikan aman bagi lingkungan maupun aktivitas masyarakat.

Secara ilmiah, rendahnya variasi nilai radiasi nuklir terestrial di timur Pulau Peling dipengaruhi oleh kandungan radionuklida alami yang berasal dari struktur batuan dan tanah setempat. Penelitian oleh [9] menjelaskan bahwa variasi laju dosis gamma lingkungan memiliki keterkaitan yang lebih kuat dengan komposisi geologi dan konsentrasi radionuklida alami seperti uranium (^{238}U), thorium (^{232}Th), dan kalium (^{40}K). Selain itu, penelitian oleh [18] di Mamuju, Indonesia, menunjukkan bahwa karakteristik geologi lokal dan sifat permukaan tanah berperan penting dalam mengontrol distribusi radiasi terestrial.

Kondisi geomorfologi kawasan timur Pulau Peling didominasi oleh *kasrt* yang kemungkinan tersusun dari batuan karbonat berupa batu gamping dan dolomit. Hal ini menjadi faktor yang menjelaskan rendahnya distribusi laju dosis radiasi di wilayah tersebut. Batuan karbonat umumnya memiliki kandungan radionuklida alami yang relatif lebih rendah dibandingkan batuan beku asam maupun batuan metamorf tertentu. Penelitian oleh [11] menjelaskan bahwa kawasan karst dolomit cenderung memiliki laju dosis radiasi rendah akibat kecilnya kandungan radionuklida alami pada batuan karbonat. Penelitian oleh Mesnil et al., (2021), juga menyatakan bahwa sistem hidrologi karst aktif berperan dalam perpindahan radionuklida melalui mekanisme pencucian (*leaching*) [12]. Kondisi tersebut diduga menjadi salah satu faktor yang menyebabkan rendahnya variasi spasial laju dosis radiasi pada seluruh titik pengamatan di wilayah penelitian.

Kondisi geologi Pulau Peling dapat dibandingkan dengan Mamuju yang dikenal sebagai salah satu wilayah dengan tingkat radiasi latar belakang alami tinggi (*High Natural Background Radiation Area*) di Indonesia. Penelitian oleh [39] menunjukkan bahwa Mamuju memiliki dosis efektif tahunan berkisar antara 17 hingga 115 mSv/y dengan rata-rata sekitar 32 mSv/y. Nilai tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan kawasan timur Pulau Peling. Tingginya radioaktivitas alami di Mamuju berkaitan erat dengan kondisi geologi wilayah yang didominasi kompleks vulkanik hasil aktivitas vulkanisme dan pembentukan kubah lava. Penelitian oleh Rosianna et al., (2023) menjelaskan bahwa batuan vulkanik basaltik-andesitik di wilayah tersebut mengandung mineral radioaktif alami yang berkontribusi terhadap tingginya laju dosis radiasi [40]. Adanya perbedaan karakteristik antara kawasan karst karbonat di Pulau Peling dan kompleks vulkanik di Mamuju menunjukkan bahwa distribusi radionuklida alami dan laju dosis radiasi nuklir terestrial lebih dipengaruhi oleh faktor geologi regional.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, distribusi spasial laju dosis radiasi nuklir terestrial di kawasan timur Pulau Peling menunjukkan fluktuasi yang rendah, sehingga seluruh wilayah pengamatan berada pada kategori aman. Hal ini diduga dipengaruhi oleh karakter geologi regional kawasan timur Pulau Peling yang didominasi oleh batuan karbonat dan bentang alam karst dengan kandungan radionuklida alami yang relatif rendah. Variasi zonasi wilayah seperti pemukiman, pesisir, dan vegetasi tidak menunjukkan perbedaan signifikan terhadap distribusi laju dosis radiasi, sehingga karakter geologi regional diduga menjadi faktor utama yang mengontrol radiasi nuklir terestrial di kawasan timur Pulau Peling.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Pemerintah Kabupaten Banggai Kepulauan atas dukungan dan fasilitasi yang diberikan selama penelitian. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada keluarga dari saudara Siti Sarah Dayanun, yang telah berkenan menerima dan memberikan fasilitas untuk tinggal serta memenuhi kebutuhan selama penelitian berlangsung.

Pustaka

- [1] Kurniasari S et al., 2024 Sosialisasi Manfaat dan Bahaya Radiasi pada Pemeriksaan Radiologi *JGEN J. Pengabd. Kpd. Masy.* 2 92–5
- [2] Dewi N P, Trisnawati N L P and Iffah M, 2021 Laju Paparan Radiasi Sinar-X pada Dinding Laboratorium Diagnostik ATRO Bali *Bul. Fis.* 24 49–53
- [3] Susanto A N P, Siddiq I M and Muliawati W, 2024 Kemajuan Teknologi Terbaru dalam Prosedur Deteksi Radiasi Nuklir: Tinjauan Literatur Sistematis *J. Agama dan Sos. Hum.* 1 43–52
- [4] Zulfa N A et al., 2024 Penentuan Aktivitas Radionuklida Alam pada Pemandian Air Panas Gunung Panjang dan Gunung Pancar di Kabupaten Bogor Jawa Barat *J. Fis. Unand* 13 541–8

- [5] Khan I U, Sun W and Lewis E 2020 Review of low-level background radioactivity studies conducted from 2000 to date in people Republic of China *J. Radiat. Res. Appl. Sci.* **13** 406–15
- [6] Joel E S *et al.*, 2021 In-situ Assessment of Natural Terrestrial-Radioactivity from Uranium-238 (238U), and Potassium-40 (40K) in Coastal Urban-Environment and Its Possible Health Implications *Sci. Rep.* **238** 1–14
- [7] UNSCEAR, 2010 *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2008 Report to the General Assembly. Sources and Effects of Ionizing Radiation* vol 1 (United Nations, New York)
- [8] Sale I *et al.*, 2023 Terrestrial Gamma Radiation Dose (TGRD) Levels in Northern Zone of Bauchi, Nigeria: Mapping and Statistical Relationship Between Gamma Dose Rates and Geological Formations *Gadua J. Pure Allied Sci.* **2** 9–15
- [9] Feng W *et al.*, 2020 Spatial distribution , risk assessment and influence factors of terrestrial gamma radiation dose in China *J. Environ. Radioact.* **222** 106325
- [10] Vengosh A *et al.*, 2022 Science of the Total Environment A Critical Review on the Occurrence and Distribution of the Uranium- and Thorium-Decay Nuclides and Their Effect on the Quality of Groundwater *Sci. Total Environ.* **808** 1–23
- [11] Zhang X *et al.*, 2025 Catena A preliminary study on estimating soil thickness on karst dolomite slopes using ground gamma radiation dose rate in Southwest China *Catena* **260** 109472
- [12] Mesnil M Le *et al.*, 2021 Impact of karst areas on runoff generation , lateral flow and interbasin groundwater flow at the storm-event timescale 1259–82
- [13] Nunes L J R, Curado A F and Lopes S E I, 2023 The Relationship between Radon and Geology: Sources, Transport and Indoor Accumulation *Appl. Sci.* **13** 1–34
- [14] Hasanah A, 2017 *Model Spasial Restorasi Ekologi pada Hutan Hujan Tropis Banggai Kepulauan* (Universitas Indonesia)
- [15] Susila I P, Yuniarto A and Cahyana C, 2017 Monitoring and Analysis of Environmental Gamma Dose Rate around Serpong Nuclear Complex *Atom Indones.* **43** 87–92
- [16] Apriantoro N H *et al.*, 2017 Health Risk Implications of Terrestrial Gamma Radiation Dose Rate in Central Jakarta , Indonesia : Short Communications *Glob. J. Health Sci.* **9** 19–24
- [17] Ramli A T *et al.*, 2016 Spatial distribution of natural c radiation exposure and its relationship to soil types *Nat. Hazards* **84** 1859–72
- [18] Abdullah A R A *et al.*, 2025 *Investigating the Soil Surface Properties Behind Elevated Natural Radiation in Mamuju , Indonesia* vol 15
- [19] Adnyana A A P N A, Dewi I A U and Jaya I K N A, 2024 Demografi Sebaran Mahasiswa Sistem Informasi Universitas Hindu Indonesia Menggunakan Python *RESI J. Ris. Sist. Inf.* **2** 162–70
- [20] Gorelick N *et al.*, 2017 Google Earth Engine : Planetary-scale geospatial analysis for everyone *Remote Sens. Environ.* **202** 18–27
- [21] Tamiminia H *et al.*, 2020 ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing Google Earth Engine for geo-big data applications : A meta-analysis and systematic review *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* **164** 152–70
- [22] Hiswara E, 2023 *Buku Pintar Proteksi dan Keselamatan Radiasi di Rumah Sakit* (Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN))
- [23] ICRP, 2007 *ICRP Publication 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection* vol 37
- [24] Fujibuchi T *et al.*, 2019 Estimation of the Characteristics of Gamma-ray Dose Measurements with an Experimental Wireless Dose Monitoring System *Prog. Nucl. Technol.* **6** 77–80
- [25] Omega R L *et al.*, 2024 Low-Cost Sensor Deployment on a Public Minibus in Fukushima Prefecture *Sensor* **24** 1–12
- [26] BPS, 2025 *Banggai Kepulauan dalam Angka 2025* (BPS Kabupaten Banggai Kepulauan)
- [27] Hossain M S, Gain A K and Rogers K G, 2020 Sustainable coastal social-ecological systems: how do we define “coastal”? *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.* **27** 577–82
- [28] Huang Y J *et al.*, 2016 A Comparative Study of Terrestrial Gamma Dose Rate in Air Measured by Thermoluminescent Dosimeter, Portable Survey Meter and HPGe Gamma Spectrometer *J. Environ. Radioact.* **164** 13–8
- [29] Xu H *et al.*, 2023 Ground Radioactivity Distribution Reconstruction and Dose Rate Estimation Based on Spectrum Deconvolution *Sensors* **23** 1–18

- [30] UNSCEAR, 2020 *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation: UNSCEAR 2020/2021 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes* vol I (New York)
- [31] Perriáñez R *et al.*, 2023 Sediments as Sinks and Sources of Marine Radionuclides: Implications for Their Use as Ocean Tracers *Mar. Pollut. Bull.* **194** 1–7
- [32] Lin W *et al.*, 2020 Comparative Study of Radioactivity Levels and Radionuclide Fingerprints in Typical Marine Ecosystems of Coral Reefs, Mangroves, and Hydrothermal Vents *Mar. Pollut. Bull.* **152** 110913
- [33] Al-mur B A and Gad A, 2022 Radiation Hazard from Natural Radioactivity in the Marine Sediment of Jeddah Coast, Red Sea, Saudi Arabia *J. Mar. Sci. Eng.* **10** 1–18.
- [34] Mello D C de *et al.*, 2021 Applied Gamma-ray spectrometry for Evaluating Tropical Soil Processes and Attributes *Geoderma* **381** 1–14
- [35] Kawano T *et al.*, 2024 Mechanisms of ¹³⁷Cs leaching based on long-term observations in forested headwater catchments in Yamakiya, Fukushima Prefecture, Japan *Sci. Total Environ.* **907** 167837
- [36] UNSCEAR, 2000 *Sources and Effects of Ionizing Radiation: UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes* vol I
- [37] IAEA, 2014 *Safety Standards for Protecting People and The Environment*
- [38] Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir
- [39] Nugraha E D *et al.*, 2021 Comprehensive Exposure Assessments from the Viewpoint of Health in a Unique High Natural Background Radiation Area, Mamuju, Indonesia *Sci. Rep.* **11** 1–16
- [40] Rosianna I *et al.*, 2023 Uranium Isotope Characterization in Volcanic Deposits in a High Natural Background Radiation Area, Mamuju, Indonesia *Geosciences* **13** 1–13.