

**RANCANG BANGUN *PROTOTYPE* SISTEM PENCACAH RADIASI
DENGAN MENGGUNAKAN DETEKTOR *GEIGER-MÜLLER***

SKRIPSI

Oleh:
RAHMA WURY APRILLYA
NIM. 210604110014



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

HALAMAN PENGAJUAN

**RANCANG BANGUN *PROTOTYPE* SISTEM PENCACAH RADIASI
DENGAN MENGGUNAKAN DETEKTOR *GEIGER-MÜLLER***

SKRIPSI

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam
Memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.)**

**Oleh:
RAHMA WURY APRILLYA
NIM. 210604110014**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

HALAMAN PERSETUJUAN

RANCANG BANGUN *PROTOTYPE* SISTEM PENCACAH RADIASI
DENGAN MENGGUNAKAN DETEKTOR *GEIGER-MÜLLER*

SKRIPSI

Oleh:
RAHMA WURY APRILLYA
NIM. 210604110014

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji
Pada Tanggal, 13 Juni 2025

Pembimbing I

Pembimbing II
BRIN Yogyakarta

Pembimbing III



Farid Samsu Hananto, M.T
NIP. 19740513 200312 1
001



Umar Sahiful Hidayat, M.Eng
NIP. 19810903 200801 1017



Dr. Umaiyatus Syarifah, MA
NIP. 19820925 200901 2005

Mengetahui,
Ketua Program Studi



Prizka Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

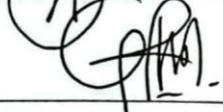
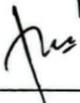
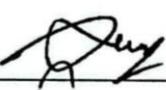
HALAMAN PENGESAHAN

**RANCANG BANGUN *PROTOTYPE* SISTEM PENCACAH RADIASI
DENGAN MENGGUNAKAN DETEKTOR *GEIGER-MÜLLER***

SKRIPSI

Oleh:
Rahma Wury Aprillya
NIM. 210604110014

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal, 23 Juni 2025

Penguji Utama :	<u>Dr. Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Ketua Penguji :	<u>Dr. Erna Hastuti, M.Si.</u> NIP. 19811119 200801 2 009	
Sekretaris Penguji 1:	<u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Sekretaris Penguji 2:	<u>Umar Sahiful Hidayat, M.Eng</u> NIP. 19810903 200801 1017	
Anggota Penguji :	<u>Dr. Umayyatus Syarifah, MA</u> NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengesahkan,
Kepala Program Studi



Dr. Imam Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : RAHMA WURY APRILLYA
NIM : 210604110014
Jurusan : FISIKA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Judul Penelitian : Rancang Bangun *Prototype* Sistem Pencacah Radiasi
dengan Menggunakan Detektor *Geiger-Müller*

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 13 Juni 2025
Yang Membuat Pernyataan



Rahma Wury Aprillya
NIM 210604110014

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, serta anugerah berupa kesehatan, kesabaran, kesempatan menuntut ilmu, dan kemudahan dalam menyelesaikan tulisan ini. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, suri teladan umat manusia, yang telah membimbing kita keluar dari zaman kegelapan menuju cahaya Islam yang penuh kemuliaan dan kemajuan. Semoga kita semua memperoleh syafa'at beliau di hari akhir. Aamiin.

Keberhasilan dalam penulisan skripsi ini tentunya tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Dengan penuh rasa syukur dan hormat, tulisan ini saya persembahkan untuk:

1. Ibu Sri Wuryani pintu surgaku, terimakasih sebesar- besarnya karena tak pernah lelah memberikan doa, kasih sayang, pengertian, dan selalu mengusahakan untuk penulis, terimakasih telah menguatkan penulis ketika penulis ingin menyerah, terimakasih atas kesabaran, ketulusan dan kepedulian kepada penulis, penulis akan selalu berdoa semoga Ibu selalu dalam lindungan Allah, diberikan kebahagiaan, kecukupan dan kesehatan. Temani penulis selalu ya bu.
2. Bapak Sukri Ayah tercinta, Duniaku, terimakasih karena tak pernah lelah memberikan doa, kasih sayang, dukungan, dan semangat. Tiada kata yang mampu mewakili rasa terima kasih yang mendalam ini, selain doa agar Allah SWT senantiasa memberkahi Ayah dengan kelancaran, kesehatan, perlindungan, dan kebahagiaan di dunia maupun akhirat. Aamiin. Terimakasih selalu mengusahakan penulis, memberikan motivasi, dan juga nasihat-nasihat

kepada penulis. Terimakasih telah selalu sabar dan ikhlas dalam menemani penulis hingga saat ini. Temani Penulis selalu ya yah.

3. Bapak Achmad Nurwoko., Panutanku, Seseorang yang biasa saya sebut papah, terimakasih untuk segala ketulusannya, terimakasih sudah selalu memotivasi penulis, papah akan selalu jadi panutan penulis selama penulis hidup, terimakasih telah mendidik, menguatkan, mendukung dan mendoakan. terimakasih telah ikut serta membesarkan penulis hingga saat ini.
4. Clara Permata shinta, Kakakku terimakasih sudah selalu menemani dan mengantar penulis kemanapun penulis inginkan, terimakasih sudah selalu membantu, mendukung dan selalu mentraktir penulis, terimakasih karena selalu memotivasi, dan mendoakan penulis, semoga kakak mendapatkan kebahagiaan seterusnya.
5. Ikhsan Shobari, M.Eng., terimakasih sudah selalu sabar membimbing penulis dengan ketulusan hati, terimakasih atas ilmu, arahan dan masukan ketika penulis menulis skripsi, terimakasih telah membimbing penulis untuk bisa menyelesaikan skripsi ini, tanpa bimbingan bapak saya tidak mungkin ada di titik ini.
6. Bapak Farid Samsu Hananto, M.T., terimakasih untuk semua bimbingan, arahan, dukungan serta masukan untuk penulis, terimakasih untuk segala kesediaannya untuk membantu penulis, terimakasih selalu mengusahakan penulis untuk bisa selalu maju, semoga segala kebaikan bapak Allah ganti dengan yang lebih.
7. Untuk teman teman semua, terutama donyat logis, intan, alma, renita, tanjung depita, rizka, majida, megah, terimakasih telah menemani penulis dimasa masa

perkuliahan, terimakasih sudah berjuang bersama, terimakasih sudah selalu kompak dan saling membantu, terimakasih sudah mau direpotkan, suka duka sudah kita lewati.

8. Teruntuk teman teman seproject radiasi terimakasih telah berjuang bersama.
9. Sahabat saya seperjuangan, hingga teman-teman seangkatan di jurusan Fisika 2021 atas kebersamaan, semangat, dan dukungan yang tak ternilai. Terimakasih juga saya sampaikan kepada seluruh pihak yang telah mendoakan, memberikan masukan, serta motivasi dalam perjalanan ini. Semoga Allah SWT membalas setiap kebaikan kalian dan menjadikan kita semua pribadi yang sukses dan selamat, dunia maupun akhirat. Aamiin.
10. Untuk seseorang yang belum bisa penulis sebut namanya dengan jelas, terimakasih telah menemani penulis hingga menyelesaikan skripsi ini, terimakasih telah selalu memberikan dukungan, menghibur dan selalu ada untuk penulis, terimakasih telah menjadi bagian di setiap proses penulis di semester akhir ini.
11. Rahma Wury Aprillya, diri saya sendiri. Apresiasi yang sebesar-besarnya karena telah berjuang sejauh ini, terimakasih karena tidak pernah menyerah untuk berjuang, walaupun sering kali putus asa tetapi dengan kesadaran penuh masih tetap bertahan. Terimakasih karena tidak menyerah menghadapi segala tantangan yang banyak menguras energi dan air mata. Semoga setelah perjalanan ini, menjadikan awal yang baik untuk penulis kedepannya. Semoga kebahagiaan akan selalu menghampiri penulis. Aamiin.

MOTTO

"Beranilah melangkah, karena kamu adalah tokoh utama dalam hidupmu dan waktu yang tepat akan tampak setelah kamu mulai berjalan."

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penyusun panjatkan kehadirat Allah SWT Yang Maha Pengasih dan Yang Maha Penyayang, atas limpah rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul **“Rancang Bangun *Prototype* Sistem Pencacah Radiasi menggunakan Detektor *Geiger-Müller*”** ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si).

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa tanpa dukungan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak, tugas ini tidak akan dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada: Penyusunan laporan ini tidak terlepas dari bantuan dan nasehat dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas limpah rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik.
2. Prof. Dr. H. M. Zainudin, M.A, selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. Imam Tazi M.Si selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Farid Samsu Hananto, M.T selaku pembimbing skripsi.
6. Dr. Umayyatus Syarifah, MA. selaku pembimbing integrasi skripsi.
7. Dr. Imam Tazi M.Si selaku ketua penguji skripsi

8. Dr. Erna Hastuti, M.Si selaku anggota penguji skripsi.
9. Bapak Umar Sahiful Hidayat, M.Eng., selaku Koordinator Pelaksana Fungsi Reaktor Kartini dan juga selaku Pembimbing Lapangan MBKM Riset di BRIN Yogyakarta.
10. Bapak Ikhsan Shobari, S.T., M.Eng. selaku Pembimbing Perancangan di BRIN Yogyakarta.
11. Seluruh Dosen Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

Dengan menyadari atas terbatasnya ilmu yang penulis miliki, tulisan ini tentu jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis dengan senang hati mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan dalam penyusunan selanjutnya. Terlepas dari segala kekurangan semoga tulisan ini dapat memberikan informasi dan kontribusi positif serta bermanfaat bagi kita semua.

Malang, 15 Juni 2025

Penulis,

Rahma Wury Aprillya

DAFTAR ISI

COVER.....	1
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
MOTTO.....	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
ABSTRAK.....	xvii
ABSTRACT	xviii
تجريدي.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Radiasi	8
2.1.1 Radiasi Pengion	9
2.1.2 Radiasi Non-Pengion.....	9
2.2 Detektor Radiasi	10
2.3 Sistem Pencacah	11
2.3.1 Sumber Radiasi Standar.....	12
2.3.2 Detektor Geiger Muller	13
2.3.3 High Voltage	17
2.3.4 Pembentuk Pulsa.....	17
2.3.5 GM Inverter	18
2.3.6 Counter	18
2.3.7 Timer.....	19
2.4 ESP32 DEVKIT V1	19
2.5 TFT ILI9488 (480 x 320)	21
2.6 ADS 1115.....	22
2.7 MCP 4725	23
2.8 Arduino IDE	23
2.9 Penelitian Pendahuluan.....	24
BAB III METODE PENELITIAN.....	26
3.1 Jenis Penelitian	26
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	26

3.3	Alat dan Bahan	26
3.3.1	Alat Penelitian	26
3.3.2	Bahan Penelitian	27
3.4	Variabel Penelitian	28
3.5	Prosedur Penelitian	28
3.5.1	Studi Literatur	29
3.5.2	Desain Konseptual	30
3.5.3	Pembuatan Sistem High Voltage	33
3.5.4	Pembuatan Sistem Timer	36
3.5.5	Implementasi ESP32, MCP4275 dan ADS1115	38
3.5.6	Integrasi Informasi Cacahan dengan Display TFT ILI9488	39
3.5.7	Pembuatan Modul Signal Conditioning	40
3.5.7	Perakitan Sistem Secara Keseluruhan	42
3.5.8	Kalibrasi	46
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1	Hasil Penelitian	47
4.1.1	Hasil Pembuatan Sistem High Voltage	47
4.1.2	Hasil Pembuatan Sistem Timer	49
4.1.3	Hasil Implementasi ESP32 dengan MCP4725 dan ADS1115	51
4.1.4	Hasil Integrasi Program dengan Display TFT ILI9488	53
4.1.5	Hasil Pembuatan Modul Signal Conditioning	54
4.1.6	Hasil Perakitan Sistem Secara Keseluruhan	55
4.1.7	Hasil Kalibrasi	61
4.2.1	Pembahasan Pembuatan Sistem High Voltage	62
4.2.2	Pembahasan Implementasi ESP32 dengan MCP4725 dan ADS1115	73
4.2.3	Pembahasan Hasil Integrasi Program dengan Display TFT ILI9488	76
4.2.4	Pembahasan Hasil Pembuatan Modul Signal Conditioning	79
4.2.5	Pembahasan Hasil Rancangan secara keseluruhan	81
4.2.6	Pembahasan Kalibrasi	84
4.2.7	Evaluasi Spesifikasi dan Ketelitian Sistem	85
4.2	Kajian Keislaman	85
BAB V	PENUTUP	89
5.1	Kesimpulan	89
5.2	Saran	89
	DAFTAR PUSTAKA	91
	LAMPIRAN	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gambar Sistem Pencacah Radiasi	12
Gambar 2.2	Sumber Radiasi Cesium (Cs-137)	13
Gambar 2.3	Kurva Plateau Detektor Geiger-Müller.....	14
Gambar 2.4	Detektor Geiger-Müller	16
Gambar 2.5	High Voltage EMCO F15	17
Gambar 2.6	ESP32 DEVKIT V1	20
Gambar 2.7	Pin Mapping ESP32 DEVKIT V1	21
Gambar 2.8	TFT ILI9488	22
Gambar 2.9	ADS1115	23
Gambar 2.10	MCP4725	23
Gambar 3. 1	Diagram Alir Perancangan Sistem Pencacah Radiasi.....	29
Gambar 3. 2	Konseptual Sistem Pencacah Radiasi	31
Gambar 3. 3	Diagram Alir Sistem Berjalan.....	32
Gambar 3.4	Konseptual Rangkaian High Voltage	34
Gambar 3. 5	Skematik Timer.....	36
Gambar 3. 6	Tampilan Display TFT ILI9488.....	40
Gambar 3. 7	Skematik Sinyal Conditioning.....	40
Gambar 3. 8	Skematik Rangkain Sistem Pencacah	43
Gambar 3. 9	PCB dari Rangkaian Sistem Pencacah	45
Gambar 4. 1	Skema Rangkaian High Voltage	47
Gambar 4. 2	Tahap Rangkaian Pengujian High Voltage.....	48
Gambar 4. 3	Skema Koneksi Sistem Timer.....	50
Gambar 4. 4	PCB Sistem Timer	50
Gambar 4. 5	Konfigurasi Koneksi Antar Komponen	51
Gambar 4. 6	Implementasi Rangkain	52
Gambar 4. 7	Tampilan Ketika Tombol Reset dan Timer 1 Menit Berfungsi.....	53
Gambar 4. 8	Tampilan Ketika Tombol Start dan Timer 3 Menit Berfungsi	54
Gambar 4. 9	Tampilan Ketika Tombol Stop dan Timer 5 Menit Berfungsi	54
Gambar 4. 10	Rangkaian Sinyal Conditioning.....	55
Gambar 4. 11	Hardware Sistem Pencacah.....	56
Gambar 4. 12	Koneksi Antar Komponen Secara Keseluruhan	57
Gambar 4. 13	Grafik Pengujian Tegangan Kerja Detektor.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Daftar Komponen Sistem High Voltage	35
Tabel 3. 2 Kalibrasi Pengukuran High Voltage	36
Tabel 3. 3 Komponen Sistem Timer	37
Tabel 3. 4 Pengujian Timer.....	38
Tabel 3. 5 Daftar Komponen Sinyal Conditioning	41
Tabel 3. 6 Pin Mapping Sistem Pencacah Radiasi.....	43
Tabel 3. 7 Penentuan Tegangan Kerja Detektor	44
Tabel 3. 8 Pengujian Cacahan.....	45
Tabel 4. 1 Pengambilan Daya High Voltage	56
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Timer	58
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Fungsi Tombol.....	66
Tabel 4. 4 Hasil Penentuan Tegangan Kerja Detektor	66
Tabel 4. 5 Hasil Penentuan Nilai Slope	67
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Cacahan	68
Tabel 4. 7 Kalibrasi High Voltage.....	70

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Block Diagram Hardware Sistem Pencacah	95
Lampiran 2 Gambar Skematic Sistem Pencacah	96
Lampiran 3 Gambar Skematic Sistem Timer	96
Lampiran 4 Gambar Skematik Signal Conditioning.....	97
Lampiran 5 Gambar Layout PCB (Sistem Pencacah).....	99
Lampiran 6 Gambar Implementasi Hardware.....	99
Lampiran 7 Gambar Flowchart Software.....	101
Lampiran 8 Listing Program Sistem Pencacah	102
Lampiran 9 Listing Program Timer.....	124

ABSTRAK

Aprillya, Rahma Wury. 2025. **Rancang Bangun *Prototype* Sistem Pencacah Radiasi Dengan Menggunakan Detektor Geiger-Muller**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Farid Samsu Hananto, M.T (II) Dr. Umayyatus Syarifah, M.A

Kata Kunci: Detektor Geiger-Muller, Pencacah Radiasi, ESP32, TFT ILI9488, High Voltage

Radiasi dapat membahayakan kesehatan manusia, namun keberadaannya tidak dapat dilihat maupun dirasakan secara langsung oleh indra manusia. Saat ini, alat pencacah radiasi masih memiliki keterbatasan, terutama karena bergantung pada komputer dan kurang fleksibel untuk digunakan di lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun prototipe sistem pencacah radiasi berbasis detektor Geiger-Muller yang bersifat portabel, ekonomis, serta mampu menampilkan data secara mandiri dan real-time menggunakan mikrokontroler ESP32. Metode yang digunakan adalah pendekatan rekayasa eksperimental, yang mencakup tahapan desain sistem, integrasi komponen, pemrograman ESP32, serta proses pengujian dan kalibrasi alat. Penelitian dilaksanakan secara langsung di Instalasi Reaktor Kartini BRIN Yogyakarta untuk memastikan kinerja alat dalam lingkungan radiasi yang nyata dan sesuai dengan spesifikasi yang telah dirancang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe sistem yang dikembangkan mampu mendeteksi radiasi gamma, menghitung jumlah cacahan, serta menampilkan data melalui layar TFT ILI9488. Sistem ini juga dilengkapi dengan fitur pengaturan tegangan tinggi otomatis, pilihan waktu pencacahan (1, 3, dan 5 menit), serta tombol kontrol (start, stop, reset) yang dapat beroperasi tanpa bantuan komputer tambahan. Prototipe berhasil berfungsi sesuai dengan tujuan, menghasilkan data cacahan yang akurat dan stabil. Alat ini dinilai layak digunakan di lingkungan reaktor maupun lapangan karena portabel dan efisien dalam penggunaan daya. Pengembangan lebih lanjut disarankan, seperti penambahan fitur konektivitas nirkabel untuk integrasi data dengan server atau sistem monitoring jarak jauh.

ABSTRACT

Aprillya, Rahma Wury. 2025. **Design and build a prototype of a radiation counting system using a Geiger-Muller detector.** Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang. Supervisor: (I) Farid Samsu Hananto, M.T (II) Dr. Umaiatus Syarifah, M.A

Keywords: Geiger-Muller detector, radiation counterer, ESP32, TFT ILI9488, High Voltage

Radiation can harm human health, but its presence cannot be seen or directly sensed by human senses. Existing radiation counters still had limitations, primarily because they relied on computers and were less flexible for use in field conditions. This research aimed to design and develop a prototype of a Geiger-Muller detector-based radiation counting system that was portable, economical, and capable of displaying data independently and in real-time using the ESP32 microcontroller. The method used was an experimental engineering approach, which included system design, component integration, ESP32 programming, as well as testing and calibration of the device. The research was conducted directly at the Kartini BRIN Reactor Installation in Yogyakarta to validate the tool's performance in a real radiation environment and ensure compliance with the design specifications. The results of the study showed that the developed prototype was able to detect gamma radiation, count radiation pulses, and display data on a TFT ILI9488 screen. The system was also equipped with features such as automatic high-voltage adjustment, selectable counting durations (1, 3, and 5 minutes), and control buttons (start, stop, reset), all of which operated without requiring a connected computer. The prototype successfully functioned as intended, producing accurate and stable counting data. The tool was considered suitable for use in reactor environments and field applications due to its portability and energy efficiency. Further improvements were recommended, including the addition of wireless connectivity features for data integration with servers or remote monitoring systems.

تجريدي

أبريليا، رحمة ووري. 2025. تصميم وبناء نموذج أولي لنظام العد الإشعاعي باستخدام كاشف جايجر-مولر. بحث جامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (1) فريد سامسو هانانتو، الماجستير (2) دكتورة أومياتوس الشريفة، الماجستير.

الكلمة الرئيسية: كاشف، Geiger-Muller، عداد الإشعاع، ESP32، TFT ILI9488، جهد عالٍ

يمكن أن تشكل الإشعاعات خطرًا على صحة الإنسان، لكن وجودها لا يمكن رؤيته أو الشعور به مباشرة من قبل الحواس البشرية. في الوقت الحالي، لا تزال أجهزة قياس الإشعاع تعاني من القيود، خاصة لأنها تعتمد على الكمبيوتر وتفتقر إلى المرونة للاستخدام في الميدان. تهدف هذه الدراسة إلى تصميم وبناء نموذج أولي لنظام قياس الإشعاع يعتمد على كاشف غيغار-مولر يتميز بالقدرة على الحمل وكونه اقتصاديًا، فضلاً عن قدرته على عرض البيانات بشكل مستقل وفي الوقت الحقيقي باستخدام متحكم ESP32. الطريقة المستخدمة هي نهج الهندسة التجريبية، والتي تشمل مراحل تصميم النظام، دمج المكونات، برمجة ESP32، بالإضافة إلى عملية اختبار المعايير ومعايرة الجهاز. تم إجراء البحث مباشرة في محطة المفاعل كارتيني BRIN في يوجياكارتا لضمان أداء الجهاز في بيئة إشعاعية حقيقية ومتوافقة مع المواصفات المصممة. تشير نتائج البحث إلى أن نموذج النظام المطور قادر على اكتشاف الإشعاع غاما، وحساب عدد التتواتر، وعرض البيانات من خلال شاشة TFT ILI9488. يتم تجهيز هذا النظام أيضًا بميزة ضبط الجهد العالي التلقائي، واختيار وقت العد (1 و 3 و 5 دقائق)، بالإضافة إلى أزرار التحكم (ابدأ، توقف، إعادة تعيين) التي يمكن أن تعمل بدون مساعدة كمبيوتر إضافي. وقد نجح النموذج الأولي في العمل وفقًا للهدف، حيث أنتج بيانات عد دقيقة ومستقرة. تم تقييم هذه الأداة بأنها صالحة للاستخدام في بيئة المفاعل أو في الميدان نظرًا لكونها محمولة وفعالة في استخدام الطاقة. يُنصح بمزيد من التطوير مثل إضافة ميزات الاتصال اللاسلكي لتكامل البيانات مع الخادم أو نظام المراقبة عن بُعد.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Radiasi seringkali dianggap sebagai ancaman yang mengerikan dan membahayakan. Meskipun manusia tidak dapat merasakan, melihat ataupun mengetahui keberadaannya, radiasi terdapat pada sekitar manusia. Pada dasarnya radiasi adalah proses perpindahan energi dari sumber energi ke lingkungannya tanpa membutuhkan media panas. (Faridawati et al., 2022). Radiasi adalah pancaran energi yang melewati suatu materi atau ruangan. Radiasi dapat berbentuk partikel, panas, maupun gelombang elektromagnetik dari suatu sumber energi. (Adelia et al., 2021). Radiasi dapat dibedakan menjadi radiasi pengion dan non-pengion, tergantung pada kemampuannya untuk mengionisasi atom atau molekul. Radiasi pengion seperti sinar gamma, memiliki energi yang cukup untuk melepaskan elektron dari atom, yang dapat menyebabkan efek biologis yang merugikan. (Bushberg et al., 2012).

Pemahaman tentang keberadaan partikel-partikel yang sangat kecil, bahkan lebih kecil dari atom, ternyata telah disinggung dalam al-Qur'an. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi antara sains dan wahyu sudah tercermin sejak awal dalam teks-teks keagamaan Islam (Hastuti & Syarifah, 2024). Pengetahuan tentang adanya partikel yang lebih kecil dari atom ini, telah dijelaskan oleh al-Qur'an dalam QS. Yunus (10) : 61

وَمَا تَكُونُ فِي شَأْنٍ وَمَا تَتْلُوا مِنْهُ مِنْ قُرْآنٍ وَلَا تَعْمَلُونَ مِنْ عَمَلٍ إِلَّا كُنَّا عَلَيْكُمْ شُهُودًا إِذْ تُفِيضُونَ فِيهِ وَمَا يَعْزُبُ عَنْ رَبِّكَ مِنْ مِثْقَالِ ذَرَّةٍ فِي الْأَرْضِ وَلَا فِي السَّمَاءِ وَلَا أَصْغَرَ مِنْ ذَلِكَ وَلَا أَكْبَرَ إِلَّا فِي كِتَابٍ مُبِينٍ

Artinya: “Kamu tidak berada dalam suatu keadaan dan tidak membaca suatu ayat dari Al Quran dan kamu tidak mengerjakan suatu pekerjaan, melainkan Kami menjadi saksi atasmu di waktu kamu melakukannya. Tidak luput dari pengetahuan Tuhanmu biarpun sebesar zarah (atom) di bumi ataupun di langit. Tidak ada yang lebih kecil dan tidak (pula) yang lebih besar dari itu, melainkan (semua tercatat) dalam kitab yang nyata (Lauh Mahfuzh). “(QS. Yunus ayat 61).

Menurut Prof. Dr. Hamka dalam *Tafsir al-Azhar*, ayat ini membahas berbagai persoalan penting yang dihadapi Rasulullah SAW, sekaligus menjadi peringatan dari Allah agar setiap individu memperhatikan seruan agama dan mentaati perintah-Nya. Firman Allah "*dan tidak ada yang terluput dari Allah engkau*" mengandung makna bahwa tidak ada satu pun yang tersembunyi atau lepas dari pengetahuan-Nya. Ungkapan "*dari yang seberat zarah pun*" dijelaskan sebagai partikel terkecil atau atom yang tetap berada dalam pengawasan Allah. Hamka menambahkan bahwa dalam perkembangan ilmu pengetahuan, atom ternyata masih dapat diuraikan menjadi partikel yang lebih kecil, seperti neutron, proton, dan elektron. Ini menunjukkan bahwa al-Qur'an telah lebih dulu memberi isyarat mengenai keberadaan partikel-partikel subatomik sebelum ditemukan oleh ilmu pengetahuan modern. (Hilmi et al., 2018).

Menurut M. Quraish Shihab dalam *Tafsir al-Mishbah*, Lafaz *Zarrah* dipahami oleh beberapa mufassir dalam berbagai arti, antara lain semut yang sangat kecil, kepala semut, dan debu yang berterbangan, yang hanya terlihat di celah matahari. Hal ini menjelaskan bahwa kata *dzarrah* di masa lalu dimaknai sebagai semut kecil, debu halus, atau, partikel tak kasatmata tetapi kini dapat dipahami sebagai analogi dari atom, bahkan partikel subatomik yang menjadi dasar kajian fisika modern. (Hilmi et al., 2018)

QS. Yunus (10) : 61 Menjelaskan bahwa tidak ada satu pun partikel sekecil *dzarrah* (atom) yang luput dari pengetahuan Allah. Dalam ilmu fisika, *radiasi*

berasal dari proses pada tingkat atom atau subatomik seperti peluruhan inti atom dalam isotop radioaktif yang memancarkan radiasi alfa, beta, atau gamma. Radiasi yang tidak tampak oleh pancaindra manusia, namun bisa berdampak besar terhadap kesehatan dan lingkungan, merupakan bukti nyata dari keberadaan dan pengaruh partikel-partikel yang sangat kecil. Penelitian mengenai deteksi dan pencacahan radiasi menggunakan detektor Geiger-Muller, sejatinya adalah upaya manusia untuk memahami ciptaan Allah yang tersembunyi namun nyata. Dengan demikian, penelitian ini dapat dilihat sebagai bentuk penghayatan terhadap kebesaran dan keluasan ilmu Allah. Segala sesuatu, bahkan radiasi yang tidak kasatmata, telah diciptakan dengan hukum dan keteraturan tertentu, dan tugas manusia adalah mempelajari dan memanfaatkannya untuk kebaikan serta keselamatan.

Manusia tidak memiliki indera biologis untuk mendeteksi radiasi pengion. Oleh karena itu, sepenuhnya diperlukan alat bantu yang mampu mendeteksi dan mengukur radiasi. Beberapa perangkat yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat radiasi antara lain adalah detektor ruang ionisasi (ionization chamber), detektor Geiger Muller (GM) atau scintillator, serta film badge dan thermoluminescent dosimeter (TLD). (Bukit et al., 2009). Diantara alat-alat tersebut, Detektor Geiger Muller (GM) menjadi salah satu alat yang efektif yang digunakan untuk mendeteksi radiasi ionisasi seperti Alfa, Beta dan Gamma. Detektor Geiger Muller ini bekerja menggunakan prinsip ionisasi gas, partikel atau foton radiasi yang memasuki tabung detektor akan mengionisasi gas didalamnya kemudian menghasilkan pulsa listrik yang dapat dihitung dan diukur. Detektor Geiger Muller memiliki respon yang cepat dan sensitif terhadap radiasi, menjadikan

detektor ini alat yang tepat untuk pemantauan radiasi diberbagai daerah reaktor kartini.(Knoll, 2010).

Namun, sistem pencacah radiasi yang ada saat ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Penelitian yang dilakukan oleh Trikasjono et al. (2019) merancang sistem pencacah radiasi berbasis detektor Geiger-Muller LND712 untuk aplikasi pengukuran level cairan (level gauge). Meskipun sistem tersebut bersifat mandiri dan tidak memerlukan komputer, ia hanya menyediakan waktu pencacahan tetap selama 30 detik dan tidak memiliki opsi pengaturan waktu lain, sehingga kurang fleksibel untuk pengukuran jangka panjang atau variatif. Selain itu, tampilan data masih menggunakan LCD karakter sederhana yang tidak mampu menampilkan informasi detail secara grafis.

Sementara itu, Sulaksono et al. (2022) mengembangkan sistem pencacah berbasis mikrokontroler ATmega328P untuk spektroskopi gamma kanal tunggal, yang menunjukkan akurasi tinggi dengan deviasi pencacahan hanya 0,14% dan nilai chi-square sebesar 8,17. Namun, sistem ini bergantung pada komputer untuk penampilan dan penyimpanan data, serta tidak memiliki tampilan visual langsung di perangkat. Timer dan kontrol durasi pencacahan pun hanya dapat diatur melalui komputer, bukan melalui input fisik atau antarmuka pengguna lokal, sehingga membatasi portabilitas dan kemandirian sistem.

Penelitian oleh Holovatyy et al. (2020) mengembangkan sistem pemantauan radiasi latar menggunakan Arduino Uno dan tabung detektor SBM-20, dilengkapi fitur alarm dan mode dosimeter hingga 24 jam. Meskipun sistem ini mampu memberikan peringatan saat radiasi melebihi ambang batas, data hanya ditampilkan pada LCD sederhana dan dikirim melalui port serial ke komputer untuk analisis

lebih lanjut. Dengan demikian, sistem tetap tergantung pada komputer untuk logging dan pemrosesan data, serta tidak mendukung tampilan grafis real-time maupun kontrol waktu pencacahan secara presisi.

Berdasarkan gap yang ada dalam inovasi dalam penelitian ini diperlukan untuk menghasilkan sistem pencacah radiasi yang lebih fleksibel, mandiri, dan sesuai digunakan di berbagai kondisi lapangan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun *Prototype* Sistem Pencacah Radiasi menggunakan Detektor *Geiger-Müller* dengan pembaruan penting. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 yang memiliki performa tinggi, mendukung konektivitas nirkabel, serta tidak bergantung pada komputer untuk proses pengukuran maupun tampilan data. Sebagai antarmuka pengguna, sistem dilengkapi dengan layar TFT ILI9488 berwarna yang menampilkan hasil pencacahan secara real-time dan interaktif. Sistem juga dilengkapi dengan rotary switch untuk memilih durasi pencacahan 1, 3, atau 5 menit, sehingga pengguna dapat menyesuaikan pengukuran tanpa perlu pengaturan manual melalui komputer atau keypad.

Sistem ini terdiri dari komponen utama seperti sumber radiasi, detektor Geiger-Muller, rangkaian high voltage, GM inverter (pembalik pulsa), pembentuk pulsa, counter, dan timer (Bukit et al., 2009). Dengan rancangan yang portabel dan ekonomis, alat ini diharapkan dapat digunakan secara efektif di kawasan reaktor seperti Reaktor Kartini serta berpotensi diterapkan di bidang lain seperti industri, medis, dan lingkungan. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pemantauan radiasi sekaligus menawarkan solusi teknologi yang mudah diakses dan digunakan secara luas.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian kali ini yaitu:

1. Bagaimana merancang prototipe sistem pencacah radiasi dengan Detektor Geiger Muller?
2. Bagaimana spesifikasi dari prototipe sistem pencacah radiasi dengan Detektor Geiger Muller?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian pada penelitian kali ini yaitu:

1. Untuk merancang prototipe sistem pencacah radiasi dengan menggunakan Detektor Geiger Muller
2. Untuk mengetahui spesifikasi dan ketelitian dari prototipe sistem pencacah radiasi dengan Detektor Geiger Muller?

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan solusi alternatif dan ekonomis dalam sistem pencacah deteksi radiasi
2. Menghasilkan prototipe alat pencacah radiasi portabel yang mudah digunakan dan dikembangkan.

1.5 Batasan Masalah

1. Sistem pencacah ini mendeteksi radiasi gamma menggunakan detektor Geiger-Muller.
2. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 DEVKIT V1 untuk mengendalikan seluruh fungsi sistem, termasuk pemantauan jumlah cacahan dan penampilan data pada layar LCD.
3. Sistem menggunakan tegangan tinggi (High Voltage) dengan rentang tegangan sekitar 200-600 volt DC.

4. Sistem pencacah dilengkapi dengan fitur counter (start, stop, reset) untuk mengukur jumlah cacahan yang terdeteksi selama periode tertentu.
5. Sistem menggunakan pengaturan timer dengan tiga opsi durasi, yaitu 1 menit, 3 menit, dan 5 menit.
6. Sistem menggunakan layar LCD TFT ILI9488 untuk menampilkan hasil cacahan, tegangan tinggi (High Voltage), status counter (start, stop, reset) dan durasi timer (1 menit, 3 menit , dan 5 menit).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radiasi

Radiasi selalu dianggap sebagai hal yang mengerikan dan membahayakan. Di sekitar kita banyak sekali radiasi namun manusia tidak dapat merasakannya karena radiasi tidak dapat dirasakan, dilihat, dan diketahui keberadaannya. Radiasi pada dasarnya adalah suatu cara perambatan energi dari sumber energi ke lingkungannya tanpa membutuhkan panas. (Faridawati et al., 2022).

Radiasi merupakan pancaran energi yang melewati suatu materi atau ruangan. Radiasi dapat berbentuk partikel, panas, maupun gelombang elektromagnetik dari suatu sumber energi. (Adelia et al., 2021).

Radiasi dapat diklasifikasikan menjadi radiasi pengion dan non-pengion, tergantung pada kemampuannya untuk mengionisasi atom atau molekul. Radiasi pengion, seperti sinar gamma, memiliki energi yang cukup untuk melepaskan elektron dari atom, yang dapat menyebabkan efek biologis yang merugikan. (Bushberg et al., 2012).

Pada penelitian ini radiasi yang dideteksi adalah Radiasi Gamma, Radiasi gamma adalah bentuk radiasi elektromagnetik dengan energi yang sangat tinggi dan panjang gelombang yang sangat pendek. Radiasi ini dihasilkan dari peluruhan radioaktif isotop tertentu serta reaksi nuklir di dalam reaktor. Radiasi gamma memiliki kemampuan penetrasi yang tinggi sehingga mampu menembus berbagai jenis materi, termasuk jaringan manusia (Tsoulfanidis & Landsberger, 2021). Oleh karena itu, pengawasan dan pengendalian paparan radiasi gamma sangat penting

untuk memastikan keselamatan dan kesehatan manusia serta lingkungan. Radiasi dibedakan menjadi dua, yaitu:

2.1.1 Radiasi Pengion

Radiasi pengion (ionizing radiation) merupakan suatu gelombang atau partikel (radiasi) menggunakan sinar dengan tingkat gelombang yang pendek dan frekuensi tinggi. Contohnya radiasi sinar alfa, radiasi sinar beta, radiasi sinar gamma, dan radiasi sinar ultraviolet. (Fitri, 2022).

Radiasi ionisasi adalah fenomena terbentuknya partikel muatan positif dan negatif saat materi dilewatkan oleh radiasi. Contoh radiasi pengion di antaranya sinar alfa, sinar beta, dan sinar gamma yang memiliki sifat dapat mengubah ion atau partikel yang akan dilaluinya. Radiasi pengion tersebut dapat menimbulkan efek kerusakan secara biologi terhadap manusia yaitu rusaknya sel jaringan tubuh yang dilalui oleh radiasi pengion. (Fitri, 2022).

Radiasi pengion memiliki efek kesehatan yang berbahaya bagi manusia. Berbagai jenis kanker dan mutasi genetik dapat timbul akibat paparan radiasi pengion yang berlebihan seperti partikel alfa, partikel beta, sinar gamma, sinar- x, dll.(Chowdhury et al., 2021).

2.1.2 Radiasi Non-Pengion

Radiasi non-pengion tidak mempunyai kemampuan dalam mengubah ion atau partikel saat dilewatinya seperti cahaya tampak, gelombang radio, sinar inframerah, dan sinar ultraviolet. Radiasi non-pengion tersebut tidak memiliki potensi berbahaya terhadap kesehatan karena tidak dapat merubah ion atau partikel yang akan dilewatinya.(Fitri, 2022).

2.2 Detektor Radiasi

Manusia tidak memiliki indera biologis untuk mendeteksi radiasi pengion. Oleh karena itu, sepenuhnya diperlukan alat bantu yang mampu mendeteksi dan mengukur radiasi. Beberapa perangkat yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat radiasi antara lain adalah detektor ruang ionisasi (ionization chamber), detektor Geiger Muller (GM) atau scintillator, serta film badge dan thermoluminescent dosimeter (TLD). (Bukit et al., 2009).

Detektor nuklir merupakan komponen utama dalam sistem instrumentasi nuklir yang berperan dalam mengubah radiasi menjadi sinyal atau pulsa listrik. Sinyal listrik yang dihasilkan oleh detektor kemudian diproses melalui rangkaian elektronik untuk menghasilkan informasi berupa cacahan atau pulsa yang nilainya sebanding dengan intensitas atau energi radiasi yang diterima detektor. Seiring dengan perkembangannya, detektor nuklir diklasifikasikan menjadi empat jenis, yaitu detektor isian gas, detektor sintilasi, detektor semikonduktor, dan detektor neutron. Salah satu jenis detektor isian gas adalah detektor Geiger-Muller, yang banyak digunakan di lapangan untuk berbagai aplikasi seperti surveymeter, pemantauan lingkungan, deteksi kebocoran pada pengelasan tangki minyak, pengukuran ketebalan bahan, dan lain sebagainya. (Sayono & Sujitno, 2010).

Di fasilitas nuklir, monitor radiasi digunakan untuk berbagai tujuan, termasuk pemantauan area, pemantauan lingkungan, dan pemantauan personal. Pemantauan area melibatkan pengukuran tingkat radiasi di berbagai lokasi dalam fasilitas untuk memastikan bahwa lingkungan kerja aman bagi pekerja. Pemantauan lingkungan melibatkan pengukuran tingkat radiasi di sekitar fasilitas untuk melindungi masyarakat dan lingkungan. Pemantauan personal melibatkan

penggunaan dosimeter individu untuk melacak paparan radiasi pekerja selama bekerja. Semua bentuk pemantauan ini penting untuk mematuhi regulasi keselamatan radiasi dan memastikan operasi yang aman dan berkelanjutan dari fasilitas nuklir.(Tsoulfanidis & Landsberger, 2021).

Prinsip kerja detektor isian gas didasarkan pada proses ionisasi gas di dalam medium aktif detektor akibat interaksi dengan partikel radiasi, yang menghasilkan pasangan ion dan elektron. Ketika terdapat perbedaan tegangan antara anoda dan katoda, medan listrik akan terbentuk sehingga pasangan ion-elektron tersebut terpisahkan. Ion akan bergerak menuju katoda, sementara elektron bergerak ke arah anoda. (Hilyana, 2017).

2.3 Sistem Pencacah

Pemanfaatan teknologi nuklir secara optimal memerlukan pemahaman mengenai keselamatan serta karakteristik bahan nuklir. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, diperlukan perangkat yang dapat membantu manusia dalam menggunakan teknologi nuklir secara efektif dan aman. Perangkat tersebut dikenal sebagai sistem pencacah nuklir. Sistem ini digunakan dalam penelitian maupun aplikasi radiasi untuk mengukur jumlah dan energi radiasi yang ada.. (Hadi et al., 2009).

Sistem pencacah radiasi merupakan sistem pencacah diferensial yang dirancang terdiri dari komponen pembalik pulsa, pembentuk pulsa, sumber tegangan tinggi, dan mikrokontroler. Alat ini dibuat dengan tujuan untuk melakukan pengukuran terhadap radiasi, khususnya radiasi beta dan gamma, dengan menggunakan detektor Geiger Muller (GM) dalam rancangannya. Sistem pencacah radiasi berbasis detektor Geiger Muller terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu sumber radiasi,

detektor GM, tegangan tinggi, inverter GM (pembalik pulsa), pembentuk pulsa, pencacah (counter), dan pewaktu (timer). (Bukit et al., 2009).



Gambar 2.1 Gambar Sistem Pencacah Radiasi

Pada Gambar (2.1) Sistem Pencacah Radiasi terdapat beberapa komponen yaitu: Sumber Radiasi Standar (1), Detektor Geiger Muller (2), High Voltage(3), GM Inverter dan Pembentuk Pulsa(4), Counter (5), dan Timer (6).

Pada sistem pencacah radiasi membutuhkan beberapa komponen yaitu :

2.3.1 Sumber Radiasi Standar

Radiasi yang berasal dari sumbernya menyebar ke segala arah. Semakin dekat jarak tubuh terhadap sumber radiasi, maka semakin tinggi pula tingkat paparan radiasi yang diterima. Sebagian dari radiasi tersebut akan mengalami hamburan ketika berinteraksi dengan materi. Radiasi hasil hamburan ini menambah total dosis radiasi yang diterima. (Aryawijayanti, R; Susilo, Susilo; Sutikno, 2015).

Pada sistem pencacah ini digunakan sumber radiasi berupa Cesium-137. Berbagai macam sumber radiasi dapat digunakan, salah satu di antaranya adalah sumber radiasi ^{137}Cs yang merupakan radioisotop pemancar gamma dengan energy 662 keV dengan waktu paruh cukup panjang yaitu sebesar 11018.3 ± 9.5 hari atau > 30 tahun . (Handini et al., 2018).

Cesium atau “Caesium” merupakan sebuah kata yang berasal dari bahasa latin yaitu “Caesius” yang memiliki arti langit biru. Didasari dengan intensitas warna biru pada panjang gelombang 456 nm yang diuji menggunakan spektroskopi air dan

mineral dari Durkheim, Jerman oleh Bunsen dan Kirchoff pada tahun 1860. Di antara golongan logam alkali yang stabil, Cesium (Cs) memiliki sifat sangat elektropositif hanya ada dalam larutan berair dalam keadaan oksidasi paling positif (+1) dan jari-jari ionik kristal terbesar. (Fitri, 2022).

Simbol dari Cesium yaitu Cs merupakan golongan logam yang mempunyai sifat stabil (non radioaktif) atau tidak stabil (radioaktif) dengan nomor atom 55. Sifat fisik cesium antara lain berwarna putih keperakan. (Fitri, 2022).



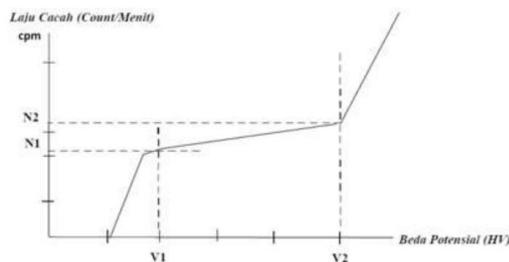
Gambar 2.2 Sumber Radiasi Cesium (Cs-137)

2.3.2 Detektor Geiger Muller

Detektor Geiger-Müller (GM) adalah alat yang digunakan untuk mendeteksi radiasi ionisasi seperti alfa, beta, dan gamma. Detektor ini bekerja dengan prinsip ionisasi gas, di mana partikel atau foton radiasi yang memasuki tabung detektor akan mengionisasi gas di dalamnya, menghasilkan pulsa listrik yang dapat dihitung dan diukur. Detektor GM sangat sensitif dan mampu memberikan respon cepat terhadap radiasi, menjadikannya pilihan yang tepat untuk pemantauan radiasi gamma. (Knoll, 2010).

Detektor Geiger Muller terdiri atas sebuah tabung berisi campuran gas, yakni 98% helium dan 1,3% butana. Umumnya berbentuk silinder yang berfungsi sebagai katoda, dengan sebuah kawat halus di bagian tengah yang bertindak sebagai anoda. Detektor ini digunakan untuk mencacah radiasi beta, dan prinsip kerjanya didasarkan pada proses ionisasi gas. Ketika sampel yang mengandung unsur

radioaktif didekatkan ke detektor, gas dalam tabung mengalami ionisasi. Ionisasi tersebut memicu detektor untuk menghasilkan pulsa atau cacahan, yang kemudian berkembang menjadi ionisasi sehingga menghasilkan arus pulsa besar. Namun, detektor ini tidak mampu membedakan jenis maupun energi radiasi. Jika tegangan dinaikkan dari nol hingga tinggi dan hasil cacahannya, akan terlihat bagian datar pada grafik yang disebut daerah plateau. Pada wilayah ini, perubahan tegangan tidak mempengaruhi hasil cacahan secara signifikan. Tegangan saat mulai munculnya cacahan disebut starting voltage. Tegangan V_1 menandai awal plateau, sementara V_2 menandai batas akhirnya. Tegangan kerja (HV) untuk detektor Geiger Muller dipilih di daerah plateau, biasanya pada sepertiga lebar plateau. Bentuk kurva plateau ini dapat dilihat pada Gambar (2.3). (Abidin, 2014).



Gambar 2.3 Kurva Plateau Detektor *Geiger-Müller*(Abidin, 2014)

Detektor Geiger Muller merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi radiasi dengan memanfaatkan pasangan ion yang terbentuk di dalam tabung berisi gas. Detektor jenis isian gas terdiri dari tabung berdinding logam yang diisi dengan gas dan memiliki kawat di bagian tengah; dinding tabung berfungsi sebagai katoda, sedangkan kawat tersebut sebagai anoda. Berbagai jenis detektor yang dapat memberikan hasil secara langsung, seperti detektor isian gas, detektor sintilasi, dan detektor semikonduktor, dapat dimanfaatkan sebagai surveymeter. Di antara jenis-jenis tersebut, detektor isian gas Geiger Muller menjadi yang paling umum

digunakan karena pertimbangan kepraktisan dan biaya yang lebih ekonomis. (Kusuma & Ningtias, 2024).

Kualitas suatu detektor dapat dinilai berdasarkan spesifikasi teknis (Spektek) yang diperoleh melalui pengujian karakteristik detektor tersebut. Karakteristik detektor Geiger-Muller meliputi panjang plateau, tegangan operasi, slope, waktu resolusi (*resolving time*), efisiensi, dan umur detektor. Plateau adalah rentang tegangan kerja detektor Geiger-Mueller yang besarnya dapat dihitung dengan mengurangi V_1 , yaitu tegangan ambang mulai percikan, dari V_2 , yaitu tegangan ambang akhir, sesuai dengan persamaan berikut: (Sayono, Irianto, 2013)

$$\text{Plateau}(P) = V_2 - V_1 \quad (2.1)$$

Tegangan operasi adalah tegangan yang digunakan untuk mengoperasikan detektor Geiger-Mueller. Besar tegangan operasi dapat diperoleh dari $\frac{1}{3}$ atau $\frac{1}{2}$ panjang *plateau*, seperti ditunjukkan pada persamaan:

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (2.2)$$

Slope merupakan kemiringan *plateau* (daerah mendatar) dan besarnya diformulasikan sebagai:

$$\text{Slope} = \frac{100(N_2 - N_1)/N_1}{(V_2 - V_1)} \times 100\% \quad (2.3)$$

Prinsip kerja detektor Geiger Muller didasarkan pada proses ionisasi sekunder yang terjadi setelah ionisasi primer akibat interaksi partikel radiasi dengan gas isian di dalam detektor yang dikenai beda potensial tertentu. Perbedaan tegangan antara anoda dan katoda menciptakan medan listrik yang menyebabkan pasangan ion-elektron memperoleh energi kinetik tambahan. Dalam pergerakannya menuju elektroda (ion menuju katoda dan elektron menuju anoda) pasangan ini dapat mengionisasi gas isian lebih lanjut, menghasilkan ion-elektron sekunder. Jika

ion-elektron sekunder masih memiliki energi berlebih, mereka akan menumbuk gas isian lagi, menyebabkan ionisasi tersier, dan proses ini terus berlanjut hingga terbentuk banyak pasangan ion-elektron dalam peristiwa yang dikenal sebagai avalanche. Elektron yang terkumpul di anoda kemudian mengalir melalui tahanan, menghasilkan pulsa listrik yang besarnya sebanding dengan intensitas radiasi yang diterima detektor. (Sayono & Sujitno, 2010)

Spesifikasi Tabung Geiger-Müller (Sayono & Sujitno, 2010):

- 1 Tegangan Kerja yang Direkomendasikan: 360 - 420V
- 2 Tegangan Awal: 290 - 330V
- 3 Panjang Plateau: 100V
- 4 Kemiringan Plateau: 0,1% / 1V
- 5 Kapasitansi Interelektroda: 10pF
- 6 Resistansi Beban: 5 - 10 MOhms
- 7 Kisaran Suhu Kerja: -500 +700
- 8 Panjang: 100mm
- 9 Diameter: 18mm



Gambar 2.4 Detektor *Geiger-Müller*

2.3.3 High Voltage

High Voltage adalah tegangan tinggi berfungsi sebagai catu daya atau penyedia tegangan kerja untuk detektor GM. (Trikasjono et al., 2019). Detektor Geiger Muller memerlukan tegangan tinggi untuk melakukan pencacahan radiasi. Pada tegangan rendah, detektor tidak dapat menghasilkan pulsa keluaran karena ion-ion tidak dapat ditarik ke anoda atau katoda. Dengan meningkatkan tegangan, medan listrik dalam tabung detektor menjadi cukup untuk menarik elektron dari radiasi yang masuk, sehingga menghasilkan pulsa yang dapat dideteksi. (Hilyana, 2017).

Rangkaian tegangan tinggi dirancang untuk menyediakan tegangan bias pada detektor GM agar dapat mengionisasi gas isian saat terkena radiasi sehingga menghasilkan pulsa listrik. Tegangan tinggi ini diperoleh melalui sistem konverter DC ke DC yang mengubah sumber tegangan rendah menjadi tegangan tinggi. (Yusuf et al., 2011)



Gambar 2.5 *High Voltage* EMCO F15

2.3.4 Pembentuk Pulsa

Pembalik dan pembentuk pulsa digunakan agar pulsa negatif yang keluar dari detektor dapat diubah menjadi pulsa kotak positif dengan standar TTL, sehingga siap untuk diproses oleh rangkaian berikutnya. (Hadi et al., 2009).

Rangkaian pembentuk pulsa berperan sebagai penguat sekaligus pembentuk pulsa kotak dengan standar TTL yang memiliki tegangan tinggi sekitar 4 volt dan

lebar pulsa yang dapat disesuaikan. Pulsa kotak ini kemudian diteruskan ke rangkaian pencacah untuk menghitung jumlah pulsa yang dihasilkan oleh detektor GM. (Sudiono et al., 2013).

2.3.5 GM Inverter

Rangkaian pembalik pulsa atau GM inverter berfungsi sebagai penguat, pembalik pulsa dan pembentuk pulsa kotak standar transistor-transistor logic (TTL) . (Sudiono et al., 2013).

Pulsa yang melewati rangkaian pembalik pulsa akan mengalami perubahan polaritas menjadi pulsa positif. Setelah itu, pulsa positif tersebut diteruskan ke rangkaian pembentuk pulsa. Fungsi rangkaian pembentuk pulsa adalah membentuk pulsa kotak atau digital dengan standar TTL. Pulsa digital hasil pembentukan ini siap untuk diproses pada rangkaian berikutnya. (Hadi et al., 2009).

2.3.6 Counter

Rangkaian pencacah/pewaktu yang direncanakan menggunakan fitur yang terdapat dalam mikrokontroler ESP32 Devkit V1 dan telah diprogram untuk pencacahan. Pencacah bertugas sebagai penghitung pulsa yang masuk dalam suatu selang waktu yang ditentukan. Komponen utama dari counter meliputi mikrokontroler ESP32 sebagai pengolah data, rangkaian diskriminator untuk memfilter sinyal, dan modul timer untuk menentukan durasi pencacahan. Mikrokontroler ESP32 Devkit V1 berfungsi sebagai inti pemrosesan yang mengelola pencacahan pulsa, sementara diskriminator memastikan hanya sinyal dengan bentuk tertentu yang diteruskan ke counter. (Sudiono et al., 2013).

Counter adalah alat yang digunakan untuk menghitung jumlah pulsa yang diteruskan oleh diskriminator selama selang waktu yang ditentukan oleh timer.

Pulsa dihitung berdasarkan sinyal digital yang dihasilkan oleh rangkaian pembalik dan pembentuk pulsa. Hasil pencacahan kemudian dihitung menggunakan rumus dasar, yaitu jumlah radiasi dalam satuan CPS (Counts Per Second) diperoleh dengan membagi jumlah pulsa yang dihitung dengan durasi waktu pencacahan dalam detik. (Tjahyono, 2005).

$$\text{Jumlah Radiasi (CPS)} = \frac{\text{Jumlah Pulsa yang Dihitung}}{\text{Durasi Waktu Pencacahan (detik)}} \quad (2.4)$$

2.3.7 Timer

Pewaktu berfungsi menentukan lamanya waktu pencacahan. Pada penelitian ini timer yang digunakan yaitu 1 menit, 3 menit dan 5 menit. Komponen utama dari timer meliputi mikrokontroler ESP32, yang mengatur interval waktu. (Sudiono et al., 2013).

2.4 ESP32 DEVKIT V1

Mikrokontroler ESP32 dikembangkan oleh Espressif Systems, sebuah perusahaan yang berbasis di Shanghai, Tiongkok. Salah satu keunggulan ESP32 adalah sudah terintegrasinya fitur WiFi dan Bluetooth, sehingga sangat memudahkan dalam pembuatan sistem IoT yang membutuhkan koneksi nirkabel. Modul ini juga dapat diaplikasikan pada berbagai keperluan seperti pengendalian sistem dan pemantauan. ESP32 memiliki fitur deep sleep yang memungkinkan penghematan daya dengan mematikan modul saat tidak digunakan. Selain itu, mikrokontroler ini menawarkan biaya produksi yang rendah dan konsumsi daya yang efisien berkat integrasi modul WiFi dan Bluetooth dengan kemampuan mode ganda serta fitur hemat energi, sehingga membuatnya sangat fleksibel. NodeMCU ESP32 juga merupakan papan prototipe yang kompak dan mudah diprogram menggunakan Arduino IDE maupun Python. (Arrahma & Mukhaiyar, 2023).



Gambar 2.6 ESP32 DEVKIT V1

Mikrokontroler ESP32 adalah sebuah SoC (System on Chip) yang terintegrasi dengan fitur WiFi 802.11 b/g/n, Bluetooth versi 4.2, serta berbagai peripheral lainnya. Chip ini sudah lengkap dengan prosesor, memori, dan akses ke GPIO (General Purpose Input Output). ESP32 dapat digunakan sebagai pengganti Arduino dan memiliki kemampuan untuk langsung terkoneksi ke WiFi. Terdapat dua versi board ESP32, yakni dengan 30 GPIO dan 36 GPIO, dimana keduanya memiliki fungsi serupa, namun versi 30 GPIO lebih sering dipilih karena menyediakan dua pin GND. Semua pin pada board ini dilabeli di bagian atas sehingga mudah dikenali. Board ini juga dilengkapi dengan interface USB to UART yang memudahkan pemrograman menggunakan platform seperti Arduino IDE. Sumber daya untuk board dapat diberikan melalui konektor micro USB. (Nizam et al., 2022).

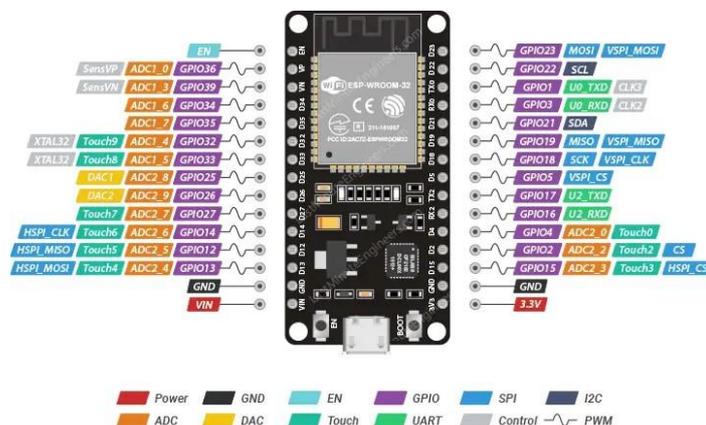
ESP32 Devkit V1 termasuk dalam keluarga chip ESP32 seperti ESP32-D0WDQ6 (ESP32-D0WD), ESP32-D2WD, ESP32-S0WD, serta sistem dalam paket (SiP) ESP32-PICO-D4. Mikrokontroler pada ESP32 Devkit V1 menggunakan prosesor Tensilica Xtensa LX6 dual-core atau single-core dengan kecepatan clock hingga 240 MHz. (Nugraha, 2024).

Espressif Systems menghadirkan berbagai model board ESP32 untuk mendukung pengguna dalam mengembangkan proyek elektronika berbasis Internet

of Things. Salah satu model yang dirilis adalah ESP32 Development Kit, atau yang dikenal juga sebagai ESP32 DEVKIT V1, yang dirancang khusus untuk pembuatan aplikasi IoT menggunakan ESP32.

1. Jumlah pin: 30 meliputi pin tegangan.
2. GPIO. 2. 15 pin ADC (Analog to Digital Converter)
3. 3 UART Interface
4. 3 SPI Interface
5. 2 I2C Interface
6. 16 pin PWM (Pulse Width Modulation)
7. 2 pin DAC (Digital to Analog Converter)

Board ESP32 DEVKIT V1 memiliki 25 pin GPIO (General Purpose Input Output), di mana setiap pin memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Selain itu, terdapat beberapa pin dengan fitur khusus yang menentukan kecocokan penggunaannya pada proyek tertentu.. (Nugraha, 2024).



ESP32 Dev. Board Pinout

Last Minute ENGINEERS.com

Gambar 2.7 Pin Mapping ESP32 DEVKIT V1 (Wahyudi, 2024)

2.5 TFT ILI9488 (480 x 320)

TFT LCD (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display) adalah jenis liquid crystal display yang menggunakan teknologi transistor film tipis untuk

meningkatkan kualitas gambar, seperti addressability dan kontras. TFT LCD merupakan matriks aktif yang berbeda dengan matriks pasif LCD yang hanya menampilkan beberapa segmen. Teknologi ini banyak digunakan pada perangkat elektronik rumah tangga, seperti televisi, monitor komputer, ponsel, video game portabel, tablet, sistem navigasi, dan proyektor. Modul LCD ini menggunakan komunikasi serial SPI 4 kabel dengan IC driver ILI9488 beresolusi 480x320, dilengkapi dengan fungsi sentuh opsional, kontrol backlight, dan layar sentuh, berukuran 3,5 inci serta mendukung tampilan warna 16-bit 65K untuk menghasilkan warna yang beragam. (Wahyudi, E , 2024).



Gambar 2.8 TFT ILI9488

2.6 ADS 1115

ADS1115 adalah perangkat yang mampu mengubah sinyal analog menjadi digital dengan resolusi hingga 16 bit. Alat ini hanya dapat mengonversi empat saluran analog dan memiliki batas tegangan maksimal sebesar 6,114 V. Penggunaan ADS1115 akan meningkatkan resolusi serta akurasi pengukuran secara signifikan.. (Zarkasi, 2018).

ADS1115 adalah IC Analog to Digital Converter (ADC) dengan akurasi tinggi dan resolusi 16-bit yang dikemas dalam paket MSOP-10. IC ini memiliki oscillator dan tegangan referensi internal untuk mendukung kinerjanya. Data dapat ditransfer melalui komunikasi serial berbasis I2C menggunakan pin SCL dan SDA. ADS1115 juga menyediakan empat alamat yang dapat dipilih (0x48h, 0x49h,

0x0Ah, dan 0x4Bh), dapat beroperasi dengan sumber tegangan tunggal antara 2 hingga 5,5 Volt, serta memiliki kecepatan konversi hingga 860 sampel per detik. (Djarmiko, 2017).



Gambar 2.9 ADS1115

2.7 MCP 4725

MCP4725 merupakan jenis digital to analog Converter (DAC) 12bit dengan menggunakan antar muka digital dengan komunikasi I2C. Penambahan modul DAC ini untuk mengkonversi sinyal digital (yang pada umumnya adalah biner) sehingga menjadi sinyal analog (arus, tegangan dan muatan elektrik). MCP4725 adalah jenis DAC yang mampu memberikan informasi digital dan mengkonversi ke dalam bentuk tegangan analog. Informasi digital merupakan angka biner dengan jumlah angka yang pasti. Konverter DAC dapat mengkonversi bentuk digital ke dalam bentuk tegangan analog dengan memberikan skala output analog dengan nilai 0 dan nilai maksimumnya adalah 1. (Ningsih M. Nur et al., 2023).



Gambar 2.10 MCP4725

2.8 Arduino IDE

Arduino IDE adalah perangkat lunak open-source yang digunakan untuk menulis, menyusun, dan mengunggah program ke papan Arduino. Bahasa

pemrograman yang digunakan dalam Arduino IDE mirip dengan C++. Software ini menyediakan fitur seperti syntax highlighting yang memudahkan proses penulisan kode. Arduino IDE memudahkan pengguna dalam membuat dan mengelola program Arduino dengan antarmuka yang sederhana dan intuitif. (Ramadhan et al., n.d.).

2.9 Penelitian Pendahuluan

Berikut ini merupakan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya:

No.	Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1.	(Trikasjono et al., 2019)	Rancang Bangun Sistem Pencacah Nuklir Menggunakan Detektor GM LND712 untuk Level Gauge	Penelitian ini berhasil merancang sistem pencacah nuklir menggunakan detektor Geiger Muller (GM) tipe LND712 untuk pengukuran level fluida (level gauge). Sistem ini berbasis mikrokontroler dan dirancang untuk menampilkan jumlah cacahan pada layar. Pemanfaatan detektor LND712 mendukung sensitivitas terhadap radiasi beta dan gamma, dengan tujuan utama digunakan di industri proses untuk pengukuran level cairan secara non-kontak.
2.	(Sulaksono et al., 2022)	Microcontroller ATmega328P Timer/Counter for Single Channel Gamma Spectroscopy	Hasil dari penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa sistem pencacah berbasis mikrokontroler ATmega328P yang dikembangkan mampu bekerja dengan sangat baik dalam aplikasi spektroskopi gamma kanal tunggal. Sistem ini menggunakan fitur Timer/Counter bawaan dari mikrokontroler untuk melakukan pencacahan pulsa dari detektor dan pengaturan waktu pencacahan. Dari pengujian yang dilakukan, sistem menunjukkan linearitas sempurna dengan nilai koefisien korelasi $R^2=1$ yang berarti jumlah cacahan berbanding lurus dengan frekuensi input yang diberikan. Selain itu, dalam uji perbandingan dengan alat standar Canberra 2071A, sistem Arduino hanya menunjukkan deviasi pencacahan sebesar 0,14% pada waktu 30 detik, dan

			<p>deviasi terkecil sebesar 0,02% pada waktu 480 detik, yang menunjukkan akurasi yang sangat tinggi. Uji stabilitas menggunakan metode chi-square juga memberikan hasil yang baik, dengan nilai sebesar 8,17, masih dalam rentang yang diterima oleh standar IAEA (3,32–16,92), sehingga sistem dinyatakan stabil dan layak digunakan dalam pemantauan radioaktivitas.</p>
3.	(Holovatyy et al., 2020)	Development of Microcontroller-Based System for Background Radiation Monitoring	<p>Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pemantauan radiasi latar berbasis mikrokontroler Arduino Uno dengan detektor Geiger–Müller SBM-20. Sistem ini mampu mengukur intensitas radiasi dalam satuan $\mu\text{Sv/h}$ dan menghitung jumlah cacahan per menit (CPM). Selain itu, sistem dilengkapi dengan mode dosimeter yang dapat mengukur akumulasi dosis radiasi selama periode waktu tertentu hingga 24 jam. Ketika ambang batas radiasi terlampaui, sistem akan mengaktifkan peringatan suara dan lampu LED sebagai alarm. Informasi hasil pengukuran ditampilkan pada modul LCD dan juga dikirim melalui antarmuka serial ke komputer. Sistem ini menggunakan catu daya baterai dan juga dapat terhubung ke listrik 220 V. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat bekerja secara akurat dan dapat mendeteksi serta memberikan respons cepat terhadap kondisi radiasi yang berbahaya.</p>

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini berfokus pada pengembangan dan perancangan prototipe sistem pencacah radiasi menggunakan detektor Geiger-Muller. Dalam penelitian ini, tahap pertama adalah perancangan sistem, yang mencakup perencanaan desain prototipe dengan komponen utama seperti detektor Geiger-Muller, mikrokontroler ESP32, rangkaian tegangan tinggi, timer, counter, dan LCD. Selanjutnya, penelitian dilanjutkan dengan pengembangan sistem, yaitu implementasi berdasarkan desain yang telah dibuat, termasuk pengkodean pada mikrokontroler ESP32 untuk mengendalikan seluruh fungsi sistem serta mengintegrasikan semua komponen. Setelah itu, dilakukan pengujian dan validasi untuk memastikan semua komponen berfungsi dengan baik dan sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan, seperti ketepatan pembacaan cacahan, tegangan tinggi, dan penampilan data pada layar.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dimulai pada bulan Agustus 2024. Tempat penelitian dilakukan di Instalasi Reaktor Kartini – Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) Yogyakarta.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat Penelitian

1. Multimeter (Fluke 117, Sanwa 510A)
2. Oscilloscope (Textronix TDS 2024C)
3. Signal Generator (GW Funtion GeneratorGFG-8015G)
4. Power Supply (GW Instek GPE-4323)

5. Laptop/Komputer
6. Arduino IDE 1.8.9
7. Diptrace
8. Proteus 8
9. Draw Io
10. Papan Project Board
11. Toolset Elektronik

3.3.2 Bahan Penelitian

Nama Bahan	Jumlah
Kabel Penghubung	Sesuai Kebutuhan
Konektor	12 Buah
PCB Berlubang	3 Buah
PCB Cetak	1 Buah
Detektor Geiger-Müller (GM)	1 Buah
Sumber Radiasi (Cesium)	1 Buah
ESP32 DEVKIT V1	2 Buah
Button	4 Buah
Rotary Switch	2 Buah
Potensiometer	1 Buah
Led	4 Buah
TFT ILI9488	1 Buah
ADS 1115	1 Buah
MCP 4725	1 Buah
EMCO F15	1 Buah
DC-DC Step Up	1 Buah
DC-DC Step Down	1 Buah
Buzzer	1 Buah
Power Supply Adaptor	1 Buah
Resistor 1K	6 Buah
Resistor 1M/2Watt	1 Buah
Resistor 6K8 / 2 Watt	1 Buah
Resistor 100K	1 Buah
Resistor 470K	1 Buah
Resistor 10M / Watt	1 Buah
IC 4093	1 Buah
Transistor BC547	2 Buah
Kapasitor 10pF/ 1kV	1 Buah
Kapasitor 1uF	1 Buah
Kapasitor 10nF	3 Buah

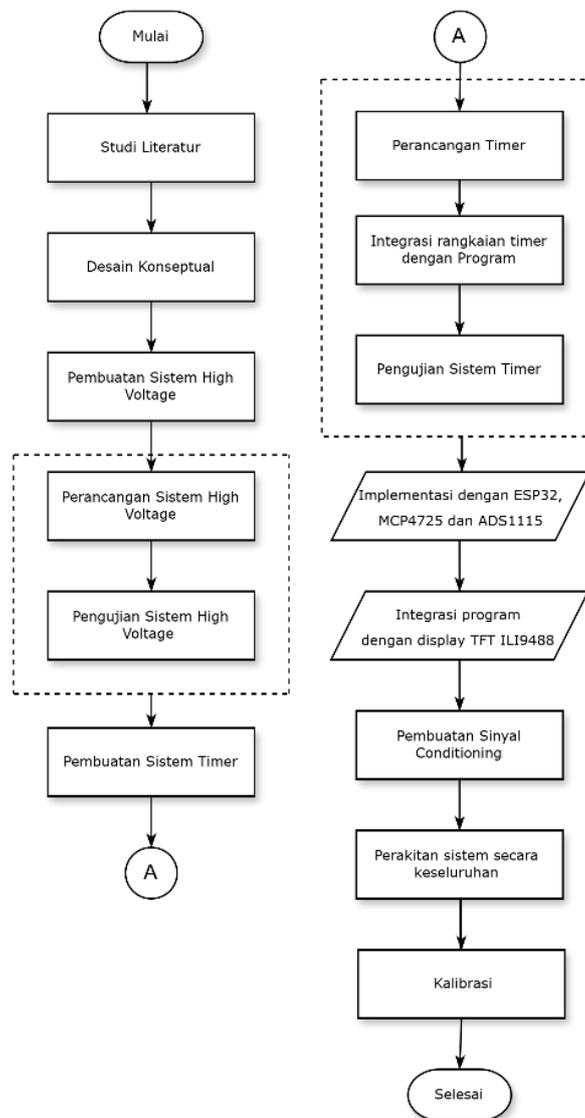
3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian dalam pengembangan prototipe sistem pencacah radiasi ini adalah variasi pengaturan tegangan tinggi (High Voltage) pada detektor Geiger-Muller, dengan rentang tegangan yang digunakan sebesar 200-600 Volt DC. Sistem diuji dengan tiga durasi timer yang berbeda, yaitu 1 menit, 3 menit, dan 5 menit, untuk mengukur pengaruh durasi terhadap jumlah cacahan yang terdeteksi. Komposisi perangkat keras sistem ini terdiri dari detektor Geiger-Muller sebagai material aktif, mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, dan layar LCD TFT ILI9488 sebagai media tampilan informasi cacahan, tegangan tinggi, dan durasi timer.

3.5 Prosedur Penelitian

Perancangan Sistem Pencacah Radiasi dengan Menggunakan Detektor Geiger Muller dilakukan di Instalasi Reaktor Kartini – Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) Yogyakarta. Proses pembuatan sistem dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu tahap pertama adalah pembuatan rangkaian High Voltage sebagai catu daya tegangan tinggi untuk detektor, pembuatan sistem waktu timer dengan menggunakan mikrokontroler ESP32, serta pembuatan sistem kontrol yang mencakup counter start, stop, reset dan tampilan data pada layar TFT ILI9488.

Selain itu, sistem juga diintegrasikan dengan program pada software Arduino IDE 1.8.9 yang dilengkapi dengan modul ADC (ADS1115) untuk mengubah sinyal analog menjadi digital dan DAC (MCP4725) untuk mengubah sinyal digital menjadi analog yang akan dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32. Penggunaan tampilan visual pada layar TFT memberikan kemudahan dalam membaca hasil pengukuran tegangan serta jumlah cacahan dalam satuan CPS (Counts Per Second).



Gambar 3. 1 Diagram Alir Perancangan Sistem Pencacah Radiasi

3.5.1 Studi Literatur

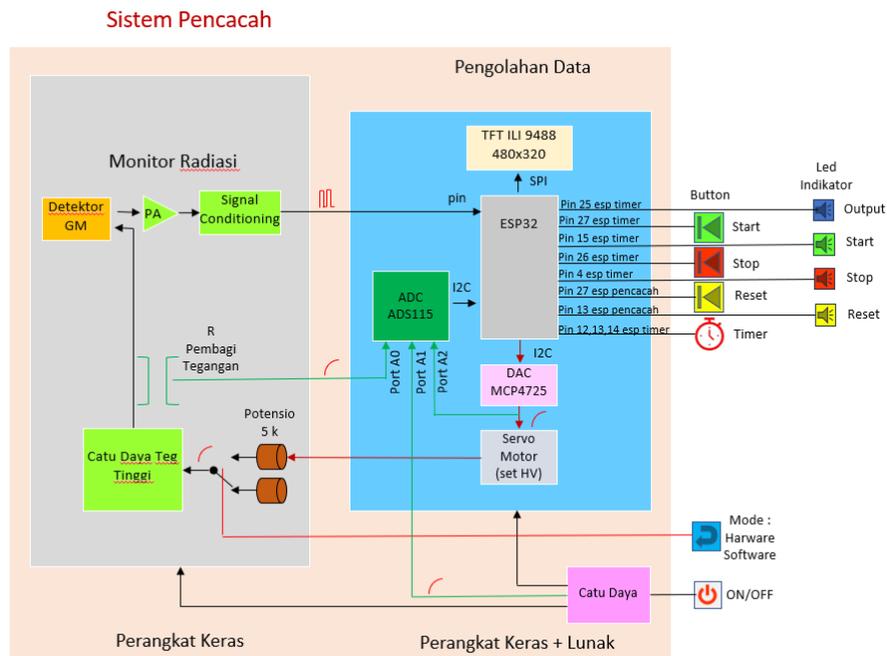
Studi literatur bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang mendalam terhadap berbagai referensi yang mendukung pelaksanaan penelitian ini, baik dari buku dan jurnal. Tahapan ini juga dimaksudkan untuk mengkaji dan memperbaiki kekurangan yang terdapat pada penelitian sebelumnya. Tujuan utamanya adalah mengidentifikasi kebutuhan teknis yang diperlukan dalam pengembangan sistem pencacah radiasi.

Kegiatan literatur ini mencakup penelusuran dan kajian terhadap penelitian terdahulu yang berkaitan dengan sistem pencacah radiasi, khususnya yang menggunakan detektor Geiger-Muller. Selain itu, dipelajari pula prinsip kerja detektor, sistem penyedia tegangan tinggi, pengolahan sinyal, serta sistem tampilan data berbasis mikrokontroler. Referensi tambahan juga dikaji untuk menunjang pengembangan sistem yang lebih portabel, efisien, dan dapat beroperasi secara mandiri tanpa ketergantungan pada komputer.

Pada penelitian sebelumnya, sistem pencacah radiasi umumnya belum dilengkapi dengan pengaturan waktu pencacahan, tampilan data digital secara real-time, serta integrasi sistem yang optimal. Dalam penelitian ini, sistem dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan fitur pengaturan waktu (1, 3, dan 5 menit), tampilan data melalui layar TFT, penyediaan tegangan tinggi menggunakan modul EMCO, serta kontrol dan indikator status sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sehingga perangkat dapat berfungsi secara independen tanpa memerlukan komputer.

3.5.2 Desain Konseptual

Desain konseptual merupakan tahap awal dalam pengembangan sistem yang bertujuan untuk merancang keseluruhan konsep sistem pencacah radiasi. Mendesain sistem secara keseluruhan, mulai dari sistem tegangan tinggi hingga tampilan pada layar TFT, dan memastikan semua komponen terhubung dengan benar melalui PCB. Desain sistem sesuai dengan skema pada Gambar (3.2).



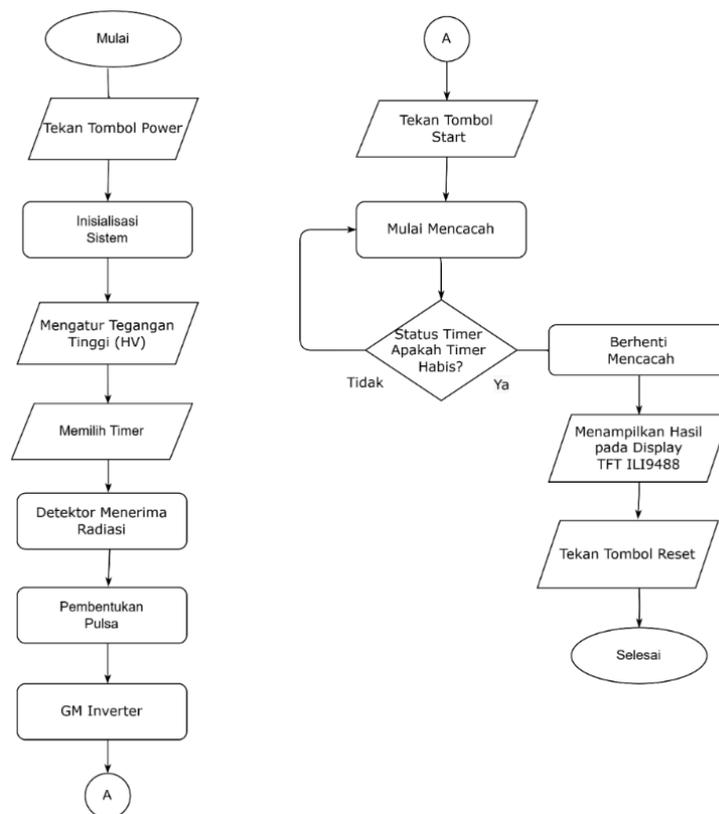
Gambar 3. 2 Konseptual Sistem Pencacah Radiasi

Pada Gambar (3.2) Sistem pencacah radiasi ini bertujuan untuk mendeteksi radiasi menggunakan tabung Geiger-Muller (GM) dan menghitung jumlah partikel radiasi yang terdeteksi dalam waktu tertentu. Sistem ini dimulai dengan detektor GM menerima paparan radiasi dan menghasilkan sinyal pulsa sebagai respons. Sinyal ini kemudian diperkuat oleh rangkaian penguat (PA) dan diolah oleh sistem *signal conditioning* agar dapat dikenali oleh mikrokontroler ESP32.

Detektor GM memerlukan tegangan tinggi untuk beroperasi, yang akan disuplai oleh rangkaian catu daya tegangan tinggi. Tegangan ini diatur menggunakan dua mode manual melalui potensiometer, dan otomatis melalui servo motor yang dikendalikan oleh ESP32. Mode pengaturan ini dapat dipilih menggunakan saklar untuk berpindah antara mode *hardware* (manual) dan *software* (otomatis). Untuk memastikan keamanan pembacaan tegangan tinggi, digunakan pembagi tegangan yang menurunkan tegangan sebelum dibaca oleh modul ADC ADS1115. Nilai

tegangan yang telah dikondisikan kemudian dikirim ke ESP32 melalui komunikasi I2C.

ESP32 bertindak sebagai pusat kendali sistem. ESP32 menerima sinyal pulsa dari detektor GM, menghitung jumlahnya selama durasi pencacahan yang telah ditentukan, serta mengatur tampilan hasil pada layar TFT ILI9488. Durasi pencacahan ditentukan melalui sistem timer yang dapat dipilih dengan tombol-tombol input (start, stop, dan reset), dan durasi seperti 1, 3, atau 5 menit dapat diatur melalui konfigurasi pin dan program. Ketika waktu pencacahan selesai, buzzer akan berbunyi sebagai penanda, dan LED indikator akan menyala untuk memberikan informasi. Selain itu, DAC MCP4725 digunakan untuk menghasilkan sinyal analog yang diperlukan untuk mengontrol posisi servo motor dalam mode otomatis.



Gambar 3. 3 Diagram Alir Sistem Berjalan

Diagram alir pada Gambar (3.3) tersebut menggambarkan secara runtut tahapan kerja sistem pencacah radiasi berbasis ESP32. Proses dimulai ketika pengguna menekan tombol power untuk menyalakan sistem, yang kemudian dilanjutkan dengan proses inisialisasi sistem oleh mikrokontroler ESP32. Setelah sistem aktif, langkah berikutnya adalah mengatur tegangan tinggi (High Voltage/HV) yang digunakan untuk mengaktifkan tabung detektor Geiger-Muller. Pengaturan HV ini dapat dilakukan secara manual melalui potensiometer atau otomatis menggunakan servo motor yang dikendalikan oleh ESP32. Selanjutnya, pengguna memilih durasi waktu pencacahan (1, 3, atau 5 menit) dengan memutar rotary switch yang telah diprogram ke pin tertentu.

Setelah parameter disiapkan, sistem menunggu perintah untuk memulai pencacahan melalui tombol start. Ketika tombol ditekan, sistem mulai mencacah pulsa radiasi yang diterima oleh detektor GM. Detektor ini menghasilkan sinyal pulsa setiap kali partikel radiasi terdeteksi, yang kemudian diproses melalui sistem *signal conditioning* dan dihitung oleh ESP32. Proses pencacahan berlangsung hingga timer mencapai durasi yang telah dipilih. Setelah waktu habis, pencacahan dihentikan secara otomatis, dan hasil pencacahan ditampilkan pada layar TFT ILI9488. Terakhir, pengguna dapat menekan tombol reset untuk mengatur ulang sistem, sehingga siap digunakan kembali.

3.5.3 Pembuatan Sistem High Voltage

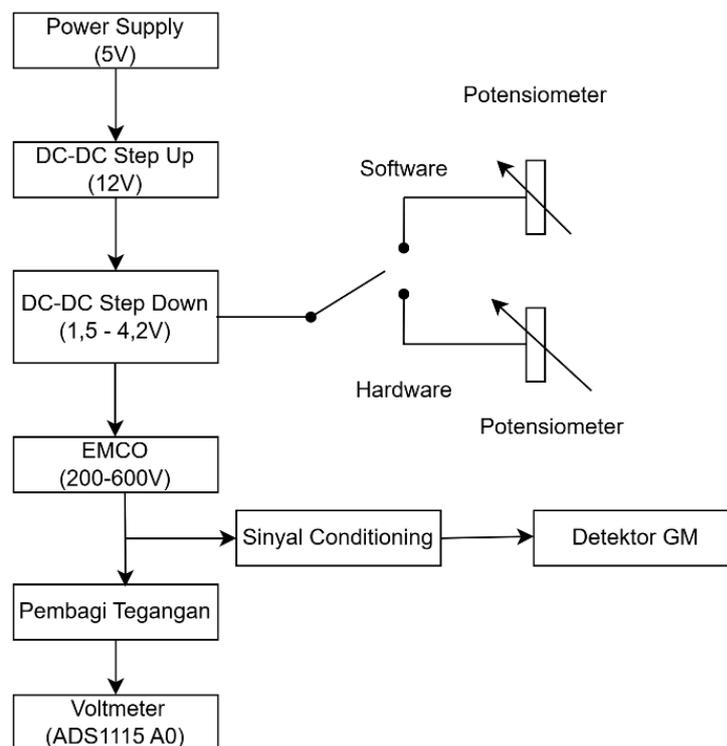
Proses perancangan rangkaian high voltage yang digunakan untuk mendukung kerja detektor Geiger-Muller. Sistem ini dirancang dengan mempertimbangkan kebutuhan daya dan kestabilan tegangan yang dibutuhkan oleh detektor Geiger-Muller. Komponen utama dari rancangan ini seperti DC-DC Step up, DC-DC Step

Down, EMCO F15 dan Resistor untuk pembagi tegangan. Berikut adalah tahapan dari pembuatan Sistem High Voltage dimulai dari perancangan hingga pengujian sebagai berikut:

1. Perancangan Sistem High Voltage

a. Desain Konseptual

Konseptualisasi dilakukan dengan menyusun blok diagram sistem High Voltage untuk menggambarkan interaksi antara komponen utama. Setiap komponen dalam diagram ini memiliki peran spesifik yang saling terhubung. Berikut adalah gambaran penyusunan dari rangkaian High Voltage



Gambar 3.4 Konseptual Rangkaian High Voltage

b. Pemilihan Komponen

Memilih komponen yang diperlukan untuk sistem tegangan tinggi berdasarkan fungsi masing-masing sesuai pada Gambar (3.4). Berikut adalah daftar komponen yang digunakan beserta kegunaannya di antaranya :

Tabel 3. 1 Daftar Komponen Sistem High Voltage

Nama Komponen	Tegangan Masuk	Tegangan Keluar	Kegunaan
Power Supply	220V AC	5V DC	Sumber daya utama sistem, mengubah tegangan PLN ke 5V DC
DC-DC Step Up	5V	12V	Menaikkan tegangan dari 5V menjadi 12V untuk kebutuhan modul step-down dan EMCO
DC-DC Step Down	12V	1,5-4,2V	Mengatur dan menurunkan tegangan agar sesuai sebagai input EMCO
EMCO	1,5V-4,2V	200V-600V	Menghasilkan tegangan tinggi yang dibutuhkan tabung Geiger-Muller
Pembagi Tegangan	200V - 600V	0V - 5V	Menurunkan HV agar bisa dibaca aman oleh ADC (misal ADS1115)
ADS1115 Voltmeter (A0)	0V - 5V	Data Digital	Membaca tegangan terukur dari pembagi tegangan dan mengirimkan data ke mikrokontroler
Rotary Switch			Memilih mode pengaturan: Manual (Potensiometer) atau Auto (Servo Motor)

Penggunaan pembagi tegangan sangat penting dalam sistem ini. Karena ADC seperti ADS1115 hanya mampu membaca tegangan hingga 5V, maka tegangan tinggi yang dihasilkan oleh EMCO perlu dikurangi melalui pembagi tegangan agar tidak merusak sistem pembacaan digital.

2. Pengujian Sistem

Setelah seluruh komponen dirakit sesuai dengan desain konseptual, dilakukan proses pengujian untuk mengetahui konfigurasi input tegangan (V_{in}) yang menghasilkan output (V_{out}) paling optimal. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa sistem mampu memberikan tegangan tinggi yang stabil dan

sesuai dengan kebutuhan detektor GM, serta agar pembacaan oleh mikrokontroler tetap akurat dan aman.

Pengujian dilakukan dengan mengatur V_{in} melalui DC-DC Step Down, kemudian mengamati V_{out} dari EMCO dan nilai tegangan yang dibaca oleh ADS1115 melalui pembagi tegangan. Hasil dari pengujian ini akan digunakan untuk menentukan setelan tegangan terbaik dan mendeteksi potensi masalah seperti fluktuasi atau ketidakstabilan daya.

Tabel 3. 2 Kalibrasi Pengukuran High Voltage

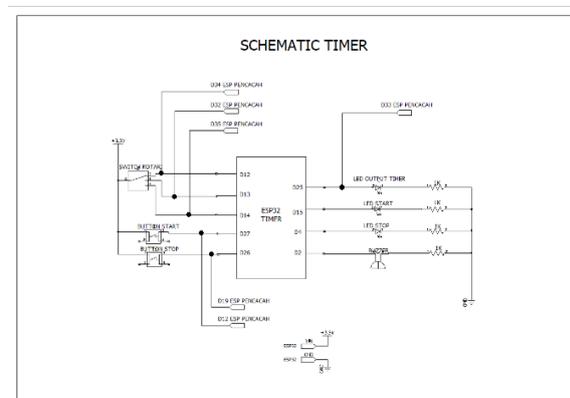
V_{in} (Volt)	Pembagi Tegangan (Volt)	V_{out} (Volt)

3.5.4 Pembuatan Sistem Timer

Sistem ini berfungsi untuk menentukan durasi pencacahan secara otomatis berdasarkan waktu yang telah dipilih. Dalam pengembangan kali ini, sistem timer dibuat menggunakan mikrokontroler ESP32 yang memiliki kemampuan pemrosesan cepat dan mendukung berbagai fitur input/output digital.

1. Perancangan Timer

a. Desain Timer



Gambar 3. 5 Skematik Timer

b. Pemilihan Komponen

Memilih komponen yang digunakan untuk timer, Seperti ESP32 Devkit V1 yang berfungsi untuk menghasilkan waktu dengan durasi tertentu. Dan komponen pendukung seperti resistor, button, switch Rotary dan Led. Berikut merupakan komponen yang digunakan dalam sistem timer beserta koneksi pin pada ESP32.

Tabel 3. 3 Komponen Sistem Timer

Nama Komponen	Pin Terhubung		Kegunaan
	ESP32 Timer	ESP32 Pencacah	
Rotary Switch	3,3V		Vcc
	D12	D34	Timer 1 Menit
	D13	D32	Timer 3 Menit
	D14	D35	Timer 5 Menit
Button Start	3,3V		Vcc
	D27	D19	Tombol Start Pencacahan
Button Stop	3,3V		Vcc
	D26	D12	Tombol Stop Pencacahan
Buzzer	Gnd		Gnd (Melalui Resistor 1k)
	D2		Alarm selesai pencacahan
Led Output	Gnd		Gnd (Melalui Resistor 1k)
	D25	D33	Led Mulai Pencacahan
Led Start	Gnd		Gnd (Melalui Resistor 1k)
	D15		Led Mulai Pencacahan
Led Stop	Gnd		Gnd (Melalui Resistor 1k)
	D4		Led Berhenti Pencacahan

2. Integrasi Rangkaian Timer dengan Program

Setelah seluruh rangkaian disusun sesuai dengan desain, langkah berikutnya adalah mengintegrasikan pin I/O ESP32 ke dalam program menggunakan Arduino IDE. Pada tahap ini, dilakukan:

- a. Pengaturan rotary switch untuk menentukan durasi pencacahan.
- b. Pendeteksian tombol start, stop dan reset.
- c. Pengaturan waktu 1 menit, 3 menit dan 5 menit.
- d. Pengendalian LED indikator dan buzzer sesuai dengan status proses.

3. Pengujian Sistem Timer

Pengujian dilakukan untuk memastikan setiap komponen timer bekerja sesuai fungsinya. Pengguna akan memilih durasi pencacahan menggunakan rotary switch, lalu menekan tombol Start. LED akan menyala sebagai indikator bahwa proses dimulai, dan buzzer akan berbunyi saat waktu selesai. Dan Tombol Reset untuk memulai pencacah dari nol, kemudian akan dibandingkan durasi timernya dengan stopwatch. Contoh tabel pengujian adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 4 Pengujian Timer

No.	Durasi Timer (Menit)	Durasi Pencacahan selesai (Menit)	Waktu pada Stopwatch (Menit)	Selisih (Detik)	Keterangan
1.					
2.					

3.5.5 Implementasi ESP32, MCP4275 dan ADS1115

Implementasi sistem pencacah radiasi berbasis ESP32 memerlukan integrasi antara mikrokontroler dan beberapa komponen utama seperti DAC (MCP4725) dan ADC (ADS1115).

1. Inisialisasi ESP32 dengan Program :

ESP32 dikonfigurasi untuk mengendalikan dan mengintegrasikan modul-modul utama dalam sistem pencacah radiasi. Program dibuat menggunakan Arduino IDE, di mana ESP32 berfungsi sebagai pengontrol utama yang terhubung dengan integrasi dengan modul High Voltage sebagai berikut:

- a. MCP4725 (DAC): Untuk menghasilkan sinyal analog yang digunakan untuk mengontrol tegangan tinggi pada sistem High Voltage.

b. ADS1115 (ADC): Untuk membaca tegangan output dari sistem High Voltage dan memastikan tegangan sesuai dengan kebutuhan detektor Geiger-Muller.

2. Integrasi dengan Timer dan Counter

a. Timer:

ESP32 mengatur durasi pencacahan menggunakan fungsi `millis()`. Timer digunakan untuk menghentikan pencacahan setelah durasi waktu tertentu (1 menit, 3 menit, 5 menit).

b. Counter:

Sinyal digital dari detektor Geiger-Muller diterima oleh ESP32 melalui input GPIO. Setiap pulsa yang diterima mencerminkan satu peristiwa radiasi yang terdeteksi. ESP32 mencatat jumlah pulsa ini dan menampilkan hasil cacahan pada layar TFT.

3.5.6 Integrasi Informasi Cacahan dengan Display TFT ILI9488

1. Inisialisasi Display

Menginisialisasi TFT ILI9488 dengan ESP32 menggunakan protokol SPI untuk komunikasi antara ESP32 dan TFT.

2. Desain Tampilan

Mendesain tampilan pada layar TFT untuk menampilkan informasi penting seperti jumlah cacahan radiasi, status tegangan tinggi (HV), waktu yang terpilih pada timer, status LED menyala.



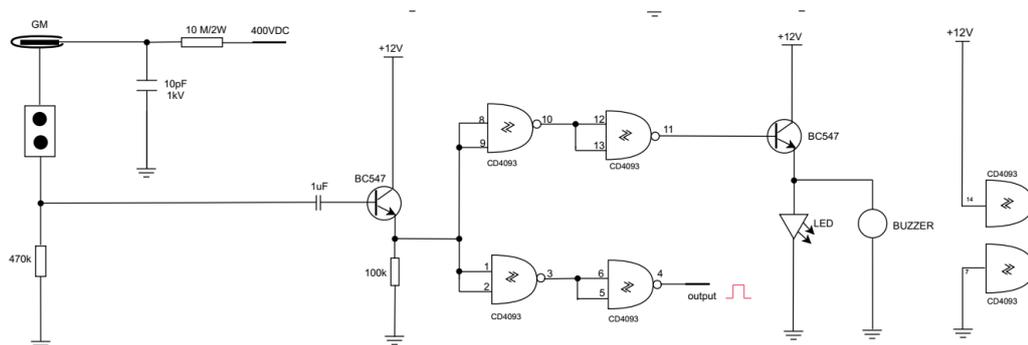
Gambar 3. 6 Tampilan Display TFT ILI9488

3.5.7 Pembuatan Modul Signal Conditioning

Sistem pembentuk sinyal ini berfungsi untuk mengolah pulsa analog dari detektor Geiger-Müller (GM) menjadi sinyal digital logika TTL (Transistor-Transistor Logic) yang dapat dibaca oleh mikrokontroler ESP32. Pulsa asli dari detektor GM memiliki bentuk yang tidak teratur dan tegangan tinggi, sehingga perlu diolah agar aman dan dapat dihitung dengan akurat.

1. Desain Rangkaian Pembentuk Sinyal

Desain ini terdiri dari rangkaian penguat berbasis transistor dan pembentuk pulsa berbasis IC CD4093. Output dari sistem ini berupa sinyal kotak (square pulse) logika digital yang dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 sebagai input untuk pencacahan.



Gambar 3. 7 Skematik Sinyal Conditioning

Berikut adalah daftar komponen utama yang digunakan dalam sistem pembentuk sinyal beserta fungsinya:

Tabel 3. 5 Daftar Komponen Sinyal Conditioning

No.	Nama Komponen	Fungsi
1.	Detektor Geiger-Müller	Menghasilkan pulsa tegangan tinggi saat radiasi terdeteksi
2.	Resistor 10 M Ω , 470 k Ω	Menurunkan dan membatasi arus tinggi dari sinyal GM
3.	Kapasitor 10 pF / 1 μ F	Menghilangkan noise dan menyalurkan pulsa ke transistor
4.	Transistor BC547	Menguatkan pulsa kecil dari detektor GM menjadi sinyal digital
5.	IC CD4093	4 gerbang logika NAND dengan fungsi Schmitt Trigger, membentuk pulsa TTL

3. Penjelasan Fungsi Rangkaian

- a. Bagian Input dan Penguatan Sinyal dari tabung Geiger-Müller diturunkan melalui pembagi tegangan, kemudian dikopling oleh kapasitor 1 μ F ke basis transistor BC547. Transistor ini akan mengubah pulsa analog menjadi perubahan logika digital pada kolektornya.
- b. Pemrosesan Pulsa Empat gerbang logika dari IC CD4093 digunakan untuk:
 1. Menstabilkan bentuk pulsa
 2. Membentuk pulsa logika TTL dengan tinggi tetap
 3. Menghilangkan pulsa ganda (debounce) dan menjaga keakuratan hitungan
- c. Output dan Indikator Pulsa yang dihasilkan di ujung rangkaian (pin output) akan dikirim ke mikrokontroler ESP32 sebagai sinyal hitung.

4. Integrasi Rangkaian Pembentuk Sinyal dengan ESP32

Setelah sinyal diubah menjadi bentuk TTL, output dari gerbang logika dihubungkan ke GPIO4 pada ESP32. Mikrokontroler akan membaca pulsa ini untuk dihitung sebagai jumlah cacahan (counts per second / CPS).

- a. Pin GPIO4 ESP32 menerima sinyal digital dari output rangkaian.

- b. Program ESP32 menghitung jumlah pulsa per detik berdasarkan durasi timer yang telah dipilih.

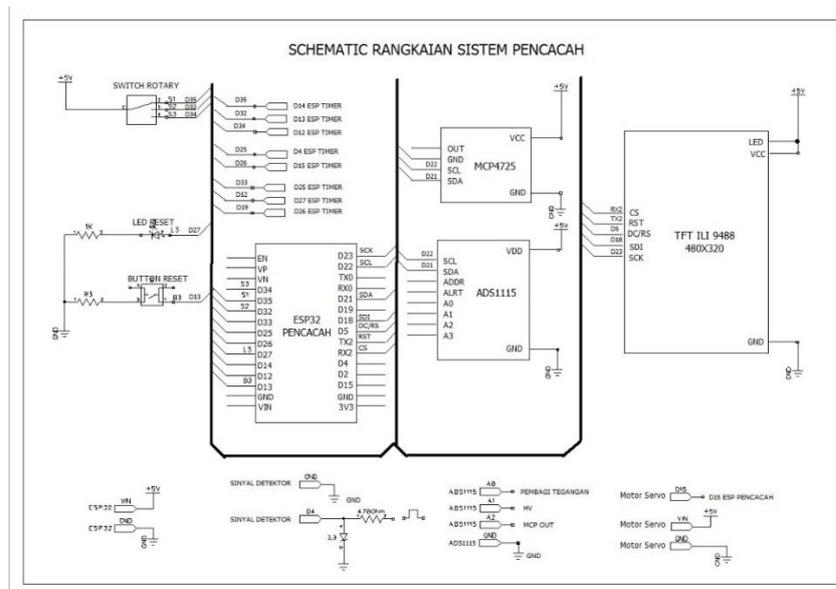
3.5.7 Perakitan Sistem Secara Keseluruhan

Perakitan sistem diawali dengan desain perangkat keras secara keseluruhan, mencakup hubungan antara ESP32, modul HV (High Voltage), modul TFT, tombol kontrol (Start, Stop, Reset), servo motor, serta detektor Geiger-Müller. Setiap komponen disusun berdasarkan fungsi dan kebutuhan.

1. Desain Rancangan

Mendesain sistem secara keseluruhan, mulai dari sistem tegangan tinggi hingga tampilan pada layar TFT, dan memastikan semua komponen terhubung dengan benar melalui PCB. Desain sistem sesuai dengan skema pada Gambar (3.8).

Penempatan dan sambungan pin GPIO pada ESP32 ke setiap perangkat eksternal dirancang secara sistematis, sebagaimana dijabarkan pada Tabel 3.6 berikut:



Gambar 3. 8 Skematik Rangkain Sistem Pencacah

Tabel 3. 6 Pin Mapping Sistem Pencacah Radiasi

PIN TERPAKAI	KETERANGAN
V _{in} 5V	VCC
GND	GROUND
D4 (GPIO 4)	Pembuat sinyal
RX2 (GPIO16)	CS pada TFT
TX2 (GPIO 17)	RST pada TFT
D5 (GPIO 5)	DC pada TFT
D18 (GPIO 18)	SDI pada TFT
D21(GPIO 21)	SDA dari ADC dan MCP
D22 (GPIO 22)	SCL dari ADC dan MCP
D23 (GPIO 23)	SCK pada TFT
D13 (GPIO 13)	Untuk tombol reset
D12 (GPIO 12)	Untuk tombol stop
D14 (GPIO 19)	Untuk tombol start
D27 (GPIO 27)	Untuk LED reset
D33 (GPIO 34)	Untuk Timer 1min
D32 (GPIO 32)	Untuk Timer 3min
D35 (GPIO 35)	Untuk Timer 5min
D33 (GPIO 33)	Untuk LED output
D15 (GPIO 15)	Motor servo

Setelah modul High Voltage, Timer, Counter, Tombol dan tampilan display TFT ILI9488 telah diintegrasikan, maka seluruh sistem dapat bekerja secara sinergis dalam mendeteksi radiasi. Seluruh komponen dipasang pada papan percobaan (project board) dan kemudian dipindahkan ke PCB. Modul MCP4725 dan ADS1115 dihubungkan melalui jalur I2C.

2. Pengujian

1. Uji Penentuan Tegangan Kerja Detektor

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan tegangan kerja optimal dari detektor Geiger-Muller. Tegangan kerja adalah tegangan di mana detektor memberikan respon yang stabil terhadap radiasi tanpa noise berlebihan. Data cacah (CPS)

diukur pada berbagai tegangan untuk menentukan rentang tegangan kerja yang ideal.

Tabel 3. 7 Penentuan Tegangan Kerja Detektor

No.	HV (Volt)	Cacah (CPS)	Keterangan
1.	100		
2.	250		
3.	300		
4.	350		
5.	400		
6.	450		
7.	500		
8.	550		
9.	600		
10.	650		

Spesifikasi Tabung Geiger-Müller SI-180G

Tegangan Kerja yang Direkomendasikan: 360 - 420V

Tegangan Awal: 290 - 330V

Panjang Plateau: 100V

Kemiringan Plateau: 0,1% / 1V

Kapasitansi Interelektroda: 10pF

Resistansi Beban: 5 - 10 MOhms

Kisaran Suhu Kerja: -500 +700

Panjang: 100mm

Diameter: 18mm

2. Pengujian Cacahan

Melakukan pengujian menyeluruh pada sistem untuk memastikan semua fungsi berjalan sesuai yang diinginkan, termasuk tombol fungsi, tegangan tinggi, timer, dan penghitung pulsa.

a. Pengujian Pencacahan

Tabel 3. 8 Pengujian Cacahan

No.	Jarak (cm)	Laju cacah/R (cps)	Laju cacah/R (cps)	Laju cacah/R (cps)
1.				
2.				
3.				
4.				

b. Pengujian Cacah Background

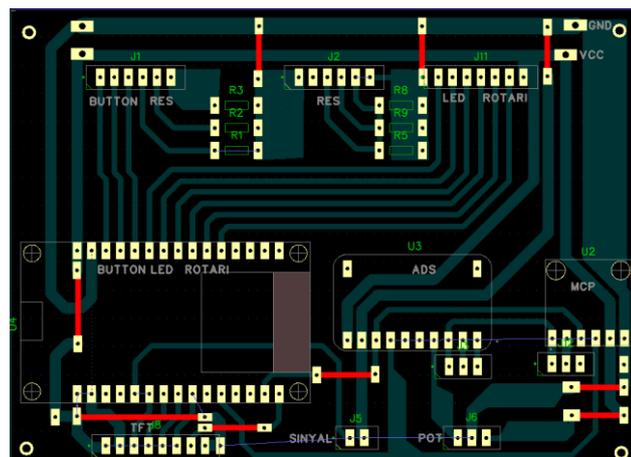
Pengujian dilakukan dengan mengukur laju cacah pada tiga kali pengambilan data pada jarak yang sama, secara berturut-turut.

Tabel 3. 9 Pengujian Fungsi Tombol

No.	Fungsi Tombol	Status Sistem
1.	Start	Pencacahan Dimulai
2.	Stop	Pencacahan Berhenti
3.	Reset	Data Cacahan mulai dari nol

3. Desain PCB (*Printed Circuit Board*)

Desain keseluruhan dipindahkan ke PCB dan diuji untuk memastikan konektivitas antar-komponen optimal dengan mempertimbangkan tata letak yang efisien dan minim interferensi.

**Gambar 3. 9** PCB dari Rangkaian Sistem Pencacah

3.5.8 Kalibrasi

Kalibrasi dilakukan untuk memastikan bahwa pengukuran tegangan tinggi (High Voltage) dan cacah oleh sistem sesuai dengan standar yang digunakan.

1. Kalibrasi High Voltage (tegangan High Voltage)

Tabel 3.10 Kalibrasi Pembacaan High Voltage

No	Tegangan Terbaca (Volt)		Penyimpangan	Akurasi
	TFT	Multimeter		
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				

a. Rumus Persentase Penyimpangan (Error Relatif)

$$\text{Penyimpangan} = \frac{\text{Tegangan Terbaca (TFT)} - \text{Tegangan Aktual (Multimeter)}}{\text{Tegangan Aktual (Multimeter)}} \times 100\%$$

Rumus ini menghitung selisih relatif antara nilai yang ditampilkan oleh sistem (TFT) dan nilai yang sebenarnya (hasil pengukuran menggunakan multimeter). Hasilnya menunjukkan seberapa besar kesalahan sistem dalam bentuk persentase.

b. Rumus Akurasi

$$\text{Akurasi} = 100\% - \text{Penyimpangan}$$

Akurasi menunjukkan seberapa dekat hasil pengukuran sistem (TFT) dengan nilai sebenarnya (multimeter).

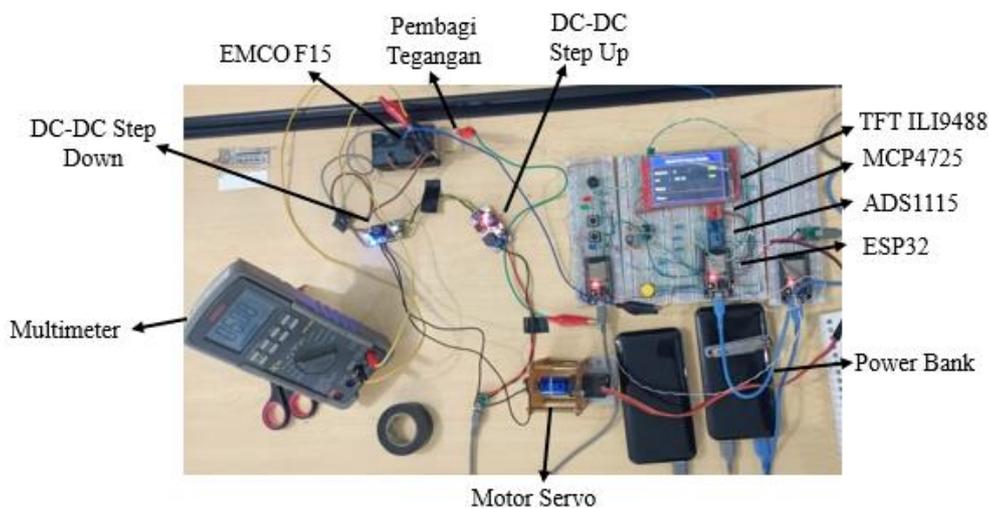
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

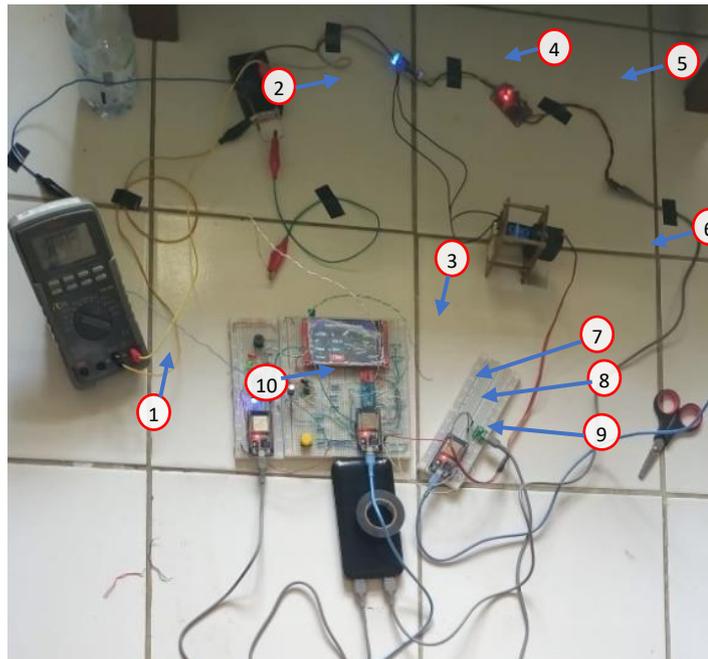
4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Hasil Pembuatan Sistem High Voltage

Perangkat sistem tegangan tinggi yang berfungsi sebagai catu daya untuk tabung Geiger-Muller berhasil dikembangkan dan diuji. Rangkaian ini mendukung mode pengaturan tegangan, yaitu mode menggunakan potensiometer. Selain itu, sistem dilengkapi dengan pembagi tegangan serta modul ADS1115 untuk memastikan pembacaan tegangan tinggi dapat dilakukan dengan aman dan presisi. Gambar 4.1 menyajikan skema rangkaian tegangan tinggi secara keseluruhan, sementara Gambar 4.2 memperlihatkan tahap pengujian dari sistem tersebut. Adapun hasil pengujian terhadap variasi input dan output tegangan sistem ditampilkan dalam Tabel 4.1.



Gambar 4. 1 Skema Rangkaian High Voltage



Gambar 4.2 Tahap Rangkaian Pengujian High Voltage

1. Multimeter
2. EMCO f15
3. TFT ILI9488
4. DC-DC Step Down
5. DC-DC Step Up
6. Motor Servo
7. MCP4725
8. ADS1115
9. ESP32
10. Power Bank

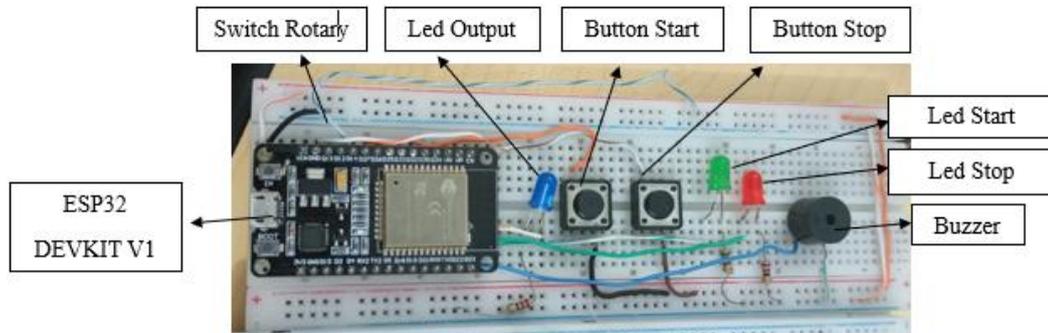
Tabel 4. 1 Hasil Kalibrasi Pengukuran High Voltage

Vin(VDc)	Pembagi Teg (VDc)	Vout(V)
1,576	0,68	209
1,866	0,826	253,3
2,251	1,011	309,3
2,537	1,149	349,7
2,876	1,311	397
3,231	1,484	448
3,576	1,659	499,1
3,916	1,841	550
4,283	2,04	606
3,909	1,853	549
3,612	1,694	504
3,289	1,522	456
2,96	1,357	408,5
2,547	1,158	350,9
2,206	0,994	302,4
1,846	0,819	250,2
1,507	0,654	200,4

4.1.2 Hasil Pembuatan Sistem Timer

Sistem timer sebagai pengatur durasi pencacahan pada detektor Geiger-Muller telah berhasil dirancang dan diimplementasikan. Timer ini bekerja berdasarkan masukan dari rotary switch untuk menentukan pilihan waktu pencacahan, yaitu 1, 3, dan 5 menit. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan tombol Start, Stop untuk mengendalikan proses pencacahan secara manual, serta indikator LED dan buzzer sebagai penanda status operasi. Gambar 4.3 menampilkan skema koneksi sistem timer secara keseluruhan, sedangkan hasil PCB ditunjukkan pada Gambar 4.4 Selanjutnya, sistem telah diuji untuk memastikan ketepatan waktu kerja dan respons perangkat terhadap setiap input. Hasil pengujian durasi sesuai terhadap masing-masing pilihan waktu dapat dilihat pada Tabel 4.2. Program timer disusun menggunakan bahasa pemrograman Arduino, yang mengatur input rotary switch untuk menentukan durasi, tombol kontrol pencacahan, serta buzzer sebagai tanda

akhir proses. Logika utama timer berjalan berdasarkan waktu aktual yang dicatat oleh fungsi `millis()` dan dikontrol oleh variabel status pencacahan (`timerRunning`).



Gambar 4. 3 Skema Koneksi Sistem Timer



Gambar 4. 4 PCB Sistem Timer

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Timer

No.	Durasi Timer (Menit)	Durasi Pencacahan selesai (Menit)	Waktu pada Stopwatch (Menit)	Selisih (Detik)	Keterangan
1.	1 Menit	1 Menit	1 Menit	0	Sesuai
2.	3 Menit	3 Menit	3 Menit	0	Sesuai
3.	5 Menit	5 Menit	5 Menit	0	Sesuai

Dari hasil pengujian di atas, terlihat bahwa sistem timer memiliki tingkat ketelitian yang cukup baik. Tidak ada selisih waktu antara sistem dan stopwatch.

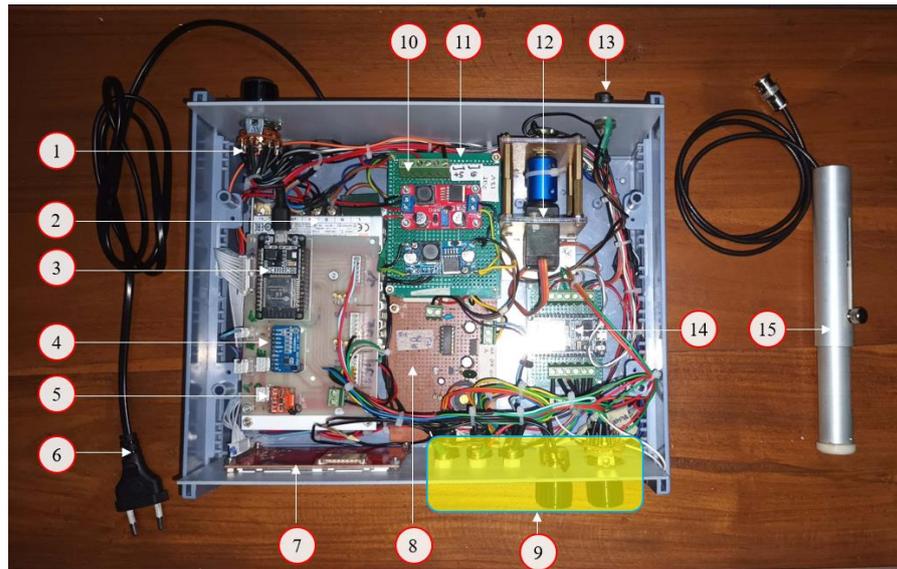
4.1.3 Hasil Implementasi ESP32 dengan MCP4725 dan ADS1115

Implementasi komunikasi antara mikrokontroler ESP32 dengan modul DAC MCP4725 dan ADC ADS1115 telah berhasil dilakukan sebagai bagian dari sistem pengendali tegangan tinggi dan pemantauan nilai tegangan. Modul MCP4725 digunakan untuk menghasilkan sinyal analog sebagai pengendali posisi servo motor dalam mode pengaturan tegangan otomatis (software). Modul ADS1115 digunakan untuk membaca nilai tegangan tinggi yang telah dikurangi melalui rangkaian pembagi tegangan, sehingga dapat diakses dengan aman oleh ESP32 melalui komunikasi I2C.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa ESP32 mampu mengirim nilai digital ke MCP4725 dengan akurat, menghasilkan perubahan posisi servo motor yang stabil sesuai dengan nilai DAC yang dikirim pada software. Begitu pula pada sisi pembacaan tegangan, ADS1115 memberikan respons pembacaan yang presisi dan konsisten terhadap perubahan tegangan input. Gambar 4.5 menunjukkan konfigurasi koneksi antar komponen melalui jalur I2C. Dan pada Gambar 4.6 menunjukkan implementasi rangkaian yang akan disambungkan dengan komponen lain.



Gambar 4.5 Konfigurasi Koneksi Antar Komponen



Gambar 4. 6 Implementasi Rangkain

Keterangan :

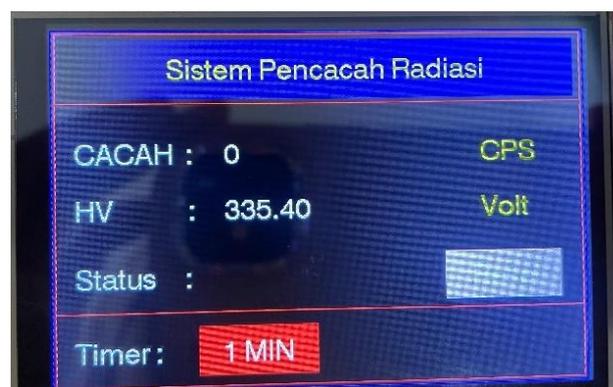
1. Switch pemilih Hardware atau Software
2. Modul Regulator Catu Daya 220V AC ke 5 V DC
3. Modul ESP32 (Modul Pencacah)
4. Modul ADC ADS 1115
5. Modul DAC MCP 4725
6. Kabel Catu Daya AC 220 V/50 Hz
7. Modul TFT ILI9488 480 x 320
8. Modul Pengolah Sinyal
9. Tombol, Led Indikator, Pengatur HV dan Switch Timer
10. Modul DC-DC regulator HV (Layer Atas)
11. Modul DC-DC HV Emco (Layer Bawah)
12. Modul Motor Servo
13. Konektor Detektor
14. Modul ESP32 (Modul Timer)
15. Detektor GM SI-180

4.1.4 Hasil Integrasi Program dengan Display TFT ILI9488

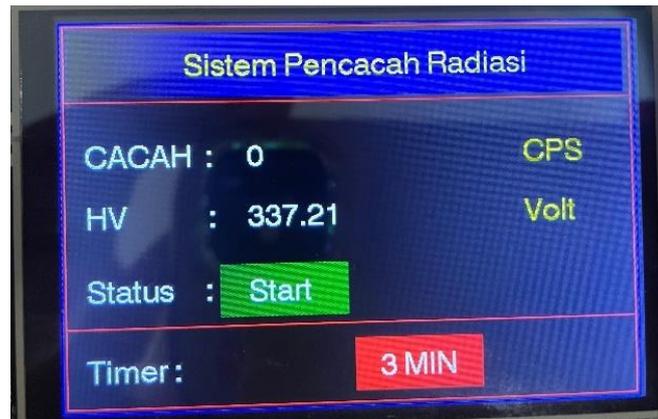
Integrasi antara program sistem pencacah berbasis ESP32 dengan tampilan layar TFT ILI9488 berhasil dilakukan sebagai media informasi dalam sistem. Display ini digunakan untuk menampilkan berbagai informasi penting secara real-time, seperti nilai tegangan tinggi hasil pembacaan ADC, durasi pencacahan yang sedang berlangsung, jumlah cacahan radiasi, serta status sistem seperti indikator led yang sesuai dengan status tombol.

Penggunaan layar TFT ILI9488 dengan resolusi 480x320 piksel memungkinkan tampilan data yang cukup informatif dan mudah dipahami oleh pengguna, sementara Gambar 4.7 hingga 4.9 memperlihatkan tampilan selama perubahan waktu pencacahan beserta status led..

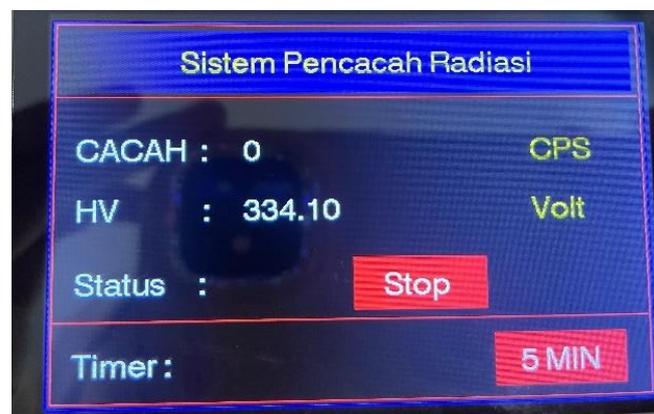
Hasil pengujian menunjukkan bahwa komunikasi antara ESP32 dan modul TFT berjalan stabil melalui jalur SPI. Setiap perubahan nilai cacahan, perubahan nilai tegangan tinggi, perubahan waktu pencacahan serta led indikator yang menyala. Hal ini menunjukkan bahwa sistem sudah mampu melakukan penampilan informasi secara real-time.



Gambar 4. 7 Tampilan Ketika Tombol Reset dan Timer 1 Menit Berfungsi



Gambar 4. 8 Tampilan Ketika Tombol Start dan Timer 3 Menit Berfungsi



Gambar 4. 9 Tampilan Ketika Tombol Stop dan Timer 5 Menit Berfungsi

4.1.5 Hasil Pembuatan Modul Signal Conditioning

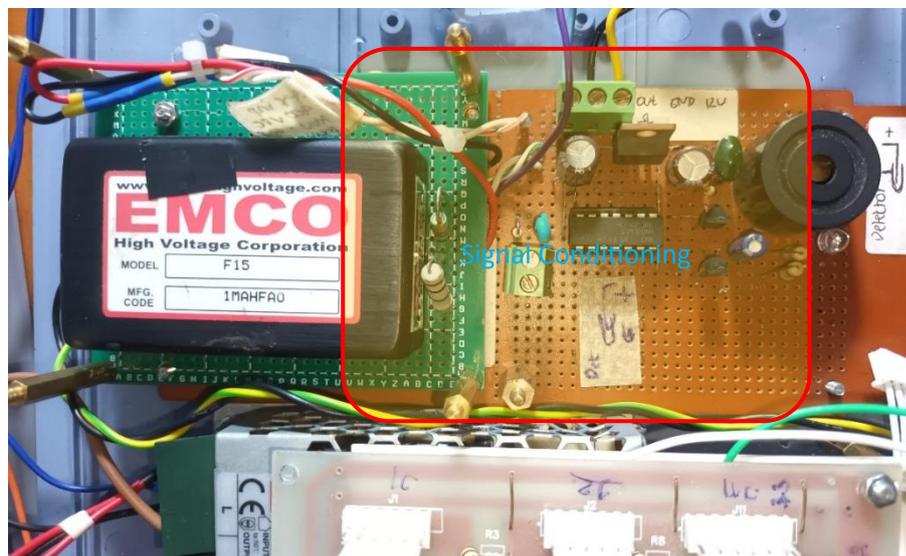
Modul signal conditioning yang berfungsi untuk mengubah sinyal analog dari detektor Geiger-Müller menjadi sinyal digital logika TTL telah berhasil dirancang dan diimplementasikan. Modul ini memiliki peranan penting dalam memastikan pulsa dari detektor dapat dikenali dan dihitung secara akurat oleh mikrokontroler ESP32.

Pulsa analog dari detektor GM yang tidak teratur dan bertegangan tinggi terlebih dahulu dikondisikan melalui pembagi tegangan dan kapasitor untuk menghilangkan noise. Pulsa ini kemudian diperkuat oleh transistor BC547 dan dibentuk menjadi sinyal logika digital dengan bentuk kotak melalui empat gerbang

logika NAND pada IC CD4093. Hasil akhirnya adalah sinyal TTL yang stabil, yang kemudian dikirim ke pin GPIO ESP32 untuk proses pencacahan.

Gambar 4.9 menunjukkan skema koneksi modul signal conditioning secara keseluruhan beserta hasil realisasi rangkaian pada PCB. Untuk memastikan performa rangkaian, sistem diuji dengan simulasi pulsa dari detektor GM serta verifikasi input-output pada osiloskop. Hasil menunjukkan bahwa rangkaian mampu menghasilkan sinyal logika dengan amplitudo dan lebar pulsa yang sesuai untuk dikenali oleh sistem digital.

Program mikrokontroler dikembangkan untuk mendeteksi perubahan logika pada pin input pencacahan, sehingga setiap pulsa yang diterima tercatat sebagai satu hitungan. Dengan pendekatan ini, sistem dapat menghindari deteksi ganda (double count) dan menjaga integritas data pencacahan.



Gambar 4. 10 Rangkaian Sinyal Conditioning

4.1.6 Hasil Perakitan Sistem Secara Keseluruhan

Setelah seluruh komponen utama berhasil diimplementasikan dan diuji secara terpisah, tahap selanjutnya adalah melakukan perakitan sistem secara keseluruhan. Sistem terdiri dari beberapa bagian terintegrasi, yaitu detektor Geiger-

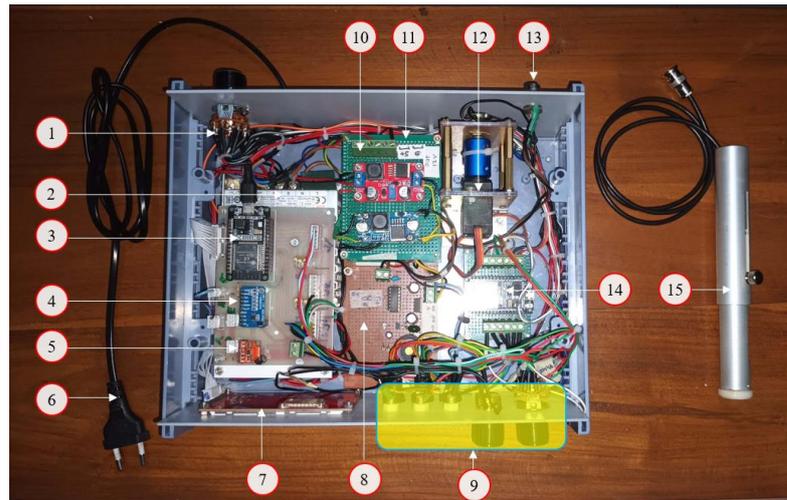
Muller, rangkaian tegangan tinggi (High Voltage), mikrokontroler ESP32, modul DAC MCP4725, modul ADC ADS1115, tampilan TFT ILI9488, serta komponen pendukung seperti rotary switch, tombol kontrol (Start, Stop, Reset), LED indikator, dan buzzer. Semua komponen dirangkai dalam satu unit sistem yang kompak dan portabel, sehingga dapat digunakan tanpa memerlukan perangkat tambahan seperti komputer.

Proses perakitan memperhatikan tata letak komponen agar meminimalisasi interferensi. Gambar 4.10 memperlihatkan hasil akhir dari sistem pencacah radiasi yang telah dirakit, sedangkan Gambar 4.11 menunjukkan bagian dalam perangkat yang memperlihatkan koneksi antarkomponen.

Hasil pengujian awal terhadap sistem secara utuh menunjukkan bahwa seluruh fungsi berjalan sesuai dengan rancangan. Sistem dapat menyala dengan stabil, membaca tegangan tinggi, mencacah pulsa dari detektor GM, menampilkan informasi pada layar, serta merespons masukan pengguna secara tepat. Perakitan ini menandai selesainya proses integrasi antara perangkat keras dan lunak, yang siap untuk digunakan dalam pengujian lanjutan dan pengambilan data pencacahan radiasi.



Gambar 4. 11 Hardware Sistem Pencacah



Gambar 4. 12 Koneksi Antar Komponen Secara Keseluruhan

Keterangan :

1. Switch pemilih Hardware atau Software
2. Modul Regulator Catu Daya 220V AC ke 5 V DC
3. Modul ESP32 (Modul Pencacah)
4. Modul ADC ADS 1115
5. Modul DAC MCP 4725
6. Kabel Catu Daya AC 220 V/50 Hz
7. Modul TFT ILI9488 480 x 320
8. Modul Pengolah Sinyal
9. Tombol, Led Indikator, Pengatur HV dan Switch Timer
10. Modul DC-DC regulator HV (Layer Atas)
11. Modul DC-DC HV Emco (Layer Bawah)
12. Modul Motor Servo
13. Konektor Detektor
14. Modul ESP32 (Modul Timer)
15. Detektor GM SI-180

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Fungsi Tombol

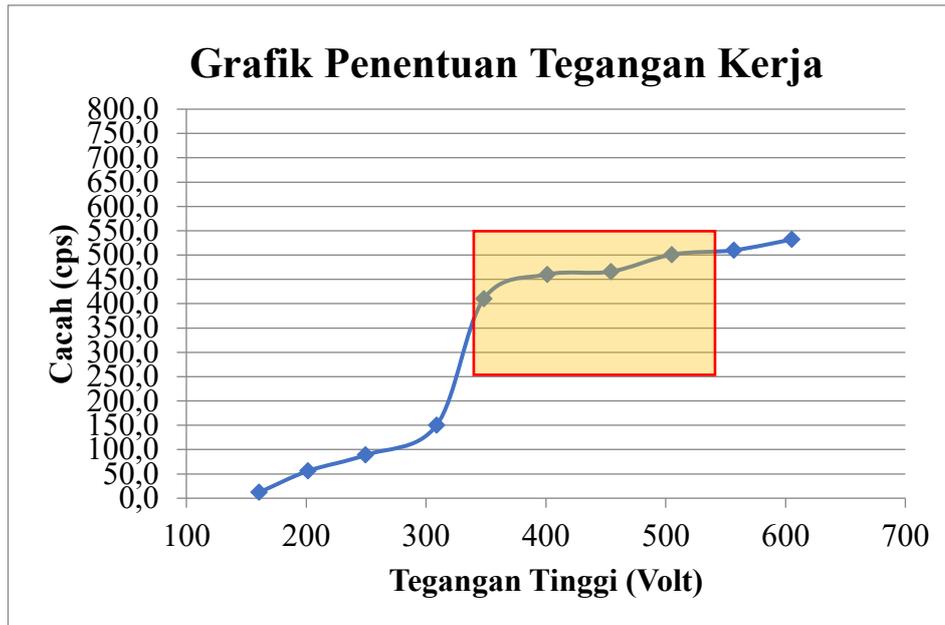
No.	Fungsi Tombol	Status Sistem
1.	Start	Pencacahan Dimulai
2.	Stop	Pencacahan Berhenti
3.	Reset	Data Cacahan mulai dari nol

1. Hasil Uji Penentuan Tegangan Kerja Detektor

Untuk menentukan tegangan kerja optimal dari detektor Geiger-Müller, dilakukan pengujian dengan memberikan variasi tegangan dari 150 V hingga 600 V secara bertahap. Pada setiap titik tegangan, dilakukan pencacahan terhadap pulsa radiasi selama durasi waktu tertentu, dan hasilnya dicatat dalam satuan CPS (Counts Per Second). Dari data yang diperoleh, kemudian dibuat grafik hubungan antara tegangan dan laju cacah untuk mengidentifikasi daerah plateau, yaitu rentang tegangan di mana perubahan tegangan tidak menyebabkan perubahan signifikan pada jumlah cacahan. Tegangan kerja ideal ditentukan pada sekitar sepertiga bagian awal dari daerah plateau tersebut, karena pada titik ini detektor memberikan hasil yang stabil dan minim noise. Data hasil pengujian disajikan dalam Tabel 4.6 dan menjadi acuan utama dalam penetapan tegangan kerja detektor yang optimal.

Tabel 4. 4 Hasil Penentuan Tegangan Kerja Detektor

No.	Tegangan (Volt)	CACAH (cps)
1.	160,62	12,0
2.	201,44	56,0
3.	249,6	89,0
4.	308,75	150,0
5.	348,24	410,0
6.	401,1	460,0
7.	454,22	466,0
8.	505,18	501,0
9.	556,86	510,0
10.	605,32	532,0



Gambar 4. 13 Grafik Pengujian Tegangan Kerja Detektor

Tabel 4. 5 Penentuan Nilai Slope

Tegangan kerja		
V1=	348,24	volt
N1=	410,0	cps
V2=	505,2	volt
N2=	501,0	cps
Panjang plato=	156,9	volt
Vo (1/3 -1/2 panjang plato)=	426,7	volt
Slope		
$(100(N2-N1)/N1)/(V1-V2)*100\%$	14,1424251	% per volt

Perhitungan nilai slope dilakukan untuk menilai kestabilan detektor pada daerah plateau, sebagaimana dijelaskan pada teori di Bab II tentang karakteristik kurva plateau detektor Geiger-Müller. Nilai slope ini menunjukkan seberapa besar perubahan cacahan per satuan perubahan tegangan dalam wilayah plateau. Semakin kecil nilai slope, maka semakin stabil respon detektor terhadap variasi tegangan, yang menjadi indikator bahwa daerah tersebut ideal sebagai tegangan kerja.

2. Hasil Pengujian Cacahan Background

a. Hasil Pengujian Pencacahan Background

Pengujian cacah background dilakukan untuk mengetahui jumlah radiasi lingkungan (latar) yang terdeteksi oleh sistem saat tidak ada sumber radiasi eksternal didekatkan ke detektor. Cacahan latar ini penting untuk mengetahui nilai dasar (baseline) radiasi alami di sekitar, seperti dari tanah, bangunan, atau atmosfer, yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran ketika sumber radiasi digunakan. Pengujian dilakukan dengan mengukur laju cacah (cps) pada tiga kali pengambilan data pada jarak yang sama, didapatkan nilai cacahan background yang diperoleh secara berturut-turut adalah 56 cps, 48 cps, dan 38 cps.

b. Hasil Pengujian Cacahan

Pengujian cacahan dilakukan untuk mengamati respons detektor Geiger-Müller terhadap radiasi pada berbagai jarak sumber radiasi. Proses ini bertujuan untuk membuktikan bahwa jumlah cacahan menurun seiring bertambahnya jarak dari sumber. Pada pengujian ini digunakan sumber radiasi standar (Cs-137) yang diletakkan pada jarak tetap dari detektor, kemudian dilakukan variasi jarak sebesar 1 cm hingga 4 cm. Untuk setiap jarak. Setiap data cacahan diambil sebanyak tiga kali untuk tiap jarak guna memperoleh nilai yang representatif dan mengurangi kesalahan eksperimen akibat fluktuasi sesaat. Hasil yang dicatat berupa laju cacah dalam satuan cps (counts per second).

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Cacahan

No.	Jarak (cm)	Laju cacah/R (cps)	Laju cacah/R (cps)	Laju cacah/R (cps)
1.	1	466,0	455,0	453,0
2.	2	351,0	345,0	362,0
3.	3	102,0	96,0	82,0
4.	4	50,0	62,0	48,0

4.1.7 Hasil Kalibrasi

1. Kalibrasi High Voltage (tegangan High Voltage)

Kalibrasi dilakukan untuk memastikan bahwa pembacaan tegangan tinggi pada sistem sesuai dengan tegangan aktual yang terukur menggunakan voltmeter. Hasil kalibrasi menunjukkan adanya penyimpangan tertentu yang masih dalam batas toleransi. Hasil kalibrasi ditunjukkan pada Tabel 4.6. Kalibrasi High Voltage (tegangan High Voltage).

Kalibrasi adalah proses membandingkan hasil pengukuran dari suatu alat ukur (dalam hal ini pembacaan tegangan tinggi pada sistem TFT) terhadap standar pengukuran yang diketahui kebenarannya, dalam hal ini menggunakan voltmeter digital (multimeter) yang telah dikalibrasi sebelumnya. Tujuannya adalah untuk mengetahui sejauh mana keakuratan alat yang digunakan serta untuk mengoreksi bila terjadi deviasi atau penyimpangan.

Sistem diatur untuk menghasilkan tegangan tinggi pada berbagai nilai (sekitar 150V hingga 600V). Untuk setiap titik tegangan, nilai output dibaca melalui TFT (hasil dari pembacaan ADC ADS1115). Pada saat yang sama, tegangan diukur langsung menggunakan multimeter sebagai referensi standar. Selisih antara keduanya digunakan untuk menghitung penyimpangan (%), kemudian digunakan untuk menghitung akurasi (%).

Tabel 4. 7 Kalibrasi High Voltage

No	Tegangan Terbaca (Volt)		Penyimpangan	Akurasi
	TFT	Multimeter		
1.	611,11	608	0,5%	99,5%
2.	533,02	538	0,9%	99,1%
3.	435,74	447,5	2%	98%
4.	327,64	338,5	3%	97%
5.	208,11	222,1	6%	94%
6.	190,5	202,9	6%	94%
7.	174,76	189,3	7%	93%
8.	149,28	163	8%	92%
9.	147,35	162,5	9%	91%

Contoh Perhitungan Kalibrasi:

- a. Tegangan Terbaca di TFT: 611,11 V
- b. Tegangan Terbaca di multimeter: 608 V

$$\text{Penyimpangan} = \frac{\text{Tegangan Terbaca (TFT)} - \text{Tegangan Aktual (Multimeter)}}{\text{Tegangan Aktual (Multimeter)}} \times 100\%$$

$$\text{Penyimpangan} = \frac{611,11 - 608}{608} \times 100\% = 0,51\%$$

$$\text{Akurasi} = 100\% - \text{Penyimpangan} = 100\% - 0,51\% = 99,49\%$$

4.2. Pembahasan

4.2.1 Pembahasan Pembuatan Sistem High Voltage

Sistem tegangan tinggi (high voltage) merupakan salah satu komponen krusial dalam prototipe pencacah radiasi karena berfungsi sebagai catu daya utama bagi detektor Geiger-Muller (GM). Detektor GM memerlukan tegangan tinggi dalam rentang kerja tertentu (biasanya 200–600 Volt DC) untuk dapat beroperasi secara optimal dan menghasilkan pulsa sebagai respon terhadap radiasi. Tegangan tinggi yang diberikan akan menciptakan medan listrik kuat di dalam tabung GM, memungkinkan terjadinya ionisasi gas saat partikel radiasi masuk.

Mekanisme Rangkaian tegangan tinggi pada penelitian ini dirancang menggunakan sistem DC-DC converter berbasis modul EMCO F15, yang memiliki kemampuan menaikkan tegangan input DC rendah (sekitar 1,5V – 4,2V) menjadi tegangan tinggi hingga 600V DC. Sistem ini terdiri dari beberapa bagian utama yang bekerja secara terintegrasi, yaitu Sumber Tegangan DC. Sistem menggunakan power supply 5V sebagai sumber utama. Tegangan ini kemudian dinaikkan menggunakan DC-DC step-up converter hingga 12V. Langkah ini diperlukan karena modul EMCO tidak bisa langsung diberi input 5V jika ingin mencapai output optimal. Kemudian DC-DC Step Down Setelah mendapat 12V dari step-up converter, tegangan ini diturunkan kembali menggunakan step-down menjadi sekitar 1,5 – 4,2V. Nilai tegangan ini sangat penting karena menjadi input langsung ke modul EMCO F15. Modul EMCO F15 (DC to HV Converter) Modul ini menerima tegangan input rendah (1,5–4,2V DC) dan mengubahnya menjadi tegangan tinggi output di kisaran 200–600V DC., yang kemudian disearahkan dan difilter sehingga menghasilkan tegangan tinggi DC yang stabil oleh rangkaian Pembagi Tegangan, karena tegangan output EMCO mencapai ratusan volt maka untuk mengukur dan membaca nilai ini secara aman oleh sistem digital (ESP32), digunakan rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian ini menggunakan dua resistor bernilai tinggi, 1M/2 Watt dan 6K8/ 2 Watt. Tegangan output dibagi secara proporsional agar turun hingga di bawah 5V dengan batas aman untuk dibaca oleh ADS1115. Pembacaan oleh ADS1115 (ADC 16-bit) Tegangan yang sudah dikurangi oleh pembagi tegangan kemudian dibaca oleh modul ADS1115. Modul ini terhubung ke ESP32 melalui komunikasi I2C. Data digital dari ADS1115 mencerminkan nilai analog tegangan tinggi setelah konversi. Nilai ini ditampilkan

pada layar TFT untuk memudahkan pengguna mengetahui level HV secara real-time. Mekanisme Kontrol Manual dan Otomatis Sistem tegangan tinggi ini mendukung dua mode pengaturan Manual Tegangan dikendalikan secara langsung dengan memutar potensiometer. Tegangan output bisa diukur dengan voltmeter atau dilihat pada tampilan TFT setelah pembacaan oleh ADS1115. Untuk yang otomatis ESP32 mengontrol nilai tegangan input ke EMCO dengan memberikan sinyal digital ke DAC MCP4725. Sinyal ini diubah menjadi tegangan analog yang disesuaikan agar output EMCO mencapai tegangan target tertentu. Pengaturan ini mengatur tegangan kerja detektor tanpa memutar potensiometer, cukup melalui input digital atau nilai yang ditentukan pada program.

Stabilitas Tegangan Output Hasil pengujian sistem tegangan tinggi menunjukkan bahwa output tegangan EMCO F15 meningkat secara linier terhadap input DC. Hal ini diperlihatkan dalam Tabel 4.1, di mana setiap peningkatan input (V_{in}) menghasilkan output (V_{out}) yang konsisten dan sesuai ekspektasi. Stabilitas ini penting karena Tegangan yang terlalu rendah akan menyebabkan detektor GM tidak menghasilkan pulsa. Tegangan terlalu tinggi bisa menyebabkan overshoot atau pelepasan muatan yang merusak tabung GM.

Sistem juga menunjukkan tidak adanya lonjakan tegangan saat perubahan nilai dilakukan secara bertahap, yang menandakan bahwa rangkaian EMCO telah bekerja secara harmonis dengan kontrol yang halus dan stabil. Keamanan dan Proteksi Karena sistem ini menangani tegangan tinggi, maka aspek keamanan juga diperhatikan Pembagi tegangan menggunakan resistor nilai tinggi untuk meminimalkan arus. Tegangan yang ditampilkan pada layar TFT berdasarkan pembacaan ADC memungkinkan mengetahui secara pasti kondisi HV yang sedang

berjalan. Sistem HV yang dirancang dalam penelitian ini mampu bekerja dalam dua manual menggunakan potensio namun mampu diperintah secara otomatis menggunakan software..

Pada awal program, dilakukan pemanggilan pustaka (library) yang dibutuhkan untuk mendukung fungsionalitas perangkat keras eksternal yang digunakan dalam sistem.

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1X15.h>
#include <Adafruit_MCP4725.h>
#include <ESP32Servo.h>
```

Selanjutnya, program mendeklarasikan jalur komunikasi I2C dengan define kemudian dilanjutkan dengan objek yang akan digunakan, objek `adc1` dan `dac1` mewakili perangkat ADS1115 dan MCP4725, sedangkan `myServo` digunakan untuk mengatur servo motor yang menunjukkan posisi tegangan.

```
Adafruit_ADS1115 adc1;
Adafruit_MCP4725 dac1;
Servo myServo;
```

Fungsi `setup()` merupakan bagian dari program yang dijalankan satu kali saat ESP32 menyala atau di-reset.

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  SerialBT.begin("ESP32 CANTIK"); //Bluetooth device name

  // Initialize MCP4725
  //dac_1.begin(0x60); //Address of MCP4725 with A0
  //connected to ground
  dac1.begin();
  dac1.begin(0x60); // Alamat default MCP4725

  // Initialize ADS1115
  adc1.begin(0x48); //Address of ADS1115 with Address
  //pin connected to ground
  adc1.setGain(GAIN_TWOTHIRDS); //Set gain
  //=====
  myServo.attach(15);
}
```

Perintah `Serial.begin(115200)` membuka jalur komunikasi serial antara ESP32 dan komputer. Fungsi `begin()` pada masing-masing perangkat menetapkan alamat I2C-nya: `0x60` untuk DAC dan `0x48` untuk ADC. Nilai gain `GAIN_TWOTHIRDS` pada ADC memungkinkan pembacaan tegangan dengan rentang hingga $\pm 6.144\text{V}$, yang cocok digunakan karena output dari pembagi tegangan berada dalam kisaran ini. Servo motor dihubungkan ke pin 15 dan siap untuk digerakkan sesuai nilai tegangan.

Dalam mode otomatis, pengguna dapat mengirim nilai tegangan yang diinginkan melalui serial (dalam satuan milivolt). Program akan mengubah nilai tersebut menjadi sinyal digital 12-bit (0–4095) untuk dikirim ke DAC

```
if (Serial.available()) {
  String input = Serial.readStringUntil('\n');// Baca input
  sampai newline
  //String input = Serial.readString();
  input.trim(); // Hapus spasi atau karakter aneh
  int mV = input.toInt();

  if (mV >= 0 && mV <= 5000) {
    int dacValue = round((mV / 5000.0) * 4095);
    dac1.setVoltage(dacValue, false);
    //dac1.setVoltage(0, false);
    currentVoltage = dacValue;
    vInput = mV;
    // int adc_3 = adc1.readADC_SingleEnded(3); // A3
    ADS1115
    servoAngle = map(vInput, 0, 5000, 180, 0);
    myServo.write(servoAngle);
  }
}
```

Dengan cara ini, DAC MCP4725 mengeluarkan tegangan analog yang merepresentasikan tegangan tinggi yang diinginkan. Sudut servo disesuaikan dengan nilai tersebut sebagai indikator visual. Misalnya, 5000 mV ditampilkan sebagai sudut 180° , dan 0 mV sebagai 0° .

Jika memilih untuk mengatur tegangan tinggi menggunakan potensiometer, maka bagian kode pengiriman ke DAC tidak dijalankan. Dalam mode ini,

potensiometer secara langsung mengatur tegangan tinggi pada hardware, dan ESP32 hanya membaca nilai aktualnya melalui ADC.

Untuk mendapatkan nilai tegangan HV aktual, hasil pembacaan dari ADC (volts0) dikalibrasi menggunakan persamaan linier berdasarkan konfigurasi pembagi tegangan dan hasil pengukuran menggunakan multimeter.

```
void displayValues() {
    //Clear previous values
    tft.fillRect(150, 120, 100, 60, TFT_BLACK);
    tft.setCursor(150, 150);
    tft.setTextColor(TFT_WHITE, TFT_BLACK);
    //tft.println(((volts0*302)+170), 2); // Display voltage
    tft.println((volts0*140.123), 2); // Display voltage
}
```

Nilai 302 adalah faktor skala, dan 170 adalah offset, keduanya ditentukan dari proses kalibrasi empiris dengan membandingkan data dari TFT dan multimeter. Hasil ini kemudian ditampilkan di layar TFT.

4.2.2. Pembahasan Pembuatan Sistem Timer

Sistem timer pada prototipe pencacah radiasi berfungsi untuk menentukan durasi waktu pencacahan pulsa dari detektor Geiger-Muller. Pengaturan waktu ini sangat penting karena berkaitan langsung dengan akurasi hasil pengukuran dalam satuan waktu tertentu, yaitu Counts Per Second (CPS). Dalam sistem ini, tiga durasi waktu telah disediakan, yaitu 1 menit, 3 menit, dan 5 menit. Pemilihan waktu dilakukan menggunakan komponen rotary switch yang terhubung ke input analog ESP32. Sementara itu, tombol digunakan untuk mengendalikan jalannya proses pencacahan tombol Start, Stop, dan Reset, masing-masing memiliki peran dan logika kerja yang spesifik.

Mekanisme Kerja Tombol Setiap tombol pada sistem ini terhubung ke pin GPIO dari mikrokontroler ESP32. Tombol-tombol tersebut bekerja menggunakan prinsip

pull-down atau pull-up logic, di mana saat tombol ditekan, terjadi perubahan logika input dari LOW ke HIGH (0 ke 1), atau sebaliknya tergantung konfigurasi rangkaian.

Tombol Start (GPIO D14) Tombol Start digunakan untuk memulai proses pencacahan berdasarkan durasi waktu yang telah dipilih melalui rotary switch. Saat tombol ini ditekan, sinyal dari tombol yang semula dalam kondisi LOW (0V) akan berubah menjadi HIGH (3.3V) karena rangkaian disusun dengan internal pull-up resistor pada mikrokontroler. ESP32 mendeteksi kondisi HIGH ini sebagai sinyal untuk memulai program pencacahan. LED indikator (terhubung ke GPIO lain, D25) akan menyala sebagai tanda bahwa proses pencacahan sedang berlangsung. Pada saat bersamaan, timer internal ESP32 mulai menghitung berdasarkan `millis()`. Pulsa dari detektor Geiger-Muller mulai dihitung dan ditampilkan secara real-time di layar TFT.

Tombol Stop (GPIO D12) Tombol ini berfungsi untuk menghentikan pencacahan sebelum waktu habis, jika diperlukan. Saat ditekan, kondisi input pada GPIO D12 berubah dari LOW ke HIGH, yang akan dikenali oleh ESP32 sebagai perintah untuk menghentikan proses pencacahan. Meskipun pencacahan dihentikan, data yang telah dihitung tetap ditampilkan pada layar TFT dan tidak direset, sesuai dengan desain sistem. LED indikator "STOP" (GPIO D4) akan menyala untuk menunjukkan bahwa proses telah dihentikan secara manual oleh pengguna.

Tombol Reset (GPIO D13) Tombol ini berfungsi untuk mengatur ulang sistem. Saat tombol ditekan, input pin D13 berubah menjadi HIGH. ESP32 akan menjalankan logika reset Mengatur ulang nilai cacahan menjadi nol. Integrasi

Rotary Switch dan Timer Rotary switch terhubung ke tiga pin input analog (misalnya D32, D33, D35). Posisi mekanis dari rotary switch menentukan jalur yang aktif dan akan memberikan sinyal HIGH ke salah satu pin tersebut.

1. Jika D33 HIGH → sistem memilih timer 1 menit
2. Jika D32 HIGH → sistem memilih timer 3 menit
3. Jika D35 HIGH → sistem memilih timer 5 menit

Logika ini dibaca dalam loop utama program, dan ESP32 menyimpan nilai durasi dalam variabel timer yang akan digunakan saat tombol Start ditekan.

1. Respons Sistem Setelah tombol Start ditekan:
 - a. Waktu mulai dihitung.
 - b. Pulsa dari detektor dihitung satu per satu melalui interrupt atau polling.
 - c. Setelah waktu habis, buzzer (terhubung ke GPIO D2) aktif selama beberapa detik sebagai tanda pencacahan selesai.
2. Respons Sistem Setelah tombol Stop ditekan :
 - a. Timer berhenti.
 - b. Pencacahan tidak bertambah.
 - c. LED indikator menunjukkan status berhenti (Stop).
 - d. Nilai terakhir tetap tampil di layar.
3. Respons Sistem Setelah tombol Reset ditekan :
 - a. Cacahan dimulai dari nol

Untuk memahami cara kerja sistem timer yang telah dirancang, berikut ini disajikan penjelasan struktur program secara keseluruhan, termasuk fungsi-fungsi utama, logika pemrograman, serta peran masing-masing bagian dalam proses pencacahan.

```

#define TIMER_1MIN 12 // Pin untuk memilih 1 menit
#define TIMER_3MIN 13 // Pin untuk memilih 3 menit
#define TIMER_5MIN 14 // Pin untuk memilih 5 menit
#define START_BUTTON 27 // Tombol Start
#define STOP_BUTTON 26 // Tombol Stop
#define OUTPUT_PIN 25 // Pin Output Timer
#define LED_PIN 15 // LED Indikator Timer Aktif
#define BUZZER_PIN 2 // Buzzer
#define LED_STOP 4 // LED Indikator STOP

unsigned long timerDuration = 0;
unsigned long startTime = 0;
bool timerRunning = false;

unsigned long lastStartPress = 0;
unsigned long lastStopPress = 0;
const int debounceDelay = 50; // Debounce 50ms

```

Pada bagian awal, ditentukan pin yang digunakan untuk tombol pilihan waktu, tombol start, stop, output, LED, dan buzzer dengan mendefinisikan menggunakan `#define` dan pin yang digunakan. Selain itu, disiapkan juga variabel logika untuk menangani waktu mulai, durasi timer, status timer, dan debounce tombol. Variabel *timerDuration* menyimpan berapa lama timer akan berjalan, Variabel ini akan menyimpan durasi timer yang dipilih dalam satuan milidetik (1 detik = 1000 milidetik). Misalnya, kalau memilih 1 menit, maka nilainya akan di set jadi 60000 milidetik. `timerDuration = 0` Agar timer tidak mulai menghitung sebelum memilih durasi. Sedangkan *timerRunning* menjadi indikator apakah timer sedang aktif. `timerRunning = 0` karena saat program baru mulai timer belum dijalankan. `bool timerRunning = false` Artinya variabel `timerRunning` adalah penanda kondisi timer, apakah sedang berjalan (`true`) atau tidak berjalan (`false`). `lastStartPress` dan `lastStopPress` Menyimpan waktu terakhir kali tombol Start dan Stop ditekan. Ini dipakai untuk memastikan program tidak merespon tombol yang sama berkali-kali hanya karena bouncing. `debounceDelay (50ms)` artinya waktu minimal (50 milidetik) harus berlalu sebelum program mau menerima input tombol

berikutnya. Jadi jika tombol ditekan dan sinyal naik-turun karena bouncing, selama 50ms ini program mengabaikan perubahan sinyal itu.

```
void setup()
{
  pinMode(TIMER_1MIN, INPUT_PULLDOWN);
  pinMode(TIMER_3MIN, INPUT_PULLDOWN);
  pinMode(TIMER_5MIN, INPUT_PULLDOWN);
  pinMode(START_BUTTON, INPUT_PULLDOWN);
  pinMode(STOP_BUTTON, INPUT_PULLDOWN);
  pinMode(OUTPUT_PIN, OUTPUT);
  pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
  pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
  pinMode(LED_STOP, OUTPUT);

  digitalWrite(OUTPUT_PIN, LOW);
  digitalWrite(LED_PIN, LOW);
  digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
  digitalWrite(LED_STOP, LOW);
}
```

Fungsi void setup() adalah Fungsi ini dijalankan sekali saja saat perangkat mulai dinyalakan atau di-reset. Biasanya digunakan untuk melakukan pengaturan awal seperti menentukan jenis pin, keadaan awal pin, komunikasi serial, dll. Fungsi pinMode mengatur bagaimana sebuah pin GPIO akan digunakan, apakah sebagai input atau output. Pada pin input diatur sebagai input dengan pull-down resistor. Karena ini pin tombol/timer pilihan, ketika tombol tidak ditekan, pin ini LOW. Ketika tombol ditekan, pin ini akan jadi HIGH. Pada pin output diinisialisasi agar dalam keadaan mati/LOW pada awalnya. Jadi saat perangkat mulai, LED indikator, buzzer, dan output lain dalam kondisi mati dulu.

```
void loop()
{
  unsigned long currentMillis = millis();

  // Debounce tombol START
  if (digitalRead(START_BUTTON) == HIGH && (currentMillis -
  lastStartPress > debounceDelay)) {
    lastStartPress = currentMillis;
  }
}
```

Void loop adalah fungsi utama yang akan terus berulang setelah setup() selesai dijalankan. loop() ini akan berjalan terus-menerus. millis() adalah fungsi yang mengembalikan waktu dalam milidetik sejak mulai menyala. Nilainya akan terus bertambah setiap milidetik. currentMillis dipakai untuk mencatat waktu saat ini, supaya kita bisa membandingkan waktu-waktu sebelumnya dan sekarang, seperti \square currentMillis = waktu sekarang sedangkan lastStartPress = waktu terakhir tombol ditekan maka dapat dibandingkan. digitalRead(START_BUTTON) == HIGH berarti tombol START ditekan (karena tombol diberi logika HIGH saat ditekan). currentMillis - lastStartPress > debounceDelay adalah jika jeda waktu antara penekanan terakhir dan sekarang lebih besar dari 50 ms (debounceDelay), maka dianggap penekanan yang valid. Ini untuk menghindari pembacaan ganda. Setelah valid, waktu lastStartPress diperbarui dengan waktu saat ini.

Pada fungsi ini digunakan untuk mengecek tombol durasi waktu mana yang ditekan:

- a. Jika tombol 1 menit ditekan: timerDuration = 60 detik x 1000 ms = 60.000 ms.
- b. Jika tombol 3 menit ditekan: timerDuration = 180.000 ms.
- c. Jika tombol 5 menit ditekan: timerDuration = 300.000 ms.
- d. Jika tidak ada yang ditekan, timerDuration diset ke 0 → artinya tidak ada timer yang harus dijalankan.

Sedangkan Ketika timerDuration valid (> 0 ms), maka:

- a. OUTPUT_PIN dinyalakan
- b. LED_PIN dinyalakan sebagai indikator bahwa timer aktif.

- c. LED_STOP dimatikan (sebagai penanda bahwa sistem tidak dalam mode stop).
- d. startTime dicatat sebagai waktu mulai hitung mundur (pakai millis()).
- e. timerRunning di set ke true, menandakan bahwa sistem sedang dalam mode hitung waktu.

Pengujian dilakukan untuk mengecek apakah waktu dari sistem sesuai dengan waktu sebenarnya. Caranya, stopwatch dinyalakan bersamaan dengan menekan tombol start. Saat sistem selesai dan buzzer berbunyi, stopwatch dihentikan, lalu dibandingkan waktunya. Hasilnya menunjukkan bahwa waktu dari sistem sama persis dengan stopwatch, tanpa ada selisih. Ini menunjukkan bahwa timer pada sistem sudah berjalan dengan akurat dan sesuai dengan pengaturan yang diinginkan. Dengan adanya sistem timer ini, proses pencacahan dapat berjalan lebih terkontrol dan hasil yang diperoleh menjadi lebih akurat, karena durasi pencacahan telah ditentukan dan dikendalikan secara otomatis.

4.2.2 Pembahasan Implementasi ESP32 dengan MCP4725 dan ADS1115

Pada tahap implementasi ini, ESP32 berfungsi sebagai unit pemroses pusat yang mengatur seluruh proses pencacahan radiasi dalam sistem. Dua komponen penting yang terintegrasi dengan ESP32 adalah:

1. MCP4725 (DAC - Digital to Analog Converter)

MCP4725 digunakan untuk menghasilkan sinyal analog dari data digital yang dikirim oleh ESP32. Sinyal analog ini berguna untuk mengatur posisi servo motor yang berperan dalam pengaturan otomatis tegangan tinggi (High Voltage) pada detektor Geiger-Muller. Dalam konteks interaksi sensor dan radiasi, pengaturan tegangan tinggi ini sangat krusial karena:

- a. Detektor Geiger-Muller hanya dapat bekerja optimal dalam rentang tegangan tertentu (biasanya 350V–600V).
- b. Tegangan yang terlalu rendah akan menyebabkan detektor gagal mengionisasi gas, sehingga tidak mampu mendeteksi radiasi.
- c. Tegangan yang terlalu tinggi dapat merusak detektor dan menimbulkan noise (cacahan palsu).

Oleh karena itu, dengan MCP4725, sistem dapat menyesuaikan output tegangan secara presisi dan dinamis sesuai kebutuhan deteksi.

2. ADS1115 (ADC - Analog to Digital Converter)

ADS1115 digunakan untuk membaca tegangan tinggi yang telah dikondisikan (melalui pembagi tegangan) agar aman diukur oleh ESP32. Modul ini memiliki resolusi tinggi (16-bit) sehingga dapat membaca perubahan kecil dalam tegangan dan memberikan data yang akurat. Akurasi ini penting untuk:

1. Memastikan bahwa tegangan kerja berada pada zona plateau detektor GM, yaitu rentang tegangan yang menghasilkan cacahan stabil.
2. Menjaga kestabilan sistem deteksi agar hasil cacahan radiasi sesuai dengan kondisi paparan yang sebenarnya.

Interaksi Sensor dan Radiasi dengan Detektor yaitu Detektor Geiger-Muller berfungsi untuk menangkap partikel radiasi (seperti gamma) yang menyebabkan ionisasi gas dalam tabung detektor. Ionisasi ini menghasilkan pulsa listrik. Pulsa kemudian diolah oleh sistem elektronik dan dihitung sebagai data cacahan. Peran ESP32 dalam sistem ini adalah:

1. Menghitung jumlah pulsa dari detektor dalam waktu tertentu (menggunakan timer internal).

2. Mengatur waktu pencacahan berdasarkan input dari pengguna (1, 3, atau 5 menit).
3. Menyimpan dan menampilkan hasil cacahan, tegangan, dan status sistem pada layar TFT ILI9488.

Ketiga modul utama ESP32, MCP4725, dan ADS1115 bekerja untuk menjamin bahwa informasi cacahan ditampilkan secara real-time dan presisi di layar. Implementasi ESP32 dengan MCP4725 dan ADS1115 berhasil meningkatkan efisiensi, presisi, dan kestabilan dalam sistem pencacahan radiasi berbasis detektor Geiger-Muller. Dengan integrasi ini, sistem mampu mendeteksi interaksi antara radiasi dan sensor secara real-time, mengontrol tegangan kerja secara dinamis, dan memberikan informasi yang akurat melalui antarmuka pengguna yang informatif.

Inisialisasi ESP32 dalam Program yaitu dimulai pada awal program dilakukan inisialisasi library dan objek yang akan digunakan untuk mengakses fitur dari ADC dan DAC. Memasukkan `#include` yang berfungsi untuk memasukkan file header atau pustaka (library) agar fungsi, kelas, dan definisi di dalamnya bisa digunakan dalam program.

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1X15.h>
#include <Adafruit_MCP4725.h>
```

a. `#include <Wire.h>`

Digunakan untuk komunikasi I2C. Biasanya digunakan untuk komunikasi dengan sensor, modul ADC, DAC, atau layar yang menggunakan protokol I2C.

b. `#include <Adafruit_ADS1X15.h>`

Ini memasukkan pustaka Adafruit untuk modul ADC (Analog to Digital Converter) tipe ADS1115, yang berkomunikasi via I2C.

c. `#include <Adafruit_MCP4725.h>`

Memasukkan pustaka untuk modul DAC MCP4725, juga menggunakan I2C. Setelah library dimasukkan, objek dibuat agar ESP32 bisa berkomunikasi dengan modul maka digunakan kode Adafruit_ADS1115 adc1 (Objek ADC) dan Adafruit_MCP4725 dac1 (Objek DAC).

Setelah memasukkan Pustaka modul Di dalam fungsi setup(), dilakukan konfigurasi awal komunikasi I2C serta pengaturan parameter dasar:

```
// Initialize MCP4725
//dac_1.begin(0x60); //Address of MCP4725 with A0 connected to
ground
dac1.begin();
dac1.begin(0x60);    // Alamat default MCP4725

// Initialize ADS1115
adc1.begin(0x48);    //Address of ADS1115 with Address pin
connected to ground
adc1.setGain(GAIN_TWOTHIRDS); //Set gain
```

Dilakukan inisialisasi modul untuk menyiapkan ADS1115 untuk membaca tegangan yang berasal dari sistem HV (high voltage), dan menyiapkan MCP4725 untuk mengeluarkan tegangan analog yang akan mengontrol sumber HV. Komunikasi ini dilakukan melalui protokol I2C, menggunakan pin SDA (GPIO 21) dan SCL (GPIO 22) pada ESP32.

4.2.3 Pembahasan Hasil Integrasi Program dengan Display TFT ILI9488

Sistem tampilan pada prototipe pencacah radiasi ini menggunakan modul LCD TFT ILI9488 berukuran 3.5 inci dengan resolusi 80 x 320 piksel dan antarmuka komunikasi SPI (Serial Peripheral Interface). Layar ini berfungsi sebagai media visual utama untuk menampilkan seluruh informasi penting terkait proses pencacahan radiasi, tegangan tinggi, status sistem, dan durasi timer. Kehadiran layar TFT ini menjadikan perangkat bersifat mandiri tanpa bergantung pada komputer sebagai media pemantau atau pengendali.

Mekanisme Koneksi dan Komunikasi Layar TFT ILI9488 bekerja berdasarkan komunikasi SPI 4-kabel dengan ESP32. Protokol SPI digunakan karena mampu mentransmisikan data dengan kecepatan tinggi dan stabil, serta cocok untuk tampilan grafis yang membutuhkan pemrosesan cepat. Berikut adalah koneksi utama antara TFT ILI9488 dan ESP32:

1. SCK (Clock) → GPIO 23
2. MOSI (SDI) → GPIO 18
3. CS (Chip Select) → GPIO 16
4. DC (Data/Command) → GPIO 5
5. RST (Reset) → GPIO 17
6. VCC dan GND → 3.3V dan GND ESP32

Setelah koneksi secara fisik dihubungkan, program inisialisasi dilakukan pada bagian setup di dalam Arduino IDE. Library TFT_eSPI digunakan untuk mengatur konfigurasi pin dan komunikasi, serta menyediakan fungsi untuk menggambar teks, garis, kotak, dan objek visual lainnya di layar. Desain Tampilan dan Fungsionalitas Tampilan pada layar TFT dibagi menjadi beberapa area informasi, masing-masing menampilkan elemen berikut:

1. Nilai Tegangan Tinggi (High Voltage - HV) Data ini berasal dari pembacaan ADC (ADS1115) yang telah mengukur output dari pembagi tegangan. Nilai ini dikonversi ke satuan volt dan ditampilkan secara real-time pada layar TFT .
2. Jumlah Cacahan (Count) Nilai ini diambil dari hasil pencacahan pulsa oleh ESP32. Pulsa dihitung berdasarkan sinyal digital dari detektor GM.

3. Durasi Timer Waktu pencacahan (1, 3, atau 5 menit) yang dipilih melalui rotary switch ditampilkan pada layar agar pengguna tahu waktu yang sedang berjalan.
4. Status Sistem (Start / Stop / Reset) Sistem menampilkan status operasional sesuai led yang menyala.

Alur Kerja Sistem Display dimulai dari:

1. Inisialisasi Layar Saat ESP32 dinyalakan, fungsi `tft.begin()` dan `tft.setRotation()` dipanggil untuk mempersiapkan tampilan. Kemudian dilakukan proses `fillScreen(BLACK)` untuk menghapus layar dan menampilkan antarmuka awal.
2. Pengambilan dan Pemrosesan Data
 1. Data tegangan dibaca dari ADS1115 → dikonversi → ditampilkan di bagian “HV”.
 2. Data cacahan dihitung dari sinyal detektor → variabel counter meningkat → ditampilkan di bagian “CACAH”.
 3. Input rotary switch dibaca → waktu pencacahan disimpan → ditampilkan di bagian “TIMER”.
 4. Tombol Start/Stop/Reset dibaca → status sistem diubah → ditampilkan di bagian “STATUS”.
3. Pembaruan Real-Time Selama proses pencacahan berlangsung, semua elemen layar diperbarui menggunakan fungsi seperti `tft.setCursor()`, `tft.setTextColor()`, `tft.print()`, atau `tft.fillRect()` untuk menyegarkan bagian layar tertentu tanpa mengganggu seluruh tampilan.

4. Penanganan Kesalahan dan Refresh Dinamis Untuk menghindari tampilan nilai yang tumpang tindih, program menambahkan penghapusan bagian angka lama sebelum menulis nilai baru (dengan `tft.fillRect()` kecil). Hal ini penting karena nilai seperti tegangan dan cacahan berubah secara terus-menerus.

4.2.4 Pembahasan Hasil Pembuatan Modul Signal Conditioning

Rancangan sistem pencacah radiasi berbasis detektor Geiger-Müller berhasil dikembangkan dan diimplementasikan menggunakan kombinasi antara rangkaian signal conditioning dan pemrograman mikrokontroler ESP32. Modul signal conditioning memiliki peran penting karena berfungsi sebagai pengubah pulsa analog bertegangan tinggi dari detektor menjadi sinyal digital TTL (Transistor-Transistor Logic) yang dapat diproses oleh sistem digital. Detektor Geiger-Müller menghasilkan pulsa tegangan tinggi yang sangat singkat (berdurasi mikrodetik) saat mendeteksi partikel radiasi. Sinyal ini tidak dapat langsung masuk ke mikrokontroler karena memiliki karakteristik yang tidak sesuai dengan logika digital dan berisiko merusak input ESP32. Oleh karena itu, diperlukan sistem kondisioning sinyal untuk menyesuaikan bentuk dan level tegangan sinyal.

Sinyal yang dihasilkan oleh detektor terlebih dahulu diturunkan tegangannya melalui pembagi tegangan dan dilindungi dengan kapasitor kopling untuk mengurangi lonjakan tegangan dan noise. Selanjutnya, sinyal diperkuat menggunakan transistor BC547 agar arusnya cukup kuat untuk diolah lebih lanjut. Setelah diperkuat, sinyal dibentuk menjadi pulsa digital dengan level logika yang stabil menggunakan IC CD4093 yang berisi empat gerbang logika NAND dengan karakteristik Schmitt Trigger. Komponen ini membantu menstabilkan tepi sinyal

dan menghasilkan bentuk pulsa kotak yang bersih. Hasil keluaran dari modul ini berupa pulsa logika TTL (0–5 V) yang kemudian dikirimkan ke pin GPIO4 pada ESP32.

Di sisi perangkat lunak, pin GPIO4 dikonfigurasi sebagai input interrupt dengan fungsi `attachInterrupt()`, yang memungkinkan ESP32 menghitung setiap pulsa secara real-time, bahkan saat mikrokontroler menjalankan tugas lainnya. Penghitungan pulsa dilakukan hanya jika sistem berada dalam kondisi aktif (status `isCounting = true`), yang dikendalikan berdasarkan masukan dari rotary switch dan sistem timer. Berikut cuplikan program utama untuk menangani pencacahan menggunakan interrupt:

```
void IRAM_ATTR handleInterrupt() {  
    if (isCounting) {  
        pulseCount++;  
    }  
}
```

Pulsa-pulsa yang tercatat dihitung dalam satuan waktu tertentu (setiap 1 detik) dan dikonversi menjadi nilai frekuensi dalam satuan Count Per Second (CPS). Nilai CPS dihitung berdasarkan jumlah pulsa per detik menggunakan rumus $\text{frequency} = \text{pulseCount} * 1000.0 / \text{intervalFreq}$. Nilai tersebut kemudian ditambahkan ke variabel `currentCount`, yang menyimpan total jumlah cacahan selama durasi pencacahan berlangsung. Proses pencacahan akan berjalan selama waktu yang dipilih melalui rotary switch, yaitu 1 menit, 3 menit, atau 5 menit. Program akan menghentikan pencacahan secara otomatis jika waktu pencacahan telah habis berdasarkan fungsi `millis()`.

Dengan alur kerja yang terintegrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak, proses dari pembentukan sinyal hingga menjadi data digital dapat terjadi ketika radiasi masuk ke tabung detektor, maka akan menghasilkan pulsa listrik

bertegangan tinggi. Pulsa tersebut diproses oleh modul signal conditioning untuk diturunkan tegangannya, diperkuat, lalu dibentuk menjadi sinyal logika digital TTL. Pulsa digital ini kemudian masuk ke pin interrupt pada ESP32 dan dihitung sebagai satu unit cacahan. Program selanjutnya menghitung frekuensi pulsa, menampilkannya dalam bentuk numerik pada layar, serta menyimpannya sebagai data jumlah total radiasi yang terdeteksi selama waktu tertentu.

```
tft.setCursor(150, 100);  
tft.setTextColor(TFT_WHITE, TFT_BLACK);  
int frequencyInt = (int)frequency;  
tft.println(frequencyInt);
```

Secara keseluruhan, sistem signal conditioning dan logika program berhasil bekerja dengan baik, menghasilkan performa pencacahan yang akurat, stabil, dan sesuai dengan kebutuhan monitoring radiasi berbasis detektor Geiger-Müller SI-180G.

4.2.5 Pembahasan Hasil Rancangan secara keseluruhan

Rancangan sistem pencacah radiasi berbasis detektor Geiger-Müller SI-180G berhasil dikembangkan dan diuji secara menyeluruh dengan hasil yang memuaskan. Seluruh komponen utama seperti modul tegangan tinggi, pengaturan timer, mikrokontroler ESP32, dan tampilan TFT ILI9488 telah terintegrasi dan berfungsi sesuai harapan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu mendeteksi dan mencacah radiasi gamma dengan ketelitian yang cukup tinggi serta menunjukkan performa yang stabil.

Hasil uji cacahan menunjukkan hubungan yang konsisten antara jarak sumber radiasi terhadap detektor dan laju cacahan yang terukur. Semakin dekat jarak, semakin tinggi nilai laju cacah (cps) yang dideteksi. Misalnya, pada jarak 1 cm, diperoleh laju cacah rata-rata sekitar 458 cps, sedangkan pada jarak 4 cm turun

menjadi sekitar 53 cps. Hal ini menunjukkan sensitivitas sistem terhadap variasi intensitas radiasi, sejalan dengan prinsip fisika di mana intensitas radiasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari sumber . Hasil pengujian ini sejalan dengan hasil penelitian (Hilyana, 2017), yang menunjukkan bahwa rentang tegangan kerja efektif pada detektor Geiger-Müller berkisar antara 400 hingga 500 V, tergantung karakteristik tabung dan rangkaian catu dayanya. Pada penelitian ini, tegangan kerja optimal sebesar 426,7 V berada dalam rentang tersebut . Slope plateau sebesar 14,14% per 100 V memang masih lebih tinggi dibandingkan idealnya (<10%), tetapi masih dapat diterima sebagaimana dijelaskan pula oleh (Hilyana, 2017), bahwa deviasi nilai slope dapat dipengaruhi oleh faktor prototipe rangkaian dan kestabilan HV saat pengukuran.

Laju cacahan background yang berkisar antara 38 – 56 cps memperlihatkan bahwa sistem memiliki tingkat deteksi yang cukup rendah terhadap noise lingkungan. Dengan demikian, sinyal dari sumber radiasi dapat dibedakan dengan jelas dari latar belakang, menandakan bahwa sistem ini memiliki selektivitas dan resolusi yang baik terhadap sinyal radiasi. Selain itu, hubungan antara laju cacahan dan jarak sumber terhadap detektor juga sejalan dengan hasil yang dilaporkan oleh (Sayono & Sujitno, 2010), di mana intensitas radiasi menurun tajam seiring bertambahnya jarak, Terbalik. Dalam pengujiannya, laju cacahan menurun drastis pada peningkatan jarak sumber radiasi, sebagaimana juga diamati dalam penelitian ini dari 458 cps pada jarak 1 cm menjadi 53 cps pada jarak 4 cm. Hal ini membuktikan bahwa sistem pencacah yang dikembangkan telah bekerja sesuai prinsip fisika dasar radiasi, serta memiliki sensitivitas yang baik terhadap perubahan intensitas.

Pengujian terhadap tegangan kerja detektor menunjukkan kurva plateau yang signifikan antara 348,24 V hingga 505,18 V, dengan cacahan mulai dari 410 hingga 501 cps. Rentang ini konsisten dengan spesifikasi pabrikan tabung GM SI-180G, yang merekomendasikan tegangan kerja antara 360 – 420 V. Tegangan kerja ideal sistem ditentukan pada 426,7 V, yaitu sekitar sepertiga dari panjang plateau, untuk memastikan kestabilan dan menghindari cacahan palsu akibat overvoltage. Slope plateau sebesar 14,14% per 100 V memang menunjukkan kemiringan lebih tinggi dari spesifikasi pabrikan (0,1% per V), namun masih dapat diterima dalam kondisi pengujian laboratorium prototipe. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem mampu beroperasi dengan akurasi cukup baik, meskipun masih dapat ditingkatkan dari sisi kestabilan sinyal dan noise filtering.

Dari segi hardware dan software, penggunaan ESP32 memberikan fleksibilitas yang tinggi karena mendukung komunikasi I2C dan SPI secara simultan untuk pengendalian MCP4725 (DAC), ADS1115 (ADC), dan TFT ILI9488. Proses pencacahan berhasil ditampilkan secara real-time di layar, disertai fitur timer dan indikator LED yang menjadikan sistem sangat user-friendly dan independen tanpa bantuan komputer eksternal.

Secara keseluruhan, prototipe ini telah memenuhi tujuan utama penelitian merancang sistem pencacah radiasi yang fleksibel, portabel, dan ekonomis, serta dapat dioperasikan di berbagai lingkungan, termasuk di lapangan. Keandalan sistem didukung oleh hasil uji validasi, yang menunjukkan akurasi tinggi pada cacahan dan tegangan kerja, serta kestabilan waktu pencacahan sesuai timer yang diatur.

4.2.6 Pembahasan Kalibrasi

Kalibrasi dilakukan dengan cara membandingkan tegangan yang terbaca pada tampilan TFT dengan tegangan aktual yang diukur menggunakan multimeter digital (voltmeter). Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan (deviasi) antara nilai yang terbaca dan nilai sebenarnya. Kode ini berfungsi untuk menghapus area tampilan sebelumnya dan mencetak ulang nilai tegangan (volts0) yang telah dikalibrasi dengan faktor pengali dan offset

```
tft.fillRect(150, 120, 100, 60, TFT_BLACK);
tft.setCursor(150, 150);
tft.setTextColor(TFT_WHITE, TFT_BLACK);
//tft.println(((volts0*302)+170), 2); // Display voltage
tft.println((volts0*140.123), 2); // Display voltage
```

Dari tabel 4.8 terlihat bahwa pada tegangan tinggi, akurasi sistem pembacaan relatif tinggi dengan penyimpangan kecil, yaitu di bawah 1%. Namun, seiring penurunan nilai tegangan, penyimpangan meningkat hingga mencapai 9% pada pembacaan mendekati 150 V. Hal ini menunjukkan bahwa pada tegangan rendah, pembacaan sistem cenderung kurang akurat dibandingkan pada tegangan tinggi.

Penyimpangan tersebut masih dapat ditoleransi, terutama pada tegangan kerja utama detektor Geiger-Muller yang umumnya berada pada kisaran 400–600 V. Di rentang ini, akurasi pembacaan sistem berada di atas 97%, yang menunjukkan performa cukup baik dan layak untuk digunakan dalam sistem monitoring radiasi.

Secara teknis, perbedaan ini kemungkinan besar disebabkan oleh faktor-faktor seperti:

1. Respon non-linier dari pembagi tegangan (voltage divider),
2. Toleransi komponen resistor,
3. Ketidakakuratan ADC pembaca tegangan,
4. Fluktuasi dari catu daya tegangan tinggi itu sendiri.

4.2.7 Evaluasi Spesifikasi dan Ketelitian Sistem

Berdasarkan hasil yang diperoleh, spesifikasi utama dari prototipe sistem pencacah radiasi ini terdiri dari detektor Geiger-Müller dengan rentang tegangan kerja 200–600 V yang disuplai melalui rangkaian high voltage berbasis EMCO F15. Mikrokontroler ESP32 Devkit V1 digunakan sebagai pusat kendali sistem dengan dukungan ADC 16-bit (ADS1115) dan DAC 12-bit (MCP4725) untuk proses pembacaan serta pengaturan tegangan secara akurat. Sistem dilengkapi tampilan visual TFT ILI9488 dengan resolusi 480x320 piksel yang mampu menampilkan data secara real-time, serta pengaturan waktu pencacahan selama 1, 3, dan 5 menit. Dari hasil pengujian, diperoleh nilai slope sebesar 14%, yang mengindikasikan bahwa detektor masih dapat bekerja dalam rentang tegangan plateau, namun berada sedikit di atas batas ideal yang direkomendasikan, yaitu maksimum 10% berdasarkan standar IAEA. Nilai slope yang melebihi ambang batas ini kemungkinan disebabkan oleh detektor yang sudah terlalu lama sehingga gas di dalamnya tidak murni lagi, atau faktor lingkungan saat pengujian. Meskipun demikian, sistem masih mampu mencacah radiasi dengan konsisten dan menampilkan hasil yang stabil, sehingga dapat dikatakan bahwa sistem prototipe ini cukup layak digunakan, terutama untuk keperluan edukasi atau pemantauan radiasi lapangan.

4.2 Kajian Keislaman

Al-Quran tidak hanya menjadi petunjuk spiritual, tetapi juga mengandung isyarat-isyarat ilmiah yang mendorong manusia untuk berpikir dan meneliti ciptaan-Nya. Salah satu ayat yang menunjukkan hal ini adalah QS. al-Imran: 190–191, yang mengajak manusia untuk merenungkan penciptaan langit dan bumi

sebagai bentuk integrasi antara keimanan dan pemahaman ilmiah terhadap alam semesta. (Hastuti & Syarifah, 2024).

Allah berfirman dalam QS. ali Imran (3):190–191:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ
الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ
رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَطْلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ

“Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan pergantian malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal, (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), ‘Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia. Maha Suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka.’” (QS. ali Imran: 190–191)

Menurut Syaikh Imam al-Qurthubi, Allah SWT memerintahkan manusia untuk memperhatikan, merenungkan, dan menyimpulkan makna dari berbagai tanda kebesaran-Nya yang tersebar di alam semesta. Tanda-tanda tersebut mustahil ada tanpa adanya Sang Pencipta yang Maha Hidup, Maha Suci, Maha Menyelamatkan, dan Maha Kaya yang tidak bergantung pada apa pun di alam semesta. Dengan merenungi hal itu, keimanan seseorang akan berdiri di atas dasar keyakinan yang kokoh dan bukan semata-mata karena mengikuti orang lain. Inilah salah satu tujuan utama dari karunia akal yang diberikan Allah kepada manusia agar dapat digunakan untuk memahami dan menyadari kebesaran serta keesaan-Nya melalui berbagai tanda yang telah Dia tunjukkan.. (Andhini, 2017). Menurut M. Quraish Shihab, *Ulūl-albāb* adalah sebutan bagi orang-orang, baik laki-laki maupun perempuan, yang senantiasa mengingat Allah dalam segala keadaan baik melalui lisan maupun dalam hati. Mereka adalah sosok yang tidak hanya berdzikir, tetapi juga menggunakan akal pikirannya untuk merenungi keagungan ciptaan Allah di

alam semesta. Namun, mereka juga menyadari bahwa kemampuan akal manusia terbatas dan tidak mampu menjangkau hakikat Dzat Allah secara sempurna. (Andhini, 2017). Menurut Ibnu Katsir, Qs.al-Imran 190-191 Allah menjelaskan sebagian kecil dari ciptaan-Nya dan memerintahkan manusia untuk merenunginya. Salah satu bukti bahwa Allah adalah Pemilik alam semesta adalah adanya seruan kepada manusia untuk berpikir. Dalam penciptaan benda-benda langit seperti matahari, bulan, dan jutaan bintang, serta dalam keteraturan sistem langit, rotasi bumi yang menghasilkan pergantian siang dan malam dengan perbedaan durasi, terdapat tanda-tanda kebesaran Allah. Semua ini menjadi pelajaran bagi *ulul albab*, yaitu orang-orang yang memiliki akal yang jernih dan murni. (Sofia, 2021).

Berdasarkan Syaikh Imam al-Qurthubi, M. Quraish Shihab dan Ibnu Katsir dapat disimpulkan bahwa Allah menganugerahkan manusia akal sebagai bentuk hidayah yang harus dimanfaatkan secara bijak. Salah satu fungsi utama akal yang disebutkan dalam ayat tersebut adalah untuk bertafakur, yaitu merenungi ciptaan Allah. Mereka yang menggunakan akalnya untuk mengingat dan memikirkan ciptaan-Nya inilah yang dalam Al-Qur'an disebut sebagai *Ulul Albab*, yaitu orang-orang yang memiliki akal yang jernih dan mampu menangkap hikmah di balik penciptaan alam semesta. Dengan mengamati dan menganalisis perilaku radiasi yang tidak tampak oleh pancaindra manusia, tetapi dapat dideteksi dan dihitung secara akurat, manusia sejatinya sedang menggunakan akalnya untuk merenungi ciptaan-Nya. Maka, kegiatan analisis dan evaluasi sistem dalam penelitian ini, termasuk penyesuaian tegangan tinggi, pembacaan pulsa radiasi, dan penentuan waktu pencacahan, adalah bagian dari ibadah intelektual yang menunjukkan bahwa

Islam sangat menghargai ilmu, teknologi, dan pemikiran kritis dalam rangka kemaslahatan umat manusia.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Perancangan prototipe sistem pencacah radiasi berbasis Detektor Geiger-Muller telah berhasil dilakukan dengan mengintegrasikan berbagai komponen seperti detektor GM, rangkaian high voltage, mikrokontroler ESP32, timer, counter, serta tampilan data melalui layar TFT ILI9488. Sistem dirancang agar portabel dan tidak bergantung pada komputer, sehingga dapat digunakan secara mandiri di lapangan, khususnya di area reaktor seperti Reaktor Kartini.

Spesifikasi dan ketelitian sistem prototipe menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan dan mengatur tegangan tinggi dalam rentang 200–600 V menggunakan modul EMCO F15 yang dikendalikan oleh ESP32 dan DAC MCP4725. Pengukuran tegangan dilakukan secara akurat dengan ADC ADS1115 dan pembagi tegangan. Sistem ini juga dilengkapi dengan fitur pengaturan durasi pencacahan (1, 3, dan 5 menit), tombol kontrol (start, stop, reset), serta indikator LED dan buzzer. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja stabil dan akurat dalam mendeteksi serta menghitung jumlah cacahan radiasi dalam satuan CPS (Counts per Second).

5.2 Saran

Untuk meningkatkan fleksibilitas dan keselamatan penggunaan di lapangan, disarankan agar sistem tidak lagi bergantung pada sumber listrik PLN 220V. Sebagai gantinya, sistem dapat dikembangkan dengan menggunakan power bank berkapasitas besar agar dapat beroperasi secara mandiri tanpa ketergantungan akses listrik. Juga disarankan agar sistem ini dilengkapi dengan fitur penyimpanan data

otomatis atau pengiriman data ke cloud agar hasil pencacahan dapat dianalisis lebih lanjut dan diakses secara jarak jauh.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z. (2014). Analisis Tingkat Radioaktivitas Udara Di Sttn-Batan Yogyakarta. *Seminar Keselamatan Nuklir*, 98–103.
- Adelia, K. A. C., Maubana, W. M., Boimau, Y., Uskenat, K., & Lipikuni, H. F. (2021). Pengaruh Paparan Radiasi Gamma dan Pemberian Ekstrak Kulit Manggis (*Garcinia Mangostana*) terhadap Kadar SGPT Organ Hepar Mencit (Musculus). *Diffraction*, 2(2), 74–79. <https://doi.org/10.37058/diffraction.v2i2.2436>
- Andhini, N. F. (2017). Telaah Al-Qur'an Surat Ali Imran Ayat 190-191. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Arrahma, S. A., & Mukhaiyar, R. (2023). Pengujian Esp32-Cam Berbasis Mikrokontroler ESP32. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 4(1), 60–66.
- Aryawijayanti, R; Susilo, Susilo; Sutikno, S. (2015). Analisis Dampak Radiasi Sinar-X Pada Mencit Melalui Pemetaan Dosis Radiasi Di Laboratorium Fisika Medik. *Jurnal MIPA*, 38(1), 25–30.
- Bukit, B., Rekayasa, P., & Nuklir-Batan Abstrak, P. (2009). Rancangan Sistem Monitoring Radiasi Gamma Lingkungan Stack Monitor Rsg. *Prima*, 6(12), 416–420.
- Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., & Boone, J. M. (2012). *The Essential Physics of Medical Imaging* (3rd Editio). Lippincott Williams & Wilkins.
- Chowdhury, A. T., Muktadir, M. S., & Zakir, M. G. (2021). Smartgeiger - Development of background radiation monitoring with IoT based device. *2021 International Conference on Automation, Control and Mechatronics for Industry 4.0, ACMI 2021*.
- Dan, P., Perangkat, P., Bangun, R., Radiasi, T., & Telah, N. (2011). *Rancang bangun telemonitor radiasi nuklir*. 95–102.
- Djarmiko, W. (2017). Prototipe Resistansi Meter Digital. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi, November*, 1–8.
- Fitri, R. A. (2022). Analisis Radionuklida Cs-137, Co-60, dan I-131 pada Sampel Tanah di Kota Tangerang Menggunakan Spektrometer Gamma. 145.
- Hadi, H., Jati, C., Tenaga, P.-B., & Nasional, N. (2009). *Sistem Pencacah Nuklir Berbasis Mikrokontroler AT89S8252*. 9(2), 24–31.
- Handini, T., Rachmi, W., Supriadi, H., Sains, P., & Akselerator, D. T. (2018). *PROSIDING PERTEMUAN DAN PRESENTASI ILMIAH PENELITIAN*

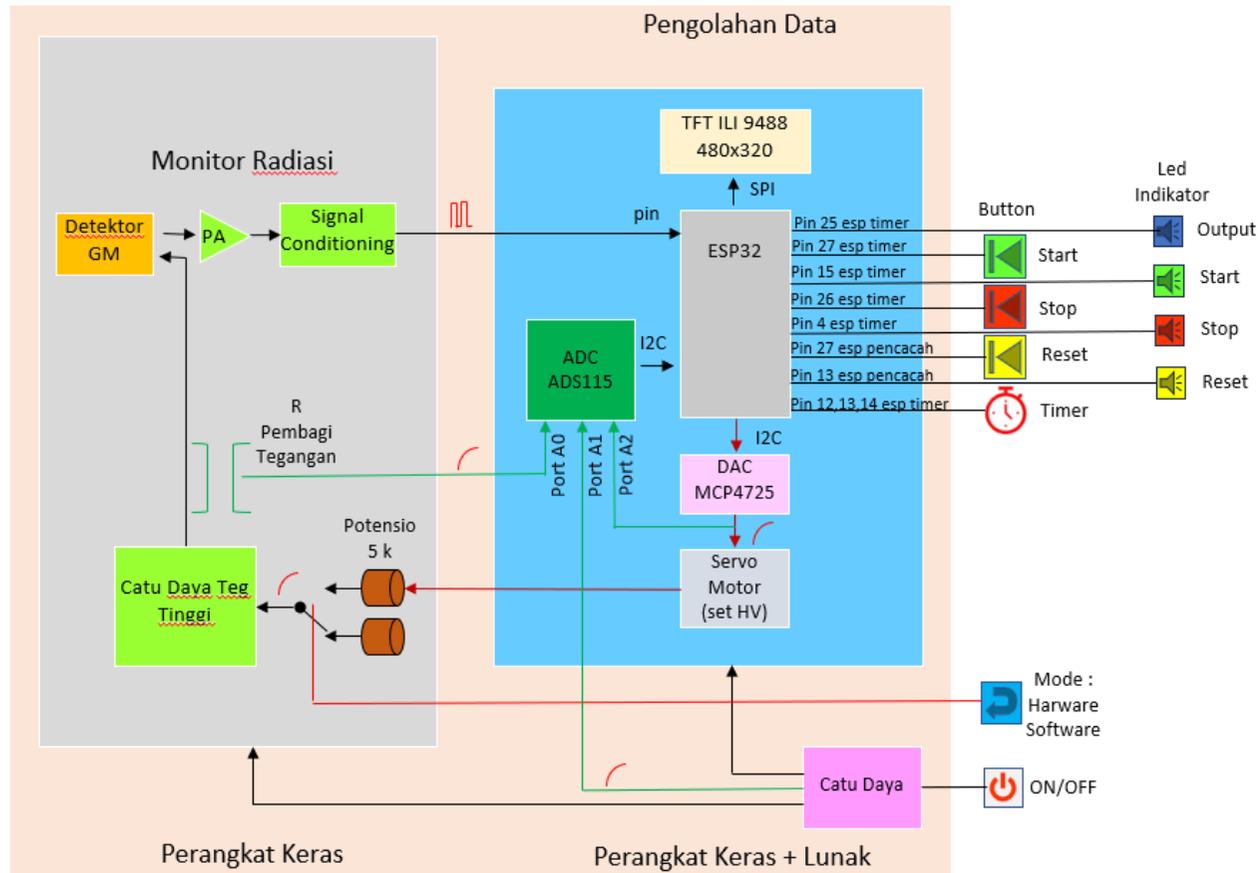
DASAR ILMU PENGETAHUAN DAN TEKNOLOGI NUKLIR Pusat Sains dan Teknologi Akselerator PEMBUATAN KONSENTRAT ITRIUM SEBAGAI UMPAN EKSTRAKSI. 16, 51–58.

- Hastuti, E., & Syarifah, U. (2024). Pendahuluan Fisika Zat Padat. In *Book*.
- Hilmi, R. Z., Hurriyati, R., & Lisnawati. (2018). *No Title*. 3(2), 91–102.
- 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>
- Holovaty, A., Teslyuk, V., Kryvinska, N., & Kazarian, A. (2020). Development of microcontroller-based system for background radiation monitoring. *Sensors (Switzerland)*, 20(24), 1–14. <https://doi.org/10.3390/s20247322>
- Knoll, G. F. (2010). *Radiation Detection and Measurement*. Wiley.
- Kusuma, C., & Ningtias, D. R. (2024). Pengaruh Faktor Eksposi Terhadap Respon Detektor Isian Gas Pada Surveymeter Berbasis IoT. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 2(1), 33–45. <https://doi.org/10.61132/mars.v2i1.58>
- Muhammadiyah, U., Selatan, T., & Faridawati, D. (2022). Analisis Manfaat dan Dampak Radiasi Sinar Gamma untuk Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine max L . Merrill*) Analysis of the Benefits and Impacts of Gamma Ray Radiation for the Growth of Soybean Plants (*Glycine max L . Merrill*). *Jurnal AGRIHOTA*, 7(4), 680–684.
- Ningsih M. Nur, H., Topan, P. A., Andriani, T., & Jaya, A. (2023). Pembuatan Alat Pengukur Arus Bernilai Micro Menggunakan Resistor Shunt Dan Modul Op-Amp AD620. *Journal Altron; Journal of Electronics, Science & Energy Systems*, 2(01), 46–53. <https://doi.org/10.51401/altron.v2i01.1756>
- Nizam, M. N., Haris Yuana, & Zunita Wulansari. (2022). Mikrokontroler Esp 32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 6(2), 767–772. <https://doi.org/10.36040/jati.v6i2.5713>
- Nugraha, S. G. S. (2024). *Penerapan proteksi pada kamar kos menggunakan ESP32 berbasis Internet of Things*.
- Ramadhan, N., Mardiana, L., & Hudha, L. S. (n.d.). *Rancang bangun sistem pengukuran karakteristik V-I solar cell dengan beban elektrik konfigurasi MOSFET dan MCP4725*.
- Sayono, Irianto, W. A. (2013). *Pengaruh Diameter Katoda terhadap Karakteristik Detektor Geiger-Mueller Tipe End Window*. 34–43.

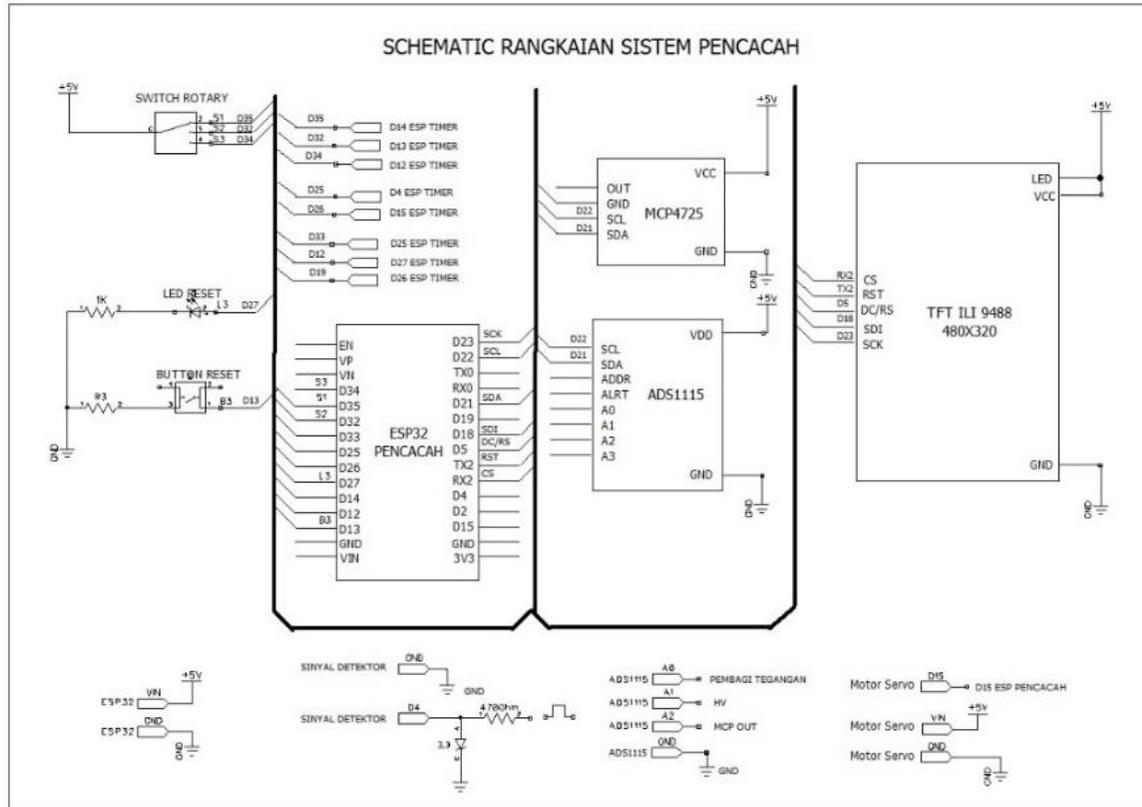
- Sayono, S., & Sujitno, T. (2010). Pengaruh Tekanan Gas Isian Argon-Etanol Dan Argon-Brom Terhadap Unjuk Kerja Detektor Geiger-Mueller. *GANENDRA Majalah IPTEK Nuklir*, 13(2), 64–76. <https://doi.org/10.17146/gnd.2010.13.2.48>
- Sofia, W. N. (2021). Interpretasi Imam Al-Maraghi dan Ibnu Katsir Terhadap Qs. Ali Imran Ayat 190-191. *Tafkir: Interdisciplinary Journal of Islamic Education*, 2(1), 41–57. <https://doi.org/10.31538/tijie.v2i1.16>
- Sudiono, Khoiri, M., & Wicaksono, A. S. (2013a). Rancang Bangun Sistem Pencacah Nuklir Berbasis Mikrokontroler ATMega8535. *Prosiding Seminar Nasional Ix Sdm Teknologi Nuklir*, 394–397. <https://www.researchgate.net/publication/321488255>
- Sudiono, Khoiri, M., & Wicaksono, A. S. (2013b). Rancang Bangun Sistem Pencacah Nuklir Berbasis Mikrokontroler ATMega8535. *Prosiding Seminar Nasional Ix Sdm Teknologi Nuklir, October 2013*, 394–397. <https://www.researchgate.net/publication/321488255>
- Sulaksono, S. T., Sukmabuana, P., & Nagara, N. (2022). Microcontroller Atmega328P Timer/Counter for Single Channel Gamma Spectroscopy. *Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir Tri Dasa Mega*, 24(3), 125. <https://doi.org/10.17146/tm.2022.24.3.6699>
- Tjahyono, H. H. (2005). Sistem Pencacah Berbasis Komputer. *Widyanuklida*, 6(2), 26–38.
- Trikasjono, T., Aditya, R., Harsono, D., & Sunardi, J. (2019). Rancang Bangun Sistem Pencacah Nuklir Menggunakan Detektor GM LND712 untuk Level Gauge. *Seminar Nasional Teknologi Terapan Berbasis Kearifan Lokal*, 2, 7–13.
- Tsoufanidis, N., & Landsberger, S. (2021). *Measurement and Detection of Radiation* (5th Editio). CRC Press.
- Wahyudi, K. E. (2024). *Obat keras dengan face recognition menggunakan ESP32-CAM Universitas Islam Sultan Agung Semarang 2024. Strong drugs storage security system with face recognition using ESP32-CAM.*
- Zarkasi, M. (2018). Sistem Otomasi Penyiraman Tanaman Menggunakan Sensor Soil Moisture Y1-69 Dan Monitoring Kondisi Lingkungan Pada Rumah Kaca Berbasis Arduino Mega 2560. *Undergraduate Thesis*, 1(69), 5–24.

LAMPIRAN

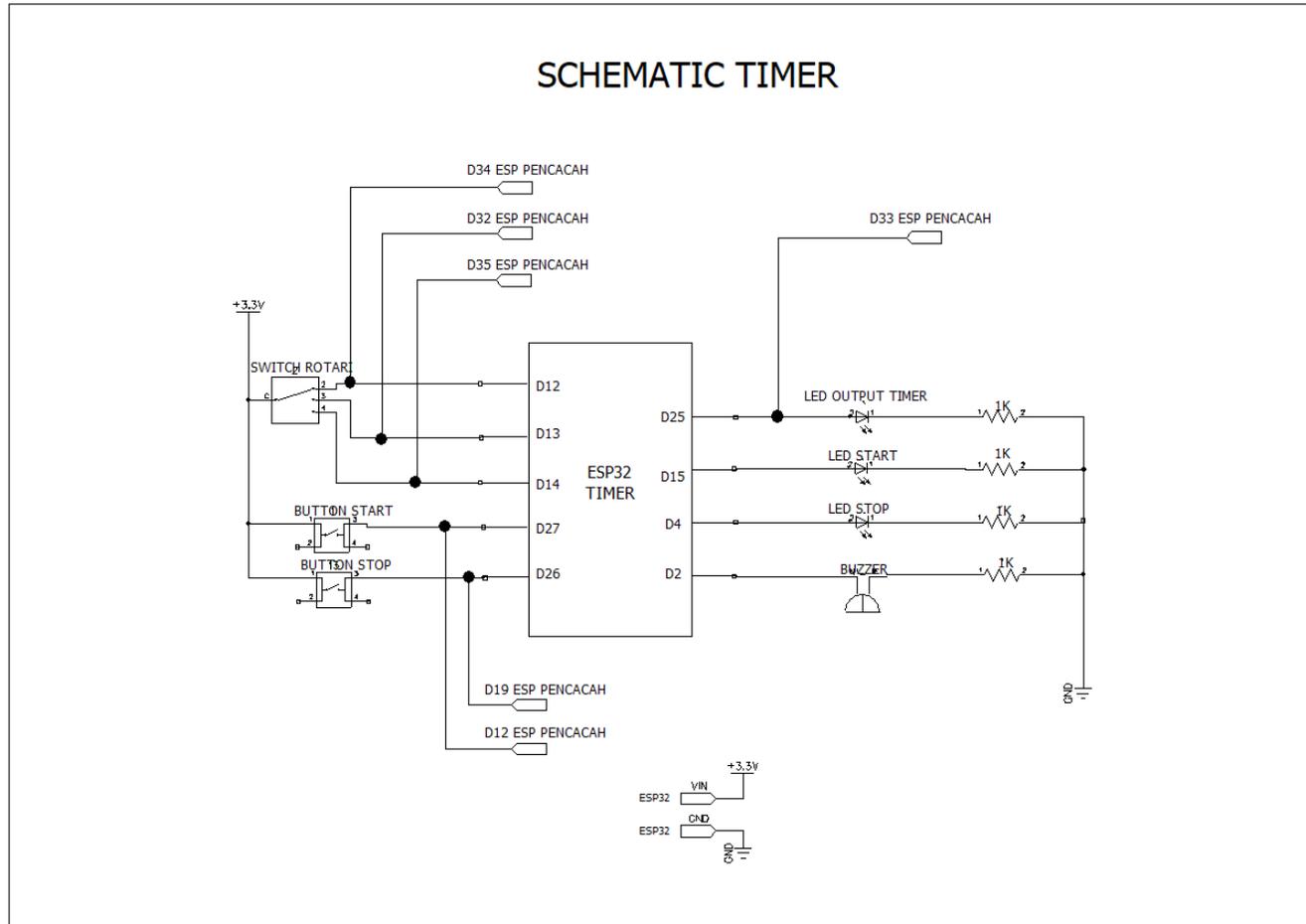
Lampiran 1 Gambar Block Diagram Hardware Sistem Pencacah



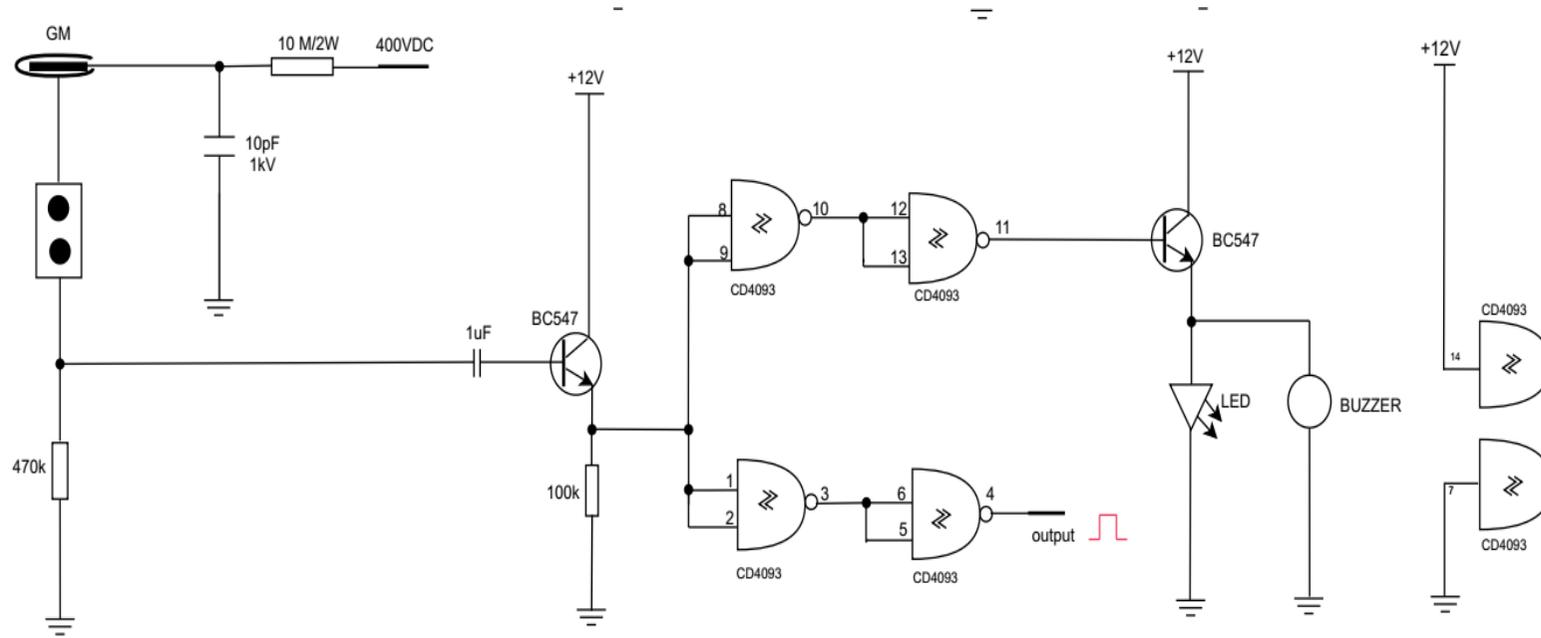
Lampiran 2 Gambar Skematic Sistem Pencacah



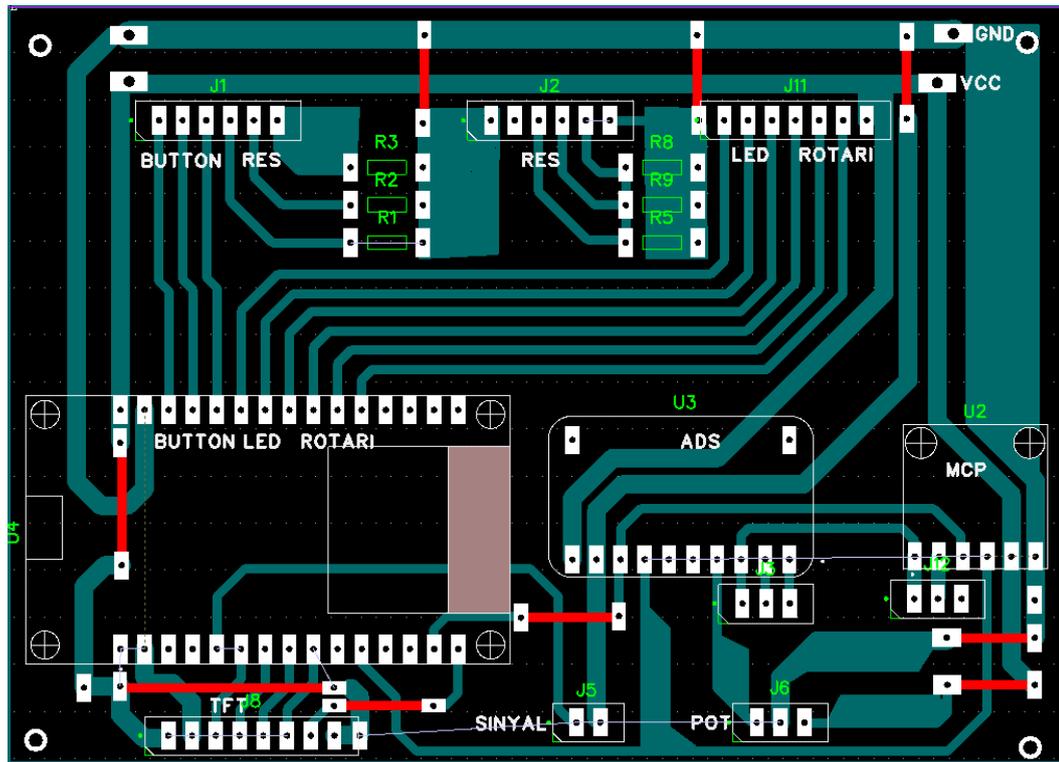
Lampiran 3 Gambar Skematic Sistem Timer



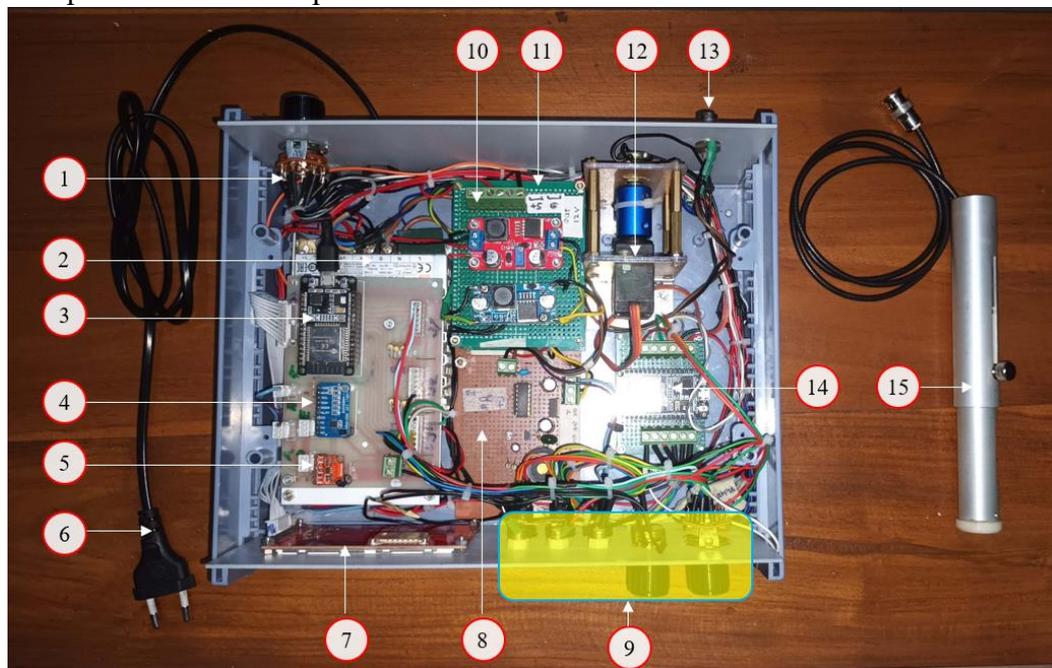
Lampiran 4 Gambar Skematik Signal Conditioning



Lampiran 5 Gambar Layout PCB (Sistem Pencacah)



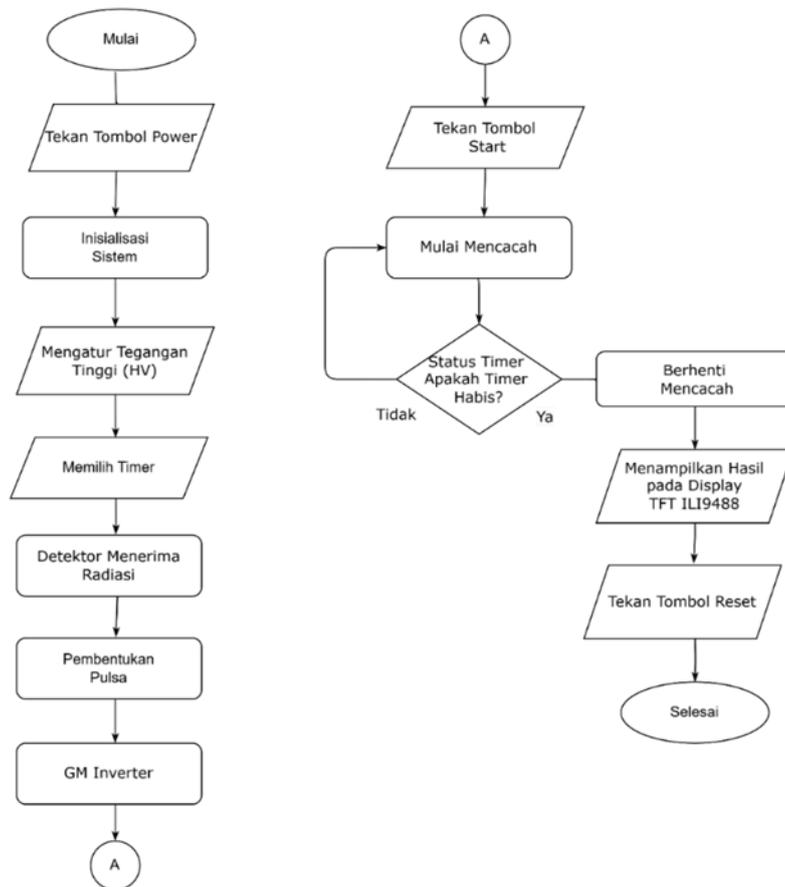
Lampiran 6 Gambar Implementasi Hardware

**Keterangan:**

1. Switch pemilih Hardware atau Software

2. Modul Regulator Catu Daya 220V AC ke 5 V DC
3. Modul ESP32 (Modul Pencacah)
4. Modul ADC ADS 1115
5. Modul DAC MCP 4725
6. Kabel Catu Daya AC 220 V/50 Hz
7. Modul TFT ILI9488 480 x 320
8. Modul Pengolah Sinyal
9. Tombol, Led Indikator, Pengatur HV dan Switch Timer
10. Modul DC-DC regulator HV (Layer Atas)
11. Modul DC-DC HV Emco (Layer Bawah)
12. Modul Motor Servo
13. Konektor Detektor
14. Modul ESP32 (Modul Timer)
15. Detektor GM SI-180

Lampiran 7 Gambar Flowchart Software



Lampiran 8 Listing Program Sistem Pencacah

```

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1X15.h>
#include <Adafruit_MCP4725.h>
#include <ESP32Servo.h>
#include "SPI.h"
#include "Adafruit_GFX.h"
#include "TFT_eSPI.h"
#include "BluetoothSerial.h"

// Define pins for frequency measurement=====
const int inPin = 4;
volatile unsigned long pulseCount = 0;
unsigned long previousMillisFreq = 0;
const unsigned long intervalFreq = 1000; // Interval for frequency
measurement
// Define pins for TFT and LEDs
=====
#define I2C_SDA 21
#define I2C_SCL 22
#define TFT_DC 5
#define TFT_CS 16
//#define LED_START 26
//#define LED_STOP 25
#define LED_RESET 27
//#define TOMBOL_START 14 //tidak diaktifkan diganti dari timer
//#define TOMBOL_STOP 12 //tidak diaktifkan diganti dari timer
#define TOMBOL_RESET 13

```

```

#define INPUT_PIN_START 33 //MENGAKTIFKAN START

// Define pins for the rotary switch
#define ROTARY_SWITCH_PIN_A1 34
#define ROTARY_SWITCH_PIN_A2 32
#define ROTARY_SWITCH_PIN_A3 35

#define BUTTON_PIN_19 19
#define BUTTON_PIN_12 12

TFT_eSPI tft = TFT_eSPI();
Adafruit_ADS1115 adc1;
Adafruit_MCP4725 dac1;
Servo myServo;
BluetoothSerial SerialBT;

bool ledstart = false;
bool ledstop = false;
bool ledreset = false;
bool isHigh = false; // Start with LOW
bool isCounting = false; // Tambahkan variabel untuk mengontrol
status pencacahan
volatile unsigned long currentCount = 0; // Variabel untuk menyimpan
nilai cacahan
//volatile unsigned long currentCount = currentCount ;
unsigned long startTime = 0; // Waktu mulai pencacahan
bool buttonActive = false;

// Variables for ADC and voltage values
int currentVoltage = 0;

```

```

int16_t adc_0, adc_1, adc_2, adc_3;
float volts0, volts1, volts2, volts3;
int servoAngle;
float vInput;
unsigned long delayTime = 400;
int hasilPengurangan;

//=====
int dacValue = 0;
unsigned long previousMillis = 0;
const long interval = 1000; // Interval for sensor readings

// Variables for timer selection
int selectedTimer = 0; // 0: 1 min, 1: 3 min, 2: 5 min
const int timerOptions[3] = {1 * 60000, 3 * 60000, 5 * 60000}; // in milliseconds
void IRAM_ATTR handleInterrupt() {
  if (isCounting) {
    pulseCount++; //Tambah jumlah pulsa jika pencacahan aktif
  }
}

const int buttonPin19 = 19;
const int buttonPin12 = 12;

// VOID SETUP////////////////////////////////////

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  SerialBT.begin("ESP32 CANTIK"); //Bluetooth device name

```

```

// Initialize MCP4725
//dac_1.begin(0x60); //Address of MCP4725 with A0 connected to ground
dac1.begin();
dac1.begin(0x60); // Alamat default MCP4725

// Initialize ADS1115
adc1.begin(0x48); //Address of ADS1115 with Address pin connected to ground
adc1.setGain(GAIN_TWOTHIRDS); //Set gain
//=====
myServo.attach(15);
//=====
pinMode(inPin, INPUT); // Set pin for frequency measurement as input
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(inPin), handleInterrupt, RISING);
// Set interrupt

//pinMode(LED_START, OUTPUT);
//pinMode(LED_STOP, OUTPUT);
pinMode(LED_RESET, OUTPUT);
//pinMode(TOMBOL_START, INPUT_PULLUP);
// pinMode(TOMBOL_STOP, INPUT_PULLUP);
pinMode(TOMBOL_RESET, INPUT_PULLUP);

// Set rotary switch pins as input
pinMode(ROTARY_SWITCH_PIN_A1, INPUT);
pinMode(ROTARY_SWITCH_PIN_A2, INPUT);
pinMode(ROTARY_SWITCH_PIN_A3, INPUT);
pinMode(33, INPUT); //pin input yang akan disambungkan ke timer (25)

pinMode(BUTTON_PIN_19, INPUT_PULLUP);

```

```

pinMode(BUTTON_PIN_12, INPUT_PULLUP);

// TAMPILAN TFT////////////////////////////////////
tft.begin();
tft.setRotation(3); // Landscape orientation
tft.fillScreen(TFT_BLACK);
tft.drawRect(0, 0, 476, 319, TFT_BLUE);
tft.drawRect(3, 3, 470, 313, TFT_RED);
tft.drawLine(3, 65, 470, 65, TFT_RED);
tft.fillRect(8, 8, 458, 53, TFT_NAVY);
tft.setCursor(100, 25, 4);
tft.setTextColor(TFT_YELLOW, TFT_NAVY);
tft.println("Sistem Pencacah Radiasi");
tft.drawLine(3, 250, 470, 250, TFT_RED);
tft.fillRect(8, 258, 458, 53, TFT_BLACK);
tft.setCursor(20, 275, 4);
tft.setTextColor(TFT_WHITE, TFT_BLACK);
tft.println("Timer :");

// Display initial timer options
displayTimerOptions();

// Display "Volt" and "CACAH"
tft.setCursor(380, 150, 4);
tft.setTextColor(TFT_YELLOW, TFT_BLACK);
tft.println("Volt");

// Position for "CACAH (CPS)"
tft.setCursor(380, 100, 4);

```

```
tft.setTextColor(TFT_YELLOW, TFT_BLACK);
tft.println("CPS");

tft.setCursor(20, 100, 4);
tft.setTextColor(TFT_WHITE, TFT_BLACK);
tft.println("CACAH  :");

tft.setCursor(20, 150, 4);
tft.setTextColor(TFT_WHITE, TFT_BLACK);
tft.println("HV      :");

tft.setCursor(20, 210, 4);
tft.setTextColor(TFT_WHITE, TFT_BLACK);
tft.println("Status  :");

// Display initial LED status
displayLEDStatus();

delay(100);
}

// VOID LOOP ////////////////////////////////////////

void loop() {

// Set DAC output voltage
/*
  if (Serial.available()) {
    String input = Serial.readStringUntil('\n');
    input.trim();
```

```
float v = input.toFloat();

if (v >= 0.0 && v <= 5.0) {
  int dacValue = round((v / 5.0) * 4095);
  dac1.setVoltage(dacValue, false);
  currentVoltage = v;
  vInput = v;

  servoAngle = map(vInput * 100, 0, 500, 0, 180);
  // dikali 100 karena map butuh int
  myServo.write(servoAngle);

  // Serial.print("Sudut servo: ");
  // Serial.println(servoAngle);
} else {
  //Serial.println("Masukkan harus antara 0.0-5.0 Volt");
}
}

*/

if (Serial.available()) {
  String input = Serial.readStringUntil('\n');// Baca input sampai newline
  //String input = Serial.readString();
  input.trim(); // Hapus spasi atau karakter aneh
  int mV = input.toInt();

  if (mV >= 0 && mV <= 5000) {
    int dacValue = round((mV / 5000.0) * 4095);
    dac1.setVoltage(dacValue, false);
```

```
//dac1.setVoltage(0, false);
currentVoltage = dacValue;
vInput = mV;
// int adc_3 = adc1.readADC_SingleEnded(3); // A3 ADS1115
servoAngle = map(vInput, 0, 5000, 180, 0);
myServo.write(servoAngle);

// Serial.print("Sudut servo: ");
// Serial.println(servoAngle);
} else {

// Serial.println("Masukkan harus antara 0-5000 mV");

}
}

/*
if (Serial.available()) {
String input = Serial.readStringUntil('\n');
input.trim();

// Cek apakah input adalah angka
bool isNumber = true;
for (int i = 0; i < input.length(); i++) {
if (!isDigit(input.charAt(i))) {
isNumber = false;
break;
}
}
}
```

```
if (isNumber) {
  int mV = input.toInt();
  if (mV >= 0 && mV <= 5000) {
    int dacValue = round((mV / 5000.0) * 4095);
    dac1.setVoltage(dacValue, false);
    currentVoltage = dacValue;
    vInput = mV;
    servoAngle = map(vInput, 0, 5000, 180, 0);
    myServo.write(servoAngle);
  }
}
else if (input.length() == 1) {
  char command = input.charAt(0);
  switch (command) {
    case 's':
      updateLEDState(true, false, false);
      break;
    case 'p':
      updateLEDState(false, true, false);
      break;
    case 'r':
      updateLEDState(false, false, true);
      break;
    case 'o':
      updateLEDState(false, false, false);
      break;
  }
}
}
```

```
*/
// Calculate the difference
    hasilPengurangan = (currentVoltage / 4095.0) * 5000 - adc_0;

// Read ADC values
    adc_0 = adc1.readADC_SingleEnded(0);
    adc_1 = adc1.readADC_SingleEnded(1);
    adc_2 = adc1.readADC_SingleEnded(2);
    adc_3 = adc1.readADC_SingleEnded(3);

// Convert ADC readings to voltage
    volts0 = adc_0 * 0.1875 / 1000.0;
    volts1 = adc_1 * 0.1875 / 1000.0;
    volts2 = adc_2 * 0.1875 / 1000.0;
    volts3 = adc_3 * 0.1875 / 1000.0;
//=====

    unsigned long currentMillis = millis();

    if (isCounting && (millis() - startTime >= timerOptions[selectedTimer])) {
        isCounting = false; // Hentikan pencacahan
        //updateLEDState(false, true, false); // Menyalakan LED Stop
    }

//Read sensors and update display every interval

    if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
        previousMillis = currentMillis;
        readSensors();
        displayValues();
    }
}
```

```
    printSerial();

//Check if adc_0 is less than 1000 and reset the timer if true
    if (adc_0 < 1000) {
        selectedTimer = -1;    // Reset the selected timer
        displayTimerOptions();    //Update the display to reflect the reset
    }
}

//Calculate frequency every interval

if (currentMillis - previousMillisFreq >= intervalFreq) {
    previousMillisFreq = currentMillis;
    float frequency = pulseCount * 1000.0 / intervalFreq;
    //Calculate frequency in Hz

    currentCount += pulseCount; // Tambahkan hitungan pulsa ke currentCount
    //pulseCount = 0;           // Reset pulse count for next interval

// Display cacah (frequency value)

    tft.fillRect(150, 70, 200, 60, TFT_BLACK);
    // ordinat x-y asal, lebar baru, tinggi baru, warna
    tft.setTextColor(TFT_BLACK, TFT_BLACK);
    //tft.println("                ");
    // Menghapus tampilan nilai cacah sebelumnya

    // Bersihkan area status LED
    // tft.fillRect(150, 270, 250, 60, TFT_BLACK);
    // Clear the larger LED status area with new size
```

```

//Atur kursor ke posisi yang sesuai dan tampilkan nilai cacah (frequency)

    tft.setCursor(150, 100);
    tft.setTextColor(TFT_WHITE, TFT_BLACK);
    int frequencyInt = (int)frequency;
    tft.println(frequencyInt);
    // Display frequency as an integer (without decimal places)

}
    handleButtonInput();
    handleButtons();
    handleSerialCommands();
    handleRotarySwitch();
    // handleSerialInput();
    // Update isHigh based on adc_0 value
    isHigh = (adc_0 > 1000);
    displayLEDStatus(); // Update LED status every loop
    displayTimerOptions();

}
////////////////////////////////////
void handleButtonInput() {
    if (digitalRead(BUTTON_PIN_19) == HIGH) {
        updateLEDState(true, false, false); // contoh: tombol 19 ditekan -> LED 1 nyala
    }
    if (digitalRead(BUTTON_PIN_12) == LOW) {
        updateLEDState(false, true, false); // contoh: tombol 12 ditekan -> LED 2 nyala
    }
}
}

```

```

//////////////////////////////////////HV//////////////////////////////////////
void displayValues() {
//Clear previous values
  tft.fillRect(150, 120, 100, 60, TFT_BLACK);
  tft.setCursor(150, 150);
  tft.setTextColor(TFT_WHITE, TFT_BLACK);
  //tft.println(((volts0*302)+170), 2); // Display voltage
  tft.println((volts0*140.123), 2); // Display voltage
}
// VOID PRINT SERIAL ////////////////////////////////////////
void printSerial() {
  // Calculate voltage from ADC value
  float voltage = (adc_0 * 5.0) / 4095.0; // Assuming a 12-bit ADC with 0-5V range
  float frequency = pulseCount * 1000.0 / intervalFreq; //Calculate frequency in Hz

//Print in the format: cacah; tegangan HV; status LED {start; stop; reset}; timer
{1min; 3min; 5min}
  int frequencyInt = (int)frequency; //SERIAL CACAH
  Serial.print(frequencyInt);
// Serial.print(); // ADC value (cacah)
  Serial.print(";");

//serial print HV
  Serial.print((currentVoltage / 4095.0) * 5000);
// Serial.print(";");
// Serial.print(volts0);
  Serial.print(";");
}

```

```
//Serial.print((volts0*302)+170);
Serial.print(volts0*140.123);
Serial.print(";");
// Serial.print(volts2);
// Serial.print(";");
// Serial.print(volts3);
// Serial.print(";");
// Serial.print(servoAngle);

// Determine LED status
if (ledstart) {
  Serial.print("10"); // angka 10 untuk start
} else if (ledstop) {
  Serial.print("20"); // angka 20 untuk stop
} else if (ledreset) {
  Serial.print("30"); // angka 30 untuk reset
} else {
  // Serial.print("00");
}

// Determine Timer status
Serial.print(";");
if (selectedTimer == 0) {
  Serial.println("1");
} else if (selectedTimer == 1) {
  Serial.println("3");
} else if (selectedTimer == 2) {
  Serial.println("5");
} else {
  Serial.println("0");
}
```

```

}
}

//VOID HANDLE BUTTON////////////////////////////////////

void handleButtons() {

// Kontrol pencacahan dari pin 34
if (digitalRead(INPUT_PIN_START) == HIGH) {
    if (!isCounting) {
        isCounting = true;
        startTime = millis(); // Catat waktu mulai hanya saat transisi LOW -> HIGH
        updateLEDState(true, false, false); //LED Start menyala
    }
    else {
        if (isCounting) {
            isCounting = false;
            updateLEDState(false, true, false); // LED Stop menyala saat dihentikan
        }
    }
}

//RESET tombol tetap seperti biasa
if (digitalRead(TOMBOL_RESET) == LOW) {
    currentCount = 0;
    pulseCount = 0;
    isCounting = false;
    startTime = 0;
    updateLEDState(false, false, true); //LED Reset menyala
    delay(200); // debounce
}
}

```

```
}  
  
// PERINTAH SERIAL //////////////////////////////////////  
void handleSerialCommands() {  
  if (Serial.available() > 0) {  
    char command = Serial.read();  
    switch (command) {  
      case 's':  
        updateLEDState(true, false, false);  
        Serial.println("s"); // Tambah keterangan di serial  
        break;  
      case 'p':  
        updateLEDState(false, true, false);  
        Serial.println("p");  
        break;  
      case 'r':  
        Serial.println("r"); // Tambah keterangan di serial  
        updateLEDState(false, false, true);  
        break;  
      //case 'o':  
      //  updateLEDState(false, false, false);  
      //  break;  
    }  
  }  
}  
  
/*void handleSerialInput() {  
  if (Serial.available()) {  
    String input = Serial.readStringUntil('\n');  
    input.trim();  
  }  
}
```

```
// Cek apakah input adalah angka
bool isNumber = true;
for (int i = 0; i < input.length(); i++) {
    if (!isDigit(input.charAt(i))) {
        isNumber = false;
        break;
    }
}

if (isNumber) {
    int mV = input.toInt();
    if (mV >= 0 && mV <= 5000) {
        int dacValue = round((mV / 5000.0) * 4095);
        dac1.setVoltage(dacValue, false);
        currentVoltage = dacValue;
        vInput = mV;
        servoAngle = map(vInput, 0, 5000, 180, 0);
        myServo.write(servoAngle);
    }
}
else if (input.length() == 1) {
    char command = input.charAt(0);
    switch (command) {
        case 's':
            updateLEDState(true, false, false);
            break;
        case 'p':
            updateLEDState(false, true, false);
            break;
    }
}
```

```

        case 'r':
            updateLEDState(false, false, true);
            break;
        case 'o':
            updateLEDState(false, false, false);
            break;
    }
}
}
}
*/
// ROTARY SWITCH ///////////////////////////////////////////////////////////////////////
void handleRotarySwitch() {
    static int lastStateA1 = HIGH; // Previous state for pin A1
    static int lastStateA2 = HIGH; // Previous state for pin A2
    static int lastStateA3 = HIGH; // Previous state for pin A3

    int currentStateA1 = digitalRead(ROTARY_SWITCH_PIN_A1);
    int currentStateA2 = digitalRead(ROTARY_SWITCH_PIN_A2);
    int currentStateA3 = digitalRead(ROTARY_SWITCH_PIN_A3);

    // Check pin A1
    if (lastStateA1 == HIGH && currentStateA1 == LOW) {
        if (selectedTimer != 0) {
            selectedTimer = 0; // Selection for 1 MIN
        }
        displayTimerOptions();
    }

    // Check pin A2

```

```

else if (lastStateA2 == HIGH && currentStateA2 == LOW) {
  if (selectedTimer != 1) {
    selectedTimer = 1; // Selection for 3 MIN
  }
  displayTimerOptions();
}

// Check pin A3
} else if (lastStateA3 == HIGH && currentStateA3 == LOW) {
  if (selectedTimer != 2) {
    selectedTimer = 2; // Selection for 5 MIN
  }
  displayTimerOptions();
}

// Store current states for next iteration
lastStateA2 = currentStateA2;
lastStateA3 = currentStateA3;

delay(200); // Debounce delay
}

// TAMPILAN TIMER ////////////////////////////////////////
void displayTimerOptions() {

// Clear previous timer option indicators
tft.fillRect(127, 263, 105, 43, TFT_BLACK); // Clear all
tft.fillRect(237, 263, 105, 43, TFT_BLACK);
tft.fillRect(347, 263, 105, 43, TFT_BLACK);

```

```
// Update display for selected timer
switch (selectedTimer) {
  case 0:

    tft.fillRect(127, 263, 105, 43, TFT_RED); // Highlight 1 MIN
    tft.setCursor(147, 275);
    tft.setTextColor(TFT_WHITE);
    tft.println("1 MIN");
    break;
  case 1:

    tft.fillRect(237, 263, 105, 43, TFT_RED); // Highlight 3 MIN
    tft.setCursor(257, 275);
    tft.setTextColor(TFT_WHITE);
    tft.println("3 MIN");
    break;
  case 2:

    tft.fillRect(347, 263, 105, 43, TFT_RED); // Highlight 5 MIN
    tft.setCursor(367, 275);
    tft.setTextColor(TFT_WHITE);
    tft.println("5 MIN");
    break;
  case -1: // Handle case where no timer is selected
    tft.setCursor(135, 275);
    tft.setTextColor(TFT_WHITE);
    tft.println("");
    break;
}
}
```

```

void updateLEDState(bool start, bool stop, bool reset) {
    ledstart = start;
    ledstop = stop;
    ledreset = reset;

    // digitalWrite(LED_START, ledstart);
    // digitalWrite(LED_STOP, ledstop);
    digitalWrite(LED_RESET, ledreset);
}

void readSensors() {

    adc_0 = adc1.readADC_SingleEnded(0);    // Read ADC channel 0
    volts0 = adc1.computeVolts(adc_0);
    dacValue = map(adc_0, 0, 32767, 0, 4095); // Map ADC value to DAC value
    dac1.setVoltage(dacValue, false);       // Set DAC voltage
}

void displayLEDStatus() {

    // Clear previous timer option indicators
    tft.fillRect(127, 200, 105, 43, TFT_BLACK); // Clear all
    tft.fillRect(237, 200, 105, 43, TFT_BLACK);
    tft.fillRect(347, 200, 105, 43, TFT_BLACK);
    // TAMPILAN STATUS LED ////////////////////////////////////////

    // Display the LED status on the TFT =====
    if (ledstart) {
        tft.fillRect(127, 200, 105, 43, TFT_DARKGREEN); // Clear the LED status area
    }
}

```

```
tft.setCursor(150, 212);
tft.setTextColor(TFT_WHITE, TFT_DARKGREEN);
tft.print("Start");

// Turn off other LED
ledstop = false;
ledreset = false;
} else if (ledstop) {
tft.fillRect(237, 200, 105, 43, TFT_RED);
tft.setCursor(260, 212);
tft.setTextColor(TFT_WHITE, TFT_RED);
tft.print("Stop");

// Turn off other LEDs
ledstart = false;
ledreset = false;
} else if (ledreset) {
tft.fillRect(347, 200, 105, 43, TFT_PINK);
tft.setCursor(370, 212);
tft.setTextColor(TFT_WHITE, TFT_PINK);
tft.print("Reset");

// Turn off other LEDs
ledstart = false;
ledstop = false;
} else {
// If no LED is active, clear the area
tft.fillRect(127, 200, 105, 43, TFT_BLACK);
tft.fillRect(237, 200, 105, 43, TFT_BLACK);
tft.fillRect(347, 200, 105, 43, TFT_BLACK);
```

```
}
}
```

Lampiran 9 Listing Program Timer

Listing program modul timer

```
/*
✓ LED indikator STOP pada pin D4
✓ LED STOP akan menyala ketika tombol STOP ditekan & mati ketika timer dimulai
kembali
✓ LED STOP menyala saat tombol STOP ditekan
✓ LED STOP mati saat timer dimulai kembali
✓ Buzzer (D23) → Bunyi "teet... tooott" saat timer selesai:
  Bunyi pendek (Teet... 200ms)
  Bunyi panjang (Tooott... 1000ms)

*/

//=====

#define TIMER_1MIN 12 // Pin untuk memilih 1 menit
#define TIMER_3MIN 13 // Pin untuk memilih 3 menit
#define TIMER_5MIN 14 // Pin untuk memilih 5 menit
#define START_BUTTON 27 // Tombol Start
```

```

#define STOP_BUTTON 26 // Tombol Stop
#define OUTPUT_PIN 25 // Pin Output Timer
#define LED_PIN 15 // LED Indikator Timer Aktif
#define BUZZER_PIN 2 // Buzzer
#define LED_STOP 4 // LED Indikator STOP

unsigned long timerDuration = 0;
unsigned long startTime = 0;
bool timerRunning = false;

unsigned long lastStartPress = 0;
unsigned long lastStopPress = 0;
const int debounceDelay = 50; // Debounce 50ms
//=====
void setup()
{
    pinMode(TIMER_1MIN, INPUT_PULLDOWN);
    pinMode(TIMER_3MIN, INPUT_PULLDOWN);
    pinMode(TIMER_5MIN, INPUT_PULLDOWN);
    pinMode(START_BUTTON, INPUT_PULLDOWN);
    pinMode(STOP_BUTTON, INPUT_PULLDOWN);
    pinMode(OUTPUT_PIN, OUTPUT);
    pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
    pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
    pinMode(LED_STOP, OUTPUT);

    digitalWrite(OUTPUT_PIN, LOW);

```

```
digitalWrite(LED_PIN, LOW);
digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
digitalWrite(LED_STOP, LOW);
}
//=====
void loop()
{
    unsigned long currentMillis = millis();

    // Debounce tombol START
    if (digitalRead(START_BUTTON) == HIGH && (currentMillis - lastStartPress >
debounceDelay)) {
        lastStartPress = currentMillis;

        if (!timerRunning) {
            if (digitalRead(TIMER_1MIN) == HIGH) {
                timerDuration = 60 * 1000;
            } else if (digitalRead(TIMER_3MIN) == HIGH) {
                timerDuration = 3 * 60 * 1000;
            } else if (digitalRead(TIMER_5MIN) == HIGH) {
                timerDuration = 5 * 60 * 1000;
            } else {
                timerDuration = 0;
            }
        }

        if (timerDuration > 0) {
            digitalWrite(OUTPUT_PIN, HIGH);
        }
    }
}
```

```

        digitalWrite(LED_PIN, HIGH); // LED nyala saat timer berjalan
        digitalWrite(LED_STOP, LOW); // Matikan LED STOP jika sebelumnya
menyala
        startTime = millis();
        timerRunning = true;
    }
}

// Debounce tombol STOP
if (digitalRead(STOP_BUTTON) == HIGH && (currentMillis - lastStopPress >
debounceDelay)) {
    lastStopPress = currentMillis;

    if (timerRunning) {
        digitalWrite(OUTPUT_PIN, LOW);
        digitalWrite(LED_PIN, LOW); // Matikan LED indikator timer
        digitalWrite(LED_STOP, HIGH); // Nyalakan LED indikator STOP
        timerRunning = false;
    }
}

// Jika timer berjalan dan waktunya habis
if (timerRunning && (currentMillis - startTime >= timerDuration))
{
    digitalWrite(OUTPUT_PIN, LOW);
    digitalWrite(LED_PIN, LOW); // Matikan LED indikator timer

```

```
timerRunning = false;

// Bunyi "teet... tooott"
tone(BUZZER_PIN, 1000); // Frekuensi 1 kHz
delay(200); // "Teet"
noTone(BUZZER_PIN);
delay(200);
tone(BUZZER_PIN, 500); // Frekuensi 500 Hz
delay(1000); // "Tooott"
noTone(BUZZER_PIN);
}
}

//=====
```

Lampiran 7. Perhitungann Kalibrasi

No	Tegangan Terbaca (Volt)		Penyimpangan	Akurasi
	TFT	Multimeter		
1.	611,11	608	0,5%	99,5%
2.	533,02	538	0,9%	99,1%
3.	435,74	447,5	2%	98%
4.	327,64	338,5	3%	97%
5.	208,11	222,1	6%	94%
6.	190,5	202,9	6%	94%
7.	174,76	189,3	7%	93%
8.	149,28	163	8%	92%
9.	147,35	162,5	9%	91%

1. Diketahui :

- a. Tegangan Terbaca di TFT: 611,11 V
- b. Tegangan Terbaca di multimeter: 608 V

$$\text{Penyimpangan} = \frac{\text{Tegangan Terbaca (TFT)} - \text{Tegangan Aktual (Multimeter)}}{\text{Tegangan Aktual (Multimeter)}} \times 100\%$$

$$\text{Penyimpangan} = \frac{611,11 - 608}{608} \times 100\% = 0,51\%$$

$$\text{Akurasi} = 100\% - \text{Penyimpangan} = 100\% - 0,51\% = 99,49\%$$

2. Diketahui

- a. Tegangan Terbaca di TFT: 533,02 V
- b. Tegangan Terbaca di multimeter: 538 V

$$\text{Penyimpangan} = \frac{\text{Tegangan Terbaca (TFT)} - \text{Tegangan Aktual (Multimeter)}}{\text{Tegangan Aktual (Multimeter)}} \times 100\%$$

$$\text{Penyimpangan} = \frac{533,02 - 538}{538} \times 100\% = 0,9\%$$

$$\text{Akurasi} = 100\% - \text{Penyimpangan} = 100\% - 0,9\% = 99,1\%$$

3. Diketahui:

- a. Tegangan Terbaca di TFT: 435,74V
- b. Tegangan Terbaca di multimeter: 447,5V

$$\text{Penyimpangan} = \frac{\text{Tegangan Terbaca (TFT)} - \text{Tegangan Aktual (Multimeter)}}{\text{Tegangan Aktual (Multimeter)}} \times 100\%$$

$$\text{Penyimpangan} = \frac{435,74 - 447,5}{447,5} \times 100\% = 2\%$$

$$\text{Akurasi} = 100\% - \text{Penyimpangan} = 100\% - 2\% = 98\%$$

4. Diketahui:

a. Tegangan Terbaca terbaca di TFT: 327,64V

b. Tegangan Terbaca di multimeter: 338,5V

$$\text{Penyimpangan} = \frac{\text{Tegangan Terbaca (TFT)} - \text{Tegangan Aktual (Multimeter)}}{\text{Tegangan Aktual (Multimeter)}} \times 100\%$$

$$\text{Penyimpangan} = \frac{327,64 - 338,5}{338,5} \times 100\% = 3\%$$

$$\text{Akurasi} = 100\% - \text{Penyimpangan} = 100\% - 3\% = 97\%$$

5. Diketahui:

a. Tegangan Terbaca terbaca di TFT: 208,11V

b. Tegangan Terbaca di multimeter: 222,1V

$$\text{Penyimpangan} = \frac{\text{Tegangan Terbaca (TFT)} - \text{Tegangan Aktual (Multimeter)}}{\text{Tegangan Aktual (Multimeter)}} \times 100\%$$

$$\text{Penyimpangan} = \frac{208,11 - 222,1}{222,1} \times 100\% = 6\%$$

$$\text{Akurasi} = 100\% - \text{Penyimpangan} = 100\% - 6\% = 94\%$$

6. Diketahui:

a. Tegangan Terbaca di TFT: 190,5V

b. Tegangan Terbaca di multimeter: 202,9V

$$\text{Penyimpangan} = \frac{\text{Tegangan Terbaca (TFT)} - \text{Tegangan Aktual (Multimeter)}}{\text{Tegangan Aktual (Multimeter)}} \times 100\%$$

$$\text{Penyimpangan} = \frac{190,5 - 202,9}{202,9} \times 100\% = 6\%$$

$$\text{Akurasi} = 100\% - \text{Penyimpangan} = 100\% - 6\% = 94\%$$

7. Diketahui:

a. Tegangan Terbaca di TFT: 174,76V

b. Tegangan Terbaca di multimeter: 189,3 V

$$\text{Penyimpangan} = \frac{\text{Tegangan Terbaca (TFT)} - \text{Tegangan Aktual (Multimeter)}}{\text{Tegangan Aktual (Multimeter)}} \times 100\%$$

$$\text{Penyimpangan} = \frac{174,76 - 189,3}{189,3} \times 100\% = 7\%$$

$$\text{Akurasi} = 100\% - \text{Penyimpangan} = 100\% - 7\% = 93\%$$

8. Diketahui:

a. Tegangan Terbaca di TFT: 149,28V

b. Tegangan Terbaca di multimeter: 163 V

$$\text{Penyimpangan} = \frac{\text{Tegangan Terbaca (TFT)} - \text{Tegangan Aktual (Multimeter)}}{\text{Tegangan Aktual (Multimeter)}} \times 100\%$$

$$\text{Penyimpangan} = \frac{149,28 - 163}{163} \times 100\% = 8\%$$

$$\text{Akurasi} = 100\% - \text{Penyimpangan} = 100\% - 8\% = 92\%$$

9. Diketahui:

a. Tegangan Terbaca di TFT: 147,35V

b. Tegangan Terbaca di multimeter: 162,5 V

$$\text{Penyimpangan} = \frac{\text{Tegangan Terbaca (TFT)} - \text{Tegangan Aktual (Multimeter)}}{\text{Tegangan Aktual (Multimeter)}} \times 100\%$$

$$\text{Penyimpangan} = \frac{147,35 - 162,5}{162,5} \times 100\% = 9\%$$

$$\text{Akurasi} = 100\% - \text{Penyimpangan} = 100\% - 9\% = 91\%$$

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
Jalan Gajayana Nomor 50, Telepon (0341)551354, Fax. (0341) 572533
Website: http://www.uin-malang.ac.id Email: info@uin-malang.ac.id

JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 210604110014
Nama : RAHMA WURY APRILLYA
Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI
Program Studi : FISIKA
Dosen Pembimbing 1 : FARID SAMSU HANANTO,S.Si., M.T.
Dosen Pembimbing 2 : Dr. UMAIYATUS SYARIFAH, MA
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : RANCANG BANGUN PROTOTYPE SISTEM PENCACAH RADIASI DENGAN MENGGUNAKAN DETEKTOR GEIGER-MÜLLER

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	30 Oktober 2024	FARID SAMSU HANANTO,S.Si., M.T.	konsultasi judul skripsi	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
2	10 Desember 2024	FARID SAMSU HANANTO,S.Si., M.T.	Bimbingan Bab 1-3	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
3	16 Januari 2025	FARID SAMSU HANANTO,S.Si., M.T.	Bimbingan Diagram Alir pada Bab 3	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
4	24 Februari 2025	FARID SAMSU HANANTO,S.Si., M.T.	Bimbingan Revisi Seminar Proposal Bab 123	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
5	14 Maret 2025	Dr. UMAIYATUS SYARIFAH, MA	bimbingan integrasi Al-Qur'an Bab 1-2	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
6	19 Mei 2025	Dr. UMAIYATUS SYARIFAH, MA	Bimbingan Integrasi Bab 4	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
7	20 Mei 2025	Dr. UMAIYATUS SYARIFAH, MA	bimbingan integrasi bab 1 dan 4	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
8	21 Mei 2025	Dr. UMAIYATUS SYARIFAH, MA	Bimbingan bab 4	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
9	26 Mei 2025	Dr. UMAIYATUS SYARIFAH, MA	bimbingan bab 1-4	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
10	20 Februari 2026	FARID SAMSU HANANTO,S.Si., M.T.	Bimbingan Revisi Seminar Proposal Bab 123	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

Dr. UMAIYATUS SYARIFAH, MA

Malang, _____
Dosen Pembimbing 1

FARID SAMSU HANANTO,S.Si., M.T.