

## Rancang Bangun Sistem Pemantauan Dosis Radiasi Sinar Gamma di Bawah Permukaan Air Menggunakan Pencacah Geiger-Muller Secara Nirkabel Berbasis Labview

Adhitya Firmansyah<sup>1</sup>, Meqorry Yusufi<sup>1\*</sup>, Mohamad Nur Yahya<sup>2</sup>

<sup>1)</sup> Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163.

<sup>2)</sup> Kelompok Riset Radioekologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Pasar Jum'at, Lebak Bulus, Jakarta Selatan, 12440.

### Info Artikel

#### Histori Artikel:

Diajukan: 08 Agustus 2024

Direvisi: 16 Agustus 2024

Diterima: 19 September 2024

#### Kata kunci:

Geiger-muller

Labview

nRF24l01+

Radioaktif

#### Keywords:

Geiger-muller

Labview

nRF24l01+

Radioactive

#### Penulis Korespondensi:

Meqorry Yusufi

Email:

[meqorryyusfi@sci.unand.ac.id](mailto:meqorryyusfi@sci.unand.ac.id)

### ABSTRAK

Penggunaan radioaktif memerlukan evaluasi dampak lingkungan, khususnya peningkatan radiasi latar dalam konteks radioekologi. Radionuklida seperti cesium, yang sangat larut dalam air, dapat terlepas ke perairan laut melalui kebocoran pembangkit tenaga nuklir, limbah radioaktif, dan percobaan senjata militer, berpotensi membahayakan ekosistem laut dan rantai makanan. Pemantauan paparan radiasi di bawah permukaan air secara berkala sangat penting dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan dosis radiasi sinar gamma di bawah permukaan air menggunakan pencacah Geiger-Muller yang bekerja secara nirkabel dan berbasis LabVIEW. Sistem ini terdiri dari pencacah Geiger-muller untuk mengukur dosis radiasi, modul nRF24l01+ untuk transmisi data, dan aplikasi LabVIEW sebagai panel tampilan. Pengujian dilakukan dengan menenggelamkan sumber radioaktif cesium ke dalam bak air dengan variasi jarak dan kedalaman. Data radiasi diukur oleh pencacah Geiger-muller, dikirimkan melalui nRF24l01+ ke receiver, dan diproses oleh Arduino Uno sebelum ditampilkan di LabVIEW. Aplikasi LabVIEW juga memberikan peringatan jika dosis melebihi ambang batas dan mencatat nilai dosis. Hasil pengujian menunjukkan persentase keberhasilan pengukuran terendah sebesar 17% pada posisi ke-7 dan tertinggi sebesar 30% pada posisi ke-1.

*The use of radioactive materials requires environmental impact assessment, especially the increase in background radiation in the context of radioecology. Radionuclides such as cesium, which are highly soluble in water, can be released into marine waters through nuclear power plant leaks, radioactive waste, and military weapons tests, potentially endangering marine ecosystems and the food chain. Regular monitoring of radiation exposure below the water surface is very important. This study aims to develop a gamma ray radiation dose monitoring system below the water surface using a Geiger-Muller counter that works wirelessly and is based on LabVIEW. This system consists of a Geiger-Muller counter to measure radiation doses, an nRF24l01+ module for data transmission, and a LabVIEW application as a display panel. The test was carried out by submerging a cesium radioactive source into a water bath with varying distances and depths. Radiation data was measured by the Geiger-Muller counter, sent via the nRF24l01+ to the receiver, and processed by the Arduino Uno before being displayed in LabVIEW. The LabVIEW application also provides a warning if the dose exceeds the threshold and records the dose value. The test results showed the lowest measurement success percentage of 17% in the 7th position and the highest of 30% in the 1st position.*

## I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan berbagai sumber radioaktif di Indonesia, termasuk bahan bakar nuklir, limbah nuklir, dan sumber daya alam seperti mineral radioaktif, telah mengalami peningkatan yang substansial untuk mendukung kegiatan riset, industri, dan layanan kesehatan. Penggunaan radioaktif dalam berbagai sektor harus diiringi dengan memperhatikan dampak yang ditimbulkannya, seperti peningkatan radiasi latar, yang perlu dievaluasi dalam konteks aspek radioekologi (Mukanthi dkk., 2021).

Radionuklida dapat berbahaya bagi lingkungan maupun manusia apabila terpapar dalam dosis yang tinggi. Cesium merupakan salah satu jenis radionuklida yang bersifat sangat larut dalam air dan sering ditemukan berada di bawah permukaan air laut. Berdasarkan sifat yang mudah larut dan mobilitasnya yang tinggi, cesium dapat menjadi limbah radioaktif yang berbahaya, terutama jika terakumulasi dalam organisme laut dan akhirnya masuk ke dalam rantai makanan (Purba, Rachmatiah, & Intan, 2009). Radionuklida buatan terbagi menjadi dua kelompok, yaitu radionuklida konservatif dan radionuklida non-konservatif. Radionuklida konservatif diartikan sebagai radionuklida yang sangat larut dalam air sehingga sebarannya sangat dipengaruhi oleh proses fisika berupa pencampuran dan difusi (Cahyana, 2013).

Kadar radionuklida dalam air dapat diidentifikasi melalui pemantauan rutin terhadap paparan radiasi di bawah permukaan air (BAPETEN, 2008). Namun, alat pemantauan dosis radiasi air saat ini masih mahal dan sulit didapat. Pengukuran biasanya dilakukan oleh pekerja di bawah air dengan membungkus detektor untuk melindunginya, namun cara ini kurang aman dan tidak memungkinkan pemantauan rutin. Akibatnya, radiasi yang melebihi batas normal bisa terjadi tanpa disadari oleh pekerja atau masyarakat sekitar, berpotensi menimbulkan dampak buruk.

Pemantauan secara berkala untuk menanggulangi paparan radiasi di daerah perairan merupakan salah satu cara menjamin keselamatan dan kesehatan masyarakat serta pekerja di sekitar perairan maupun di laut. Beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait pemantauan radiasi di dalam air, salah satunya Lee dkk. (2023) yang menggunakan sensor SiPM-based gamma spectroscopy dan Modul LoRA sebagai modul transmisi data dan hasil dari penelitian menunjukkan spektroskopi gamma yang dikembangkan mampu mendeteksi radioaktivitas dari sumber titik  $^{137}\text{Cs}$  (3,7 kBq) pada jarak 20 cm di dalam air. Rosyidi dkk. (2016) melakukan penelitian menggunakan pencacah Geiger tube M4011 sebagai detektor dan modul NGMC VI sebagai modul transmisi data berbasis web server. Hasil pengujian yang diperoleh mampu memberikan informasi nilai paparan radiasi sinar gamma yang berupa data angka, dengan keakuratan deteksi sinar gamma diantara 0mR/h - 120mR/h berdasarkan datasheet dari modul Geiger-Muller. Muktadir dkk. (2019) merancang sistem pemantauan berbasis MATLAB serta memanfaatkan frekuensi radio dalam proses transmisi datanya yaitu modul *transmitter* 433 MHz dan ESP 8266. Hasil pengujian menunjukkan nilai dosis rata-rata yang ditemukan adalah 4  $\mu\text{Sv/jam}$  untuk Co-60, 1,5  $\mu\text{Sv/jam}$  untuk Cs-137, dan 1  $\mu\text{Sv/jam}$  untuk Na-22.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, terdapat kebutuhan mendesak untuk sistem pemantauan dosis radiasi gamma yang andal di bawah air. Peningkatan aktivitas nuklir dan teknologi radiasi memerlukan alat pemantauan yang efektif di lingkungan perairan. Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan dosis radiasi gamma bawah air menggunakan pencacah Geiger-Muller sebagai detektor dan nRF24L01+ untuk transmisi data nirkabel. Sistem ini berbasis LabVIEW, sebuah software pemrograman dari *National Instruments* yang menggunakan konsep berbasis grafis, berbeda dari bahasa pemrograman lain yang berbasis teks. Pendekatan secara grafis ini, LabVIEW memudahkan visualisasi dan pengembangan aplikasi berbasis instrumen, termasuk dalam pemantauan radiasi. Program di LabVIEW disebut *Virtual Instruments (VI)* karena dapat meniru tampilan dan operasi instrumen nyata, serta memungkinkan pemantauan dan respon real-time, sekaligus menyimpan hasil pengukuran dalam format *file* teks untuk analisis lanjutan (Artanto, 2012). Sistem ini terdiri dari tiga komponen utama yaitu *front panel*, blok diagram, dan palet kontrol. Kinerja sistem diuji di atas dan di bawah air dengan mengukur Ping, *Packet Loss*, dan *Jitter*, memastikan keandalannya dalam berbagai kondisi operasional.

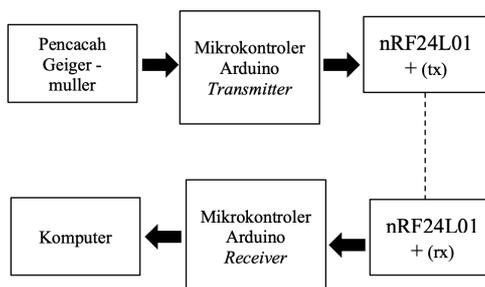
## II. METODE

### 2.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan adalah pencacah Geiger-muller, nRF24l01+, Arduino UNO, aplikasi Labview NI, multimeter digital, *power bank*, *jumper*, penyedot timah, *case* alat, solder, Cesium-137, dan Europium-152.

### 2.2 Perancangan Sistem

Diagram blok sistem pengukuran dirancang untuk memudahkan dalam memahami hubungan antara satu komponen dengan komponen lainnya. Diagram blok dapat ditunjukkan pada Gambar 1, dimana pencacah Geiger-Muller digunakan untuk mengukur dosis radiasi dan nRF24L01+ untuk melakukan transmisi data.



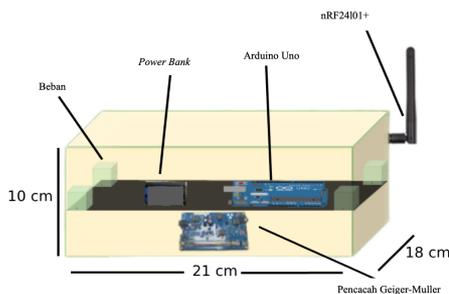
Gambar 1 Diagram Blok Sistem

### 2.3 Perancangan Sistem Pemantauan pada Aplikasi Labview

Data yang diterima oleh Arduino receiver diubah menjadi dosis radiasi menggunakan program LabVIEW. Penelitian ini memanfaatkan LabVIEW sebagai Graphical User Interface (GUI) karena kemampuannya untuk mengontrol perangkat, mengumpulkan, memanipulasi, dan menampilkan data secara intuitif. Dengan berbasis grafis, LabVIEW lebih mudah dioperasikan dibandingkan bahasa pemrograman berbasis teks, karena prosesnya menyerupai pembuatan blok diagram pada *window block* Diagram yang menghasilkan tampilan sistem pemantauan di front panel. Data yang diperoleh dari LabVIEW berupa string kemudian disimpan dalam *file* berformat *.txt* di local disk D dengan nama "logerdata." Ketika tombol stop ditekan, nilai dosis radiasi yang telah direkam sejak awal akan ditampilkan dalam grafik terhadap waktu dan secara otomatis disimpan dalam file tersebut setelah program berhenti.

### 2.4 Bentuk Fisik Alat

Perancangan bentuk fisik alat menggunakan bahan PVC atau plastik yang berbentuk balok yang berisikan rangkaian alat dan tempat meletakkan sampel. Kotak dipasang rangkaian alat yang dihubungkan dengan Arduino Uno. Seluruh komponen yang diletakkan di dalam *case*, diberi penyangga agar tidak terjadinya *source* antar komponen. Di dalam *case*, diberi beban yang bertujuan untuk menenggelamkan sebagian dari *case* alat agar pencacah Geiger-muller berada di bawah permukaan air. Bentuk fisik alat detektor radiasi di dalam air dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Rancangan bentuk fisik alat

## 2.5 Pengujian dan Analisa Data

Dalam proses pengambilan data, alat diuji dalam bak air dengan posisi sebagian tenggelam pada 9 titik berbeda, berjarak 30 cm dan kedalaman 10 cm dengan kondisi air statis. Variasi jarak dan kedalaman ini penting untuk memahami penyebaran dan penyerapan radiasi yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kedalaman, dan tekanan air. Penggunaan air kondisi statis memastikan hasil pengukuran hanya dipengaruhi oleh jarak dan kedalaman, bukan oleh arus atau tekanan. Setiap posisi diuji 10 kali untuk mengurangi kesalahan dan meningkatkan akurasi data. Sistem pemantauan detektor radiasi di dalam air yang mana sistem memerlukan analisis data untuk mengetahui keakuratan alat yang dirancang. Keakuratan alat dapat diketahui dari persentase nilai *error*. Persentase nilai *error* didapatkan pada Persamaan 1.

$$\% \text{ error} = \frac{|x_{\text{diperoleh}} - x_{\text{display Ludlum}}|}{x_{\text{display Ludlum}}} \times 100\% \quad (1)$$

dengan,

$x_{\text{diperoleh}}$  : Nilai dosis radiasi yang terbaca oleh pencacah Geiger-muller

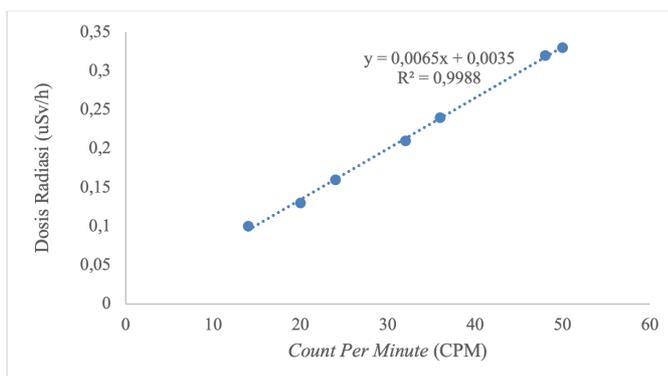
$x_{\text{display Ludlum}}$  : Nilai dosis radiasi yang terbaca oleh display Ludlum

## III. HASIL DAN DISKUSI

### 3.1 Hasil Karakterisasi Pencacah Geiger-Muller

Percobaan ini dilakukan dengan mengumpulkan 7 nilai cpm (*counts per minute*) yang ditampilkan pada serial monitor Arduino selama dosis radiasi berada dalam kisaran 0,1 hingga 0,35  $\mu\text{Sv/h}$ . Sebagai sumber radiasi, digunakan Europium-152 (Eu-152) yang memiliki spektrum energi yang luas. Sumber radiasi diletakkan dekat dengan detektor dengan posisi yang dioptimalkan hingga pencacah Geiger Muller dan display Ludlum mengindikasikan dosis radiasi yang sesuai dengan harapan.

Setelah display Ludlum menunjukkan dosis yang diharapkan, nilai cpm yang terlihat pada serial monitor Arduino diobservasi selama tiga detik untuk mengidentifikasi nilai yang muncul paling sering. Nilai cpm yang sering muncul ini kemudian diambil sebagai nilai  $x$ , sedangkan nilai  $y$  adalah dosis yang ditunjukkan pada display Ludlum. Selanjutnya, nilai-nilai cpm tersebut disesuaikan dengan dosis radiasi yang ditunjukkan oleh display Ludlum, dan kemudian dicari model persamaan terbaik. Hasil persamaan dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 3** Karakterisasi nilai cpm dengan dosis radiasi pada display Ludlum

Setelah mendapatkan persamaan yang menghubungkan nilai cpm dengan dosis radiasi, persamaan tersebut diimplementasikan dalam rancangan sistem pemantauan pada program Arduino. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian fungsi alat secara keseluruhan dan evaluasi kesalahan antara nilai dosis radiasi yang ditampilkan pada sistem pemantauan Labview dengan nilai yang ditampilkan oleh display Ludlum. Berdasarkan persamaan linear yang didapatkan, pencacah Geiger-muller yang digunakan bekerja dengan baik.

### 3.2 Hasil Karakterisasi nRF24L01+

Pengujian kualitas layanan sistem dari modul nRF24L01+ diperlukan untuk memastikan performa komunikasi nirkabel bekerja dengan optimal. Parameter yang akan dievaluasi untuk mengukur kualitas layanan sistem mencakup respon server jaringan (ping), fluktuasi waktu (*jitter*), dan kehilangan paket (*packet loss*). Kendala yang sering timbul dalam kinerja komunikasi nirkabel umumnya berasal dari distorsi, penurunan sinyal, kebisingan, jumlah paket yang diterima yang terhubung, dan jarak antara pengirim dan penerima (Gouveia dkk., 2009). Pengujian ping dilakukan dalam kondisi *non-line-of-sight* dengan jarak sekitar 40 meter antara *transmitter* dan *receiver*. Ping yang diamati dalam percobaan ini adalah total waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan paket dari *transmitter* hingga sampai ke *receiver*. Hasil yang diperoleh Ping berentang 111 hingga 115 ms dan *jitter* bernilai 1,17 ms.

Menurut (Gouveia dkk., 2009), ping dengan rentang 111 hingga 115 ms masih dianggap baik. *Jitter* yang bernilai 1,17ms masih mampu untuk melakukan komunikasi (Faiqurahman dkk., 2019) Jika ping transmisi untuk komunikasi satu arah melebihi 250 ms, hal ini dapat menyebabkan tumpang tindih paket yang diterima, yang pada gilirannya dapat mengganggu keandalan komunikasi. Oleh karena itu, dengan ping dalam rentang tersebut, sistem komunikasi masih dapat dianggap berfungsi dengan baik dalam kondisi *non-line-of-sight* pada jarak yang diberikan. Faktor-faktor yang dapat memengaruhi kualitas *jitter* meliputi kondisi lokasi percobaan, kepadatan jaringan, konfigurasi jaringan yang optimal, kinerja mesin dalam memproses data dengan cepat, serta potensi kesalahan perangkat keras seperti papan sirkuit, kabel, atau antena. Percobaan berikutnya, *packet loss* pada jarak yang bervariasi: 100 meter, 300 meter, 500 meter, 700 meter, dan 1000 meter. Selain jarak, tinggi perangkat juga divariasikan pada 1 meter, 2 meter, 3 meter. Sehingga memperoleh hasil terbaik seperti pada Tabel 1.

**Tabel 1** Hasil pengujian jumlah *packet loss* pada ketinggian 2 meter

Date ke	Jarak (m)				
	100	300	500	700	1000
1	33	126	70	33	619
2	76	51	226	100	619
3	63	230	282	252	619
4	24	217	327	503	619
5	112	356	194	248	619
6	35	252	56	104	619
7	46	141	303	73	619
8	57	375	194	35	619
9	11	424	147	504	619
10	7	77	116	543	619
Rata-rata <i>packet loss</i>	46,4	224,9	191,5	239,5	619
Rata-rata PLR	7,50	36,33	30,94	38,69	100
Rata-rata PDR	0,93	0,64	0,69	0,61	0

Dari hasil tersebut juga terlihat bahwa performa terbaik modul terjadi pada jarak 100 meter dengan ketinggian 2 meter, di mana *packet loss* berkisar antara 7 hingga 112 dengan rata-rata 46,4. Ini menghasilkan PLR (*Packet Loss Ratio*) yang paling rendah sebesar 7,5 dan PDR (*Packet Delivery Ratio*) yang sangat tinggi sebesar 0,93, yang menunjukkan efisiensi transmisi yang hampir sempurna di kondisi tersebut. Faktor lingkungan sekitar seperti pepohonan di sekitar, lalu lintas kendaraan, serta kehadiran perangkat elektronik lain yang menggunakan frekuensi radio dapat mempengaruhi kinerja modul (Manfredi et al., 2017).

### 3.3 Hasil Perbandingan Nilai Dosis Radiasi yang diperoleh

Hasil pengujian pencacah Geiger-muller dengan pembandingan berupa detektor sintilasi NaITl dengan menggunakan variasi posisi sumber radioaktif. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan nilai yang terbaca pada display Labview dengan display Ludlum. Hasil perbandingan antara pencacah Geiger-muller dengan detektor NaITl pada Tabel 2.

**Tabel 2** Hasil Uji Pencacah Geiger-Muller dengan pembanding pada posisi 1

Data ke -	Dosis Radiasi Labview (Pencacah Geiger-Muller) ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Dosis Radiasi Sintilasi NaITl pada <i>display</i> Ludlum ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Error (%)
1	0,13	0,10	30%
2	0,13	0,11	18%
3	0,16	0,10	60%
4	0,11	0,11	0%
5	0,08	0,09	11%
6	0,13	0,10	30%
7	0,11	0,11	0%
8	0,16	0,11	45%
9	0,16	0,10	60%
10	0,16	0,11	45%
Rata-rata persentase <i>error</i>			30%

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa nilai dosis yang dibaca oleh alat mendekati nilai dosis yang terlihat pada *display* Ludlum, namun masih banyak nilai dosis yang jauh dari nilai dosis pada *display* Ludlum. Persentase perbedaan yang dihasilkan sebesar 30%.

**Tabel 3** Hasil uji pencacah Geiger-Muller dengan pembanding pada posisi 7

Data ke -	Dosis Radiasi Labview (Pencacah Geiger-Muller) ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Dosis Radiasi Sintilasi NaITl pada <i>display</i> Ludlum ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Error (%)
1	0,13	0,11	18%
2	0,11	0,11	0%
3	0,13	0,11	18%
4	0,13	0,12	8%
5	0,15	0,12	25%
6	0,13	0,1	30%
7	0,08	0,09	11%
8	0,13	0,11	18%
9	0,13	0,12	8%
10	0,15	0,11	36%
Rata-rata persentase <i>error</i>			17%

Secara keseluruhan nilai persentase *error* alat cukup besar, kendala ini terjadi karena adanya beberapa faktor yaitu delay pada pencacah Geiger-Muller, yang disebabkan oleh keterbatasan kecepatan pemrosesan Arduino Uno dalam proses counting. Skala pengukuran yang digunakan cukup besar sehingga menyebabkan nilai *error* menjadi besar.

Perbedaan persentase *error* setiap posisi masih terbilang jauh, dapat dilihat pada posisi pertama sumber radioaktif dengan posisi yang lain, Kendala ini muncul karena pada intensitas radiasi yang tinggi, jumlah pulsa yang diterima per satuan waktu sangat besar, sehingga waktu pemulihan untuk menghitung (*dead time*) menjadi lebih signifikan karena pencacah Geiger-muller tidak dapat mendeteksi pulsa baru sampai selesai memproses pulsa sebelumnya (Farid, Putu Susila, & Prawito, 2016). *Dead time* menyebabkan undercounting pada tingkat radiasi yang sangat tinggi, sehingga penghitungan sebenarnya mungkin lebih rendah dari tingkat radiasi yang sebenarnya. Pada intensitas radiasi yang rendah, jumlah pulsa yang diterima per satuan waktu relatif kecil. Periode pencacahan yang lebih panjang dapat memberikan data yang lebih akurat karena mengurangi pengaruh fluktuasi statistik.

Secara perubahan *timing* periode, pengambilan data dilakukan secara periode pendek sehingga membuat pencacah Geiger-muller lebih sensitif terhadap fluktuasi statistik pada intensitas rendah, yang dapat menyebabkan risiko *overcounting*. Pada intensitas tinggi, pengambilan data dengan periode pendek menyebabkan perhitungan tidak sesuai dengan mekanisme waktu pemulihan pencacah Geiger-muller untuk melakukan perhitungan yang akurat.

#### IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pemantauan dosis radiasi sinar gamma di bawah permukaan air menggunakan pencacah Geiger-Muller yang dilengkapi dengan modul nRF24L01+ untuk komunikasi secara nirkabel dengan performa terbaik pada jarak 100 meter. Sistem ini efektif dalam mengukur dosis radiasi dan memberikan peringatan saat dosis melebihi ambang batas, meskipun akurasi pengukuran masih terbatas, dengan *error* berkisar antara 17-21% pada jarak lebih dari 10 cm dan 30% pada jarak 0 cm dari sumber radiasi. Penelitian ini memberikan dasar yang baik untuk pengembangan lebih lanjut dalam pemantauan radiasi di lingkungan perairan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Artanto. (2012). Interaksi Arduino dan LabView. In *Jakarta: Elex Media Komputindo*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- BAPETEN. (2008). *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 3 Tahun 2008 tentang Evaluasi Tapak Reaktor Daya Untuk Aspek Penentuan Dispersi Zat Radioaktif di Udara dan Air, dan Pertimbangan Distribusi Penduduk Di Sekitar Tapak Reaktor Daya*. Retrieved from <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-kepala-badan-pengawas-tenaga-nuklir-nomor-3-tahun-2008-tentang-evaluasi-tapak-reaktor-daya-untuk-aspek-penentuan-dispersi-zat-radioaktif-di-udara-dan-air-dan-pertimbangan-distribusi-penduduk-di-sekitar-tapak-reaktor-daya>
- Cahyana, C. (2013). Penentuan Nilai Koefisien Distribusi (Kd) Cesium-137 Pada Sedimen Laut. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah (Journal of Waste Management Technology)*, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, BATAN, 16, 57–62.
- Faiqurahman, M., Novitasari, D. A., & Sari, Z. (2019). QoS Analysis of Kinematic Effects for Bluetooth HC-05 and NRF24L01 Communication Modules on WBAN System. *Kinetik: Game Technology, Information System, Computer Network, Computing, Electronics, and Control*, 2, 187–196.
- Farid, M. M., Putu Susila, I., & Prawito. (2016). Perbandingan Kinerja Hasil Pengukuran Detektor Untuk Pemantauan Lingkungan. *Seminar Keselamatan Nuklir*, 1–5.
- Gouveia, F. C. D., & Magendanz, T. (2009). Quality of Service in Telecommunication Networks. In *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, 2, 80–82.
- Manfredi, S., Natalizio, E., Pascariello, C., & Zema, N. R. (2017). A Packet Loss Tolerant Rendezvous Algorithm for Wireless Networked Robot Systems. *Asian Journal of Control*, 19(4), 1413–1423.
- Mukanthi, D., Jayuska, A., & Idiawati, N. (2021). Kajian Kualitas Air Laut dan Dosis Cesium 137 Pada Biota di Pantai Gosong, Kalimantan Barat Sebagai Calon Tapak PLTN. In *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir* (Vol. 23).
- Muktadir, M. S., Islam, S., & Alam Chowdhury, A. R. (2019). Development of A Wireless Safety System Based on Multiple Radiation Detector for Nuclear Facilities. *1st International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques, ICREST 2019*, 539–542. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Purba, S., Rachmatiah, I., & Intan, P. (2009). Distribusi Radionuklida Cs-134 Pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) yang Hidup di Air Tercemar Cs-134. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 15, 54–62.
- Sabil Rosyidi, H., Endro Suseno, J., & Arifin, Z. (2016). Sistem Monitoring Jarak Jauh Radiasi Gamma Secara Realtime Berbasis Web Server. In *Youngster Physics Journal* (Vol. 5).