



DETEKTOR PARTIKEL ALPHA MENGGUNAKAN DIODA BPX61 BERBASIS SEMIKONDUKTOR

Muhammad Rizki Fadhilah¹, Kiswanta², Rezky Mahardika S³

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang

^{2,3}Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran – BRIN

¹muhammadrizki.f16@gmail.com, ²dosen00787@unpam.ac.id, ³rezkymahardika90@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun detektor partikel alpha dengan menggunakan BPX61 DIODA berbasis semikonduktor. Pengujian dilakukan dengan sumber radiasi alpha (Am-241) dan pengukuran background lingkungan. Sinyal yang dihasilkan oleh detektor kemudian ditampilkan dalam bentuk gelombang menggunakan osiloskop dan diolah lebih lanjut menggunakan Arduino UNO untuk visualisasi grafis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa detektor ini mampu mendeteksi partikel alpha dengan jelas, membedakan antara sinyal dari sumber radiasi dan background. Analisis sinyal dilakukan untuk memastikan akurasi keandalan detektor dalam berbagai kondisi. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberi kontribusi signifikan dalam pengembangan alat deteksi radiasi yang efisien dan terjangkau.

Kata Kunci: *Arduino Uno, BPX61 DIODA, Detektor Partikel Alpha, Osiloskop, Pengukuran Background, Sampel Radiasi Am-241.*

ABSTRACT

This study aims to design and build an alpha particle detector using a BPX61 diode based on semiconductors. We conducted testing using an alpha radiation source (Am241) and measured the environmental background. The signal generated by the detector is then displayed in waveform using an oscilloscope and further processed using an Arduino UNO for graphical visualization. The test results show that this detector can detect alpha particles clearly, distinguishing between signals from radiation sources and backgrounds. Signal analysis was conducted to ensure the detector's accuracy under various conditions. This study's results are expected to significantly contribute to developing efficient and affordable radiation detection devices.

Keywords: *Alpha Particle Detector, Arduino Uno, Am-241 Radiation Sample, BPX61 DIODE, Background Measurement, Oscilloscope.*

Article History

Received: Oktober 2024

Reviewed: Oktober 2024

Published: Oktober 2024

Plagiarism Checker No 234

Prefix DOI :

10.8734/Kohesi.v1i2.365

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



PENDAHULUAN

Radiasi alfa muncul ketika sebuah inti atom tidak stabil dan meluruh bersama partikel alfa, sedangkan radiasi beta muncul ketika sebuah inti atom mengalami ketidakstabilan (Krane, 2014). Setelah peluruhan alfa dan beta, inti atom yang meluruh dapat berada pada keadaan eksitasi, di mana inti akhir mencapai keadaan dasar setelah memancarkan satu atau lebih foton, yang dikenal sebagai sinar gamma (Krane, 2014). Radiasi alfa adalah jenis radiasi yang paling berbahaya bagi manusia karena dapat menghasilkan banyak energi dan menyebabkan kerusakan (Krane, 2014). (Sumardi & Nurashiah, n.d.)

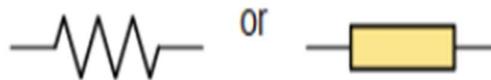
Penggunaan spektrometri alfa telah mengalami perkembangan dalam beberapa bidang dalam beberapa tahun terakhir. Ini termasuk pengukuran untuk mendapatkan data tentang peluruhan bahan radioaktif, studi geologi, dan pengukuran tingkat radioaktivitas rendah di lingkungan. Saat ini, pengembangan spektrometer yang melibatkan titik cahaya nyata untuk berbagai aplikasi telah dilakukan, baik yang dibuat oleh organisasi atau karena eksplorasi logis. Pembelian spektrometer di berbagai pusat penelitian pendidikan memerlukan biaya yang tidak sedikit karena secara umum spektrometer yang dijual di pasaran tergolong mahal, maka dengan adanya perancangan alat ini membuat sebuah alat detektor yang ringan dan mudah dipasang untuk melakukan monitoring dan dapat dibawa kemana saja dengan ukurannya yang praktis serta harganya yang tidak mahal.

Penelitian ini menggunakan Arduino UNO sebagai output dari rangkaian detektor alpha, osiloskop dan Arduino IDE untuk menampilkan grafik dari detektor alpha dengan menggunakan BPX 61 dioda berbasis semikonduktor.

LANDASAN TEORI

2.1 Resistor

Resistor ialah komponen elektronik dasar yang dipergunakan untuk membatasi jumlah arus yang mengalir pada suatu rangkaian. mirip namanya, resistor bersifat resistif serta umumnya terbuat dari karbon. dari aturan Ohm, diketahui bahwa resistansi berbanding terbalik dengan arus yang mengalir melalui resistansi. Satuan resistansi sebuah hambatan disebut ohm, atau diwakili oleh simbol Ω . (Yulianti et al., 2021)



Gambar 2. 1 Simbol Resistor

Bentuk fisik resistor pada umumnya berbentuk seperti tabung memakai 2 kaki pada ujung-ujungnya. di bagian badan ada bulat yang membentuk cincin atau gelang atau kode warna buat mengetahui besarnya resistansi tanpa mengukur menggunakan Ohmmeter. Kode warna tersebut artinya standar manufaktur yg dikeluarkan oleh EIA (*Electronic Industries Association*). (Dwi Cahyono et al., 2023)



Gambar 2. 2 Bentuk Fisik Resistor

2.2 Kapasitor

Kapasitor adalah komponen elektronik yang dipergunakan buat menyimpan muatan listrik, serta secara sederhana terdiri dari dua konduktor yang dipisahkan oleh bahan penyekat (bahan dielektrik) tiap konduktor disebut keping. Kapasitor dianggap juga kondensator artinya alat atau komponen listrik yang dibuat sedemikian rupa sehingga mampu menyimpan muatan listrik sementara waktu waktu. Kapasitor terdiri dari dua konduktor (lempengan logam) yang dipisahkan oleh bahan penyekat (isolator). Isolator ini seringkali disebut bahan (zat) dielektrik. Sebuah kapasitor mempunyai prinsip menjadi generator yang mampu membentuk daya reaktif.(Almanda & Majid, 2019)

2.3 BPX61 DIODA

Fotodioda BPX-61 buatan Osram dipilih sebagai detektor untuk proyek ini. Sensor cahaya fotokonduktif, resistansi sensor dioda BPX61 berubah saat terkena cahaya. Sensor dioda Bpx61 dapat menjawab peningkatan sebagai cahaya tampak atau tidak terdeteksi dan mengubah kekuatan cahaya yang dibedakan menjadi aliran listrik. Sensor ini mutlak diperlukan untuk implementasi ilmiah yang berbeda seperti kontrol proses, sistem komunikasi serat optik, keselamatan, penginderaan lingkungan dan juga dalam aplikasi pertahanan. Contoh fotodetektor adalah fototransistor dan fotodioda. (Simatupang et al., 2023)

2.4 IC TL072

Penelitian ini menggunakan model op amp tujuan umum TL072 dari Texas Instruments, Inc. IC ini memiliki fitur unik: JFET Op-Input dengan noise rendah. Produk amplifier dan mendapatkan bandwidth hingga 3 MHz, bandwidth efektif adalah sekitar 1 MHz. Oleh karena itu IC ini sangat cocok untuk budget bandwidth minimal 500 kHz dan transmisi data kecepatan rendah. Alasan lainnya adalah tersedia di pasar elektronik lokal dan relatif murah. (Fuada, 2022)

2.5 Osiloskop

Osiloskop ialah sebuah perangkat pengukur elektronika yang mempunyai kemampuan buat memvisualisasikan bentuk sinyal, baik sinyal analog juga sinyal digital, sehingga memungkinkan pengguna untuk melihat, mengukur, menghitung, dan menganalisis sinyal-sinyal tersebut sesuai dengan bentuk keluaran yang diinginkan. Osiloskop bisa dipilah sebagai 2 jenis, yaitu osiloskop analog serta osiloskop digital. Keduanya mempunyai prinsip kerja yang serupa, yaitu mendapatkan sinyal input berupa tegangan listrik serta menampilkannya pada sebuah layer. (Bachmid et al., 2017). (Hadziqoh et al., 2023)

2.6 Software Proteus 8

Proteus merupakan pemrograman untuk perencanaan PCB yang juga dilengkapi dengan peragaan pspice pada level skema sebelum rangkaian skematik dipindahkan ke PCB (Falany dan Budi, 2015). Proteus merupakan pemrograman buatan Labcenter Hardware yang dapat dimanfaatkan untuk melakukan rekreasi VSM dan PCB. Proteus saat ini menawarkan hampir 800 variasi mikrokontroler yang dapat langsung dimanfaatkan untuk simulasi. (Rini, 2018)

2.7 Arduino UNO

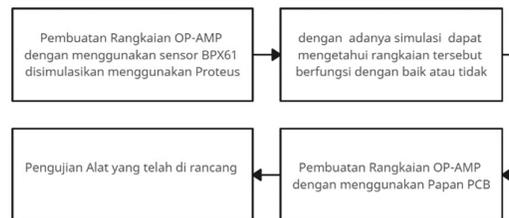
Arduino Uno R3 adalah papan mikrokontroler berdasarkan chip ATmega328P. Arduino Uno mempunyai 14 pin masukan/hasil terkomputerisasi (atau I/O yang biasanya tersusun, dimana 14 pin diantaranya dapat digunakan sebagai keluaran PWM, termasuk pin 0 sampai 13), 6 pin informasi sederhana, menggunakan permata 16 MHz, termasuk pin A0 ke A5, asosiasi USB, jack listrik, header ICSP, dan tombol reset. Hal tersebut ialah semua yang diperlukan dalam mendukung sebuah rangkaian mikrokontroler. (Amarudin et al., 2020)

2.8 Software Arduino IDE

Dalam pemrograman arduino hal ini sangat penting mengingat dari awal masuknya program tersebut dibuat dan ditransfer menggunakan pemrograman arduino, hal ini bertujuan untuk menanamkan kode program tersebut ke dalam IDE Arduino. (Anantama et al., 2020)

METODOLOGI

3.1 Blok Diagram rangkaian alat penelitian



Gambar 3. 1 Blok Diagram Penelitian

Pada Gambar diatas dapat disimpulkan bahwa pembuatan OP-AMP dengan menggunakan sensor BPX61 dioda disimulasikan menggunakan Proteus, kemudian setelah simulasi rangkaian tersebut berfungsi dengan baik maka selanjutnya pembuatan rangkaian OP-AMP yang telah disimulasikan di proteus kemudian di cetak menggunakan papan PCB, setelah itu jika rangkaian tersebut sudah di cetak menggunakan pcb maka tahap terakhir yaitu pengujian alat ini menggunakan aplikasi Arduino dan Osiloskop supaya dapat terlihat dalam bentuk grafik.

3.2 Alat dan Bahan

Dalam rangkaian ini terdiri dari alat dan Bahan yang digunakan dalam penelitian Rancang Bangun Dtektor Alpha dengan menggunakan BPX61 DIODA Berbasis Semikonduktor, sebagai berikut:

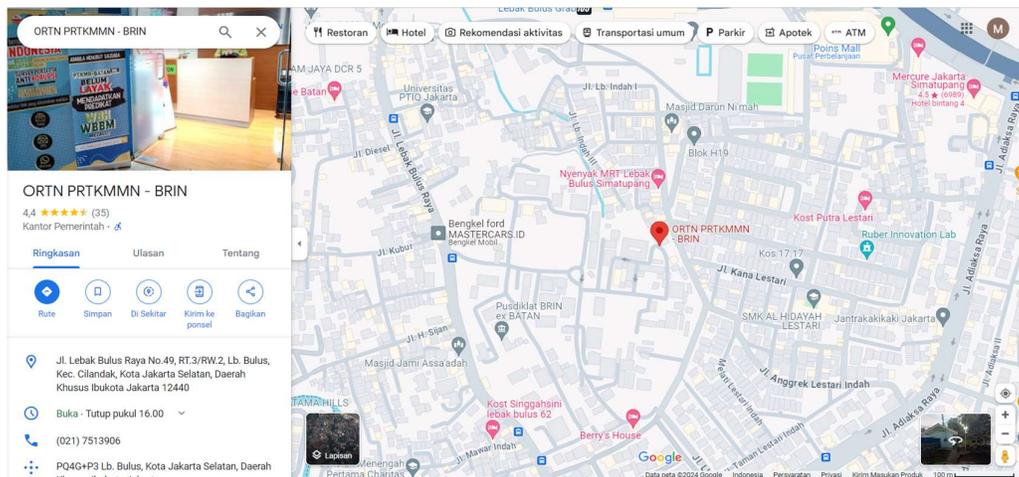
1. Bpx61 dioda
2. Osiloskop
3. Proteus 8
4. Papan PCB
5. Solder dan Timah
6. Kapasitor
7. Resistor
8. Ic TI072
9. Battery 9v
10. Kabel Jack DC

3.3 Langkah Penelitian

1. **Persiapan alat:** pastikan semua komponen terpasang dengan benar dan siapkan sumber radiasi alpha yang akan digunakan dalam pengujian seperti amerisium-241 (Am-241),
2. **Pengaturan sumber daya:** Sambungkan Baterai 9V ke PCB dan pastikan alat mendapatkan daya yang cukup,
3. **Memulai alat:** Nyalakan alat dan biarkan beberapa menit supaya stabil.
4. **Mendapatkan sumber radiasi:** tempatkan sumber radiasi dengan jarak yang sesuai dengan sensor diode BPX61 dan jaga agar tetap pada posisi tersebut selama kalibrasi.
5. **Mengukur Respon awal:** Pembacaan awal dari detektor tanpa sumber radiasi (Background), Lalu pembacaan dengan sumber radiasi didekatkan ke sensor
6. **Verifikasi Kalibrasi:** Ulangi Pengukuran beberapa kali untuk memastikan alat tersebut dapat membaca dari adanya sumber radiasi dan background.
7. **Dokumentasi:** Dokumentasikan semua langkah kalibrasi, termasuk kondisi awal, penyesuaian yang dilakukan, dan hasil akhir. Simpan dokumentasi ini untuk referensi di masa mendatang.

3.4 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk merancang detektor alpha dengan menggunakan BPX61 DIODA berbasis semikonduktor dan Penelitian ini akan dilakukan di lingkungan Laboratorium Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR) tepatnya Jl. Lebak Bulus kec. Cilandak kota Jakarta selatan 12440. Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal ... juli 2024, dengan tahap awal mempelajari metode dan teori-teori yang berhubungan dengan Radiasi alpha kemudian di lanjutkan dengan perencanaan, pembuatan alat dan Analisa.



Gambar 3. 2 Lokasi Penelitian



3.5 FlowChart penelitian



Gambar 3. 3 Flowchart Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil jadi alat

Hasil akhir dari alat detektor radiasi alpha ini menunjukkan bahwa rangkaian berfungsi dengan baik dalam mendeteksi radiasi alpha. Alat ini terdiri dari sebuah papan sirkuit cetak (PCB) yang berisi berbagai komponen elektronik seperti IC, resistor, dan kapasitor. Papan ini mendapatkan suplai daya dari baterai 9V yang terhubung melalui kabel. Hasil deteksi radiasi dikirim melalui kabel ungu ke perangkat seperti oscilloscope atau Arduino untuk analisis lebih lanjut. Semua komponen tersebut ditempatkan di dalam sebuah kotak pelindung berwarna biru yang melindungi dari kerusakan fisik dan interferensi eksternal. Dengan desain ini, alat detektor radiasi alpha ini mampu mendeteksi dan mengirimkan data radiasi alpha secara efektif dan efisien.

4.1.1 Tampilan Atas dari rangkaian detector



Gambar 4. 1 Tampilan atas rankaian alpha

Gambar diatas menunjukkan tampilan atas dari rangkaian detektor radiasi alpha yang dirakit di dalam sebuah kotak pelindung berwarna biru. Rangkaian ini menggunakan PCB dengan berbagai komponen, termasuk IC, resistor, dan kondensator, yang terhubung dengan dioda BPX61 untuk mendeteksi radiasi alpha. Kabel merah dan hitam terhubung ke baterai 9V sebagai sumber daya, sementara kabel lain mengirimkan sinyal ke perangkat lain seperti osiloskop atau Arduino. Seluruh rangkaian terpasang dengan rapi di dalam kotak, memastikan kemudahan dalam penggunaan.

4.1.2 Tampilan bawah dari rangkaian detector



Gambar 4. 2 Tampilan bawah rangkaian alpha

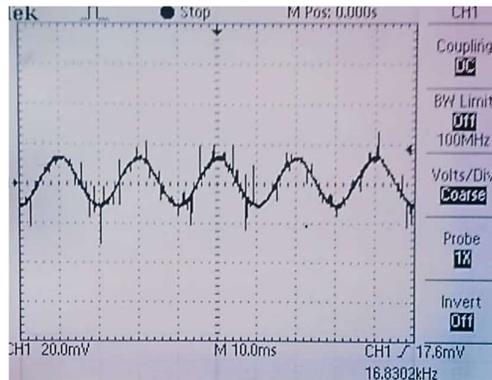
Gambar diatas menunjukkan tampilan bawah dari rangkaian Detektor alpha yang ditunjukkan memiliki desain yang sederhana namun fungsional. Casingnya menggunakan papan PVC bergelombang yang ringan dan kuat, dengan komponen utama di tengah, yaitu dioda semikonduktor BPX61, terlihat melalui sebuah lubang kecil. Dioda ini terpasang pada papan sirkuit kecil untuk mendeteksi partikel alpha.



4.2 Pengujian alat detektor dengan background

Pada pengujian ini tidak dengan menggunakan sampel radiasi alpha, ada beberapa pengujian alat dengan background atau suhu sekitar dengan menggunakan osiloskop yaitu sebagai berikut:

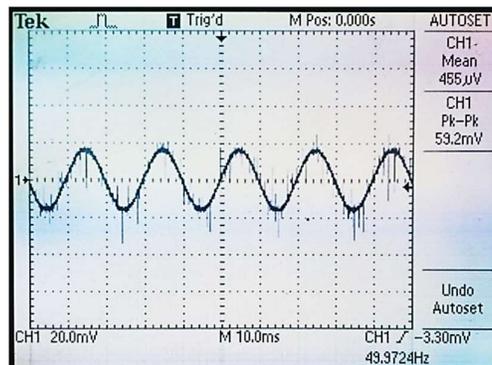
4.2.1 Pengujian Ke – 1



Gambar 4. 3 Pengujian ke – 1 Tanpada adanya radiasi

Gambar menunjukkan hasil pengukuran sinyal dari detektor radiasi alpha menggunakan osiloskop. Pada tampilan osiloskop, skala tegangan adalah 20 mV / div dan skala waktu adalah 10 ms/div.

4.2.2 Pengujian Ke – 2



Gambar 4. 4 Pengujian ke – 2 Tanpa adanya radiasi

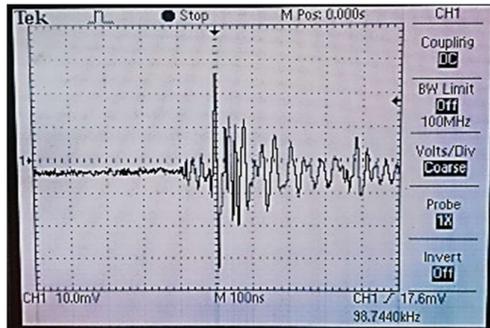
Gambar menunjukkan tampilan sinyal dari osiloskop yang digunakan untuk mendeteksi radiasi alpha. Parameter-parameter yang ditampilkan meliputi rata-rata sinyal (Mean) sebesar 455 μ V, amplitudo puncak-ke-puncak (Peak-to-Peak) sebesar 59.2 mV, dan offset DC sebesar -3.30 mV. Frekuensi yang ditampilkan oleh osiloskop adalah 49.9724 Hz.

4.3 Pengujian alat dengan sampel

Setelah perancangan dan pembuatan detektor partikel alpha berbasis photodioda BPX61 selesai, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian alat untuk memastikan kinerjanya. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan sumber radiasi alpha, seperti Amerisium-241. Sumber radiasi ditempatkan pada jarak yang aman dan sesuai dengan protokol keselamatan radiasi.



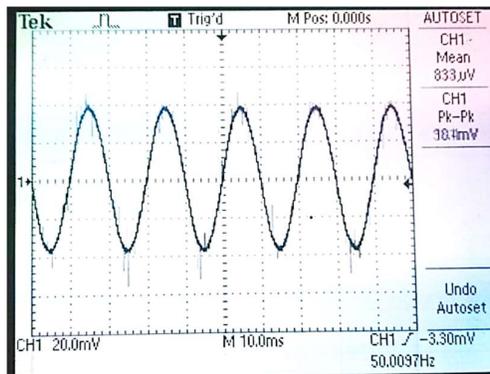
4.3.1 Pengujian Ke – 1



Gambar 4. 5 Pengujian Ke – 1 Dengan adanya radiasi

Gambar diatas menunjukkan Hasil pengujian ke – 1 detektor radiasi alpha menggunakan BPX61 dan sumber Am-241 ditampilkan pada osiloskop. Sinyal yang terlihat menunjukkan puncak tajam setiap kali partikel alpha terdeteksi, dengan tegangan sekitar 17.6 mV. Namun, ada sinyal berfrekuensi tinggi sekitar 98.7 kHz yang bisa disebabkan oleh interferensi atau noise dari lingkungan.

4.3.2 Pengujian Ke – 2

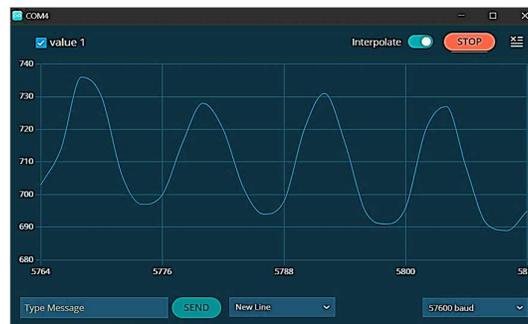


Gambar 4. 6 Pengujian Ke – 2 dengan adanya radiasi

Pada gambar osiloskop, kita melihat tampilan sinyal dari detektor alpha yang menggunakan Am-241 sebagai sumber radiasi. Pengaturan osiloskop menunjukkan skala tegangan vertikal sebesar 20.0 mV per divisi dan skala waktu horizontal sebesar 10.0 ms per divisi. Dari pembacaan ini, terlihat bahwa sinyal memiliki nilai rata-rata sebesar 833 µV dan nilai puncak ke puncak (peak-to-peak) sebesar 38.1 mV. Selain itu, osiloskop secara otomatis mendeteksi frekuensi sinyal sebesar 50.0097 Hz.

4.4 Pengujian alat dengan Arduino uno

4.4.1 Pengujian ke – 1



Gambar 4. 7 Pengujian ke – 1 Tanpa adanya radiasi menggunakan Arduino uno

Pada grafik hasil pengujian detektor radiasi alpha tanpa adanya sumber radiasi, sumbu X (horizontal) menunjukkan waktu atau jumlah pembacaan data yang dilakukan oleh Arduino, di mana setiap titik mewakili hasil pengukuran tegangan pada interval waktu tertentu. Sumbu Y (vertikal) menampilkan nilai tegangan yang diukur, dengan skala antara 680 hingga 740, yang mengindikasikan fluktuasi tegangan dari detektor. Fluktuasi ini mencerminkan adanya noise dalam sistem, baik dari lingkungan sekitar maupun dari komponen elektronik dalam rangkaian. Dengan menganalisis sumbu X dan Y, kita dapat memahami bagaimana sinyal tegangan berubah seiring waktu dan seberapa besar pengaruh noise terhadap pengukuran.

4.4.2 Pengujian ke – 2



Gambar 4. 8 Pengujian Ke – 2 tanpa adanya radiasi menggunakan Arduino uno

Grafik yang ditunjukkan merupakan hasil pengujian detektor radiasi alpha tanpa adanya sumber radiasi, menggunakan perangkat lunak Arduino IDE. Hasil grafik menunjukkan fluktuasi sinyal yang berada pada sumbu Y di kisaran 124 hingga 140, dan pada sumbu X kisaran 0 hingga 43 yang mencerminkan noise latar belakang. Fluktuasi ini adalah hal yang normal dan disebabkan oleh faktor lingkungan atau noise elektronik dalam detektor. Tidak ada sinyal kuat yang terdeteksi, yang menunjukkan bahwa detektor berfungsi dengan baik dan hanya menangkap noise latar belakang tanpa adanya interaksi partikel alpha. Sinyal dasar yang stabil menunjukkan bahwa sistem bekerja secara normal tanpa adanya gangguan eksternal yang signifikan.

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah detektor partikel alpha dengan menggunakan dioda BPX61 berbasis semikonduktor. Detektor ini dirancang untuk mendeteksi partikel alpha yang dipancarkan oleh sumber radioaktif, seperti Am241, dan menampilkan hasil deteksi dalam bentuk sinyal listrik yang dapat dilihat melalui osiloskop dan diolah lebih lanjut dengan Arduino Uno untuk ditampilkan dalam bentuk grafik.

Pengujian dilakukan di PTKMR BRIN dengan dua skenario: pengujian terhadap sampel Am241 dan pengujian terhadap latar belakang (background) radiasi. Sinyal yang dihasilkan dianalisis untuk menentukan kemampuan detektor dalam mendeteksi partikel alpha.



5.2 Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya diharapkan untuk menggunakan amplifier atau filter tambahan untuk menggunakan sensitivitas dan selektivitas detektor terhadap partikel alpha, sehingga dapat memperkecil pengaruh noise dari latar belakang.
2. Penggunaan sumber radiasi disarankan untuk menguji dengan berbagai sumber radiasi alpha lainnya selain Am241, guna memastikan keakuratan dan keandalan detektor dalam berbagai kondisi.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini tidak akan berhasil tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar – besarnya kepada pihak di PTKMR BRIN yang telah memberikan fasilitas dan kesempatan untuk melakukan pengujian. Terimakasih juga kepada rekan – rekan yang telah memberikan masukan berharga selama proses penelitian ini. Semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dibidang deteksi radiasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Almanda, D., & Majid, N. (2019). Studi Analisa Penyebab Kerusakan Kapasitor Bank Sub Station Welding di PT. Astra Daihatsu Motor. *RESISTOR (ElektRONika KEndali TelekomunikaSI Tenaga LiSTrik KOmputeR)*, 2(1), 7. <https://doi.org/10.24853/resistor.2.1.7-14>
- Amarudin, A., Saputra, D. A., & Rubiyah, R. (2020). Rancang Bangun Alat Pemberi Pakan Ikan Menggunakan Mikrokontroler. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kendali Dan Listrik*, 1(1), 7–13. <https://doi.org/10.33365/jimel.v1i1.231>
- Anantama, A., Apriyantina, A., Samsugi, S., & Rossi, F. (2020). Alat Pantau Jumlah Pemakaian Daya Listrik Pada Alat Elektronik Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Tertanam*, 1(1), 29. <https://doi.org/10.33365/jtst.v1i1.712>
- Dwi Cahyono, B., Irwanto, & Iqbal Nugraha, M. (2023). Pengembangan Media Pembelajaran Elektronika Dasar Untuk Memahami Nilai Resistor Berdasarkan Kode Warna 3 Gelang Dan 4 Gelang Bagi Siswa SMK Kelas X Jurusan Teknik Otomasi Industri. *Journal on Education*, 05(04), 11547–11557.
- Fuada, S. (2022). Prototyping Design of Low-Cost Bias-T Circuit Based-on Op-Amp for Visible Light Communication. *Journal of Communications*, 17(1), 63–73. <https://doi.org/10.12720/jcm.17.1.63-73>
- Hadziqoh, N., Mulyadi, R., Lasiyah, N., & Muddasir, M. (2023). Analisa Parameter Frekuensi Pada Pengujian Dan Kalibrasi Elektrostimulator. *Al-Tamimi Kesmas: Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat (Journal of Public Health Sciences)*, 12(1), 93–99. <https://doi.org/10.35328/kesmas.v12i1.2445>
- Rini, N. (2018). Simulasi Desain Skema Robot Line Follower Penyiram Tanaman Menggunakan Simulator Software Proteus 8. *Petir*, 10(2), 73–81. <https://doi.org/10.33322/petir.v10i2.26>
- Simatupang, J. W., Prastyo, L. A., Junior, Z., & Fernando, F. (2023). Pemanfaatan Sensor Fotodiode Berbasis Penguat IC LM358 Sebagai Pendeteksi Jarak Api Pada Saat Kebakaran. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(3), 6088–6095. <https://doi.org/10.32672/jse.v8i2.5910>
- Sumardi, T., & Nurasih, S. (n.d.). *BULLET: Jurnal Multidisiplin Ilmu Deteksi Ionisasi Udara Akibat Radioaktivitas Americium-241 (Am-241) Melalui Parameter Kelistrikan*.



Yulianti, T., Samsugi, S., Nugroho, P. A., & Anggono, H. (2021). Rancang Bangun Alat Pengusir Hama Babi Menggunakan Arduino Dengan Sensor Gerak. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Tertanam*, 2(1), 21. <https://doi.org/10.33365/jtst.v2i1.1032>