

**RANCANG BANGUN DETEKTOR BETA MENGGUNAKAN  
SENSOR PHOTODIODA BPW 34**

**Wira Rusmandana<sup>1</sup>, Kiswanta<sup>2</sup>**

Universitas Pamulang

E-mail: [wirarusmandana@gmail.com](mailto:wirusmandana@gmail.com)<sup>1</sup>,

[dosen00787@unpam.ac.id](mailto:dosen00787@unpam.ac.id)<sup>2</sup>

**Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk merancang detektor radiasi beta berbasis semikonduktor menggunakan sensor Photodiode BPW34, yang dirancang untuk mendeteksi partikel beta ( $\beta$ ) dari peluruhan radioaktif. Dengan aplikasi penting di bidang kesehatan dan industri untuk memantau paparan radiasi, penelitian ini mencakup perancangan, simulasi menggunakan perangkat lunak Proteus dan EasyEDA, serta pengujian langsung di Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR). Pengujian menggunakan sumber radiasi Stronsium (Sr-90) dan Radon menunjukkan detektor mampu mendeteksi partikel beta dengan tegangan puncak 6,40 V untuk radon dan amplitudo 21,8 mV untuk stronsium. Dibandingkan dengan detektor industri "Radiation Alert Inspector," yang mencatat 138 CPS untuk radon dan 35 CPS untuk stronsium, detektor ini memiliki sensitivitas yang lebih rendah, namun tetap memberikan hasil yang cukup akurat dan stabil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa detektor ini dapat menjadi alternatif yang lebih terjangkau dan portabel untuk mendeteksi radiasi beta, meskipun memerlukan peningkatan lebih lanjut untuk menyamai sensitivitas alat industri.

**Kata Kunci** — Deteksi radiasi, Partikel beta, Photodiode, Sensor semikonduktor.

**Abstrack**

*Nuclear technology plays a vital role in national development, but the resulting radiation exposure carries health risks such as cataracts, burns, alopecia, bleeding, and infertility. To study ionizing radiation, a semiconductor-based beta detector was developed to detect beta ( $\beta$ ) particles. This research focuses on the design of an efficient detector and the testing of beta radiation activity at PTKMR using simulation and direct testing methods. The results show that the self-made beta detector can detect beta radiation with a peak voltage of 6.40 V for background, 57.6 for radon, and an amplitude of 21.8 mV for strontium. Compared to the industrial detector "Radiation Alert Inspector," which recorded 138 CPS for radon and 35 CPS for strontium, the self-made detector demonstrated fairly good accuracy, although the industrial detector proved to be more sensitive and stable, particularly in the measurement of strontium radiation.*

**Keywords**— Radiation detection, Beta particles, Photodiodes, Semiconductor sensors.

**PENDAHULUAN**

Pemerintah mengambil langkah proaktif sejak dini untuk menjamin pertahanan negara dengan melibatkan seluruh warga negara, daerah, dan sumber daya nasional secara komprehensif, terkoordinasi, tepat sasaran, dan tidak terputus (Syahrin, 2018). Teknologi nuklir merupakan teknologi yang dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan energi. Tjipta Suhaemi, 2008. Teknologi nuklir mempunyai peranan penting dalam memperlancar program pembangunan nasional di Indonesia. Khususnya di bidang energi, kesehatan,

pangan dan pertanian, pengelolaan sumber daya tenaga air, dan perlindungan lingkungan. Zat radioaktif digunakan dalam industri kesehatan untuk radioterapi, kedokteran nuklir, dan radiodiagnostik. Senyawa radioaktif digunakan dalam beberapa aplikasi industri, seperti radiografi, logging, dan pengukuran. Senyawa radioaktif digunakan dalam penelitian untuk berbagai tujuan seperti pelacak, pertanian, peternakan, dan pembuatan radioisotop. Selain itu, bahan nuklir digunakan dalam fungsi fasilitas nuklir. (Anggalaksana, 2022).

Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) merupakan Lembaga Non Pemerintah Departemen (LPND) yang bertugas menyelenggarakan penelitian dan pengembangan di bidang ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir. (Suliansyah et al., 2019). Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi berfokus pada pemantauan dan penjaminan keselamatan instalasi bahan bakar nuklir. Tanggung jawabnya mencakup melakukan studi kasus, mengembangkan dan menilai langkah-langkah untuk keselamatan nuklir, proteksi radiasi, dan dampak lingkungan, serta menerapkan langkah-langkah tersebut.

Ungkapan "radiasi pengion" biasa digunakan dalam penyelidikan penelitian di bidang energi nuklir. Radiasi pengion mengacu pada jenis radiasi yang, ketika terkena benturan atau tumbukan, menghasilkan partikel bermuatan listrik yang dikenal sebagai ion. (Rachman, 2018). Salah satu komponen radiasi pengion adalah partikel subatom yang dikenal sebagai partikel beta ( $\beta$ ). Partikel beta ( $\beta$ ) mempunyai massa yang sama dengan elektron, yaitu lebih kecil dari massa partikel alfa ( $\alpha$ ) (Agustiarini & Permata Wijaya, 2021). Selain memberikan manfaat bagi manusia, radiasi juga membawa bahaya tersendiri. Potensi bahaya yang terkait dengan paparan radiasi meliputi katarak, luka bakar, alopecia, pendarahan, dan infertilitas (Wiharto, 1998). Besarnya dampak negatif yang ditimbulkan oleh radiasi berbanding lurus dengan dosis yang diserap. Oleh karena itu, semakin besar dosisnya maka semakin besar pula efek negatifnya (Suhardjo, 1993).

Oleh karena itu, untuk melakukan penelitian tentang radiasi pengion, dikembangkan detektor beta yang khusus mendeteksi partikel beta ( $\beta$ ). Detektor beta ini menggunakan sensor yang berbasis teknologi semikonduktor. Salah satu tujuan dibalik pembuatan alat ini adalah untuk menyediakan detektor yang ringan dan mudah dipasang untuk pemantauan. Peralatan tersebut secara eksklusif menargetkan partikel beta. Dikembangkan karena ukurannya yang portabel dan harga yang terjangkau, sehingga nyaman untuk dibawa kemana saja. Mikrokontroler Arduino dapat dimanfaatkan untuk mengatasi masalah ini. Sebuah penelitian yang dilakukan oleh Trikasjono dkk. (2013) telah mengeksplorasi penggunaan mikrokontroler Arduino dalam penelitiannya. Tujuannya adalah untuk membuat detektor radiasi yang memperlihatkan representasi grafis dari korelasi antara keluaran tegangan tinggi dari sumber daya detektor dan pengukuran radiasi yang direkam. Penelitian ini menggunakan papan Arduino sebagai pemroses sinyal untuk keluaran rangkaian penguat. Firmware atau kode program dikembangkan menggunakan Arduino IDE, yang dibangun di atas bahasa C/C++. Selain itu, sensor berbasis semikonduktor fotodiode digunakan sebagai sensor radiasi.

## **LANDASAN TEORI**

### **Tinjauan Pustaka**

Landasan teori perancangan Detektor Beta menggunakan Sensor Fotodiode. Berikut adalah beberapa kutipan yang relevan dengan topik penelitian ini:

(Azam et al., 2007) Dengan sebuah judul "Penentuan efisiensi beta terhadap gama pada detektor Geiger muller" Penentuan dilakukan dengan mengukur efisiensi pencacah beta tiga detektor dengan menggunakan kobalt-60 sebagai sumber radiasi dan aluminium foil untuk penyerapan gas. Temuan penelitian mengungkapkan nilai efisiensi yang bervariasi untuk detektor. Secara spesifik, detektor 1 menunjukkan efisiensi sebesar 0,40%,

detektor kedua memiliki efisiensi sebesar 3,31%, dan detektor ketiga memiliki efisiensi sebesar 0,53%.

(Wijaya et al., 2019) Dengan sebuah judul “Deteksi Radiasi gelombang elektromagnetik dari peralatan medis dan elektronik dirumah sakit”. Penelitian ini memanfaatkan detektor gelombang elektromagnetik untuk mengamati hasil pengukuran paparan radiasi gelombang elektromagnetik dari perangkat medis dan listrik di dalam kamar pasien. Penelitian ini menggunakan metodologi paradigma kuantitatif, yaitu pengumpulan data dari pengukuran di lapangan.

(Adams et al., 2021) Dengan sebuah judul “Sensitivity of a tonne scale next detector for neutrinoless double- beta decay searches”. Judul penelitian penulis menunjukkan bahwa konsep detektor yang dijelaskan mewakili kemajuan signifikan dalam mencapai sensitivitas terhadap ruang parameter yang ditentukan oleh massa neutrino terbalik. Eksperimen ini bertujuan untuk mendeteksi peluruhan beta ganda neutrinoless dengan memanfaatkan gas Xenon tpc bertekanan tinggi dengan amplifikasi electroluminescence.

(Hilyana, 2017) Dengan sebuah judul “Penentuan tegangan operasional pada detektor Geiger muller dengan perbedaan jari-jari window” Tegangan operasional detektor berisi gas Geiger-Muller telah ditentukan. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa detektor dengan radius 13mm menghasilkan rentang tegangan 500V-620V, sedangkan detektor dengan radius 18mm menghasilkan rentang tegangan 700V-820V. Variasi hasil tegangan operasional detektor Geiger Muller disebabkan oleh perbedaan radius.

Berdasarkan tinjauan pustaka yang disebutkan, penulis bermaksud untuk membuat suatu alat pendeteksi. Perangkat ini akan memanfaatkan penguat operasional (op-amp) sebagai penguat sinyal dan sensor radiasi berbasis semikonduktor photodiode bpw34. Perangkat kemudian akan menyajikan data sinyal dalam bentuk grafik pada arduino uno dan osiloskop. Pembangunan dan pengujian detektor beta ini akan berlangsung di Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR).

### **Detektor**

Detektor adalah alat yang digunakan untuk melihat dan mengukur berbagai gaya, termasuk tekanan, cahaya, besaran listrik, suara, dan fenomena serupa lainnya (Wijaya et al., 2019). Detektor didefinisikan sebagai perangkat yang berfungsi untuk mendeteksi adanya suatu fenomena fisik, seperti radiasi atau partikel, yang relevan dalam suatu sistem atau eksperimen (Waluyo et al., 2010).

#### **1. Detektor Radiasi**

Detektor radiasi adalah alat yang digunakan untuk mengukur dan mendeteksi keberadaan radiasi dengan mengamati perubahan yang terjadi akibat penyerapan energi radiasi oleh suatu medium penyerap (Bere et al., 2016).

#### **2. Detektor Radiation Inspector Alert**

Radiation inspector adalah perangkat portabel yang digunakan untuk mengukur radiasi alpha, beta, gamma, dan sinar-X. Alat ini mampu mengukur aktivitas gross alpha, beta, serta dapat digunakan untuk mengukur laju dosis (Teknologi & Radioaktif -Batan, 2016).

### **Gelombang Elektromagnetik**

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang tidak membutuhkan medium (perantara) dalam sebuah rambatannya, dengan begitu gelombang elektromagnetik dapat merambat pada ruang hampa (Iswan et al., 2022). Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang terbentuk dari usikan medan magnet dan medan listrik (Rahmawati et al., 2018). Untuk rumus gelombangnya dapat penulis berikan contohnya pada rumus dibawah ini.

Hukum Gauss untuk listrik :

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

Dimana :

E : medan listrik ( Volt per meter (V/m)

$\rho$  : Densitas muatan ( Coulomb per meter kubik (C/m<sup>3</sup>)

$\epsilon_0$ : Permivitas vakum ( Farad per meter (F/m)

### Radiasi

Radiasi adalah pelepasan energi dalam bentuk panas, partikel, gelombang elektromagnetik, atau cahaya (foton) dari suatu sumber, yang dapat berupa materi, radiasi jenis lain, atau ruang kosong (Yoshandi et al., 2020).

#### 1. Radiasi Pengion

Radiasi pengion mengacu pada radiasi yang memiliki kemampuan untuk menginduksi pelepasan elektron dari atom sehingga mengakibatkan terbentuknya pasangan ion (Ramadhani et al., 2023).

#### 2. Partikel Beta

Partikel beta adalah elektron atau positron yang dipancarkan dari inti atom radionuklida selama proses peluruhan beta, yang menyebabkan perubahan jumlah proton atau neutron dalam inti atom, sementara nomor massa inti tetap sama (Lestari et al., 2015).

Tabel 1. Spesifikasi Sumber Radiasi Beta Stronsium

SPESIFIKASI SUMBER RADIASI BETA	
Nuklida/Nuclide	<sup>90</sup> Sr / <sup>90</sup> Y
Aktivitas / Activity	2,91 kBq
Tanggal Acuan / Reference Date	15 Desember 2004
Luas Permukaan Aktif / Area of Active Surface	150 mm x 100 mm
Ketertelusuran / Traceability	SI melalui PTB, Jerman / SI through PTB-Germany
NO.Sertifikat / Certificate No	SIR07032 DKD-K-06501/04-12/NN 353

Sumber: ( SI Ptb – Germany, 2004 )

Pada tabel 1 diatas penulis membuat sebuah tabel spesifikasi sumber radiasi beta yang dimana spesifikasi ini diberikan informasinya dari pihak yang berwenang. Dalam hal ini pusat teknologi keselamatan dan metrologi radiasi (PTKMR).

#### 3. Stronsium

Stronsium (Sr) adalah logam alkali tanah dari golongan II-A dengan nomor atom 38 dan berat atom stabil sebesar 87,62. Sr memiliki sifat kimia yang mirip dengan logam alkali tanah lainnya seperti kalsium (Ca) dan barium (Ba), berbentuk padat dengan warna putih perak pada suhu kamar, serta memiliki titik lebur 771°C dan titik didih 1360°C, dan memiliki isotop dengan nomor massa antara 81,8 hingga 97(Sulaiman et al., 2007).

Tabel 2 Penjelasan Sumber Stronsium

Unsur	Posisi Tabel Periodik	Karakteristik
Stronsium (Sr) 	- Nomor Atom: 38 - Golongan: 2 (logam alkali tanah) - Periode: 5 yang berarti atom stronsium memiliki lima kulit elektron.	- Masa atom : 87.62 -Warna: Putih keperakan -Reaktifitas: Reaktif dengan air dan oksigen bentuk lapisan oksida

		-Sifat kimia : Mirip kalsium bereaksi dengan air.
--	--	--

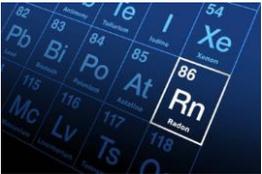
Sumber : (Hardi et al., 2007)

Pada tabel 2 Diatas merupakan sebuah penjelasan dari sumber stronsium dimana pada tabel tersebut terdapat penjelasan mengenai unsur, posisi tabel periodik serta karakteristik dari sumber stronsium tersebut. Karakteristik dari stronsium ini dimana dalam segi penampilan dan sifat fisik, stronsium adalah logam berwarna perak putih yang lembut dan stronsium ini cukup reaktif dan cepat teroksidasi di udara, membentuk lapisan oksida stronsium yang berwarna kuning. Namun isotop radioaktif seperti sr-90 bisa sangat berbahaya bagi kesehatan manusia jika terhirup atau tertelan, karena dapat menyebabkan kanker tulang dan penyakit lainnya.

#### 4. Radon

Radon dan hasil peluruhannya adalah komponen utama dari radiasi alami yang berasal dari peluruhan uranium-238, dan dapat ditemukan di lingkungan seperti air, tanah, batuan (granit), serta sedimen. Radon termasuk dalam kategori Bahan Radioaktif Alami (Azhari et al., 2019).

Tabel 3 Penjelasan Sumber Radon

nsur	Posisi Tabel Periodik	Karakteristik
Radon (Rn) 	- Nomor Atom: 86 - Golongan: 18 (gas mulia) - Periode: 6	- Masa atom : 222u - Warna : Tidak Berwarna - Reaktifitas : Bersifat Radioaktif - Sifat kimia : Dapat membentuk senyawa dalam kondisi ekstrem

Sumber : (Hardi et al., 2007)

Pada tabel 3 Diatas merupakan sebuah penjelasan dari sumber radon dimana pada tabel tersebut terdapat penjelasan mengenai unsur, posisi tabel periodik serta karakteristik dari sumber radon tersebut. Karakteristik dari bahan radon adalah dimana gas ini tidak memiliki warna , tidak berbau dan tidak berasa dalam kondisi normal. Radon dalam sebuah reaktifitasnya dapat membentuk senyawa dengan beberapa fluorida dan oksida dalam kondisi tertentu. Dalam hal kesehatan radon salah satu utama kanker paru – paru setelah rokok. Paparan radon dalam jangka Panjang dapat merusak sel- sel paru-paru (Sam et al., 2012).

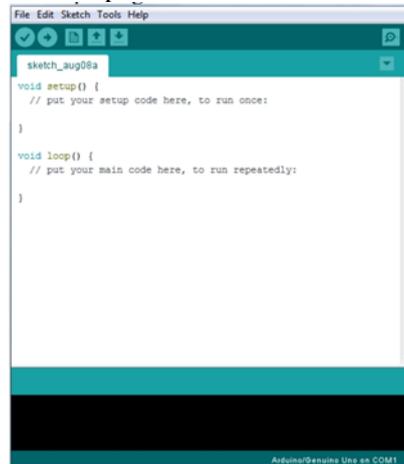
#### Mikrokontroller

Mikrokontroler adalah sebuah komputer miniatur dalam bentuk chip yang dirancang untuk mengendalikan perangkat elektronik, dengan tujuan mengoptimalkan efisiensi dan menekan biaya operasional (Hafidhin et al., 2020). Mikrokontroler adalah sebuah IC yang dapat diprogram ulang, baik untuk menulis maupun menghapus program, dan biasanya digunakan untuk mengontrol perangkat elektronik secara otomatis maupun manual (Sitohang et al., 2018). Di dalam IC mikrokontroler terdapat berbagai komponen seperti CPU, memori, timer, input/output, konverter analog ke digital (ADC), konverter digital ke analog, dan lainnya (Yusuf et al., 2020).

## 1. Software Arduino Ide

Arduino IDE adalah sebuah perangkat lunak yang sangat penting untuk menulis program, mengompilasinya menjadi kode biner, dan mengunggahnya ke dalam memori mikrokontroler (Samsir et al., 2020).

Gambar 1 Tampilan Awal Software Arduino Ide



Sumber: (Rahman Hakim & Rhendy, 2019)

Software arduino IDE adalah perangkat lunak yang digunakan untuk memasukkan program-program berisi instruksi, yang kemudian diunggah ke mikrokontroler untuk diaplikasikan (Samsugi et al., 2020).

## 2. Arduino Uno

Arduino adalah sebuah kit atau papan elektronik yang berfungsi untuk berbagai keperluan dalam bidang elektronika (Syahwil, 2013). Board ini dilengkapi dengan 14 pin input/output digital, dimana 6 pin di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM, serta 6 pin input analog (Samsugi et al., 2022).

Gambar 2 Arduino Uno



Sumber: (Zanofa et al., 2020)

Penelitian Arduino merupakan board mikrokontroler dengan karakteristik open source dan sirkuit arduino biasanya mencakup mikrokontroler ATmega 328 dari mikrokontroler AVR seri Atmel (Feri Djuandi, 2011). Spesifikasi dari arduino uno sebagai berikut (Bahar & Ashfahani, 2021) :

Tabel 4. Spesifikasi Arduino Uno

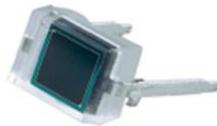
Mikrokontroler	ATmega 328
Tegangan Pengoperasian	5v
Tegangan Input yang disarankan	7 – 12 V
Batas Tegangan input	6 – 20 V
Jumlah pin I/O digital	14 pin digital (6 diantaranya menyediakan keluaran pwm)
Jumlah pin input analog	6 pin
Arus DC tiap pin I/O	50mA
Arus DC untuk pin 3.3 V	50mA

Tabel diatas yang diberi label Tabel 4. memberikan informasi tentang mikrokontroler Arduino Uno yang dilengkapi dengan board AVR seri ATmega 328. Arduino biasanya beroperasi pada tegangan 5V.

**PhotoDioda Bpw34**

Photodiode adalah komponen elektronik yang terbuat dari material semikonduktor, yang berbeda dengan dioda konvensional. Komponen ini memiliki kemampuan untuk mengonversi cahaya menjadi arus listrik. Jenis cahaya yang dapat dideteksi oleh fotodiode mencakup spektrum yang luas, mulai dari cahaya inframerah, cahaya tampak, sinar ultraviolet, hingga sinar-X(Syariffudin & Pratiwi, 2022). Mereka kemudian mengubah intensitas cahaya yang diamati menjadi arus listrik. Photodiode BPW 34 adalah komponen semikonduktor yang berfungsi sebagai sensor cahaya dengan kepekaan tinggi terhadap perubahan intensitas sinar (Setjaningsih dkk., 2017). Komponen ini mampu mendeteksi berbagai jenis cahaya, termasuk inframerah, cahaya tampak, dan sinar ultraviolet (Zain et al., 2020).

Gambar 3. Simbol dan bentuk fisik dari photodiode bpw34



Sumber : (Mamedes et al., 2024 )

Tabel 5. Data sheet Photodiode bpw 34

FITUR DAN SPESIFIKASI	
Tegangan kerusakan terbalik	60V
Kecepatan peralihan	20ns
Kapasitansi dioda	70pF (1MHz, V <sub>r</sub> =0V)
Tegangan rangkaian terbuka	350mv
Waktu naik dan turun	100ns

Sumber : (Nguyễn Văn Sỹ, 2018 )

Lembar data photodiode bpw34 disajikan pada tabel 5. Tabel ini memberikan informasi tentang fitur dan spesifikasi photodiode.

**Software Proteus**

Proteus adalah perangkat lunak untuk mendesain papan sirkuit cetak (PCB) yang juga mencakup kemampuan simulasi pspice. Sebelum merevisi rangkaian skema PCB, penting untuk memverifikasi keakuratan desain PCB sebelum mencetaknya (Nuraini, 2018). Perangkat lunak Proteus sangat mudah diakses oleh pengguna pemula yang ingin memperoleh pengetahuan tentang komponen elektronik . Proteus terdiri dari perpaduan program sistem entri diagram cerdas dan ARES. Integrasi kedua program ini memungkinkan terciptanya diagram rangkaian elektronik yang dapat dibuat, disimulasikan, dan diubah menjadi layout PCB (Andrianto & Sakinah, 2017).

Gambar 4 Tampilan Software Proteus



Sumber: (Asadi, 2022)

## Operational Amplifier (Op-Amp)

Penguat Operasional, atau sering disebut sebagai Op-Amp, adalah salah satu jenis IC Linear yang berfungsi untuk memperkuat sinyal listrik. Op-Amp terdiri dari berbagai komponen seperti transistor, dioda, resistor, dan kapasitor yang saling terhubung dan terintegrasi, memungkinkan perangkat ini menghasilkan penguatan (gain) yang tinggi dalam berbagai frekuensi (Ridhoi et al., 2021).

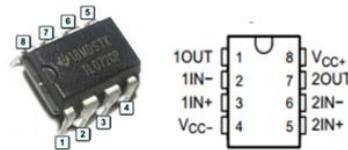
### 1. Fungsi Operatioonal Amplifer (Op-Amp)

Penguat operasional adalah suatu komponen yang menjalankan fungsi berupa operasi matematika pada tegangan. Selain penjumlahan juga terdapat integral, reduksi, perbandingan, pembanding. Rangkaian ini digunakan untuk penguat tegangan, penguat selisih dua tegangan, dan penambah dua sumber tegangan yang diterapkan pada rangkaian analog listrik (Pauzan, 2019).

### 2. IC TL 072

Integrated Circuit atau IC merupakan chip berukuran kecil yang terbuat dari bahan semikonduktor, seperti silikon, dan mengandung berbagai komponen rangkaian (Kurniasih et al., 2023). IC TL072 adalah Ic yang digunakan dalam rangkaian penguat operasional (op-amp) dan memiliki karakteristik unggul, seperti tingkat gangguan yang rendah, perlindungan terhadap korsleting, serta koefisien tegangan temperatur yang kecil (Dimas, 2017).

Gambar 5. Bentuk Fisik dan Bentuk Simbol IC TL 072



Sumber: (Fuada, 2022; Mulayim, 2017)

Tabel 6 Data Sheet IC ITL 072

Suhu pengoperasian	-40 hingga 125°
Tegangan suplai	6 hingga 36V
Arus keluaran	10mA
Distorsi harmonik rendah	Biasanya 0,003%
Kisaran suhu penyimpanan	-65 hingga 150°
Laju perubahan tegangan tinggi	Biasanya 13V/us
Tegangan suplai lebar	$\pm 2,25V$ hingga $\pm 20V$ , 4,5v hingga 40V

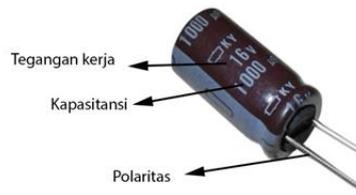
Sumber: (Fuada, 2022)

Nilai yang ditentukan dalam tabel 6 menunjukkan bahwa kisaran suhu operasional untuk sirkuit terpadu (IC) ini adalah -40 hingga 125°C, dan memerlukan tegangan suplai antara 6 dan 36V. Arus keluaran terbesar yang dihasilkan adalah 10 miliampere, dan distorsi harmoniknya minimal, hanya berukuran 0,003%. Sirkuit terpadu (IC) TL 072 memiliki kisaran suhu penyimpanan -65 hingga 150° dan laju perubahan tegangan tinggi yang biasanya diukur pada 13V/us. Rentang tegangan untuk tegangan suplai IC TL 072 adalah dari  $\pm 2,25V$  hingga  $\pm 20V$ , atau dari 4,5V hingga 40V.

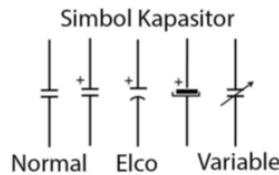
### 3. Kapasitor

Kapasitor adalah komponen elektronika yang memiliki kemampuan untuk menyimpan elektron-elektron dalam jangka waktu yang tidak terbatas (Apriani & Barlian, 2018).

Gambar 6. Bentuk Fisik Kapasitor



Gambar 7. Simbol Kapasitor



Sumber: (Pratama, 2021).

Fungsi kapasitor yaitu:

1. Menyimpan muatan listrik.
  2. Memilih gelombang radio (tuning)
  3. Sebagai perata arus pada receiver
  4. Sebagai komponen rangkaian starter kendaraan bermotor
  5. Memadamkan bunga api pada sistem pengapian mobil
  6. Sebagai filter dalam catu daya.
4. Resistor

Resistor adalah komponen dasar dalam elektronika yang berfungsi untuk memberikan hambatan pada arus listrik, sehingga membatasi jumlah arus yang mengalir dalam suatu rangkaian elektronik (Wahyuddin & Ayu, 2023). Nilai resistansi suatu resistor disebut ohm dan dilambangkan dengan huruf Yunani omega ( $\Omega$ ) dimana menurut hukum Ohm, hambatan suatu bahan berbanding terbalik dengan besarnya arus listrik yang melewatinya (Apriani & Barlian, 2018).

Gambar 8. Resistor



Sumber: (Nadziroh et al., 2021)

### Software EsyEda

Easy EDA (Electronic Design Automation) adalah perangkat lunak desain yang digunakan untuk kebutuhan rangkaian elektronika. Software ini memiliki antarmuka yang sederhana dan user-friendly, serta dilengkapi dengan library komponen yang cukup lengkap. Selain memungkinkan pembuatan rangkaian skematik, Easy EDA juga mendukung desain dalam format 3D (Boy Panroy Manullang et al., 2021).

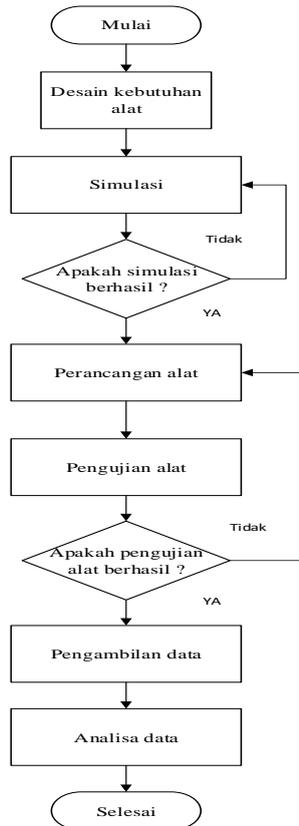
Gambar 9 Tampilan Software Easyeda



Sumber: (Tafta Zani & Eko Suharyanto, 2022)

## METODE PENELITIAN

### Flowchart Penelitian



Gambar 10. Flowchart Alur Penelitian

Penjelasan dari flowchart diatas adalah sebagai berikut:

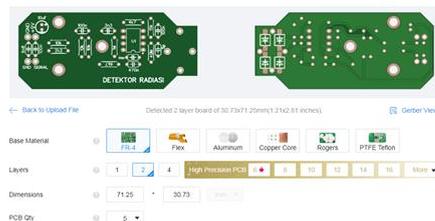
Tahap pertama adalah mendesain kebutuhan alat, yang mencakup penentuan spesifikasi dan fitur yang harus dimiliki. Setelah itu, dilakukan simulasi untuk menguji desain tersebut. Jika simulasi tidak berhasil, perbaikan dilakukan pada tahap desain, namun jika berhasil, proses dilanjutkan ke perancangan alat secara fisik atau virtual. Setelah alat dirancang, dilakukan pengujian untuk memastikan alat berfungsi sesuai harapan. Jika pengujian tidak berhasil, proses kembali ke tahap perancangan untuk dilakukan revisi. Jika pengujian berhasil, data dari alat yang dikembangkan akan diambil untuk dianalisis atau digunakan sesuai kebutuhan. Proses ini berakhir setelah semua tahapan berhasil dilalui, menandakan alat siap digunakan. Siklus iteratif ini memastikan bahwa alat yang dikembangkan telah memenuhi kebutuhan dan berfungsi dengan baik kemudian masuk ke tahapan Analisa data sebelum dianggap selesai.

### Desain Alat Kebutuhan

Pada bab 3 penulis akan menjabarkan sebuah desain alat kebutuhan dari sebuah komponen yang akan digunakan, alat dan bahan yang akan digunakan serta ukuran dimensi alat dari sebuah rangkaian pcb nya hingga ukuran dimensi hasil jadi alatnya.

#### 1. Ukuran Dimensi Rangkaian Pcb Double Layer

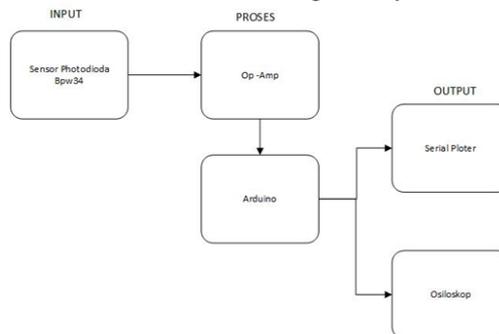
Gambar 11. Penjelasan ukuran dimensi pcb layer



Rangkaian detektor radiasi yang digunakan dalam penelitian ini dirancang menggunakan sebuah PCB (Printed Circuit Board) dengan spesifikasi yang sesuai untuk aplikasi deteksi radiasi. PCB ini memiliki dimensi panjang 71,25 mm dan lebar 30,73 mm, dengan total luas sebesar 2188,6 mm<sup>2</sup>. Desain ini menggunakan PCB dua layer (2-layer), di mana terdapat dua lapisan tembaga yang digunakan untuk distribusi sinyal dan ground. Material dasar yang digunakan pada PCB ini adalah FR-4 Flame Retardant 4". Ini adalah sejenis bahan komposit yang terbuat dari serat kaca yang diperkuat dengan resin epoksi., sebuah bahan yang umum digunakan dalam industri elektronika karena sifatnya yang stabil secara termal dan mekanik. Dengan desain yang kompak, PCB ini dapat mendukung integrasi ke dalam sistem deteksi radiasi yang lebih besar dan memastikan performa deteksi yang optimal.

**Blok Diagram Sistem**

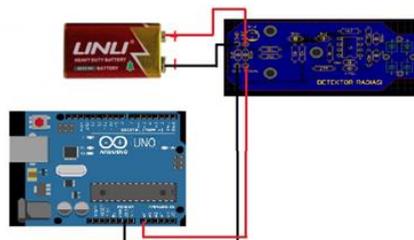
Gambar 12. Blok Diagram System



Dari gambar blok diagram diatas dapat diketahui suatu sistem dimulai dari input, proses, output. Sistem deteksi radiasi yang ditunjukkan dalam diagram ini dimulai dengan penggunaan sensor photodiode BPW34 sebagai komponen input utama. Sensor ini berfungsi mendeteksi radiasi cahaya dan mengubah intensitas cahaya yang diterimanya menjadi arus listrik kecil. Sinyal listrik yang dihasilkan oleh photodiode tersebut cenderung lemah, sehingga diperlukan penguatan melalui penggunaan penguat operasional (op-amp). Setelah melalui tahap penguatan, sinyal yang lebih kuat tersebut kemudian diteruskan ke Arduino, yang berperan sebagai unit pemrosesan utama. Arduino akan mengonversi sinyal analog yang diterima menjadi sinyal digital dan melakukan pengolahan data lebih lanjut sesuai dengan algoritma yang telah ditentukan. Hasil pengolahan sinyal oleh Arduino ini kemudian ditampilkan melalui dua alat output: Serial Plotter dan osiloskop. Serial Plotter, sebuah fitur dalam Arduino IDE, memungkinkan visualisasi data secara real-time dalam bentuk grafik, sehingga perubahan intensitas radiasi dapat dipantau dengan mudah. Selain itu, sinyal juga dapat dianalisis lebih mendetail menggunakan osiloskop, yang menampilkan bentuk gelombang sinyal listrik untuk keperluan analisis karakteristik sinyal seperti amplitudo dan frekuensi. Dengan alur kerja ini, sistem deteksi radiasi dapat memberikan hasil pengukuran yang akurat dan informatif.

**Wiring Desain Rangkaian Alat**

Gambar 13. Wiring desain alat dengan ouput arduino serial plotter

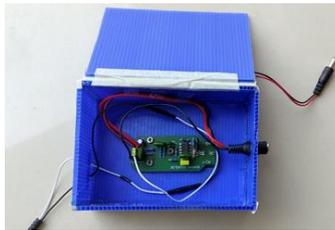


Gambar 13 menunjukkan rangkaian penyambungan komponen dalam sebuah sistem detektor radiasi yang melibatkan sumber daya, Arduino Uno, dan papan sirkuit detektor radiasi. Pada gambar, baterai 9V berfungsi sebagai sumber daya utama untuk rangkaian.



## Hasil Foto Alat

### Tampilan Dalam Alat Detektor Beta



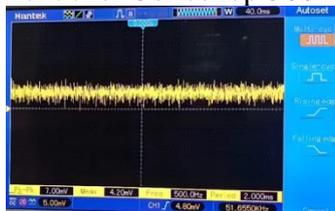
Gambar 1. Tampilan Dalam Alat Detektor

Gambar 1 ini merupakan tampilan dalam case pelindung sebuah rangkaian detektor beta yang dimana di rangkaian tampak terlihat komponen yang sudah tersusun secara rapih.

### Pengujian Rangkaian Detektor Pada Background

Pada percobaan dibawah ini penulis menguji sebuah rangkaian detektor beta bpw 34 dengan menggunakan metode pengambilan data background. Pengambilan data menggunakan background ini merupakan metode uji coba pada sebuah rangkaian detektor terhadap suhu sekitar yang dimana suhu sekitar tersebut yang bentuk sebuah gelombangnya ditampilkan melalui sebuah osiloskop.

#### 1. Pengujian Pertama Dengan Frekuensi Osiloskop 500 Hz



Gambar 2 Pengujian pertama rangkaian detektor beta dengan background

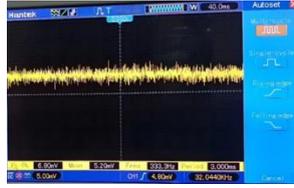
Pada gambar 2 hasil pengujian pertama didapatkan sebuah hasil pengukuran yang menunjukkan gelombang yang tidak teratur dengan variasi amplitudo yang stabil dan fluktuasi kecil. Hasil dari pengukuran osiloskop mencatat basis waktu sebesar 40,0 milidetik dan frekuensi sebesar 500,0Hz dan periode 2,000 milidetik. Gelombang yang ditampilkan mencerminkan karakteristik sinyal background dari detektor radiasi beta dimana sebuah sinyal acak dapat muncul karena fluktuasi radiasi latar belakang. Frekuensi sekitar 500,0Hz yang menunjukkan sekitar 500 siklus per detik, dan amplitudo sebesar 7,00mV (peak to peak). Dalam pengukuran background ini penulis mengukur tanpa adanya sumber radiasi beta.

Tabel 1. Hasil pengujian pertama rangkaian detektor beta dengan background

Hasil pengukuran dari data percobaan menggunakan background		
No	Keterangan	Hasil Pengukuran
1.	Basis Waktu	40,0 ms
2.	Pk – Pk	7,00 mV
3.	Mean	4,20 mV
4.	Frekuensi	500,0Hz
5.	Periode	2,000 ms

Pada tabel 1 diatas dapat dilihat dalam tabel tersebut merupakan tabel pengukuran detektor menggunakan background yang dimana terdapat keterangan pada osiloskop dan terdapat keterangan hasil pengukuran yang didapat.

#### 2. Pengujian Kedua Dengan Frekuensi Osiloskop 333,3 Hz



Gambar 3. Pengujian kedua rangkaian detektor beta dengan background

Pada gambar 3 diatas pada percobaan kedua dapat diketahui bahwa gelombang sinyal yang ditampilkan tampak tidak teratur dengan beberapa karakteristik periodik. Pada pengaturan osiloskop menunjukkan bahwa basis waktu diatur pada 40,0 milidetik per divisi dan frekuensi sebesar 333,3Hz dan periode 3,000 milidetik dan rata – ratanya mencapai 5.20mV. amplitudo sebesar 6,80mV (peak to peak).

Tabel 2. Hasil pengujian kedua rangkaian detektor beta dengan background

Hasil pengukuran dari data percobaan menggunakan background		
No	Keterangan	Hasil Pengukuran
1.	Basis Waktu	40,0 ms
2.	Pk – Pk	6,80 mV
3.	Mean	5,20 mV
4.	Frekuensi	333,3Hz
5.	Periode	3,000 ms

Pada tabel 2 diatas dapat dilihat dalam tabel tersebut merupakan tabel pengukuran detektor menggunakan background yang dimana terdapat keterangan pada osiloskop dan terdapat keterangan hasil pengukuran yang didapat.

### Hasil pengujian Pengambilan Data Menggunakan Sampel Radon

Pada gambar dibawah ini merupakan gambar sampel radon dan pengujian pengambilan datanya.



Gambar 4. Sampel Radon



Gambar 5. Pengujian Pengambilan Data

#### 1. Hasil Pengujian Pertama Menggunakan Sampel Radon



Gambar 6. Hasil pengujian pertama menggunakan sampel radon

Hasil pengukuran radiasi beta yang ditampilkan pada serial plotter Arduino Uno menunjukkan adanya dua puncak signifikan yang terjadi pada waktu sekitar 5768 ms dan 5780 ms. Kedua puncak ini memiliki nilai maksimum sekitar 57,6 V, yang menunjukkan adanya dua kejadian radiasi beta yang hampir bersamaan. Sumbu Y pada grafik mewakili tegangan output dari detektor radiasi, sedangkan sumbu X mewakili waktu dalam milidetik (ms). Nilai dasar (baseline) sebelum dan setelah puncak menunjukkan angka nol, yang berarti tidak ada aktivitas radiasi yang signifikan terdeteksi di luar kedua puncak tersebut. Setelah puncak kedua, terdapat sedikit fluktuasi atau noise, tetapi nilainya tetap rendah dibandingkan dengan puncak utama. Data ini menunjukkan dua kejadian radiasi beta yang terdeteksi dengan jelas, meskipun ada sedikit noise setelah kejadian kedua. Untuk analisis yang lebih akurat, disarankan melakukan beberapa pengukuran tambahan untuk memastikan konsistensi dan mengurangi efek noise.

Tabel 3. Hasil pengujian pertama rangkaian detektor beta dengan sampel radon

Hasil pengukuran dari data percobaan menggunakan sampel radon		
No	Keterangan	Hasil Pengukuran
1.	Waktu	5768 ms
2.	Waktu	5780 ms
3.	Titik puncak	57,6 V

Pada tabel 3 diatas dapat dilihat dalam tabel tersebut merupakan tabel pengukuran detektor menggunakan sampel radon yang dimana terdapat keterangan nilai hasil pengukuran pada serial plotter arduino dan terdapat keterangan nilai puncak dan titik puncak.

2. Hasil Pengujian Pertama Menggunakan Detektor Buatan Industri Dengan Bahan Stronsium



Gambar 7. Hasil pengujian pertama detektor buatan industri

Dalam percobaan pengambilan data pertama ini, pengukuran radiasi beta dilakukan menggunakan detektor radiasi Radiation Alert Inspector dengan sumber radiasi dari isotop stronsium. Stronsium dikenal sebagai isotop yang cukup aktif dalam memancarkan radiasi beta, dan hasil pengukuran pertama berhasil mengindikasikan nilai radiasi sebesar 1.288  $\mu\text{Sv/h}$ .

3. Analisa Perbandingan Hasil Kedua Detektor Pada Percobaan Pertama Dengan Bahan Radon Dan Stronsium

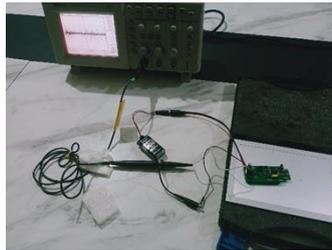
Berdasarkan hasil analisis data dari Serial Plotter Arduino Uno dan detektor radiasi Radiation Alert Inspector, kedua alat ini menunjukkan kemampuan mendeteksi radiasi dengan tingkat akurasi yang berbeda. Pengukuran menggunakan Arduino Uno menghasilkan dua puncak signifikan pada posisi 5768 ms dan 5780 ms, dengan titik puncak sekitar 57,6 V, yang menandakan kejadian radiasi beta yang terdeteksi secara jelas. Namun, data ini juga menunjukkan adanya noise setelah puncak kedua, yang menandakan adanya gangguan pada hasil pengukuran. Di sisi lain, Radiation Alert Inspector menunjukkan hasil pengukuran radiasi sebesar 1.288  $\mu\text{Sv/hr}$ . Pengukuran radiasi menggunakan Arduino Uno dan Radiation Alert Inspector menunjukkan perbedaan tingkat perbedaan aktivitas radiasi. Radiation Alert Inspector menunjukkan hasil pengukuran sebesar 1.288  $\mu\text{Sv/hr}$ , yang

dijadikan sebagai nilai referensi standar.

### Pengujian Rangkaian Detektor Pada Radiasi Beta Sumber Stronsium Menggunakan Osiloskop

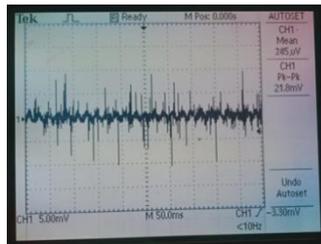


Gambar 8. Sumber Stronsium



Gambar 9. Pengujian Pengambilan Data

#### 1. Pengujian Pertama Menggunakan Sumber Stronsium



Gambar 10. Hasil pengujian menggunakan sumber stronsium

Hasil pengujian detektor radiasi menggunakan bahan stronsium, sebagaimana ditunjukkan pada gambar osiloskop, memperlihatkan sinyal dengan amplitudo puncak-ke-puncak (Pk-Pk) sebesar 21,8 mV dan nilai rata-rata (Mean) sebesar 285  $\mu$ V pada kanal 1 (CH1). Skala tegangan yang digunakan adalah 5,00 mV/div dengan skala waktu 50,0 ms/div. Sinyal yang tampak memiliki komponen frekuensi rendah (10 Hz) yang ditandai dengan variasi tajam pada amplitudo sinyal.

Analisis ini mengindikasikan bahwa detektor radiasi berhasil mendeteksi keberadaan radiasi dari bahan stronsium. Fluktuasi tajam yang terlihat pada sinyal dapat diartikan sebagai hasil dari radiasi ionisasi yang diterima oleh detektor, yang biasanya mengakibatkan lonjakan arus yang terdeteksi sebagai puncak pada osiloskop. Amplitudo puncak-ke-puncak yang tinggi menunjukkan intensitas radiasi yang cukup kuat, sedangkan nilai rata-rata yang rendah mengindikasikan adanya latar belakang noise yang mungkin signifikan.

Tabel 4. Hasil pengujian pertama rangkaian detektor beta dengan sumber stronsium

Hasil pengukuran dari data percobaan menggunakan stronsium		
No	Keterangan	Hasil Pengukuran
1.	Skala Tegangan	5,00 mV/div
2.	Pk – Pk	21,8 mV
3.	Mean	285 $\mu$ V
4.	Frequensi	10 Hz

Pada tabel 4 diatas dapat dilihat dalam tabel tersebut merupakan tabel pengukuran detektor menggunakan sumber stronsium yang dimana terdapat keterangan pada osiloskop dan terdapat keterangan hasil pengukuran yang didapat.

## 2. Hasil Pengujian Pertama Menggunakan Detektor Buatan Industri



Gambar 11. Hasil pengujian kelima detektor buatan industri

Pada pengukuran pertama menggunakan detektor radiasi beta dengan sumber Stronsium, diperoleh hasil dengan nilai 131 CPS (Counts Per Second). Nilai ini menunjukkan tingkat intensitas radiasi beta yang signifikan dari sumber yang digunakan.

## 3. Analisa Perbandingan Hasil Kedua Detektor Pada Percobaan Pertama

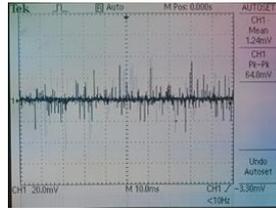
Penulis juga menguji cobakan dalam mendeteksi radiasi beta dengan menggunakan osiloskop. Amplitudo puncak-ke-puncak sebesar 21,8 mV yang terdeteksi pada alat detektor radiasi beta buatan penulis menunjukkan bahwa sinyal yang dihasilkan memiliki intensitas yang cukup tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa alat tersebut sangat sensitif terhadap radiasi beta, meskipun nilai rata-rata yang rendah juga menunjukkan adanya noise latar belakang yang cukup signifikan. Noise ini kemungkinan berasal dari lingkungan sekitar atau gangguan internal alat, namun alat ini tetap mampu mendeteksi sinyal radiasi dengan jelas.

Sebaliknya, alat detektor radiasi beta yang penulis buat mungkin menunjukkan hasil yang berbeda, terutama dalam hal fluktuasi sinyal. Fluktuasi ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk sensitivitas komponen yang digunakan dan kualitas peredaman noise pada alat. Jika alat detektor radiasi yang penulis buat tidak dilengkapi dengan pengaturan kalibrasi yang tepat, maka kemungkinan besar alat tersebut lebih rentan terhadap noise atau variasi sinyal, yang dapat mengurangi keakuratan pengukuran. Selain itu, hasil pengukuran Counts Per Second (CPS) sebesar 131 yang diperoleh dari detektor production mass menunjukkan konsistensi yang tinggi dalam mendeteksi intensitas radiasi beta. Ini menunjukkan bahwa alat detektor production mass tidak hanya sensitif, tetapi juga stabil dalam pengukuran, memberikan hasil yang lebih dapat diandalkan dibandingkan dengan alat detektor radiasi beta yang penulis uji dalam kondisi pengujian dan menggunakan bahan yang serupa.

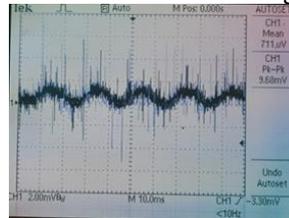
Secara keseluruhan, meskipun alat yang penulis buat mampu mendeteksi radiasi beta, detektor production mass memberikan keunggulan yang lebih jelas dalam hal akurasi, stabilitas, dan sensitivitas. Alat tersebut mampu menghasilkan sinyal yang lebih jelas dan terukur, serta memberikan hasil pengukuran yang lebih konsisten dalam mengidentifikasi intensitas radiasi beta.

## **Hasil Perbandingan Sinyal Detektor Beta Menggunakan Bahan Stronsium**

Pada hasil perbandingan ini penulis, membandingkan ukuran radiasi yang berhasil dalam artian mencapai puncak gelombang radiasi yang membentuk sebuah sinyal gelombang sinus. Pada gambar dibawah ini penulis akan membandingkan 2 buah gelombang yang didapatkan dari hasil pengukuran radiasi beta menggunakan sumber stronsium.



Gambar 12. Bentuk Gelombang Lemah



Gambar 13. Bentuk Gelombang Sinus

Tampilan 1 menunjukkan sinyal dengan nilai rata-rata 1,24 mV (millivolt) dan puncak sinyal yang mencapai 64,8 mV, menandakan adanya fluktuasi yang besar meskipun sinyalnya lemah secara keseluruhan. Sebaliknya, Tampilan 2 menampilkan gelombang sinusoidal yang lebih stabil dengan nilai rata-rata 711  $\mu$ V (mikrovolt) dan puncak sinyal 9,36 mV. Meskipun sinyal pada Tampilan 2 berada dalam satuan mikrovolt, yang lebih kecil dari millivolt, gelombang yang dihasilkan lebih terdefinisi dan stabil, menunjukkan pengaruh radiasi yang lebih konsisten.

## KESIMPULAN

Dari hasil yang telah penulis lakukan mulai dari desain alat, perancangan alat hingga pengujian alat maka penulis dapat menyimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil desain menunjukkan bahwa alat detektor radiasi beta yang dirancang memiliki ukuran pcb dengan dimensi panjang 71,25 mm dan lebar 30,73 mm, dengan total luas sebesar 2188,6 mm<sup>2</sup>. Dan memiliki dimensi hasil akhir alat panjang 13,1 cm, lebar 9,3 cm, dan tinggi 5,4 cm. Alat ini mampu melakukan fungsi deteksi radiasi dengan baik, yang ditunjukkan oleh kemampuan alat dalam menangkap sinyal radiasi beta dengan amplitudo puncak-ke-puncak (Pk-Pk) sebesar 218 mV dan nilai rata-rata (Mean) sebesar 285  $\mu$ V pada pengujian dengan osiloskop.
2. Analisis hasil pengujian menunjukkan bahwa alat berfungsi sesuai dengan tujuan yang dirancang. Pada pengujian dengan sumber radiasi Stronsium, alat ini menunjukkan hasil yang konsisten, dengan deteksi radiasi pada nilai puncak 576 V dalam waktu 5768 ms dan 5780 ms. Dibandingkan dengan alat detektor mass production seperti "Radiation Alert Inspector," alat yang dirancang penulis menunjukkan kinerja yang cukup memadai meskipun masih perlu peningkatan dalam hal kalibrasi dan kepekaan terhadap jarak sumber radiasi. Secara keseluruhan, alat yang dirancang memberikan hasil yang dapat diandalkan untuk deteksi radiasi beta dengan biaya produksi yang lebih rendah.

## Saran

Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan fitur untuk mendeteksi jenis radiasi lain, seperti gamma, dengan menggunakan sensor radiasi tambahan dan fitur kalibrasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adams, C., Álvarez, V., Arazi, L., Arnquist, I. J., Azevedo, C. D. R., Bailey, K., & Yahlali, N. (2021). Sensitivity of a tonne-scale NEXT detector for neutrinoless double-beta decay searches. *Journal of High Energy Physics*, 2021(8). [https://doi.org/10.1007/JHEP08\(2021\)164](https://doi.org/10.1007/JHEP08(2021)164)

- Azam, M., Hilyana, F. S., & Setiawati, E. (2007). Penentuan efisiensi beta terhadap gamma pada detektor Geiger Muller. *Jurnal Sains Dan Matematika*, 15(2), 73–77.
- Azhari, A., Susilo, I. R. O. P., Bintarsih, B., Lubis, R. F., & Sitam, S. (2019). Dosis rata-rata harian dan efektif tahunan radon airtanah pada daerah Gunung Masigit, Kecamatan Cipatat, Kabupaten Bandung Barat, Indonesia. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2019.v29.1020>
- Bahar, A. K. A., & Ashfahani, F. A. (2021). Rancang bangun alat hand sanitizer otomatis menggunakan Arduino Uno R3 ATMEGA 328 dan sensor infrared. *Jurnal Ilmiah Elektrokrisna*, 9(2).
- Bere, M. E. S., Pasangka, B., & Sutaji, H. I. (2016). 535-Article Text-1283-1-10-20190428.
- Fajar, M. S., & Mahda, K. (2022). Pemanfaatan modul Geiger-Muller untuk mendeteksi radiasi pada pengolahan limbah B3 rumah sakit. *Jurnal Eltek*, 20(2), 95. <https://doi.org/10.33795/eltek.v20i2.361>
- 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>
- Hilyana, F. S. (2017). Penentuan tegangan operasional pada detektor Geiger Muller dengan perbedaan jari-jari window detektor. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 8(1), 393–398. <https://doi.org/10.24176/simet.v8i1.897>
- Iman, K. (2023). Keselamatan Reaktor Nuklir: Reaktor Serba Guna G.A Siwabesy (RSG-GAS). <https://doi.org/10.55981/brin.568>
- Lastera, W. (2019). Pemanfaatan rangkaian adapter untuk meningkatkan rentang tegangan uji AC osiloskop pada pengujian AC kontroler satu fase di laboratorium elektronika daya. *Teknologi Dan Manajemen Pengelolaan Laboratorium*, 2(1), 11–17.
- Lestari, N. I., & Setiawati, E. (2015). Perbandingan efisiensi detektor sintilasi organik menggunakan sintilator antrasen dan naftalen serta pengaruh penggunaan kontak optik terhadap efisiensi detektor pada spektrometer beta. *Youngster Physics Journal*, 4(1), 23–30.
- Manullang, B. P., Saragih, Y., Hidayat, R., & Studi Teknik Elektro, P. (2021). Implementasi NodeMCU ESP8266 dalam rancang bangun sistem keamanan sepeda motor berbasis IoT. *Jurnal Informatika & Rekayasa Elektronika*, 4(2). <http://e-journal.stmiklombok.ac.id/index.php/jireISSN.2620-6900>
- Nuryanto, L. E. (2017). Penerapan dari op-amp (Operational Amplifier). *Orbith*, 13(1), 43–50.
- Pangaribowo, T., Gunardi, Y., Hajar, M. H. I., Andika, J., Dani, A. W., & Sirait, F. (2022). Pelatihan perancangan rangkaian elektronika dengan menggunakan software Proteus untuk siswa PKBM Wiyata Utama Jakarta Barat. *Jurnal Abdidas*, 3(1), 191–197. <https://doi.org/10.31004/abdidas.v3i1.557>
- Setyaningsih, E., Prastiyanto, D., & Suryono. (2017). Penggunaan sensor photodiode sebagai sistem deteksi api pada wahana terbang vertical take-off landing (VTOL). *Jurnal Teknik Elektro*, 9(2), 53–59.
- Wijaya, N. H., Kartika, W., & Utari, A. R. D. (2019). Deteksi radiasi gelombang elektromagnetik dari peralatan medis dan elektronik di rumah sakit. *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, 6(2), 102–106. <https://doi.org/10.33019/ecotipe.v6i2.1393>
- Yusabiran, Y., Rumambi, F. J., & Wirdana, I. K. (2020). Evaluasi kesiapsiagaan BATAN menghadapi kegagalan teknologi nuklir melalui penerapan Occupational Health and Safety Assessment Series (OHSAS) 18001. *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, 6(1), 10–21. <https://doi.org/10.29303/jstl.v6i1.139>