

Rancang Bangun Sistem Monitoring Radiasi Sinar-X Berbasis Internet of Things (IoT)

**Rodhotul Muttaqin, Wasi Sakti Wiwit Prayitno,
Natalia Erna Setyaningsih, Upik Nurbaiti**

*Laboratorium Fisika, Gedung D9 kampus Universitas Negeri Semarang,
Sekaran, Kecamatan Gunungpati, Kota Semarang, 50229 Indonesia
Corresponding Author : muttaqinfisika@mail.unnes.ac.id*

*Received: 30th September 2024; Revised: 13th October 2025; Accepted: 27th October 2025;
Available online: 20th October 2025; Published regularly: January 2026*

Abstract

Excessive exposure to X-ray radiation can be harmful to human health; therefore, it is important to regularly monitor its intensity, especially in laboratories equipped with ionizing radiation facilities. This research aims to develop an X-ray radiation monitoring system designed to measure radiation levels in the Material Characterization Unit of the Physics Laboratory at Universitas Negeri Semarang. The research method refers to the prototype model, which consists of several stages: communication, quick planning, quick design modeling, and prototype construction. This monitoring system is essential due to the presence of an X-Ray Diffractometer (XRD) machine, which serves as a source of ionizing radiation.

The developed system consists of an X-ray radiation detector integrated with an ESP32 microcontroller that transmits data to a cloud server via a Wi-Fi protocol. The radiation detector used in this monitoring system is a Geiger-Müller counter. The measured radiation data can also be displayed on an OLED 128x64 screen. Data acquisition is recorded online using the Google Sheets Application Programming Interface (API), enabling real-time data logging. Experimental results of radiation measurements inside the XRD unit show a radiation dose of 319.2 μSv at a distance of 30 cm from the tube at an angle of 30°, while environmental radiation measurements indicate a dose of 0.815 μSv . The monitoring system's measurements were compared with those obtained from a standard survey meter, Ludlum Model 3. The results demonstrate that the developed system is capable of measuring X-ray radiation in real-time and can be effectively used for X-ray radiation monitoring.

Key Words: X-Ray monitoring system, Internet of Things, Geiger Muller Counter Detector, Microcontroller ESP32

Abstrak

Radiasi sinar-X yang berlebihan dapat membahayakan kesehatan manusia, sehingga penting untuk memantau intensitasnya secara berkala terutama di laboratorium yang memiliki fasilitas radiasi pengion. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan sistem monitoring radiasi sinar-X yang digunakan untuk mengukur tingkat radiasi pada unit laboratorium Karakterisasi Material di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang. Metode penelitian yang digunakan mengacu pada model prototipe yang memiliki tahapan komunikasi (communication) perencanaan cepat (quick plan) pemodelan (modeling quick design) dan konstruksi prototipe (construction of prototype). Sistem monitoring ini dibutuhkan mengingat adanya mesin X-Ray Diffractometer (XRD) yang termasuk dalam sumber radiasi pengion.

Sistem monitoring ini terdiri dari detektor radiasi sinar-X yang diintegrasikan dengan mikrokontroler ESP32 yang mengirimkan data ke server cloud melalui protokol wifi. Detektor yang digunakan pada sistem monitoring radiasi sinar-X adalah Geiger Muller Counter. Tampilan data radiasi yang terukur oleh sistem juga dapat dilihat pada display OLED 128x64 yang tersedia. Data yang telah diakuisisi dicatat secara online dengan memanfaatkan Application Programming Interface (API) Google Sheet sehingga data dapat terekam secara real-time. Hasil pengujian pengukuran radiasi di dalam unit alat XRD menunjukkan dosis radiasi sebesar 319,2 μSv dengan jarak pengukuran 30 cm dari tabung pada sudut 30°. Sedangkan pengukuran radiasi di lingkungan menunjukkan dosis

radiasi sebesar 0,815 uSv. Hasil pengukuran sistem monitoring kemudian dibandingkan dengan surveymeter standard Merk Ludlum Model 3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan ini mampu mengukur radiasi secara real-time dan dapat digunakan sebagai monitoring radiasi sinar-X.

Kata Kunci : Sistem Pemantauan Sinar-X, Internet of Things, Detektor Geiger Muller Counter, Mikrokontroller ESP32

PENDAHULUAN

Sistem manajemen lingkungan, kesehatan, dan keselamatan telah menjadi hal yang umum dalam lingkungan penelitian untuk meningkatkan keselamatan laboratorium melalui observasi sistematis dan pengaturan yang komprehensif (Basbug et al., 2023). Laboratorium merupakan tempat kerja yang mempunyai potensi bahaya baik potensi bahaya fisika, kimia, biologi, maupun ergonomik (Cahyaningrum, 2020). Beberapa potensi risiko yang dapat timbul di laboratorium mencakup kemungkinan terjadinya kebakaran, risiko keracunan, risiko terpapar radiasi dan potensi kerusakan pada peralatan (Athqiya et al., 2019). Kegiatan monitoring lingkungan laboratorium menjadi salah satu parameter penting yang mencerminkan komitmen untuk menjaga keamanan, kesehatan, dan keberlanjutan lingkungan di sekitar laboratorium, serta memastikan bahwa operasi laboratorium berlangsung sesuai dengan standar keselamatan yang ketat (Yuniarsari, 2015).

Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang memiliki Pesawat X Ray Diffractometer (XRD) yang digunakan untuk penelitian dalam bidang fisika material. Radiasi yang ditimbulkan oleh pesawat ini adalah berupa radiasi sinar-X. Paparan radiasi yang mengenai tubuh manusia dapat menyebabkan dampak negatif bagi pekerja yang terpapar, mulai dari efek ringan hingga berpotensi fatal (Dabukke et al., 2021). Kerusakan akibat radiasi pada jaringan dan/atau organ bergantung jumlah dari dosis serap dan sensitivitas dalam sel hidup yang disebabkan oleh berbagai jenis radiasi (Jain, 2021). Oleh karena itu *Quality Assurance* (QA) semua komponen fasilitas radiasi pengion, termasuk sumber daya manusia dan peralatan pada pembangkit radiasi sinar-X ini harus dilakukan secara komprehensif (Oglat, 2022). Pemantauan bertujuan untuk memantau tingkat parameter kandungan bahaya di laboratorium tidak melebihi ambang batas yang ditentukan (Hariyanto, n.d.).

Pencacah Geiger-Mueller (GM) adalah salah satu detektor radiasi banyak digunakan dalam pengukuran radiasi karena murah, sederhana, desain kokoh dan kemudahan pengoperasian (Almutairi et al., 2019). Geiger-Müller counter adalah perangkat yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur radiasi ionisasi, seperti sinar alfa, beta, dan gamma (Rosyidi and Suseno, 2016). GM counter memiliki tabung silinder yang diisi dengan gas inert, seperti argon atau helium, dengan tekanan rendah. Di dalam tabung tersebut terdapat kawat elektroda pusat dan tabung luar yang berfungsi sebagai katoda. Ketika partikel radiasi seperti partikel alfa, beta, atau sinar gamma memasuki tabung, partikel tersebut bertabrakan dengan gas di dalam tabung. Tabrakan ini menyebabkan gas terionisasi, artinya atom gas terpecah menjadi ion positif dan elektron bebas. Elektron-elektron bebas yang dihasilkan oleh pengionan gas bergerak menuju elektroda pusat karena adanya tegangan tinggi antara elektroda pusat dan tabung luar. Selama elektron bergerak, mereka menyebabkan lebih banyak ionisasi sekunder, menciptakan gelombang tambahan elektron bebas dan ion positif. Semua elektron bebas ini akhirnya mencapai elektroda pusat, menciptakan pulsa arus listrik kecil. Pulsa ini kemudian dideteksi dan dihitung sebagai satu kejadian radiasi. GM counter menghitung jumlah pulsa yang dihasilkan per satuan waktu, yang memberikan gambaran tentang tingkat radiasi di lingkungan tersebut (Sayono and Sujitno, 2010). Pencacah Geiger-Mueller (GM) menghasilkan pulsa listrik yang selanjutnya dikondisikan dengan rangkaian dan dihubungkan ke sistem kontrol (Sunardi et al., n.d.).

Internet of things (IoT) adalah integrasi benda dengan dunia internet, dengan menambahkan perangkat keras dan atau perangkat lunak menjadi cerdas sehingga dapat berkomunikasi satu sama lain baik melalui teknologi wireless, dengan menggunakan sensor yang tertanam (Radouan Ait Mouha, 2021). Teknologi IoT (Internet of Things) dapat digunakan sebagai solusi membuat sistem monitoring terintegrasi di laboratorium. Dengan menggunakan teknologi IoT, sistem monitoring dapat

memberikan data dan informasi yang akurat dan dapat diandalkan secara real-time. Dengan semua pemikiran ini, Internet of Things (IoT) adalah diharapkan untuk terus memperluas jangkauannya sehubungan dengan jumlah perangkat dan fungsi, yang dapat dijalankan (Hussein, 2019).

Akuisisi data adalah langkah dalam mengambil data dari suatu keadaan dan mengubahnya menjadi nilai numerik yang dapat diolah oleh komputer. Sistem akuisisi data merupakan hasil integrasi berbagai perangkat elektronik yang bekerja bersama untuk tujuan pengumpulan, penyimpanan, pengolahan data, serta penyaluran data guna membentuk informasi (Prayoga and Nuralam, 2022). Salah satu aplikasi yang dapat digunakan untuk data logging secara realtime adalah aplikasi Google Sheet. Hub menggunakan portal dinamis dan latensi rendah ke Google Sheet melalui *Application Programming Interface* (API) gratis, PushingBox, dan yang dapat beradaptasi Skrip Google Apps (DeBell et al., 2019).

Johari et al. (2022) mengembangkan sistem monitoring radiasi berbasis IoT menggunakan sensor Geiger-Muller (SBM-20), ESP8266 NodeMCU, dan integrasi aplikasi Blynk sebagai platform monitoring dan peringatan *real-time*. Sistem diuji di lingkungan kerja nyata (Agensi Nuklear Malaysia), berhasil membaca radiasi latar belakang dan menampilkan data dosis dalam mikroSievert/jam dengan kesalahan kurang dari 5%. Sistem tak hanya menampilkan data monitoring di aplikasi Blynk tetapi juga memberikan notifikasi peringatan secara daring (Johari and Mohamad, 2022).

Mahammad (2019) membuat desain dan pengembangan counter Geiger-Muller berbasis IoT dengan modul NodeMCU ESP8266 dan Blynk untuk monitoring radiasi. Sistem ini portable dan mampu mengirim data secara real-time ke antarmuka pengguna melalui aplikasi Blynk. Fokus utama adalah pada peningkatan aksesibilitas monitoring radiasi dengan perangkat yang murah, mudah digunakan, dan data yang dapat diakses secara jarak jauh (Mahammad et al., 2017).

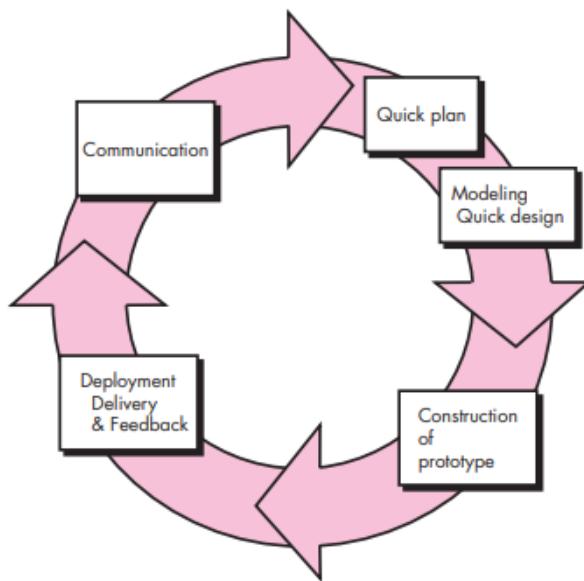
Kedua studi tersebut fokus pada integrasi detektor radiasi (Geiger-Muller), mikrokontroler ESP8266, dan platform Blynk untuk pengawasan tingkat radiasi secara real-time dengan alert system yang memudahkan pekerja dalam memantau radiasi. Kebaharuan penelitian yang dilakukan antara lain adalah Johari et al. dan Mahammad lebih fokus pada pengujian di lingkungan kerja umum atau portable, sedangkan penelitian ini menyasar laboratorium riset dengan mesin X-Ray Diffractometer di laboratorium fisika, yang memerlukan standar pengawasan radiasi lebih ketat dan adaptasi pengukuran khusus radiasi sinar-X. Penelitian sebelumnya juga menggunakan Blynk untuk visualisasi dan notifikasi. Sedangkan penelitian yang dikembangkan ini mengintegrasikan sistem monitoring dengan akuisisi data real-time dan penyimpanan data pada platform cloud seperti Google Sheets, memungkinkan analisis data jangka panjang dan pemantauan komprehensif secara lebih mendalam.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas berbagai komponen elektronik utama yang membentuk sistem monitoring radiasi sinar-X berbasis Internet of Things (IoT). Komponen inti sistem ini adalah mikrokontroler ESP32 Devkit V1 yang berfungsi sebagai pusat kendali dan pengolah data. Untuk mendeteksi radiasi digunakan modul detektor Geiger-Müller (GM) Counter yang terhubung langsung dengan mikrokontroler. Hasil deteksi radiasi ditampilkan secara lokal melalui layar LED OLED berukuran 0,9 inci, sementara buzzer digunakan sebagai indikator peringatan apabila tingkat radiasi melebihi ambang batas yang telah ditentukan.

Sistem memperoleh daya dari modul USB Type-C yang terhubung ke modul regulator LM2596 untuk menjaga kestabilan tegangan. Seluruh rangkaian ditempatkan dalam kotak casing berukuran 12 cm × 10 cm × 6 cm yang berfungsi melindungi komponen dari gangguan fisik dan lingkungan. Untuk mendukung konektivitas data, digunakan perangkat penyedia Wi-Fi berupa tethering dari ponsel cerdas, sedangkan power bank berkapasitas 20.000 mAh disiapkan sebagai sumber daya cadangan agar sistem tetap berfungsi ketika pasokan listrik utama terputus.

Selain itu, beberapa bahan pendukung seperti tenol (timah solder), lem tembak, dan saklar digunakan dalam proses perakitan, penyambungan komponen, serta pengujian sistem secara keseluruhan. Penelitian ini mengacu pada model prototipe dengan tahapan proses seperti disajikan pada gambar 1 (Pressman, 2010). Prototipe adalah model fisik kerja sebuah sistem atau subsistem, prototipe berfungsi sebagai versi awal sistem atau komponen dari persyaratan mana yang diekstraksi dan yang mana versi selanjutnya didasarkan (Rangan et al., 2020). Metode ini mengharuskan selama proses pembangunan perangkat lunak terjadi interaksi antara pengembang dan pengguna perangkat lunak .



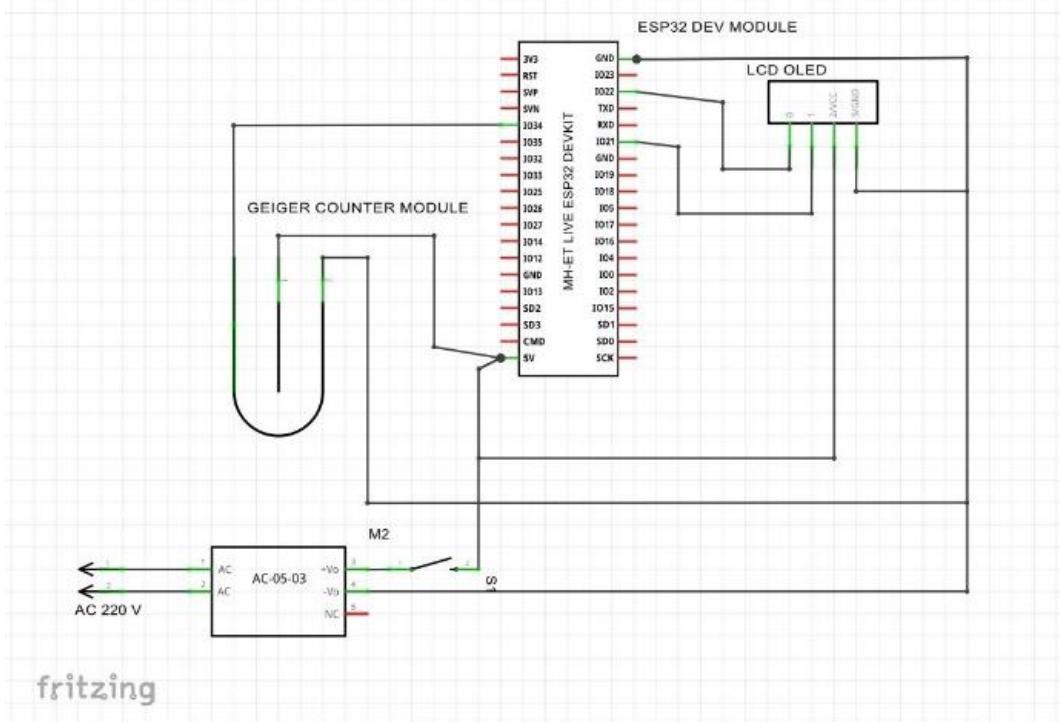
Gambar 1. Model Prototipe

Penelitian ini dimulai dengan proses komunikasi (*communication*) untuk menentukan tujuan dan perencanaan cepat (*quick plan*) untuk mengidentifikasi kebutuhan dan pemodelan (*modeling quick design*) dari sistem yang dirancang. Tahap selanjutnya adalah konstruksi prototipe (*construction of prototype*) yang terkait dengan perakitan perangkat keras dan pemrograman (Pressman, 2010) .

HASIL DAN PEMBAHASAN

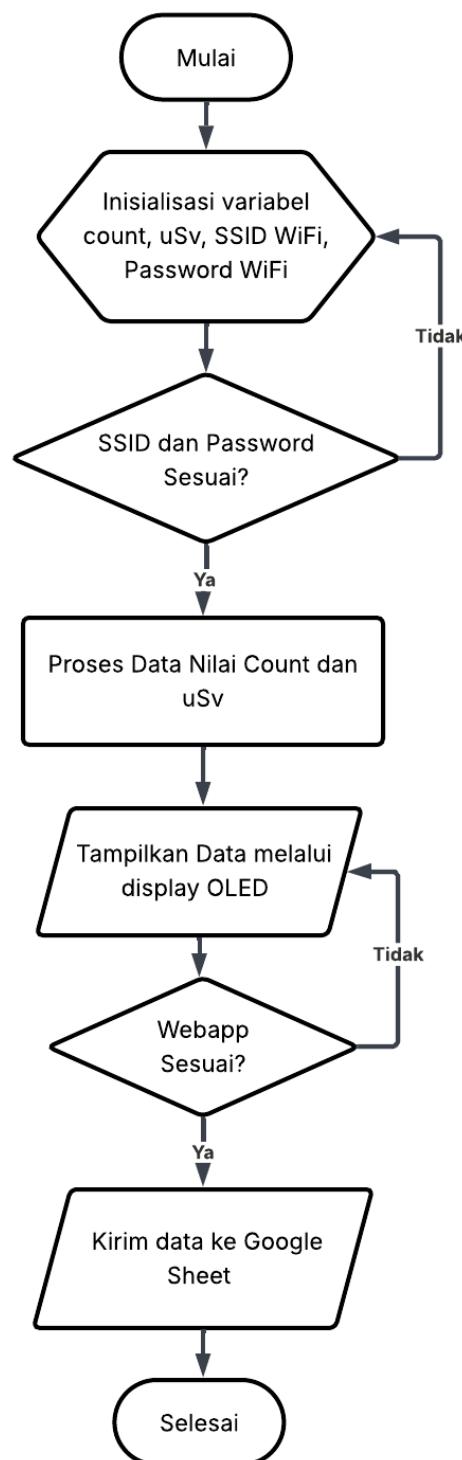
Hasil Rancangan Sistem

Diagram pengkabelan pada sistem deteksi radiasi sinar-X merupakan representasi visual dari rangkaian listrik yang menghubungkan komponen-komponen utama, seperti sensor radiasi, mikrokontroler, modul komunikasi Wi-Fi, komponen display dan sumber daya. Diagram pada gambar 2 menunjukkan bagaimana kabel atau jalur listrik dihubungkan untuk memungkinkan sensor mendeteksi radiasi dan mengirimkan data ke mikrokontroler, yang kemudian memproses dan mengirimkan data tersebut ke platform monitoring Google Sheets.



Gambar 2. Diagram pengkabelan Sistem Monitoring Radiasi Sinar-X

Diagram alir pembuatan sistem deteksi radiasi sinar-X menggambarkan langkah-langkah proses yang sistematis dalam merancang, mengembangkan, dan mengimplementasikan sistem tersebut. Diagram ini dimulai dengan tahap inisialisasi variabel count untuk pencacahan pulsa yang dihasilkan GM Counter, inisialisasi SSID dan password wifi yang digunakan oleh sistem. Tahapan berikutnya adalah memproses data nilai count yang terdeteksi oleh detektor GM kemudian mengkonversinya menjadi besaran dosis ekivalen dengan satuan uSv (Mikro Sievert). Penggunaan satuan ini dengan mempertimbangkan efek biologis dari radiasi yang diserap oleh organisme hidup. Sebagaimana jenis radiasi berbeda dalam kemampuannya menyebabkan efek biologis termasuk kanker, langkah kedua adalah melakukannya mengalikan nilai perhitungan dosis serap dengan faktor pembobot radiasi itu memperhitungkan efektivitas yang lebih besar dari radiasi pengion yang hasilnya disebut 'dosis ekivalen' dalam satuan (Sv) (Harrison et al., 2021). Langkah berikutnya adalah menampilkan hasil pengukuran radiasi ke tampilan LED OLED. Selanjutnya sistem akan memeriksa Webapp untuk mengirimkan data hasil pengukuran kedalam Google Sheet dengan jarak antar data adalah 30 detik. Diagram alir program sistem monitoring radiasi sinar-X dapat dilihat pada gambar 3.



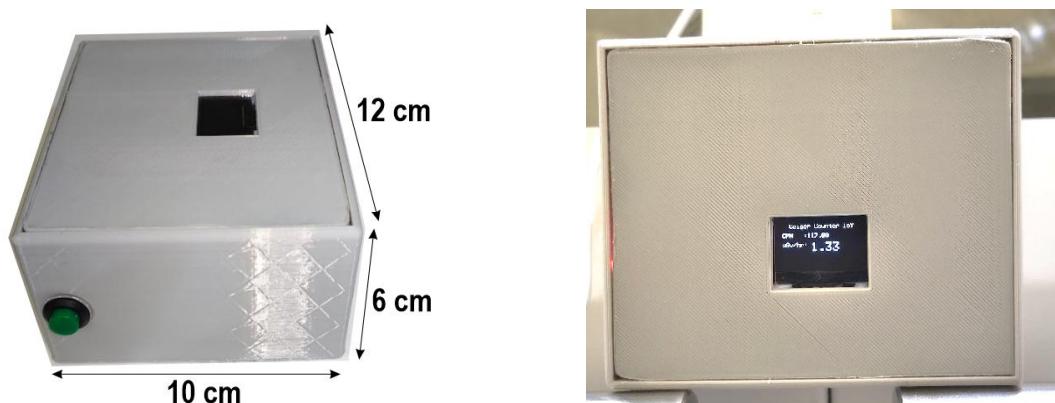
Gambar 3. Diagram Alir Program Sistem Monitoring Radiasi Sinar-X

Sistem monitoring radiasi sinar-X yang dikembangkan dalam penelitian ini terdiri atas beberapa komponen utama yang saling terintegrasi. Unit kendali utama menggunakan mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pengolah data dan pengendali seluruh sistem. Mikrokontroler ini dipilih karena memiliki kemampuan komputasi yang tinggi serta mendukung koneksi Wi-Fi, sehingga memungkinkan pengiriman data hasil pengukuran radiasi secara real-time ke server daring atau ke Google Sheets melalui jaringan nirkabel.

Sebagai sensor utama, sistem ini menggunakan modul Geiger Counter yang berfungsi mendeteksi radiasi ionisasi dari sumber sinar-X. Data hasil deteksi sensor kemudian dikirimkan ke mikrokontroler untuk diolah dan ditampilkan. Untuk menampilkan hasil pengukuran secara lokal, sistem dilengkapi dengan layar OLED berukuran 128×64 piksel yang menampilkan nilai tingkat radiasi dalam satuan yang terukur.

Demi meningkatkan keselamatan pengguna, sistem juga dilengkapi dengan buzzer yang berfungsi sebagai alarm peringatan apabila tingkat radiasi yang terdeteksi melebihi ambang batas yang telah ditetapkan. Sebagai sumber daya, sistem memperoleh catu daya sebesar 5 V DC melalui konektor USB Type-C, dan dapat dilengkapi dengan backup power berupa power bank berkapasitas 20.000 mAh untuk memastikan sistem tetap beroperasi dalam kondisi darurat atau ketika pasokan listrik utama terputus.

Seluruh komponen elektronik sistem ditempatkan dalam casing berbahan plastik ABS atau akrilik untuk melindungi perangkat dari kerusakan fisik maupun interferensi elektromagnetik. Casing dirancang dengan dimensi 12 cm × 10 cm × 6 cm, sehingga sistem memiliki bentuk yang ringkas, portabel, dan mudah ditempatkan di berbagai area laboratorium.



Gambar 4. Dimensi alat sistem monitoring radiasi sinar-X

Hasil Pengujian Performa Pengukuran Sistem

Pengujian dilakukan di Unit Laboratorium Karakterisasi Material di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang. Pemilihan unit laboratorium ini adalah karena di unit laboratorium tersebut memiliki alat radiasi pengion yaitu unit alat X Ray Diffractometer (XRD). Lingkungan laboratorium yang terdapat sumber radiasi pengion seperti ini sangat rentan terpapar radiasi yang berasal dari tabung sinar-x oleh sebab itu sistem monitoring atau deteksi sinar-x ini sangat dibutuhkan.



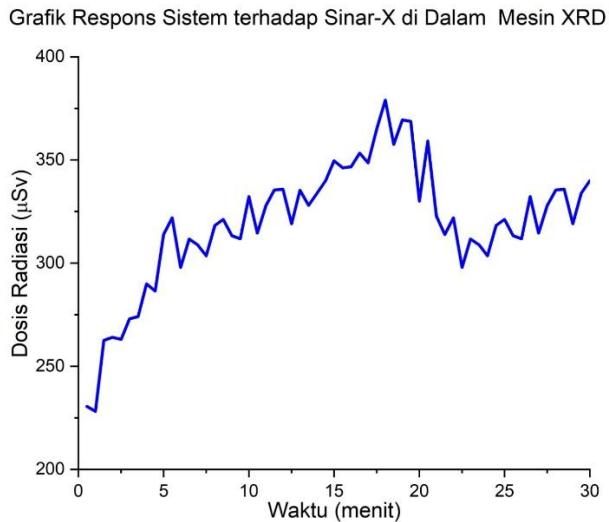
Gambar 5. Pengujian respons sistem terhadap sinar-X yang dihasilkan tabung di dalam alat XRD

Pengujian Sistem monitoring radiasi sinar-X dilakukan dalam rentang waktu selama 1 jam dengan dua kondisi pengujian masing-masing 30 menit. Kondisi pertama adalah pengujian respons sistem terhadap sinar-X di dalam alat XRD pada jarak 30 cm dari tabung sinar-X dan pada sudut 30° terhadap garis horizontal pada *sample stage*. Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh parameter besaran radiasi yang dihasilkan oleh tabung sinar-X. Data hasil pengukuran kemudian dikirim oleh sistem pada Google Sheet seperti yang terlihat pada gambar 6. Pada Google Sheet terlihat data yang terkirim adalah data tanggal perekaman, waktu perekaman dan nilai radiasi terukur.

	A	B	C	D
2	currentDate	currentTime	countsValue	usv
3	08/08/2024	4:57:24		
4	08/08/2024	5:29:55		
5	08/08/2024	5:37:57	39	0.44
6	08/08/2024	5:38:57	28	0.32
7	08/08/2024	5:39:57	30	0.34
8	08/08/2024	6:55:49	41	0.47
9	08/08/2024	6:57:16	39	0.44
10	08/08/2024	7:00:20	45	0.51
11	08/08/2024	7:01:24	31	0.35
12	08/08/2024	7:03:24	35	0.4
13	08/08/2024	7:04:24	40	0.46
14	08/08/2024	7:05:24	31	0.35
15	08/08/2024	7:06:24	34	0.39
16	08/08/2024	7:07:24	45	0.51
17	08/08/2024	7:08:24	21	0.24
18	08/08/2024	7:09:24	21	0.24
19	08/08/2024	7:10:24	44	0.5
20	08/08/2024	7:11:26	35	0.4
21	08/08/2024	7:12:24	26	0.3
22	08/08/2024	7:13:24	32	0.36
23	08/08/2024	7:51:41	38	0.43
24	08/08/2024	7:52:41	33	0.38

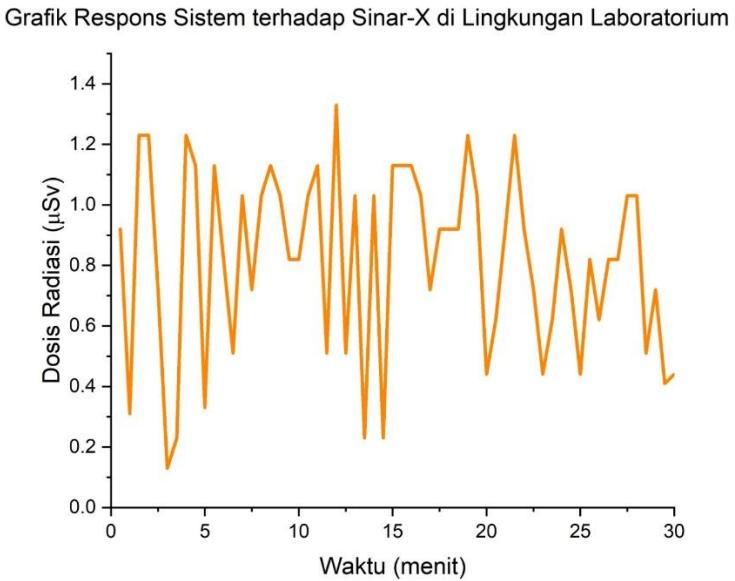
Gambar 6. Tampilan data pengukuran sistem monitoring radiasi sinar-X pada Google Sheet

Hasil pengujian respons sistem terhadap sinar-X di dalam alat XRD menghasilkan data seperti yang disajikan pada gambar 7. Sistem dapat mengukur jumlah cacaht radiasi sinar-X yang dihasilkan oleh tabung sinar-X dengan baik. Pengukuran sistem menghasilkan rata-rata 319,2 μSv pada pengukuran 30 menit di dalam alat XRD.



Gambar 7. Grafik Respons Sistem terhadap sinar-X dari Tabung XRD di dalam Mesin XRD

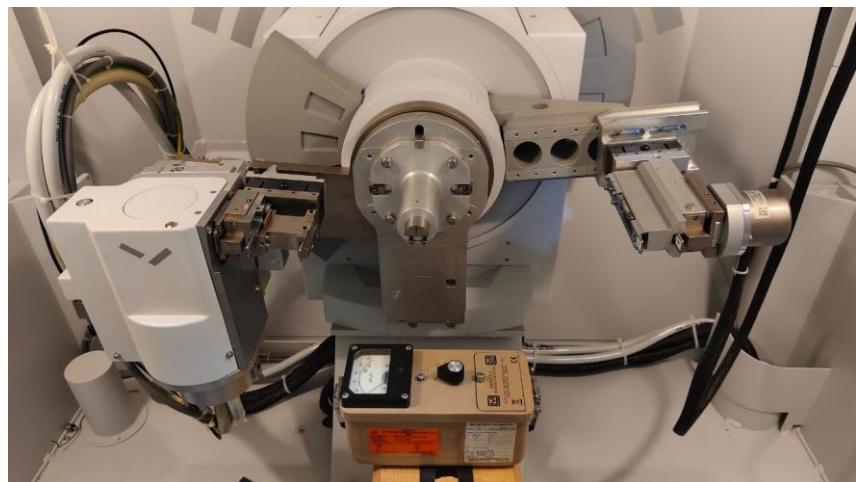
Kondisi kedua adalah pengujian di luar alat XRD pada jarak 20cm dari pintu *shielding* kaca timbal yang terdapat pada alat XRD. Pada pengujian kedua ini dilakukan untuk mengukur radiasi lingkungan sekaligus mendeteksi kebocoran sinar-X yang dihasilkan oleh tabung XRD. Hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Grafik Respons Sistem terhadap sinar-X dari Tabung XRD di lingkungan laboratorium

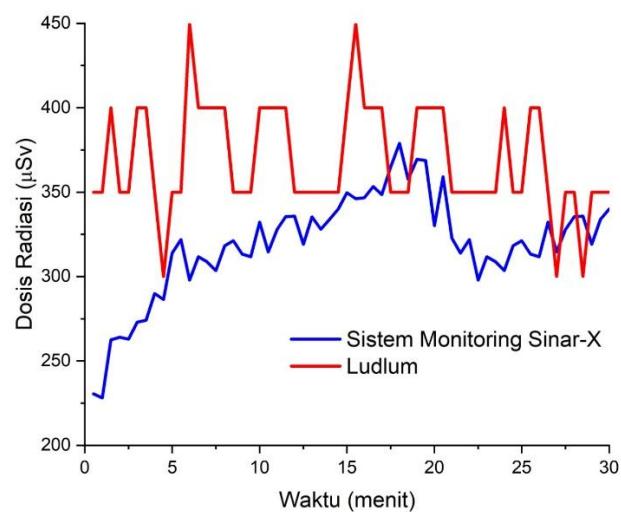
Hasil pengujian respons sistem terhadap sinar-X di lingkungan laboratorium menghasilkan data seperti yang disajikan pada gambar 10. Pengukuran sistem menghasilkan rata-rata 0,815 μSv pada pengukuran 30 menit di lingkungan laboratorium. Hal ini menunjukkan radiasi lingkungan di laboratorium termasuk dalam kondisi aman.

Hasil pengukuran sistem ini kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran dosis radiasi di dalam mesin XRD dengan menggunakan surveymeter analog merk Ludlum Model 3 dengan kondisi pengukuran yang sama.



Gambar 9. Pengukuran dosis radiasi dengan menggunakan Surveymeter analog Ludlum

Pengukuran dengan menggunakan surveymeter analog dilakukan dengan mencatat secara manual tiap 30 detik hasil pembacaan pada skala surveymeter. Grafik perbandingan hasil pengukuran sistem monitoring radiasi sinar-X dengan Surveymeter analog Merk Ludlum dapat dilihat pada grafik gambar 9.



Gambar 10. Grafik perbandingan hasil pengukuran sistem monitoring radiasi sinar-X dengan Surveymeter analog Merk Ludlum

Pengukuran dengan menggunakan surveymeter analog menghasilkan nilai yang hampir sama dengan hasil pengukuran sistem monitoring. Pada hasil pengukuran sistem monitoring didapatkan data yang memiliki nilai dengan ketelitian yang cukup tinggi.

KESIMPULAN

Sistem monitoring radiasi sinar-X berbasis *Internet of Things* (IoT) telah berhasil dikembangkan melalui penelitian ini. Hasil pengujian performa dari sistem didapatkan bahwa sistem mampu mengukur radiasi sinar-X yang dihasilkan oleh mesin X Ray Diffractometer (XRD). Sistem monitoring radiasi sinar-X juga telah dapat mengirimkan data ke Google Sheet. Sistem monitoring ini telah dapat membaca dosis radiasi meskipun masih memiliki nilai yang berbeda dengan surveymeter standard yang terkalibrasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapan terimakasih kepada Universitas Negeri Semarang yang melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) yang telah mendanai penelitian ini dengan melalui Daftar Pelaksanaan Anggaran (DPA) LPPM Universitas Negeri Semarang Nomor: 422.26.2/UN37/PPK.10/2024 Tanggal 26 Bulan Februari Tahun 2024 Sesuai dengan Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Penelitian Dana DPA LPPM UNNES Tahun Anggaran 2024 Nomor: 66.21.3/UN37/PPK.10/2024 Tanggal : 21 Maret 2024

DAFTAR PUSTAKA

- Almutairi, B., Akyurek, T., Usman, S., 2019. Voltage dependent pulse shape analysis of Geiger-Müller counter. *Nucl. Eng. Technol.* 51, 1081–1090. <https://doi.org/10.1016/j.net.2019.02.008>
- Athqiya, A.A., Haqi, D.N., Alayyannur, P.A., Paskarini, I., Sugiharto, F.M., 2019. Hazard Identification, Risk Assessment, and Determining Controls in Laboratories. *Indian J. Public Health Res. Dev.* 10, 877. <https://doi.org/10.5958/0976-5506.2019.01688.7>
- Basbug, G., Cavicchi, A., Silbey, S.S., 2023. Rank Has Its Privileges: Explaining Why Laboratory Safety Is a Persistent Challenge. *J. Bus. Ethics* 184, 571–587. <https://doi.org/10.1007/s10551-022-05169-z>
- Cahyaningrum, D., 2020. Program Keselamatan dan Kesehatan Kerja Di Laboratorium Pendidikan.
- Dabukke, H., Aritonang, F., Sijabat, S., 2021. Analisis Berkas Sinar-X Pada Perisai Radiasi Berbasis Polyester Timbal Asetat Di Murni Teguh Memorial Hospital 9.
- DeBell, T., Goertzen, L., Larson, L., Selbie, W., Selker, J., Udell, C., 2019. OPEnS Hub: Real-Time Data Logging, Connecting Field Sensors to Google Sheets. *Front. Earth Sci.* 7, 137. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00137>
- Hariyanto, D., n.d. Studi Intensitas Radiasi Menggunakan Survey Meter Berbasis Tabung Geiger M4011 dan Mikrokontroler Arduino Uno.
- Harrison, J.D., Balonov, M., Bochud, F., Martin, C., Menzel, H.-G., Ortiz-Lopez, P., Smith-Bindman, R., Simmonds, J.R., Wakeford, R., 2021. ICRP Publication 147: Use of Dose Quantities in Radiological Protection. *Ann. ICRP* 50, 9–82. <https://doi.org/10.1177/0146645320911864>
- Hussein, A.H., 2019. Internet of Things (IOT): Research Challenges and Future Applications. *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.* 10.
- Jain, S., 2021. Radiation in medical practice & health effects of radiation: Rationale, risks, and rewards. *J. Fam. Med. Prim. Care* 10, 1520. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_2292_20
- Johari, A.A., Mohamad, E.J., 2022. Development of Alert Radiation Monitoring System, in: Evolution in Electrical and Electronic Engineering, 2. Presented at the Conference on Faculty Electric and Electronic 2020/1, pp. 826–833.
- Mahammad, D.V., Thongaram, D., Pencharee, S., 2017. Design and construction of portable survey meter. *J. Phys. Conf. Ser.* 901, 012056. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/901/1/012056>
- Oglat, A.A., 2022. Assessment of Diagnostic Imaging Sector in Public Hospitals in Northern Jordan. *Healthcare* 10, 1136. <https://doi.org/10.3390/healthcare10061136>

- Prayoga, D.Y., Nuralam, N., 2022. Pemodelan Akuisisi Data Sistem Monitoring Kualitas Air Budidaya Pemberian Ikan Kerapu. *J. Arus Elektro Indones.* 8, 71. <https://doi.org/10.19184/jaei.v8i3.33656>
- Pressman, R.S., 2010. Software engineering: a practitioner's approach, 7th ed. ed. McGraw-Hill Higher Education, New York.
- Radouan Ait Mouha, R.A., 2021. Internet of Things (IoT). *J. Data Anal. Inf. Process.* 09, 77–101. <https://doi.org/10.4236/jdaip.2021.92006>
- Rangan, A.Y., Amelia Yusnita, Muhammad Awaludin, 2020. Sistem Monitoring berbasis Internet of things pada Suhu dan Kelembaban Udara di Laboratorium Kimia XYZ. *J. E-Komtek Elektro-Komput-Tek.* 4, 168–183. <https://doi.org/10.37339/e-komtek.v4i2.404>
- Rosyidi, H.S., Suseno, J.E., 2016. Sistem monitoring jarak jauh radiasi gamma secara realtime berbasis web server 5.
- Sayono, S., Sujitno, T., 2010. Pengaruh tekanan gas isian argon-etanol dan argon-brom terhadap unjuk kerja detektor geiger-mueller. *Ganendra maj. Iptek nukl.* 13. <https://doi.org/10.17146/gnd.2010.13.2.48>
- Sunardi, J., Harsono, D., Harsono, A.B., n.d. Rancang Bangun Sistem Akuisisi Data Untuk Pencarian Sumber Radiasi Nuklir Menggunakan Robot Hexapod. *J. Forum Nukl.* 7, 196–206. <https://doi.org/10.17146/jfn.2013.7.2.3460>
- Yuniarsari, L., 2015. Sistem deteksi monitor lingkungan. *J. Perangkat Nukl.* 09, 28–36.