

ANALISIS FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI LAJU PAPARAN RADIASI ALAM DI LINGKUNGAN

**Pande Made Udiyani
Pusat Pengembangan Teknologi Reaktor Riset – BATAN**

ABSTRAK

ANALISIS FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI LAJU PAPARAN RADIASI ALAM DI LINGKUNGAN. Analisis terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi laju paparan radiasi di lingkungan telah dilakukan. Metode yang digunakan untuk mengetahui pengaruh faktor faktor tersebut adalah dengan metode pencacahan yang dapat menyapu areal yang luas dengan karakteristik batuan dan kegiatan manusia yang berbeda dan beragam. Dari data diperoleh bahwa paparan radiasi dipengaruhi jenis batuan yang membentuk daerah yang bersangkutan, dan penggunaan lahan yang membantu sumbangan paparan radiasi alam ke lingkungan. Paparan radiasi rata-rata yang berasal dari semua jenis batuan adalah $3,43 \pm 0,69$ $\mu\text{R}/\text{jam}$. Jenis batuan yang mempunyai paparan radiasi tertinggi adalah dari jenis batuan latosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah gelombang dan gunung, dengan paparan $14,99$ $\mu\text{R}/\text{jam}$. Jenis penggunaan lahan yang mempunyai paparan radiasi tertinggi adalah untuk pertanian dengan paparan $14,99$ $\mu\text{R}/\text{jam}$, untuk lokasi perkebunan $13,87$ $\mu\text{R}/\text{jam}$. Daerah – daerah yang penggunaan lahannya untuk kegiatan pertanian, perkebunan, dan industri memberikan kontribusi yang lebih dominan dibandingkan dengan kegiatan kehutanan dan perumahan.

Kata Kunci : paparan radiasi alam, batuan latosol, penggunaan lahan

ABSTRACT

ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING THE EXPOSURE RATE OF NATURAL RADIATION IN THE ENVIRONMENT. Factors that influence exposure rate of natural radiation in environment have been analyzed. Methodology for analyzing influencing factors was counting method which scanning wide area with different rocks characteristics and human activities. Measurement data obtained showed that radiation exposure were influenced by rock types forming the land and the land use had the natural radiation exposure contribution in the environment. Averaged radiation exposure rate originated from all rock type was 3.43 ± 0.69 $\mu\text{R}/\text{hour}$. Rock type with the highest radiation exposure rate was latosol from igneous rock and

intermedier in the waves and mountain area, with exposure rate of 14,99 μ R/hour. Land use type which had the highest radiation exposure was farmland with exposure rate of 14,99 μ R/hour, followed by cultivation with exposure rate of 13,87 μ R/hour. Area for farming, cultivating, and industries activities contributed more dominantly compared to the forestry and housing use.

Key words : natural radiation exposure, latosol rock, land use

PENDAHULUAN

Pencemaran ekosistem oleh radionuklida dapat berasal dari sumber alami dan sumber buatan. Bagian terbesar dari pencemaran ekosistem oleh zat radioaktif berasal dari sumber alami, yaitu mencakup sinar kosmik dan bahan radioaktif yang dikandung kerak bumi [1]. Ada dua macam zat radioaktif alam, yaitu kelompok zat radioaktif kosmogenik dan kelompok zat radioaktif primordial. Zat radioaktif kosmogenik adalah yang terbentuk akibat interaksi sinar kosmik dengan atom bahan yang terdapat di atmosfer. Zat radioaktif primordial adalah zat radioaktif yang telah ada dalam kerak bumi antara lain kalium, torium dan uranium, terdapat pada semua jenis batuan yang membentuk bumi seperti batuan andesit, basalt, pasir, batuan serpih dan lainnya [2, 3]. Sedangkan zat radioaktif kosmogenik antara lain H-3 dan C-14 [1].

Kegiatan manusia yang membantu penyebaran zat radioaktif ke lingkungan antara lain: Pembakaran batubara dan pembangkit listrik tenaga Uap (PLTU) dengan bahan bakar batubara yang menghamburkan berbagai produk pembakaran ke atmosfer baik berupa gas maupun berupa partikel. Zat radioaktif alam yang terdapat dalam abu hasil pembakaran batubara adalah: dari unsur kalium, uranium, dan torium [4]. Pemakaian deposit fosfat alam biasanya zat radioaktif dari deretan uranium yang relatif tinggi kadarnya. Sebagian batuan fosfat yang ditambang kemudian dijadikan pupuk, sedang lainnya digunakan untuk menghasilkan komoditi lain seperti asam fosfat [5]. Selain uranium di dalam pupuk fosfat juga terkandung unsur radioaktif

torium dan kalium [6]. Pemakaian gas alam atau produknya yang dipakai di dapur atau di ruangan lainnya dalam rumah untuk pemanasan, adalah sumber radon dalam bangunan. Radon yang terbentuk dalam tanah berdifusi melalui formasi geologik, kemudian masuk ke dalam sumur gas alam [7]. Pemakaian bahan bangunan akan meningkatkan radiasi lingkungan. Bahan bangunan itu misalnya batu, beton, yang mengandung serpih alum dan granit yang mengandung radioaktif [8, 9].

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya paparan radiasi alam yang ada di lingkungan, faktor yang dominan dan faktor yang memberikan pengaruh yang lebih kecil terhadap besarnya paparan radiasi alam yang terbentuk di lingkungan, dan seberapa besar perbedaan pengaruh yang diberikan antara faktor-faktor tersebut. Berdasarkan penelitian dari peneliti terdahulu [10], ada perbedaan yang nyata antara paparan radiasi alam yang terbentuk dari paparan radiasi yang dikeluarkan oleh batuan yang ada di kerak bumi dan sebaran radiasi alam karena adanya perpindahan radiasi akibat kegiatan manusia yang membantu menyebarkan radiasi alamiah ke lingkungan yang lebih luas.

Metode yang digunakan untuk mengetahui pengaruh faktor faktor tersebut adalah dengan metode pencacahan yang dapat menyapu areal yang luas dengan karakteristik batuan dan kegiatan manusia yang berbeda dan beragam. Data yang diperoleh dibandingkan dan dapat diketahui besarnya perbedaan antar faktor, dan faktor-faktor yang mempunyai pengaruh dominan terhadap paparan radiasi lingkungan. Dari metode ini dapat diajukan suatu hipotesa bahwa faktor yang dominan mempengaruhi paparan radiasi alam kelingkungan adalah faktor kegiatan manusia.

TEORI

Program NAGABAT (*natural gamma analyzer of Batan*) digunakan untuk menganalisis sumbangan foton gamma alam terhadap laju paparan disuatu lokasi [11]. Program telah dicoba dan berhasil mentransfer file data (distribusi tinggi pulsa) dari

luaran spektrometer *MicroNOMAD* (produk Ortec) kemudian mengolah datanya menjadi data besaran dosimetri dan fisika. *MicroNOMAD* dapat dihubungkan ke PC (*Personal Computer*). Perangkat lunak *MicroMCB™* dapat disisipkan ke PC untuk pengendalian moda akuisisi, MCA dan analisis kuantitatif spektrum dari detektor NaI(Tl).

Pengelompokan energi untuk program NAGABAT terdiri dari 22 kelompok dengan rentang dari 0,05 sampai 3,3 Mev. Besaran yang dapat dihitung paparan total dan fluks total meliputi juga perhitungan sumbangan dari radiasi gamma alam dan perhitungan konsentrasi kalium, uranium dan thorium serta anak luruhnya.

Metode *carborne survey* adalah metode pengukuran radiasi dengan menyapu area yang akan diukur. Metode ini jika dibandingkan dengan metode statis menghasilkan data yang tidak berbeda secara berarti. Dari perhitungan statistik ke dua pengukuran ini menghasilkan hasil pengukuran yang tidak berbeda nyata [12]. Metode *carborne survey* sudah dilakukan oleh peneliti lain.[13, 14]

TATA KERJA

Bahan dan Peralatan

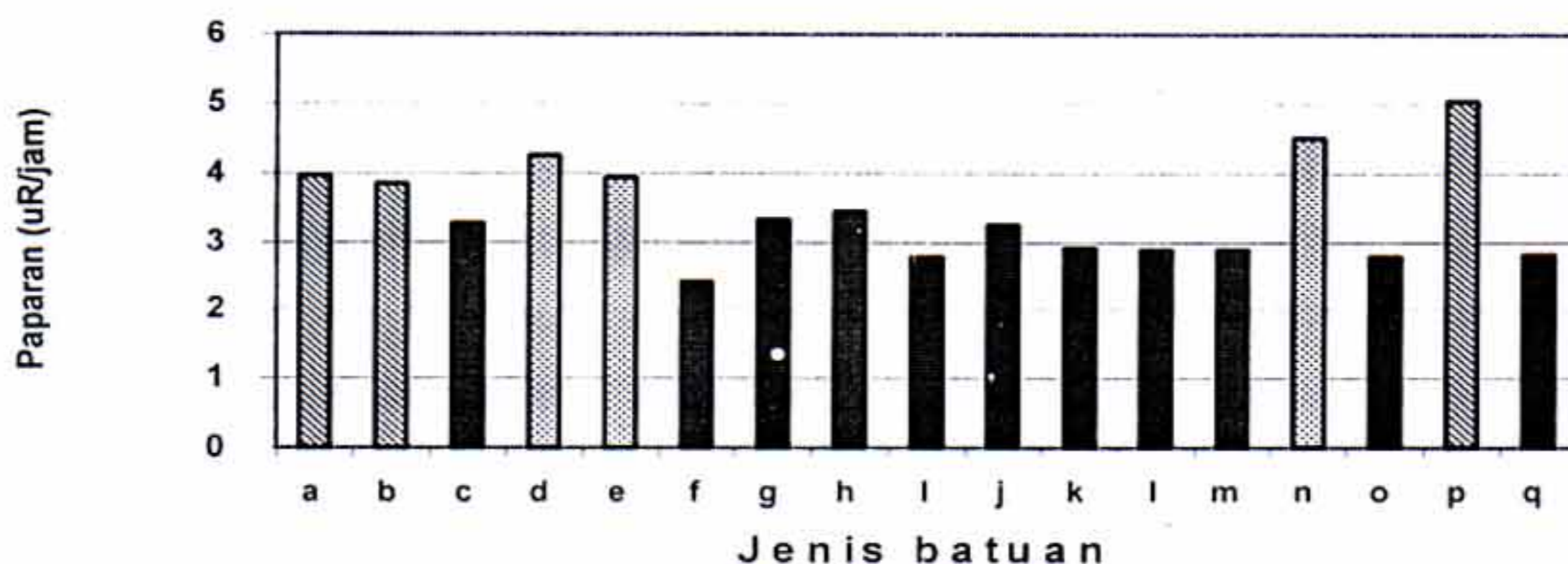
- Spektrometer *MicroNOMAD* dan perangkat lunak *MicroMCB™* , dilengkapi dengan detektor NaI(Tl)
- PC (*Personal Computer*) yang dilengkapi Microsoft Windows, versi 3.1 atau lebih tinggi; Dos 3.3 atau lebih tinggi.
- Peta lengkap geologi Pulau Jawa
- Program statistika MINITAB
- Kendaraan untuk menyusuri daerah penelitian

Prosedur Pengukuran

Metode yang digunakan adalah metode pencacahan yang dapat menyapu areal yang luas dengan karakteristik batuan dan kegiatan manusia yang berbeda dan beragam. Metode yang dipakai adalah metode *carborne survey*. Metode ini sudah diuji coba oleh banyak peneliti dengan hasil yang tidak berbeda nyata dengan metode statis (metode pencuplikan atau pengukuran radiasi yang dilakukan pada titik-titik yang dapat mewakili luasan areal tertentu). Pertama, yang dilakukan adalah MCA *Probe* diatur pada moda lapangan, dengan mengaktifkan semua peralatan ukur dan program data pengukuran. Daerah yang akan diukur dibagi dalam grid-grid yang ditentukan dalam areal setiap 20 km. Dengan menyusuri jalan yang mewakili tiap grid pengukuran, maka alat pengukur menyapu area tersebut dan merekam semua radiasi yang dipancarkan sinar gamma. Data radiasi terekam setiap ± 2 km. Tiap spektrum yang terekam akan diproses oleh program NAGABAT dan setiap pulsa pada energi tertentu akan dikelompokkan pada tiga kelompok energi radiasi alam yaitu pada nuklida kalium, kelompok thorium, dan kelompok uranium. Radiasi yang terukur akan mewakili data radiasi yang dipancarkan oleh alam yaitu dari batuan atau sinar kosmik yang berbeda antar area, yang mempunyai jenis batuan dan kegiatan manusia yang berbeda. Setiap jenis batuan dan kegiatan manusia diwakili oleh rata-rata sekitar 500-3000 titik pengukuran. Data yang diperoleh dibandingkan dan dapat diketahui besarnya perbedaan antar faktor dan faktor-faktor yang mempunyai pengaruh dominan terhadap paparan radiasi lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju paparan radiasi untuk berbagai jenis batuan di Pulau Jawa terdapat pada Gambar 1 dan Tabel 1. Sedangkan paparan radiasi rata-rata untuk berbagai jenis penggunaan lahan tercantum pada Tabel 2 dan Gambar 2. Paparan radiasi berdasarkan jenis batuan dan penggunaan lahan terdapat pada Tabel 3 dan 4.



Gambar 1. Paparan radiasi rata-rata di dalam berbagai jenis batuan

Dari Tabel 1 dan Gambar 1 jenis batuan yang mempunyai paparan radiasi tertinggi adalah dari jenis batuan latosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah gelombang dan gunung dengan paparan 14,99 $\mu\text{R}/\text{jam}$ (jenis batuan p dalam Tabel 1 dan Gambar 1). Paparan rata-rata pada batuan jenis ini adalah $5,03 \pm 3,87$ $\mu\text{R}/\text{jam}$ (terukur 1,14 – 14,99 $\mu\text{R}/\text{jam}$). Nilai ini lebih besar dari paparan radiasi rata-rata untuk semua jenis batuan sebesar $3,43 \pm 0,69$ $\mu\text{R}/\text{jam}$. Jika dibandingkan dengan nilai rata-rata paparan untuk semua jenis batuan di negara di dunia sebesar 3,10 $\mu\text{R}/\text{jam}$ [15], maka paparan radiasi pada jenis batuan ini lebih besar.

Data pengukuran beberapa jenis tanah atau kegiatan mempunyai jangkauan yang luas, sehingga akan menghasilkan simpangan yang besar pada paparan radiasi rata-ratanya. Dengan jenis batuan yang sama pada daerah yang berbeda dengan kegiatan manusia yang berbeda, mendapatkan perbedaan angka pengukuran paparan radiasi yang besarnya tidak hanya dipengaruhi oleh jenis batuan. Hal yang sama berlaku pada data pengukuran paparan radiasi pada daerah yang mempunyai kegiatan yang sama, tetapi jenis batuan yang berbeda. Pengaruh jenis batuan dan kegiatan manusia pada paparan radiasi alam di suatu tempat saling terkait.

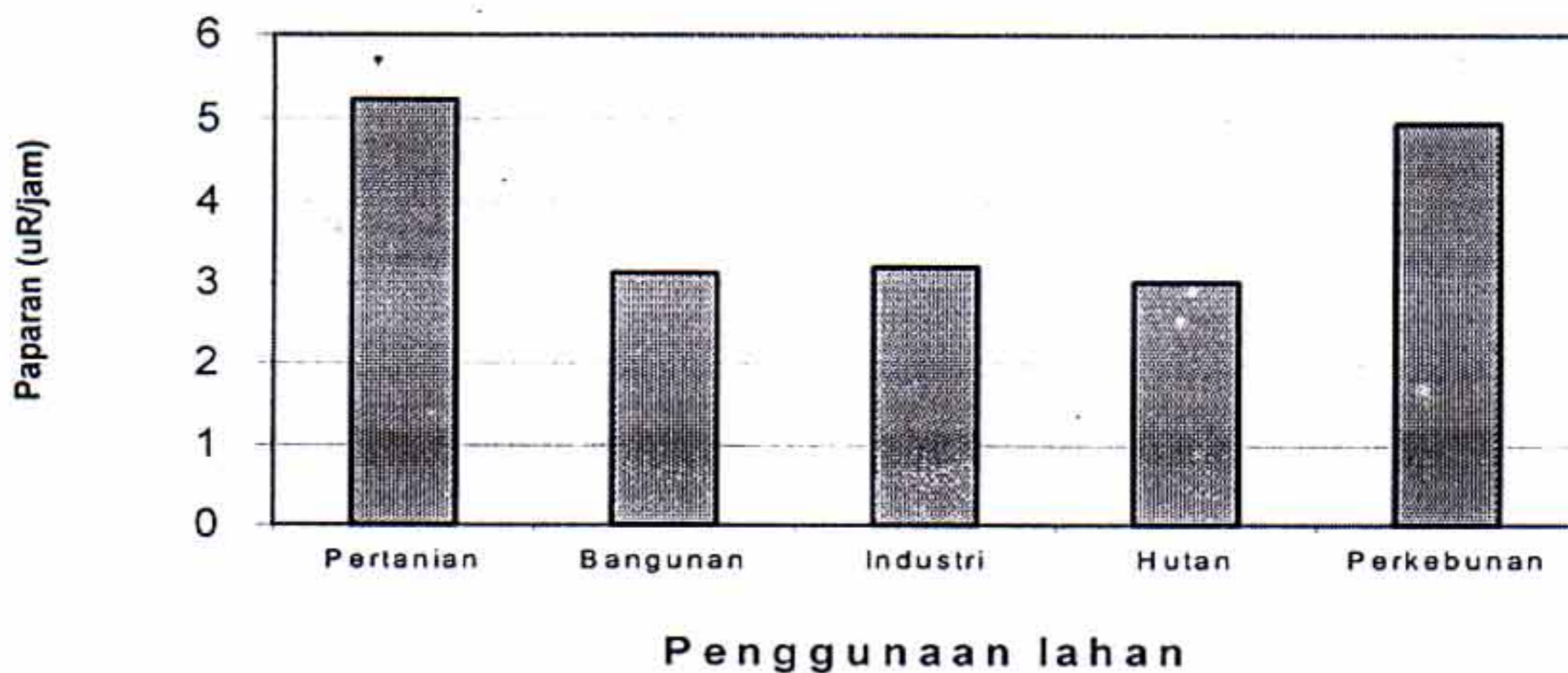
Tabel 1. Paparan radiasi rata-rata di dalam berbagai jenis batuan

No.	Nama Batuan	Paparan rata-rata ($\mu\text{R}/\text{jam}$)
a.	Alluvial dari endapan sungai dan danau di daerah datar atau cekung	$3,96 \pm 2,90$
b.	Regosol dari batu endapan berkapur di daerah bukit	$3,85 \pm 1,94$
c.	Regosol dari bukit pasir pantai dan endapan pasir di daerah gelombang	$3,28 \pm 0,59$
d.	Grumosol dari endapan liat tua di daerah datar	$4,25 \pm 2,96$
e.	Podsolik merah kuning dari batu endapan masam di daerah gunung	$3,93 \pm 0,60$
f.	Mediteran merah kuning dan grumosol dari batu endapan berkapur di daerah bukit dan gunung	$2,41 \pm 0,49$
g.	Mediteran merah kuning grumosol, dan regosol dari batu endapan di daerah bukit dan gunung	$3,33 \pm 0,89$
h.	Regosol dan litosol dari batuan endapan dan beku Di daerah berombak dan bukit	$3,45 \pm 0,27$
i.	Mediteran merah kuning dan litosol dari batu endapan dan metamorfosa	$2,78 \pm 0,89$
j.	Regosol dari batuan beku basis dan intermedier Di daerah bukit dan gunung	$3,25 \pm 0,82$
k.	Regosol dari batuan beku masam di daerah bukit	$2,92 \pm 0,38$
l.	Regosol dan latosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit dan gunung	$2,88 \pm 0,85$
m.	Latosol dan andosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit dan gunung	$2,89 \pm 0,66$
n.	Mediteran merah kuning dan grumosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit	$4,51 \pm 3,55$
o.	Latosol dan andosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit	$2,79 \pm 0,19$
p.	Latosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah gelombang dan gunung	$5,03 \pm 3,87$
q.	Andosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah gunung	$2,81 \pm 0,05$

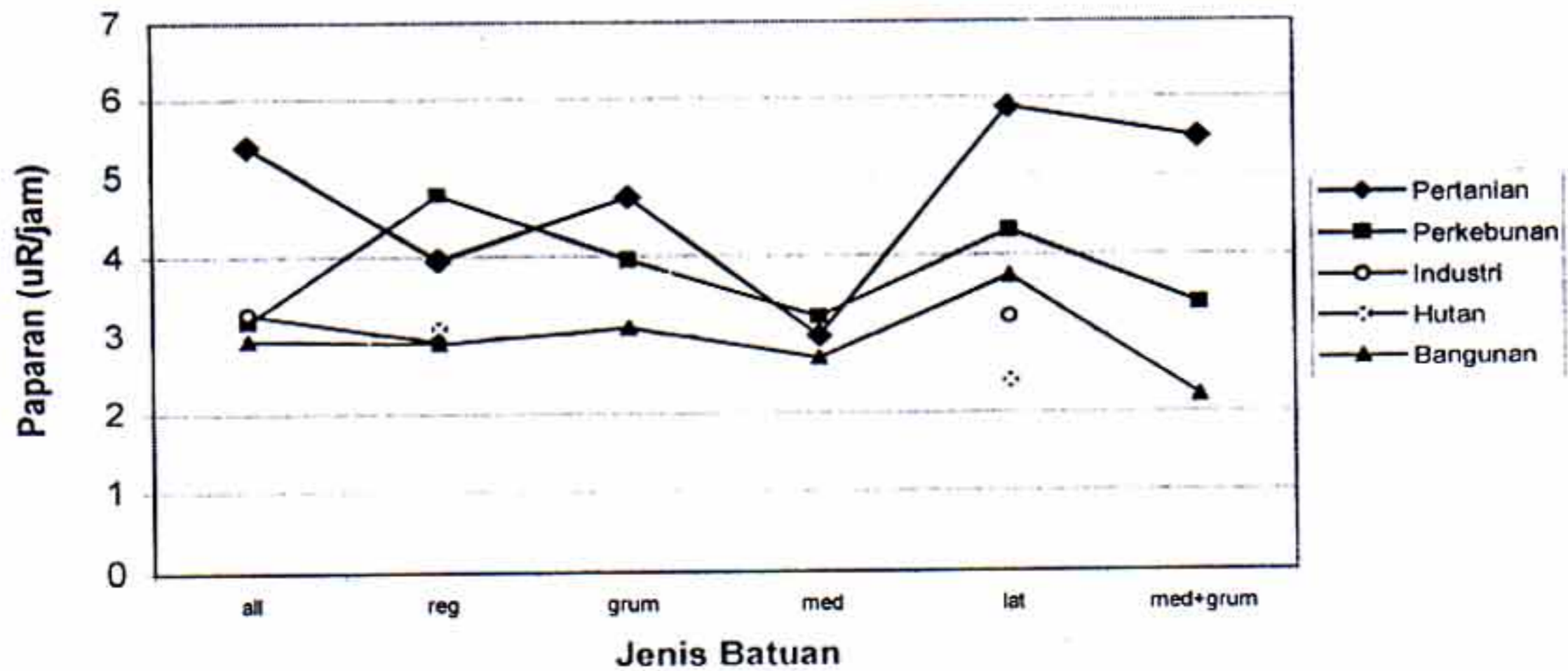
Dari Tabel 2 dan Gambar 2 jenis penggunaan lahan yang mempunyai paparan radiasi tertinggi adalah untuk pertanian dengan nilai terukur sebesar 14,99 $\mu\text{R}/\text{jam}$. dan dengan rata-rata paparan $5,24 \pm 3,94 \mu\text{R}/\text{jam}$ (terukur dari 1,99 – 14,99 $\mu\text{R}/\text{jam}$). Kemudian disusul untuk lokasi perkebunan dengan paparan 13,87 $\mu\text{R}/\text{jam}$, dengan paparan rata-rata $4,95 \pm 3,66 \mu\text{R}/\text{jam}$ (terukur dari 1,32 – 13,87 $\mu\text{R}/\text{jam}$). Nilai ini lebih besar dari paparan radiasi rata-rata untuk semua jenis penggunaan lahan sebesar $3,91 \pm 0,97 \mu\text{R}/\text{jam}$. Paparan terendah untuk daerah yang digunakan untuk kehutanan sebesar 3,24 $\mu\text{R}/\text{jam}$, dengan paparan rata-rata $3,02 \pm 0,64 \mu\text{R}/\text{jam}$ (terukur dari 0,94 – 3,24 $\mu\text{R}/\text{jam}$).

Tabel 2. Paparan radiasi rata-rata berdasarkan jenis penggunaan lahan di Pulau Jawa.

No.	Penggunaan Lahan	Paparan rata-rata ($\mu\text{R}/\text{jam}$)	Jangkauan Data ($\mu\text{R}/\text{jam}$)
1.	Pertanian (Sawah)	$5,24 \pm 3,94$	1,99 – 14,99
2.	Bangunan	$3,13 \pm 1,32$	1,21 - 4,65
3.	Industri	$3,21 \pm 0,49$	2,46 - 5,17
4.	Hutan	$3,02 \pm 0,64$	0,94 – 3,24
5.	Perkebunan	$4,95 \pm 3,66$	1,32 – 13,87



Gambar 2. Paparan radiasi rata-rata dalam berbagai penggunaan lahan



Gambar 3. Paparan radiasi pada berbagai jenis batuan dan penggunaan lahan

Jika diambil asumsi berdasarkan rata-rata paparan radiasi untuk semua jenis batuan sebesar $3,43 \pm 0,69 \mu\text{R}/\text{jam}$, maka penggunaan lahan untuk pertanian dan perkebunan dibandingkan dengan penggunaan lahan lainnya menyumbangkan paparan radiasi rata-rata yang berarti. Jika diambil asumsi berdasarkan rata-rata paparan radiasi untuk daerah kehutanan yaitu penggunaan lahan yang dianggap tidak memberikan sumbangan radiasi ke lingkungan, maka paparan radiasi rata-rata untuk penggunaan lahan pertanian dan perkebunan juga lebih besar.

Tabel 3 menerangkan paparan radiasi berbagai batuan dan penggunaan lahan dan tentang hubungan paparan radiasi di suatu daerah dengan faktor faktor yang mempengaruhinya yaitu faktor jenis batuan pembentuk suatu daerah dan penggunaan lahan yang dilakukan di daerah tersebut. Dari data tersebut terlihat bahwa untuk semua kombinasi jenis batuan dengan penggunaan lahan, paparan radiasi rata-rata yang tinggi terdapat pada kombinasi dengan penggunaan lahan pertanian atau perkebunan, dan paparan radiasi rendah pada kombinasi dengan penggunaan lahan untuk kehutanan.

Tabel 3. Paparan radiasi berdasarkan penggunaan lahan dan jenis batuan

No.	Penggunaan Lahan	Jenis batuan	Paparan rata-rata ($\mu\text{R}/\text{jam}$)
1.	Pertanian (Sawah)	a. Alluvial dari endapan sungai dan danau di daerah datar atau cekung	$5,40 \pm 4,47$
		b. Regosol dari batu endapan berkapur di daerah bukit	$3,96 \pm 2,03$
		d. Grumosol dari endapan liat tua di daerah datar	$4,75 \pm 3,47$
		f. Mediteran merah kuning grumosol, dan regosol dari batu endapan di daerah bukit dan gunung	$4,02 \pm 1,05$
		g. Mediteran merah kuning dan grumosol dari batu endapan berkapur di daerah bukit dan gunung	$2,98 \pm 0,48$
		h. Regosol dan litosol dari batuan endapan dan beku di daerah berombak dan bukit	$3,99 \pm 0,61$
		i. Mediteran merah kuning dan litosol dari batu endapan dan metamorfosa	$2,84 \pm 0,48$
		j. Regosol sdari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit dan gunung	$3,30 \pm 0,87$
		l. Regosol dan latosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit dan gunung	$2,99 \pm 0,82$
		o. Latosol dan andosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit dan gunung	$2,87 \pm 0,40$
		n. Mediteran merah kuning dan grumosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit	$5,49 \pm 4,19$
		p. Latosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah gelombang dan gunung	$5,88 \pm 5,16$
		q. Andosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah gunung	$2,87 \pm 0,87$

No.	Penggunaan Lahan	Jenis batuan	Paparan rata-rata ($\mu\text{R}/\text{jam}$)
2.	Bangunan	<p>a. Alluvial dari endapan sungai dan danau di daerah datar atau cekung</p> <p>b. Regosol dari batu endapan berkapur di daerah bukit</p> <p>c. Regosol dari bukit pasir pantai dan endapan pasir di daerah gelombang</p> <p>d. Grumosol dari endapan liat tua di daerah datar</p> <p>e. Podsolik merah kuning dari batu endapan masam di daerah gunung</p> <p>f. Mediteran merah kuning grumosol, dan regosol dari batu endapan di daerah bukit dan gunung</p> <p>g. Mediteran merah kuning dan grumosol dari batu endapan berkapur di daerah bukit dan gunung</p> <p>h. Regosol dan litosol dari batuan endapan dan beku di daerah berombak dan bukit</p> <p>i. Mediteran merah kuning dan litosol dari batu endapan dan metamorfosa</p> <p>j. Regosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit dan gunung</p> <p>l. Regosol dan latosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit dan gunung</p> <p>m. Latosol dan andosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit dan gunung</p> <p>n. Mediteran merah kuning dan grumosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit</p> <p>o. Latosol dan andosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit</p> <p>p. Latosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah gelombang dan gunung</p> <p>q. Andosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah gunung</p>	<p>$3,18 \pm 0,10$</p> <p>$4,78 \pm 2,33$</p> <p>$3,48 \pm 0,52$</p> <p>$3,96 \pm 1,36$</p> <p>$3,86 \pm 0,57$</p> <p>$3,23 \pm 0,11$</p> <p>$2,41 \pm 0,09$</p> <p>$3,69 \pm 0,03$</p> <p>$2,67 \pm 1,10$</p> <p>$3,05 \pm 0,98$</p> <p>$2,12 \pm 0,87$</p> <p>$2,75 \pm 0,62$</p> <p>$3,39 \pm 0,24$</p> <p>$2,94 \pm 0,14$</p> <p>$4,32 \pm 2,93$</p> <p>$2,47 \pm 0,62$</p>

No.	Penggunaan Lahan	Jenis batuan	Paparan rata-rata ($\mu\text{R}/\text{jam}$)
3.	Industri	a. Aluvial dari endapan sungai dan danau di daerah datar atau cekung	$3,28 \pm 0,51$
		k. Regosol dari batuan beku masam di daerah bukit	$2,92 \pm 0,38$
		l. Regosol dan latosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit dan gunung	$3,02 \pm 0,38$
		o. Latosol dan andosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit	$2,68 \pm 0,15$
		p. Latosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah gelombang dan gunung	$3,23 \pm 0,65$
4.	Kehutanan	j. Regosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit dan gunung	$3,09 \pm 1,00$
		m. Latosol dan andosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit dan gunung	$2,91 \pm 0,89$
		p. Latosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah gelombang dan gunung	$2,55 \pm 0,12$
		o. Latosol dan andosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit	$2,94 \pm 0,14$
		q. Andosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah gunung	$2,00 \pm 0,79$

No.	Penggunaan Lahan	Jenis batuan	Paparan rata-rata ($\mu\text{R}/\text{jam}$)
5.	Perkebunan	a. Alluvial dari endapan sungai dan danau di daerah datar atau cekung	$2,94 \pm 0,66$
		b. Regosol dari batu endapan berkapur di daerah bukit	$2,90 \pm 0,59$
		c. Regosol dari bukit pasir pantai dan endapan pasir di daerah gelombang	$2,68 \pm 0,25$
		d. Grumosol dari endapan liat tua di daerah datar	$3,10 \pm 0,36$
		e. Podsolik merah kuning dari batu endapan masam di daerah gunung	$4,27 \pm 0,75$
		f. Mediteran merah kuning grumosol, dan regosol dari batu endapan di daerah bukit dan gunung	$2,70 \pm 0,44$
		g. Mediteran merah kuning dan grumosol dari batu endapan berkapur di daerah bukit dan gunung	$2,49 \pm 0,40$
		h. Regosol dan litosol dari batuan endapan dan beku di daerah berombak dan bukit	$3,55 \pm 0,16$
		i. Mediteran merah kuning dan litosol dari batu endapan dan metamorfosa	$2,74 \pm 0,75$
		j. Regosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit dan gunung	$3,31 \pm 0,45$
		l. Regosol dan latosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit dan gunung	$2,88 \pm 0,68$
		m. m. Latosol dan andosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit dan gunung	$3,10 \pm 0,32$
		n. Mediteran merah kuning dan grumosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit	$2,21 \pm 0,09$
		p. Latosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah gelombang dan gunung	$4,74 \pm 4,05$
		q. Andosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah gunung	$2,77 \pm 1,29$

Paparan terbesar terdapat pada kombinasi jenis batuan latosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah gelombang dan gunung dengan penggunaan lahan untuk pertanian sebesar $14,99 \mu\text{R}/\text{jam}$ dengan paparan rata-rata $5,88 \pm 5,16 \mu\text{R}/\text{jam}$. Jika

dibandingkan dengan paparan radiasi rata-rata pada batuan yang sama yaitu sebesar $4,51 \pm 3,55 \mu\text{R/jam}$, maka untuk daerah dengan kombinasi tersebut diperkirakan penggunaan lahan pertanian menyumbangkan paparan radiasi dalam jumlah yang berarti ke lingkungan tersebut. Sedangkan paparan terendah terdapat di daerah dengan kombinasi jenis batuan andosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah gunung, dan penggunaan lahan untuk hutan .

Tabel 4 menerangkan tentang perhitungan persentase sumbangan radiasi ke lingkungan jika dibandingkan dengan paparan radiasi rata-rata untuk jenis batuan yang sama. Dari Tabel 4 diperoleh bahwa sumbangan terbesar paparan radiasi dari penggunaan lahan pertanian, di daerah yang terbentuk dari jenis batuan aluvial dari endapan sungai dan danau di daerah datar atau cekung (jika dibandingkan dengan paparan rata-rata pada batuan dari daerah yang bersangkutan).

Dari uraian hasil data yang didapat, faktor-faktor yang mempengaruhi paparan radiasi di lingkungan selain karena sebaran radiasi yang secara alamiah sudah terdapat di lingkungan yaitu dari batuan yang membentuk lahan yang digunakan manusia, perlu juga dibahas tentang sumbangan paparan radiasi dari penggunaan lahan yang dilakukan manusia. Sumbangan paparan radiasi dari penggunaan lahan berasal dari pemindahan radiasi dari tempat yang satu ke tempat yang lain.

Penggunaan lahan untuk pertanian dan perkebunan perlu mendapat perhatian, karena sumbangan paparan radiasi dari ke-dua penggunaan lahan tersebut memberikan kontribusi yang berarti. Mengingat penggunaan pupuk buatan di dalam penggunaan lahan tersebut di Indonesia cukup intensif dan dalam jumlah yang sudah berlebihan.[16]

Tabel 4. Sumbangan radiasi ke lingkungan (%) dari penggunaan lahan pada berbagai jenis batuan.

No.	Nama Batuan	Paparan rata-rata di Batuan ($\mu\text{R}/\text{jam}$)	Sumbangan Paparan Radiasi (%)		
			Pertanian	Perkebunan	Bangunan
1.	Alluvial dari endapan sungai dan danau di daerah datar atau cekung	$3,96 \pm 2,90$	36,4	<	<
2.	Regosol dari batu endapan berkapur di daerah bukit	$3,85 \pm 1,94$	2,85	<	25,1
4.	Grumosol dari endapan liat tua di daerah datar	$4,25 \pm 2,96$	11,7	<	<
5.	Podsolik merah kuning dari batu endapan masam di daerah gunung	$3,93 \pm 0,60$	Tidak ada pertanian	8,6	<
6.	Mediteran merah kuning dan grumosol dari batu endapan berkapur di daerah bukit dan gunung	$2,41 \pm 0,49$	23,6	12,3	<
8.	Regosol dan litosol dari batuan endapan dan beku di daerah berombak dan bukit	$3,45 \pm 0,27$	15,6	2,8	6,9
9.	Mediteran merah kuning dan litosol dari batu endapan dan metamorfosa	$2,78 \pm 0,89$	3,6	<	<
10.	Regosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit dan gunung	$3,25 \pm 0,82$	<	1,8	<
12.	Regosol dan latosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit dan gunung	$2,88 \pm 0,85$	3,8	<	<
13.	Latosol dan andosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit dan gunung	$2,89 \pm 0,66$	<	7,3	<
14.	Latosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah gelombang dan gunung	$5,03 \pm 3,87$	30,4	5,1	<
15.	Latosol dan andosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit	$2,79 \pm 0,19$	2,8	11,1	5,3

No.	Nama Batuan	Paparan rata-rata di Batuan ($\mu\text{R}/\text{jam}$)	Sumbangan Paparan Radiasi (%)		
			Pertanian	Perkebunan	Bangunan
16.	Mediteran merah kuning dan grumosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah bukit	$4,51 \pm 3,55$	9,1	<	<
17.	Andosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah gunung	$2,81 \pm 0,05$	2,1	<	<

Keterangan : Tanda < adalah menyatakan paparan dari penggunaan lahan lebih kecil dari paparan rata-rata pada jenis batuan yang sama.

KESIMPULAN

Faktor-faktor yang mempengaruhi paparan radiasi alamiah di lingkungan di suatu daerah adalah jenis batuan yang membentuk daerah yang bersangkutan, dan penggunaan lahan yang membantu sumbangan paparan radiasi alam ke lingkungan.

Paparan radiasi rata-rata yang berasal dari semua jenis batuan adalah $3,43 \pm 0,69 \mu\text{R}/\text{jam}$. jenis batuan latosol dari batuan beku basis dan intermedier di daerah gelombang dan gunung, dengan paparan $14,99 \mu\text{R}/\text{jam}$.. Paparan rata-rata pada batuan jenis ini adalah $5,03 \pm 3,87 \mu\text{R}/\text{jam}$ (terukur $1,14 - 14,99 \mu\text{R}/\text{jam}$).

Jenis penggunaan lahan yang mempunyai paparan radiasi tertinggi adalah untuk pertanian sebesar $14,99 \mu\text{R}/\text{jam}$. dan dengan rata-rata paparan $5,24 \pm 3,94 \mu\text{R}/\text{jam}$ (terukur dari $1,99 - 14,99 \mu\text{R}/\text{jam}$), kemudian untuk lokasi perkebunan dengan paparan $13,87 \mu\text{R}/\text{jam}$, dan paparan rata-rata $4,95 \pm 3,66 \mu\text{R}/\text{jam}$ (terukur dari $1,32 - 13,87 \mu\text{R}/\text{jam}$).