

**RANCANG BANGUN PROTOTIPE PERANGKAT LUNAK
SISTEM PENCACAH RADIASI
DENGAN DETEKTOR *GEIGER MÜLLER***

SKRIPSI

Oleh:
ASOLA RAHMABILLAH
NIM. 210604110028



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

HALAMAN PENGANTAR

**RANCANG BANGUN PROTOTIPE PERANGKAT LUNAK
SISTEM PENCACAH RADIASI
DENGAN 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:
ASOLA RAHMABILLAH
NIM. 210604110028**

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

HALAMAN PERSETUJUAN

RANCANG BANGUN PROTOTIPE PERANGKAT LUNAK SISTEM PENCACAH RADIASI DENGAN DETEKTOR *GEIGER MÜLLER*

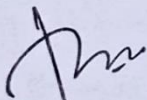
SKRIPSI

Oleh:

ASOLA RAHMABILLAH
NIM. 210604110028

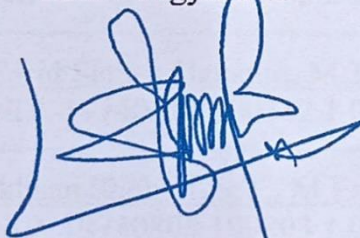
Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji
Pada Tanggal, 9 Desember 2025

Pembimbing I



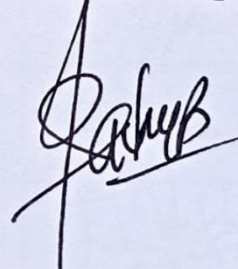
Farid Samsu Hananto, M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

Pembimbing II
BRIN Yogyakarta



Ikhsan Shobari, S.T., M.Eng
NIP. 19730808 199803 1 005

Pembimbing III



Ahmad Abtokhi, M.Pd
NIP. 19761003 200312 1 004

Mengetahui,
Ketua Program Studi



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

HALAMAN PENGESAHAN

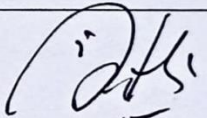
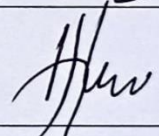
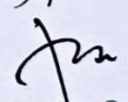

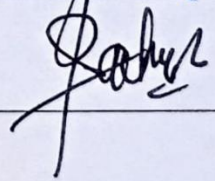
RANCANG BANGUN PROTOTIPE PERANGKAT LUNAK SISTEM PENCACAH RADIASI DENGAN DETEKTOR *GEIGER MÜLLER*

SKRIPSI

Oleh:

Asola Rahmabillah
NIM. 210604110028

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal, 22 Desember 2025

| | | |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Penguji Utama : | <u>Muthmainnah, M.Si</u> NIP. 19860325 201903 2 009 |  |
| Ketua Penguji : | <u>Naqibatin Nadliriyah, M.Si.</u> NIP. 19920221 201903 2 020 |  |
| Sekretaris Penguji 1: | <u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001 |  |
| Sekretaris Penguji 2: | <u>Ikhsan Shobari, S.T., M.Eng</u> NIP. 19730808 199803 1 005 |  |
| Anggota Penguji : | <u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP. 19761003 200312 1 004 |  |

Mengesahkan,
Ketua Program Studi



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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : ASOLA RAHMABILLAH

NIM : 210604110028

Jurusan : FISIKA

Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI

Judul Penelitian : Rancang Bangun Prototipe Perangkat Lunak

Sistem Pencacah Radiasi dengan Detektor *Geiger-Muller*

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, 18 Desember 2025
Yang Membuat Pernyataan



Asola Rahmabillah
NIM. 210604110028

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur penulis haturkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya. Atas izin-Nya pula, penulis diberikan kesehatan, kekuatan, kesempatan untuk menuntut ilmu, serta kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan skripsi ini hingga mencapai tahap akhir.

Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, suri teladan sepanjang zaman, yang melalui bimbingan dan risalah beliau telah membawa manusia keluar dari kegelapan menuju cahaya addinul Islam. Semoga kita semua tergolong hamba yang memperoleh syafa'at beliau pada hari kemudian. Aamiin ya Robbal 'Alamiin.

Penyelesaian skripsi ini tidak mungkin tercapai tanpa dukungan dari banyak pihak. Dengan rasa hormat dan penghargaan yang mendalam, karya ini penulis dedikasikan kepada:

1. Ibu Rahadian Rahmawati Dewi, S.Pd yang berperan sebagai pendukung terbesar dalam penyelesaian studi ini, Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sedalam-dalamnya atas segala bentuk dukungan yang Ibu berikan baik doa yang tidak pernah putus, nasihat, perhatian, maupun dorongan moral. Terima kasih karena selalu menjaga kesehatan dan kebahagiaan Ibu sendiri, yang menjadi energi positif dan penyemangat bagi penulis dalam menuntaskan penelitian serta penulisan skripsi ini. Segala ketulusan dan pengorbanan Ibu merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari pencapaian ini.
2. Bapak Sholahuddin S.Pd yang senantiasa menjadi sandaran utama dan penyokong yang selalu memberikan ruang bagi penulis untuk berkembang dan berjuang menyelesaikan pendidikan ini. Penulis mengucapkan terima kasih

yang sebesar-besarnya atas doa dan kasih sayang yang selalu menyertai serta dukungan moral yang diberikan. Terima kasih, Bapak tetap menjaga kesehatan dan kebahagiaan, yang menjadi dorongan tersendiri bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Kehadiran dan dukungan Bapak menjadi pilar penting yang membuat penulis bertahan dalam proses penyusunan skripsi ini.

3. Rohimullah At Thobroni, kakak sekaligus partner yang selalu setia menemani penulis dalam perjalanan akademik. Terima kasih atas segala bantuan, perhatian, kesetiaan, serta pendampingan sejak awal penulis memasuki dunia perkuliahan hingga tahap akhir penyusunan skripsi ini. Semoga senantiasa diberi kesehatan, kebahagiaan, dan kekuatan agar tetap dapat menjadi pendukung utama dan penyemangat bagi penulis dalam menjalani tahapan kehidupan selanjutnya.
4. Ikhsan Shobari, M.Eng. selaku pembimbing lapangan, terima kasih atas kesabaran Bapak dalam memberikan bimbingan selama proses penelitian. Terima kasih atas ilmu, arahan, dan masukan yang Bapak berikan sepanjang penulisan skripsi ini. Dukungan serta pendampingan Bapak sangat berarti dan membantu penulis hingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Bimbingan yang Bapak berikan menjadi bagian penting dalam penelitian ini sehingga dapat diselesaikan dengan baik. Semoga Bapak senantiasa diberi kesehatan, kebahagiaan, dan keberkahan atas kebaikan dan ilmu-ilmu yang Bapak berikan.
5. Bapak Farid Samsu Hananto, M.T. penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya atas bimbingan dan dukungan yang Bapak

berikan selama proses penyusunan skripsi ini. Penulis sangat menghargai kesediaan Bapak meluangkan waktu, tenaga, serta perhatian untuk memberikan masukan yang membangun dan membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga Bapak senantiasa diberi kesehatan, kebahagiaan dan keberkahan atas kebaikan dan ilmu yang Bapak berikan.

6. Kepada rekan-rekan satu proyek radiasi serta kawan seperjuangan di Jurusan Fisika angkatan 2021, penulis mengucapkan terima kasih atas kebersamaan, dukungan, dan energi positif selama proses perkuliahan hingga terselesaikannya skripsi ini. Semoga senantiasa diberikan kelancaran dan keberkahan dalam segala urusan kita semuanya.
7. Asola Rahmabillah, terima kasih atas keteguhan hati, kesabaran, dan keberanian untuk terus melanjutkan perjalanan ini meskipun dihadapkan pada berbagai kesulitan. Terima kasih karena telah bertahan, berjuang, dan tidak menyerah ketika diuji dengan kelelahan maupun keraguan. Semoga perjalanan ini menjadi pijakan awal menuju masa depan yang lebih baik, dengan membawa kebahagiaan dan kebaikan yang selalu menyertai

MOTTO

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا. إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا. فَإِذَا فَرَغْتَ فَانصَبْ. وَإِلَىٰ رَبِّكَ
فَارْغَبْ

" Maka, sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan. Apabila engkau telah selesai (dengan suatu kebajikan), teruslah bekerja keras (untuk kebajikan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmu berharaplah! "

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim

Puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat dan karunia-Nya yang telah memberikan kesehatan, kekuatan, dan kemudahan sehingga saya dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik. Skripsi berjudul “**Rancang Bangun Prototipe Perangkat Lunak Sistem Pencacah Radiasi dengan Detektor *Geiger-Müller***” merupakan hasil dari penelitian yang dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana di Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa tanpa dukungan, bantuan, dan doa dari banyak pihak, penyelesaian karya ilmiah ini tidak akan berjalan dengan baik. Sebagai bentuk penghargaan mendalam atas segala kontribusi tersebut, penulis dengan penuh ketulusan menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Bapak Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd, M.Kes, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Bapak Farid Samsu Hananto, M.T, selaku Ketua Progam Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Sekaligus selaku Dosen Pembimbing Skripsi.
4. Bapak Ahmad Abtokhi, M.Pd, selaku Dosen Pembimbing Integrasi
5. Bapak Ikhsan Shobari, M.En,. selaku Pembimbing Lapangan MBKM

Riset di BRIN Yogyakarta.

6. Bapak Umar Sahiful Hidayat, M.Eng, selaku Koordinator Pelaksana Fungsi Reaktor Kartini, BRIN Yogyakarta.
7. Segenap Dosen, Laboran dan Admin Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Menyadari bahwa keterbatasan penulis masih meninggalkan kekurangan dalam laporan ini. Oleh karena itu, penulis dengan penuh kerendahan hati membuka diri terhadap kritik dan saran yang konstruktif demi perbaikan pada penulisan di masa mendatang. Meskipun demikian, penulis berharap laporan ini dapat memberikan manfaat, memperluas pengetahuan, dan menjadi kebaikan bagi para pembacanya.

Malang, 1 Desember 2025

Penulis,

Asola Rahmabillah

DAFTAR ISI

| | |
|-----------------------------------|-------|
| 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 | xv |
| DAFTAR TABEL..... | xvi |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvii |
| ABSTRAK | xviii |
| ABSTRACT | xix |
| مستخلص البحث..... | xx |

| | |
|--------------------------------------|----------|
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 7 |
| 1.3 Tujuan..... | 7 |
| 1.4 Manfaat | 8 |
| 1.5 Batasan Masalah Penelitian | 8 |

| | |
|------------------------------------------|----------|
| BAB II DASAR TEORI..... | 9 |
| 2.1 Pengertian Radiasi | 9 |
| 2.2 Pengertian Bahaya Radiasi | 10 |
| 2.3 Pengertian Prototipe | 11 |
| 2.4 Detektor Geiger-Muller | 12 |
| 2.5 Sistem Pencacah | 15 |
| 2.5.1 High Voltage | 15 |
| 2.5.2 Pembentuk Pulsa | 16 |
| 2.5.3 GM Inverter | 16 |
| 2.5.4 Counter..... | 16 |
| 2.5.5 Timer..... | 17 |
| 2.6 Mikrokontroler ESP32 DEVKIT V1 | 17 |
| 2.7 Arduino IDE | 20 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.8 Modul ADS1115..... | 21 |
| 2.9 Modul MCP4725 | 23 |
| 2.10 Motor Servo MG996R..... | 24 |
| 2.11 Pemrograman LabVIEW | 26 |
| 2.12 Penelitian Sebelumnya | 32 |
| 2.13 Integrasi antara Sains dan Islam | 34 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 37 |
| 3.1 Jenis Penelitian | 37 |
| 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian..... | 37 |
| 3.3 Alat dan Bahan | 37 |
| 3.4 Variabel Penelitian..... | 38 |
| 3.5 Prosedur Penelitian | 39 |
| 3.5.1 Perancangan Perangkat Lunak ESP32 | 43 |
| 3.5.2 Perancangan Perangkat Lunak <i>LabVIEW</i> | 46 |
| 3.6 Pengujian Alat | 49 |
| 3.6.1 Persiapan dan Kalibrasi Alat..... | 49 |
| 3.6.2 Pengujian Fungsi Sistem..... | 51 |
| 3.7 Tahap Pengambilan Data..... | 56 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 60 |
| 4.1 Hasil Penelitian..... | 60 |
| 4.2 Desain dan Implementasi Sistem..... | 60 |
| 4.2.1 Desain Dasar..... | 60 |
| 4.2.2 Desain Rinci | 66 |
| 4.3 Kalibrasi High Voltage | 79 |
| 4.4 Penetapan Daerah Plateau..... | 81 |
| 4.5 Aktivitas Sumber Standar dan Pencacahan Latar Belakang..... | 84 |
| 4.5.1 Aktivitas Sumber Standar | 84 |
| 4.5.2 Pencacahan Latar Belakang | 85 |
| 4.6 Efisiensi Sistem Menggunakan Sumber Standar dengan Variasi Jarak .. | 86 |
| 4.7 Pengujian Cacahan pada Variasi Jarak | 88 |
| 4.8 Pembahasan | 89 |
| 4.8.1 Pembahasan Hasil Desain dan Implementasi Sistem | 89 |
| 4.8.2 Pembahasan Hasil Kalibrasi High Voltage | 91 |
| 4.8.3 Pembahasan Hasil Penetapan Daerah Plateau | 93 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.8.4 Pembahasan Hasil Aktivitas Sumber Standar dan Pencacahan Latar Belakang | 96 |
| 4.8.5 Pembahasan Efisiensi Sistem Menggunakan Sumber Standar dengan Variasi Jarak | 98 |
| 4.8.6 Pembahasan Hasil Data Cacahan pada Variasi Jarak | 100 |
| 4.8.7 Pembahasan Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu | 102 |
| 4.8.8 Implementasi Sains dalam Keislaman | 105 |
| BAB V PENUTUP..... | 108 |
| 5.1 Kesimpulan | 108 |
| 5.2 Saran | 109 |
| DAFTAR PUSTAKA | 111 |
| LAMPIRAN..... | 115 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Detektor Geiger Muller | 13 |
| Gambar 2.2 Mikrokontroler ESP-WROOM-32 | 19 |
| Gambar 2.3 Modul ADS1115 | 22 |
| Gambar 2.4 Modul MCP4725 | 23 |
| Gambar 2.5 Motor Servo MG996R | 25 |
| Gambar 2.6 LabVIEW 2020 | 27 |
| Gambar 2.7 Tampilan Software LabVIEW 2020 | 28 |
| Gambar 2.8 Tampilan Front Panel | 28 |
| Gambar 2.9 Tampilan Block Diagram | 29 |
| Gambar 3.1 Prosedur penelitian | 40 |
| Gambar 3.2 Desain konseptual sistem pencacah | 42 |
| Gambar 3.3 Tahapan perancangan perangkat lunak ESP32 | 44 |
| Gambar 3.4 Konseptual rangkaian high voltage | 45 |
| Gambar 3.5 Blok diagram persiapan dan kalibrasi alat | 50 |
| Gambar 3.6 Blok diagram pengujian fungsi sistem | 55 |
| Gambar 4.1 Tampilkan antarmuka program sistem pencacah radiasi | 61 |
| Gambar 4.2 Panel tampilan data | 61 |
| Gambar 4.3 Fitur kontrol koneksi serial | 62 |
| Gambar 4.4 Indikator penampil timer | 63 |
| Gambar 4.5 Knop pengatur high voltage | 63 |
| Gambar 4.6 Tampilan tombol start, stop, dan reset pada antarmuka sistem | 64 |
| Gambar 4.7 Tampilan Tombol OK dan Exit pada Antarmuka Sistem | 65 |
| Gambar 4.8 Tampilan panel serial monitor | 65 |
| Gambar 4.9 Gambar Block Diagram Program Sistem Pencacah | 67 |
| Gambar 4.10 Struktur while loop sistem program | 69 |
| Gambar 4.11 Pengaturan HV Regulator | 70 |
| Gambar 4.12 Konseptual integrasi perangkat lunak dan keras dalam pengaturan high voltage | 78 |
| Gambar 4.13 Grafik kalibrasi high voltage | 81 |
| Gambar 4.14 Kurva daerah plateau detektor Geiger-Müller | 83 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 3.1 Tabel kalibrasi high voltage | 57 |
| Tabel 3.2 Penentuan tegangan tinggi optimal untuk detektor | 57 |
| Tabel 3.3 Tabel kalibrasi cacahan radiasi oleh detektor | 58 |
| Tabel 3.4 Laju cacah dalam rentang waktu | 59 |
| Tabel 4.1 Tabel Kalibrasi High Voltage..... | 80 |
| Tabel 4.2 Hasil data penetapan daerah tegangan kerja..... | 82 |
| Tabel 4.3 Tabel Tegangan Kerja | 83 |
| Tabel 4.4 Perhitungan aktivitas sumber standar..... | 84 |
| Tabel 4.5 Hasil pencacahan latar belakang | 85 |
| Tabel 4.6 Efisiensi menggunakan sumber standar jarak 1 cm | 86 |
| Tabel 4.7 Efisiensi menggunakan sumber standar jarak 2 cm | 87 |
| Tabel 4.8 Efisiensi menggunakan sumber standar jarak 3 cm | 87 |
| Tabel 4.9 Efisiensi menggunakan sumber standar jarak 4 cm | 88 |
| Tabel 4.10 Hasil pengujian laju cacahan pada variasi jarak dengan tiga kali pengulangan | 89 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Lampiran 1 Gambar Konseptual Sistem Pencacah | 116 |
| Lampiran 2 Flowchart program sistem pencacah radiasi..... | 117 |
| Lampiran 3 Konseptual rangkaian high voltage dengan motor servo | 118 |
| Lampiran 4 Tampilan Antarmuka Program ketika running | 119 |
| Lampiran 5 Tampilan Block Diagram Program Software Sistem Pencacah Radiasi | 120 |
| Lampiran 6 Gambar Program Software yang terintegrasi dengan Hardware Sistem Pencacah | 121 |
| Lampiran 7 Tampilan Antarmuka Program LabView Sisem Pencacah Radiasi ketika kalibrasi high voltage..... | 122 |
| Lampiran 8 Listing Program Sistem Pencacah untuk Software..... | 123 |

ABSTRAK

Rahmabillah, Asola. 2025. **Rancang Bangun Prototipe Perangkat Lunak Sistem Pencacah Radiasi Dengan Detektor Geiger-Müller**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Farid Samsu Hananto, M.T (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Kata Kunci: Detektor Geiger-Müller, Pencacah Radiasi, ESP32, LabVIEW, Tegangan Tinggi

Radiasi merupakan fenomena yang sering muncul dalam berbagai aplikasi dan memerlukan pengawasan yang cermat terkait keselamatan dan keakuratan pengukurannya. Oleh karena itu, perangkat pencacah radiasi yang mudah digunakan dan mampu menampilkan data secara real-time sangat diperlukan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun perangkat lunak sistem pencacah radiasi berbasis LabVIEW yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 serta detektor Geiger-Müller, dengan kemampuan monitoring real-time dan pengaturan tegangan tinggi secara presisi. Metode penelitian mencakup perancangan sistem, pembuatan antarmuka LabVIEW, pemrograman ESP32, integrasi perangkat keras, serta pengujian dan kalibrasi alat. Prototipe yang dikembangkan mampu menampilkan data cacahan radiasi secara langsung, mengatur tegangan tinggi menggunakan servo, serta menyediakan kontrol operasi melalui tombol Start, Stop, Reset, dan indikator penampil durasi pencacahan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja stabil, menghasilkan data cacahan yang akurat, serta mampu mengendalikan tegangan tinggi sesuai setelan pengguna. Sistem ini menunjukkan kinerja yang stabil dan dapat digunakan untuk percobaan di laboratorium maupun pengukuran lapangan secara terbatas, dengan antarmuka yang sederhana dan responsif. Sebagai pengembangan berikutnya, dapat dipertimbangkan penambahan kemampuan pencatatan data otomatis atau integrasi dengan jaringan lokal untuk mendukung monitoring lebih lanjut.

ABSTRACT

Rahmabillah, Asola. 2025. **Design and Development of a Prototype Software System for Radiation Counting Using a Geiger-Müller 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) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Keywords: Geiger-Muller detector, radiation counter, ESP32, LabVIEW, High Voltage

Radiation is a phenomenon that occurs in various applications and requires careful monitoring for safety and measurement accuracy. Therefore, a radiation counting device that is user-friendly and capable of displaying real-time data is essential. This study aims to design and develop a prototype software system for radiation counting based on LabVIEW, integrated with an ESP32 microcontroller and a Geiger-Müller detector, with real-time monitoring capabilities and precise high-voltage control. The research methodology includes system design, LabVIEW interface development, ESP32 programming, hardware integration, and device testing and calibration. The developed prototype can display radiation counts in real-time, control high voltage using a servo, and provide operational control through Start, Stop, Reset buttons and a counting duration indicator. Test results show that the system operates stably, produces accurate count data, and successfully controls high voltage according to user settings. The system demonstrates reliable performance for limited laboratory experiments and field measurements, with a simple and responsive interface. Further development may include automatic data logging or integration with a local network to support extended monitoring.

مستخلص البحث

رحمبفلا؁ أسولا. 2025 تصمفم وبناء نموبج أولف لنظام برمجب لعداد الإشعاع باسأخدام كاشف غافجر-مولر. بآث جامعل. قسم الففزفاء؁ كلية العلوم والتكنولوبا؁ جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامفة الراكومة مالانج. المشرفان: (الأول) فرفد سامسو هاناتو؁ الماجسأفر (الآانى) أحمد أبطآف؁ الماجسأفر.

الكلمات المفتاحية: كاشف غايجر-مولر، عداد الإشعاع، ESP32، LabVIEW، الجهد العالي

الإشعاع هو ظاهرة تحدث في تطبيقات مختلفة وتتطلب مراقبة دقيقة لضمان السلامة ودقة القياس. لذلك، من الضروري وجود جهاز عد الإشعاع سهل الاستخدام وقادر على عرض البيانات بشكل فوري. يهدف هذا البحث إلى تصميم وبناء نموذج أولي لنظام برمجي لعداد الإشعاع يعتمد على LabVIEW، متكامل مع متحكم دقيق ESP32 وكاشف غايجر-مولر، مع القدرة على المراقبة الفورية والتحكم الدقيق في الجهد العالي (HV). تشمل منهجية البحث تصميم النظام، تطوير واجهة LabVIEW، برمجة ESP32، تكامل الأجهزة، واختبار ومعايرة الجهاز. يمكن للنموذج الأولي عرض عد الإشعاع بشكل فوري، التحكم في الجهد العالي باستخدام سيرفو، وتوفير التحكم التشغيلي عبر أزرار Start و Stop و Reset ومؤشر مدة العد. أظهرت نتائج الاختبارات أن النظام يعمل باستقرار، وينتج بيانات عد دقيقة، ويستطيع التحكم في الجهد العالي وفق إعدادات المستخدم. يظهر النظام أداءً موثوقاً للتجارب المحدودة في المختبر وقياسات الحقل، مع واجهة بسيطة وسريعة الاستجابة. يمكن للتطوير المستقبلي أن يشمل تسجيل البيانات تلقائياً أو التكامل مع شبكة محلية لدعم المراقبة الممتدة.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perlindungan terhadap lingkungan hidup merupakan isu penting yang harus diperhatikan dalam lingkup global. Permasalahan lingkungan tidak hanya menjadi tanggung jawab satu negara saja, karena kerusakan yang terjadi di suatu wilayah dapat memberikan dampak lintas batas dan memengaruhi negara lain. Oleh karena itu, seluruh pihak, baik individu, masyarakat maupun negara, memiliki kewajiban yang setara dan proporsional dalam menjaga serta melestarikan lingkungan demi keberlanjutan kehidupan bersama (Stevanni et al., 2017). Pemanfaatan berbagai sumber radioaktif di Indonesia, termasuk bahan bakar nuklir, limbah nuklir, dan sumber daya alam seperti mineral radioaktif, telah mengalami peningkatan yang substansial untuk mendukung kegiatan riset, industri, dan layanan kesehatan. Penggunaan radioaktif dalam berbagai sektor harus diiringi dengan memperhatikan dampak yang ditimbulkannya (Mukanthi et al., 2021)

Radiasi merupakan energi yang dipancarkan dalam bentuk partikel maupun gelombang, dan tidak dapat dideteksi secara langsung oleh pancaindra manusia. Oleh sebab itu, pemantauan terhadap radiasi perlu dilakukan secara berkala. Pemantauan ini bertujuan untuk menjamin keselamatan dan kesehatan para pekerja yang akan melaksanakan tugas di area yang mengandung radiasi, dengan menyediakan informasi mengenai tingkat dosis radiasi di lokasi tersebut. (Abimanyu et al., 2013).

Proteksi radiasi merupakan serangkaian upaya yang dilakukan untuk mengendalikan sumber radiasi guna melindungi makhluk hidup dan lingkungan

dari dampak paparan radiasi. Dalam konteks ini, proteksi radiasi mencakup pemahaman mengenai dampak kesehatan yang mungkin timbul akibat paparan dosis radiasi, estimasi besar dosis yang dapat menimbulkan efek tersebut, langkah-langkah pencegahan agar radiasi tidak masuk ke dalam tubuh, serta pemahaman tentang bagaimana radiasi berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya. (Darmawati, 2024).

Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan teknologi nuklir serta berbagai aktivitas industri yang berpotensi menimbulkan paparan radiasi lingkungan, khususnya radiasi gamma, semakin meningkat dan menjadi perhatian di tingkat global. Radiasi gamma memiliki daya tembus yang sangat tinggi sehingga apabila tidak ditangani dengan tepat dapat menimbulkan dampak yang serius terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Oleh karena itu, pemantauan dan pemetaan terhadap tingkat paparan radiasi gamma menjadi bagian penting dalam upaya perlindungan serta pengendalian risiko radiasi. (Subarna et al., 2024). Saat ini, Indonesia memiliki tiga reaktor nuklir yang dilengkapi dengan fasilitas pendukung untuk tujuan penelitian yang berlokasi di Yogyakarta, Bandung, dan Serpong. Sebagai salah satu upaya untuk mengendalikan dampak operasional reaktor nuklir terhadap masyarakat dan kualitas lingkungan, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) selaku pemilik melaksanakan program pemantauan lingkungan baik di dalam maupun di luar instalasi.

Risiko lain dari keberadaan instalasi nuklir adalah kemungkinan partikel radioaktif lepas yang dilepaskan ke udara. Jika pelepasan ini tidak terkendali atau melebihi batas yang ditetapkan dalam peraturan yang berlaku, hal ini dapat membahayakan lingkungan dan masyarakat sekitar. Oleh karena itu, di sekitar instalasi nuklir, diperlukan pembangunan sistem pemantauan yang tepat

Sehingga mampu memberikan informasi tentang tingkat radiasi lingkungan kepada institusi terkait dan masyarakat umum, secara waktu nyata. Sistem ini juga sebaiknya mencakup pemantauan kondisi cuaca seperti kecepatan dan arah angin, curah hujan, suhu, dan parameter lainnya, karena jika terjadi kecelakaan, penyebaran partikel di udara sangat bergantung pada kondisi cuaca (You et al., 2023)

Pembuatan alat pencacah radiasi tidak hanya berorientasi pada aspek teknis dan keselamatan kerja, tetapi juga memiliki dasar moral dan spiritual yang sejalan dengan nilai-nilai Islam. Dalam pandangan Islam, manusia memiliki kedudukan sebagai *khalīfah fil ardh* (pemimpin di bumi) yang diberikan tanggung jawab untuk menjaga, mengelola, dan melestarikan alam ciptaan Allah SWT. Tugas ini mencakup kewajiban untuk menghindari segala bentuk kerusakan (*fasād*) serta berupaya menciptakan kemaslahatan bagi seluruh makhluk hidup. Dengan demikian, setiap kegiatan penelitian dan rekayasa teknologi, termasuk pengembangan sistem pencacah radiasi, seharusnya diarahkan untuk menjaga keberlangsungan kehidupan dan mencegah bahaya radiasi yang dapat mengancam kesehatan manusia maupun lingkungan.

Menurut Alhaj dan Zulkiċi (2017), tujuan syariat Islam (*maqāṣid al-sharī'ah*) mencakup lima aspek utama, yaitu pemeliharaan agama (*ḥifẓ al-dīn*), jiwa (*ḥifẓ al-nafs*), akal (*ḥifẓ al-'aql*), keturunan (*ḥifẓ al-nasl*), dan harta (*ḥifẓ al-māl*). Dalam konteks pengembangan alat pencacah radiasi, aspek *ḥifẓ al-nafs* dan *ḥifẓ al-bi'ah* (pemeliharaan lingkungan) menjadi sangat relevan karena teknologi ini bertujuan untuk mencegah bahaya yang dapat merusak kehidupan dan keseimbangan alam. Pemanfaatan teknologi untuk mengontrol serta memantau tingkat paparan radiasi merupakan bentuk nyata dari implementasi nilai Islam yang

mengedepankan keselamatan, pencegahan bahaya, dan tanggung jawab sosial (Gobaili Saged et al., 2017).

Selain itu, konsep keberlanjutan dan keseimbangan dalam Islam menekankan pentingnya sikap moderat (*wasathiyyah*) dalam memanfaatkan sumber daya alam. Nasir, Nair, dan Ahmed (2020) menjelaskan bahwa prinsip *harm prevention* (pencegahan bahaya) dalam syariah menuntut manusia untuk menghindari segala bentuk aktivitas yang dapat mengancam kehidupan atau menimbulkan risiko terhadap masyarakat. Oleh karena itu, pembuatan sistem pencacah radiasi yang mampu mendeteksi dan mengendalikan tingkat paparan secara *real-time* mencerminkan penerapan prinsip Islam dalam bidang teknologi, yakni berinovasi untuk mencegah bahaya dan menjaga keselamatan makhluk hidup (Muslimin et al., 2020).

Seperti yang tertulis dalam Al-Qur'an, Surah Al-A'raf (7:56) Allah Subhanahu wa Ta'ala berfirman:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ حَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

"Janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah diatur dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat dengan orang-orang yang berbuat baik" (QS. Al-A'raf: 56) (Kemenag, 2022)

Ayat tersebut menegaskan bahwa Islam melarang segala bentuk tindakan yang menimbulkan kerusakan dan bahaya di bumi. Oleh sebab itu, pengembangan teknologi yang berorientasi pada keselamatan dan pelestarian lingkungan, seperti alat pencacah radiasi, merupakan wujud nyata dari ketaatan terhadap perintah Allah SWT untuk menjaga bumi dan seluruh isinya. Dengan demikian, inovasi teknologi ini tidak hanya bernilai ilmiah, tetapi juga menjadi manifestasi tanggung jawab

spiritual dan moral umat manusia sebagai khalifah di bumi.

Sistem pemantauan radiasi yang ada saat ini sering kali mahal dan kompleks, sehingga tidak semua institusi atau laboratorium dapat mengaksesnya. Dalam penelitian ini, kami berupaya untuk merancang dan membangun prototipe perangkat lunak sistem pencacah radiasi menggunakan detektor Geiger Muller (GM). Detektor GM merupakan alat yang umum digunakan untuk mendeteksi radiasi, seperti partikel beta dan sinar gamma, dengan prinsip kerja yang sederhana dan biaya yang relatif terjangkau (Hilyana, 2017)

Dalam sistem ini digunakan perangkat lunak LabVIEW memungkinkan pengolahan data yang lebih baik, serta penyimpanan dan analisis data radiasi secara *real-time*. Dengan mengintegrasikan detektor GM dengan sistem akuisisi data berbasis LabVIEW, kami berharap dapat menciptakan sistem yang tidak hanya *cost-effective*, tetapi juga mudah digunakan dan dapat memberikan data radiasi yang akurat untuk analisis lebih lanjut (Tiyapun et al., 2023)

Pemantauan radiasi di fasilitas nuklir adalah hal yang mutlak dilakukan karena berkaitan langsung dengan keselamatan lingkungan. Laju paparan radiasi gamma yang dihasilkan dari aktivitas operasional Reaktor Kartini dipantau menggunakan beberapa alat monitor radiasi yang terintegrasi dengan komputer melalui *PCI to RS232 card*. Namun, seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi komputer, *PCI card* mulai tergantikan oleh teknologi *PCI Express*. Oleh karena itu, diperlukan sistem antarmuka komputer yang terus berkembang dan tetap relevan, salah satunya dengan memanfaatkan *universal serial bus* (USB). Untuk mendukung hal ini, perlu dikembangkan sistem antarmuka berbasis teknologi mandiri menggunakan mikrokontroler yang mampu berkomunikasi melalui *port* USB, sehingga dapat mengikuti kebutuhan teknologi modern yang lebih fleksibel

dan efisien (Abimanyu et al., 2014)

Seiring dengan perkembangan teknologi, perangkat lunak berbasis LabVIEW menawarkan solusi yang inovatif untuk mengatasi tantangan dalam pengolahan data radiasi. LabVIEW, sebagai platform pemrograman grafis, memungkinkan pengembangan aplikasi yang interaktif dan intuitif, sehingga pengguna dapat dengan mudah memahami informasi yang disajikan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang perangkat lunak pencacah radiasi berbasis LabVIEW yang dapat menampilkan informasi data cacahan radiasi dan tegangan tinggi secara *real-time*. Dengan demikian, pengguna dapat memantau tingkat radiasi secara langsung dan mengambil tindakan yang diperlukan jika diperlukan.

Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengintegrasikan perangkat lunak sistem pencacah radiasi berbasis LabVIEW dengan perangkat keras sistem pencacah menggunakan ESP32. Integrasi ini akan memungkinkan komunikasi yang efisien antara perangkat lunak dan perangkat keras, sehingga data yang diperoleh dari detektor Geiger- Muller dapat diproses dan ditampilkan secara akurat. Dengan adanya komunikasi yang baik antara kedua komponen ini, diharapkan sistem pencacah radiasi dapat beroperasi dengan lebih optimal.

Selanjutnya, penelitian ini akan mengimplementasikan tampilan informasi sistem pencacah radiasi di LabVIEW yang ergonomis dan user-friendly. Dengan desain antarmuka yang baik, perangkat lunak ini tidak hanya akan memudahkan pengguna dalam memahami data yang ditampilkan, tetapi juga memungkinkan penggunaan sistem pencacah radiasi dalam praktikum secara online. Hal ini sangat penting, terutama dalam konteks pendidikan dan pelatihan, di mana mahasiswa dan praktisi dapat belajar dan berlatih dalam lingkungan yang aman dan terkontrol.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sistem pemantauan radiasi yang lebih canggih dan responsif, serta mendukung upaya perlindungan kesehatan masyarakat dari dampak radiasi yang berbahaya.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dapat disampaikan setelah melihat latar belakang tersebut antara lain:

1. Bagaimana rancang bangun prototipe perangkat lunak sistem pencacah radiasi berbasis LabVIEW yang terintegrasi dengan perangkat keras menggunakan ESP32 dan detektor Geiger-Muller.
2. Bagaimana unjuk kerja prototipe perangkat lunak sistem pencacah radiasi yang dikembangkan ditinjau dari kestabilan sistem, akurasi pencacahan, dan pengaturan tegangan tinggi (*high voltage*).

1.3 Tujuan

Adapun penelitian ini dilakukan bertujuan untuk:

1. Merancang perangkat lunak pencacah radiasi berbasis LabVIEW untuk menampilkan informasi data cacahan radiasi dan tegangan tinggi secara *real-time*.
2. Mengintegrasikan perangkat lunak sistem pencacah radiasi berbasis LabVIEW dengan perangkat keras sistem pencacah menggunakan ESP32 sehingga dapat berkomunikasi.
3. Mengimplementasikan tampilan informasi sistem pencacah radiasi di LabVIEW, sehingga lebih ergonomis dan dapat digunakan untuk praktikum secara *online*.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Efisiensi pemantauan memudahkan pencatatan cacahan radiasi secara *real-time*.
2. Fleksibilitas sistem integrasi dengan ESP32 mempermudah pengaturan perangkat keras.
3. Akurasi data menyediakan tampilan informasi cacahan yang jelas dan akurat untuk analisis.

1.5 Batasan Masalah Penelitian

Batasan masalah dari penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana merancang perangkat lunak sistem pencacah yang ergonomis dan informatif menggunakan LabVIEW.
2. Bagaimana mensinkronkan dengan perangkat keras sistem pencacah berbasis esp32 dengan sistem pencacah berbasis LabVIEW.
3. Bagaimana mengatur *High Voltage* sistem pencacah radiasi berbasis LabView dengan motor servo.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pengertian Radiasi

Radiasi adalah energi yang dilepaskan dari atom yang tidak stabil dalam bentuk partikel atau gelombang elektromagnetik. Proses ini terjadi ketika inti atom yang tidak stabil mengalami peluruhan radioaktif, yang menghasilkan radiasi alfa, beta, atau gamma. Radiasi alfa terdiri dari partikel yang terdiri dari dua proton dan dua neutron, radiasi beta terdiri dari elektron atau positron berkecepatan tinggi, sementara radiasi gamma adalah gelombang elektromagnetik dengan energi tinggi. Radiasi terjadi dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam bidang kedokteran untuk diagnosis dan pengobatan, industri untuk pemantauan proses, dan energi untuk pembangkit listrik. Namun, radiasi juga memiliki potensi bahaya terhadap kesehatan manusia dan lingkungan jika tidak dikelola dengan benar (Campbell & Norman, 1998).

Radiasi memiliki dampak yang signifikan pada kesehatan manusia, tergantung pada jenis dan dosis radiasi yang diterima. Paparan radiasi yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan seluler dan jaringan, yang dapat mengarah pada kanker dan penyakit radiasi akut. Selain itu, efek jangka panjang dari paparan radiasi rendah juga harus diperhatikan karena dapat menyebabkan mutasi genetik dan masalah kesehatan lainnya. Oleh karena itu, pengelolaan dan pengendalian radiasi sangat penting untuk memastikan keselamatan manusia dan lingkungan. Berbagai organisasi internasional seperti Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA) dan Komisi Pengaturan Nuklir Amerika Serikat (NRC) telah menetapkan pedoman dan regulasi untuk mengelola penggunaan dan pengendalian radiasi. (Galindo, 2021)

2.2 Pengertian Bahaya Radiasi

Radiasi, energi yang bergerak cepat yang dipancarkan sebagai partikel atau gelombang, terdapat dalam dua bentuk yaitu radiasi non-pengion (*Non-Ionizing Radiation/NIR*) dan radiasi pengion (*Ionizing Radiation/IR*). Sebagai salah satu bentuk radiasi yang paling banyak digunakan dalam ilmu kedokteran, Sinar-X dapat menembus jaringan hidup dan mengakibatkan fungsi sel abnormal atau kematian. Oleh karena itu, karena efek samping medisnya, *United States National Cancer Institute* (USNCI) telah mengklasifikasikan sinar ini sebagai karsinogen bagi manusia. Paparan IR dapat didefinisikan dan disurvei sebagai paparan internal dan eksternal. Paparan internal adalah masuknya radiasi ke dalam tubuh yang disebabkan oleh inhalasi, konsumsi, atau masuknya radionuklida ke dalam aliran darah (melalui suntikan, luka terbuka, dll.). Radiasi internal dapat dihentikan dengan membuang radionuklida secara spontan dari tubuh atau di bawah pengaruh berbagai perawatan. Dalam paparan eksternal, bahan radioaktif tidak masuk ke dalam tubuh. Dengan kata lain, sumber radiasi berada di luar tubuh, dan tergantung pada jenis radiasi, metode perlindungan yang berbeda dapat digunakan. Penelitian telah menunjukkan bahwa paparan IR dosis tinggi dapat menyebabkan berbagai jenis kanker. Namun, paparan dosis rendah juga dapat memiliki efek kesehatan yang merugikan (Bahrami Asl et al., 2023)

Paparan terhadap radiasi dapat berasal dari sumber alami (misalnya radon di rumah), situasi yang direncanakan (medis, pekerjaan) atau tidak disengaja. Keadaan darurat radiasi dapat berdampak besar pada kesehatan manusia dan lingkungan. Dampaknya akan sangat bervariasi, tergantung pada skenario, skala keadaan darurat, jenis radiasi dan durasi paparan, jalur paparan (eksternal, internal, atau gabungan), ketersediaan dan ketepatan waktu tindakan penanggulangan, serta

karakteristik individu orang yang terpapar (usia, jenis kelamin, kondisi kesehatan yang mendasarinya). Akibatnya, orang-orang mungkin terpapar radiasi dalam tingkat yang bervariasi dari dosis yang sangat rendah yang tidak mengakibatkan manifestasi klinis apa pun dari paparan tersebut, hingga dosis yang lebih tinggi yang dapat menyebabkan cedera radiasi (alias "reaksi jaringan") atau bahkan berakibat fatal. Risiko dampak kesehatan meningkat seiring dengan meningkatnya dosis radiasi. Pekerja di instalasi nuklir, penanggap pertama, dan petugas pemadam kebakaran memiliki risiko lebih tinggi untuk terpapar radiasi secara berlebihan dan menerima cedera radiasi, sedangkan, bagi sebagian besar orang yang terkena dampak darurat nuklir, kecil kemungkinan mereka akan mengalami dampak langsung dari radiasi. Paparan radiasi yang berlebihan dapat merusak jaringan dan organ hidup, tergantung pada jumlah radiasi yang diterima (yaitu dosisnya) (WHO TEAM, 2023)

2.3 Pengertian Prototipe

Prototipe adalah alat penting dalam proses desain dan pengembangan yang memungkinkan para pemangku kepentingan untuk berinteraksi dengan manifestasi awal dari desain dan mengeksplorasi kesesuaiannya. Menurut studi yang diterbitkan oleh Design Society, prototipe biasanya menonjolkan karakteristik spesifik dari produk sementara mengurangi penekanan pada aspek lainnya. Hal ini memungkinkan pengujian dan evaluasi fitur tertentu dari produk tanpa harus membangun versi akhir yang sepenuhnya lengkap (Jensen et al., 2016)

Dalam konteks penelitian dan pengembangan pertahanan, prototipe didefinisikan sebagai sampel atau model awal yang dibuat untuk menjawab pertanyaan spesifik, memberikan wawasan, atau mengurangi ketidakpastian.

Prototipe ini dapat berupa bukti konsep, model untuk mengatasi masalah keusangan, aplikasi baru dari teknologi komersial untuk tujuan pertahanan, atau aktivitas pengembangan yang gesit. Mereka membantu dalam mengevaluasi kelayakan teknis atau operasional suatu konsep sebelum melanjutkan ke tahap produksi massal (Williams & Shaffer, 2015)

Lebih lanjut, prototipe digunakan dalam berbagai tahap siklus hidup sistem, mulai dari eksplorasi konsep hingga penilaian alternatif desain dan pengujian kinerja. Prototipe memungkinkan pengujian awal dan berkelanjutan dari ide-ide untuk menyaring konsep yang menjanjikan dan iterasi hingga solusi yang divalidasi. Dengan demikian, prototipe berfungsi sebagai alat yang efektif untuk mengurangi risiko dan mengumpulkan informasi yang mendukung keputusan investasi lebih lanjut dalam teknologi (Williams & Shaffer, 2015)

2.4 Detektor Geiger-Muller

Detektor Geiger-Muller adalah alat yang digunakan untuk mendeteksi radiasi ionisasi, seperti partikel alfa, beta, dan sinar gamma. Prinsip dasar dari detektor ini adalah penggunaan tabung Geiger-Muller yang diisi dengan gas, biasanya campuran argon dan alkohol, yang berada di bawah tekanan rendah. Ketika partikel radiasi memasuki tabung, ia berinteraksi dengan gas dan menyebabkan ionisasi, menciptakan pasangan ion. Tegangan tinggi yang diterapkan antara anoda dan katoda tabung menyebabkan pasangan ion ini mempercepat dan menghasilkan pulsa listrik yang dapat dihitung. Mekanisme ini memungkinkan detektor untuk menghitung jumlah radiasi yang terjadi di lingkungan sekitarnya (Knoll & Kraner, 1981)

. Prinsip kerja detektor ini didasarkan pada proses ionisasi gas yang terjadi di

dalam tabung detektor ketika radiasi pengion, seperti partikel alfa, beta, dan sinar gamma, memasuki tabung. Ketika radiasi tersebut berinteraksi dengan gas isian di dalam tabung, ia menyebabkan ionisasi, menghasilkan pasangan ion positif dan elektron. Medan listrik yang dihasilkan antara anoda dan katoda dalam tabung GM(Geiger-Muller) menarik elektron menuju anoda dan ion positif menuju katoda, yang kemudian menghasilkan arus listrik. Proses ini dapat menyebabkan terjadinya multiplikasi ion (*avalanche*), di mana satu elektron yang dihasilkan dari ionisasi dapat menyebabkan ionisasi lebih lanjut, menghasilkan pulsa listrik yang dapat diukur (Sayono et al., 2009)

Detektor Geiger-Müller dapat mendeteksi berbagai jenis radiasi, termasuk radiasi alfa, beta, dan gamma, meskipun sensitivitasnya terhadap masing-masing jenis radiasi dapat bervariasi tergantung pada desain dan bahan yang digunakan (Hilyana, 2017).



Gambar 2.1 Detektor Geiger Muller

Karakteristik teknis dari detektor ini mencakup panjang Dalam konteks penggunaan alat hitung radiasi seperti tabung Geiger-Müller, istilah *plateau* dan *slope* merujuk pada karakteristik kurva respons alat terhadap tegangan yang diberikan. *Plateau* adalah rentang tegangan di mana laju hitung (count rate) relatif stabil meskipun tegangan meningkat. Rentang ini penting karena

menunjukkan kondisi operasi ideal alat, yakni saat sensitivitas optimal tanpa terjadi pelepasan muatan berlebih. *Slope* atau kemiringan merujuk pada tingkat perubahan laju hitung dalam *plateau*. Semakin kecil nilai *slope*, semakin stabil alat dalam mendeteksi radiasi. Alat yang baik memiliki *plateau* panjang dan *slope* rendah, menandakan keandalan dan keakuratan pengukuran radiasinya. tegangan operasi, resolving time, dan *dead time*. Panjang *plateau* yang baik biasanya lebih dari 100 volt, dengan *slope* yang kecil (kurang dari 10% per 100 volt) menunjukkan bahwa detektor dapat beroperasi dengan stabil dalam rentang tegangan tersebut. Resolving time adalah waktu minimum yang diperlukan untuk mendeteksi radiasi berikutnya setelah terjadinya pencacahan, sedangkan *dead time* adalah periode dimana detektor tidak dapat mendeteksi radiasi setelah menghasilkan pulsa (Fisika et al., 2011)

Tabung Geiger-Muller umumnya berisi campuran gas yang terdiri dari 98% helium dengan tambahan 1,3% butana sebagai gas pendukung proses quenching. Tabung tersebut memiliki bentuk silinder yang berfungsi sebagai katoda, sementara sebuah kawat halus yang berada di bagian tengah berperan sebagai anoda. Alat ini secara luas dimanfaatkan untuk mendeteksi radiasi beta melalui mekanisme ionisasi gas. Ketika sumber radioaktif didekatkan dengan detektor, partikel radiasi yang memasuki tabung akan berinteraksi dengan gas sehingga terjadi ionisasi. Proses ini menghasilkan pulsa listrik yang kemudian dihitung sebagai laju cacahan. Pada kondisi tegangan operasi tertentu, penguatan gas terus terjadi sehingga satu partikel pengion mampu menghasilkan pelipatgandaan ion yang menghasilkan pulsa berarus besar. Namun demikian, detektor Geiger-Müller memiliki keterbatasan karena tidak dapat membedakan jenis maupun energi radiasi yang terdeteksi. Apabila tegangan operasi dinaikkan secara bertahap dari nilai rendah hingga tinggi, maka grafik hubungan antara tegangan dan laju cacahan akan menunjukkan suatu

daerah mendatar yang dikenal sebagai *plateau*. Pada rentang *plateau* ini, perubahan tegangan tidak memberikan pengaruh berarti terhadap nilai cacahan. Tegangan pada saat cacahan mulai muncul disebut starting voltage, sementara batas awal dan batas akhir *plateau* masing-masing ditandai sebagai V_1 dan V_2 . Pemilihan tegangan kerja (HV) ditetapkan pada daerah *plateau*, idealnya sekitar sepertiga dari lebar *plateau* untuk memastikan stabilitas pengukuran. (Reaktor et al., 2014)

2.5 Sistem Pencacah

Sistem pencacah dalam konteks deteksi radiasi adalah suatu rangkaian perangkat elektronik yang dirancang untuk mengkonversi interaksi radiasi dengan materi menjadi data kuantitatif yang dapat dianalisis (Knoll & Kraner, 1981). Sistem ini menjadi pusat dari aktivitas pemantauan radiasi, baik untuk tujuan keamanan, penelitian ilmiah, maupun pengendalian kualitas di industri.

2.5.1 High Voltage

Komponen *High Voltage* dalam sistem ini memainkan peran krusial karena tabung detektor, seperti Geiger-Müller (GM), memerlukan tegangan tinggi untuk menjaga kondisi medan listrik yang memungkinkan terjadinya ionisasi gas saat partikel radiasi masuk (Tsoulfanidis, Nicholas; Landsberger, 2015). Apabila tegangan tidak stabil atau terlalu rendah, proses ionisasi tidak akan optimal, sehingga banyak partikel radiasi tidak terdeteksi, menyebabkan data yang dihasilkan tidak akurat. Sebaliknya, jika tegangan terlalu tinggi, tabung GM dapat mengalami kerusakan permanen atau bahkan terjadi pelepasan muatan yang tidak diinginkan (Hendee, William R.; Ritenour, 2002)

2.5.2 Pembentuk Pulsa

Setelah proses ionisasi terjadi dan menghasilkan sinyal listrik mentah, komponen pembentuk pulsa mengolah sinyal tersebut menjadi pulsa-pulsa terstandarisasi yang memiliki amplitudo dan durasi seragam (Leo, 1994). Hal ini penting karena data pencacahan akan dikirim ke counter yang hanya mampu membaca pulsa dalam format digital tertentu. Proses pembentukan pulsa ini sekaligus berfungsi sebagai filter terhadap sinyal-sinyal yang tidak relevan atau noise yang berasal dari gangguan eksternal, sehingga data yang masuk benar-benar hanya berasal dari interaksi dengan radiasi

2.5.3 GM Inverter

GM inverter menjadi elemen yang bekerja di balik layar dengan menjaga kestabilan tegangan tinggi dalam sistem serta mencegah aliran balik atau lonjakan listrik yang dapat merusak sirkuit. Kinerja sistem secara keseluruhan sangat bergantung pada efektivitas inverter ini, terutama dalam kondisi lapangan yang tidak stabil secara listrik (Cherry, S. R.; Sorenson, J. A.; Phelps, 2012).

2.5.4 Counter

Counter bertindak sebagai otak pemrosesan data awal yang menghitung jumlah pulsa dalam rentang waktu tertentu. Setiap pulsa mewakili satu kejadian interaksi radiasi, sehingga nilai yang dihasilkan counter secara langsung menunjukkan intensitas radiasi yang terdeteksi oleh alat (Martin, Alan; Harbison, 2006). Counter yang baik harus memiliki sensitivitas tinggi dan kemampuan pemrosesan cepat agar tidak

ada pulsa yang terlewat, terutama pada kondisi radiasi tinggi.

2.5.5 Timer

Timer melengkapi sistem dengan menyediakan pengaturan waktu observasi yang terstruktur. Dengan timer, sistem pencacah dapat melakukan pengukuran dalam interval tertentu, seperti detik, menit, atau jam, sehingga hasilnya dapat dikonversi ke dalam satuan yang umum digunakan seperti counts per second (cps) atau counts per minute (cpm) (Knoll & Kraner, 1981).

Dengan demikian, sistem pencacah merupakan integrasi kompleks dari rangkaian elektronik yang bekerja secara harmonis untuk menghasilkan data radiasi yang akurat, dapat diandalkan, dan relevan. Analisis terhadap performa setiap komponen, terutama kestabilan tegangan dan kepekaan counter, menjadi kunci keberhasilan sistem ini dalam diterapkan pada berbagai lingkungan, baik itu laboratorium, fasilitas kesehatan, pembangkit listrik tenaga nuklir, maupun area pemantauan lingkungan (Tsoulfanidis, Nicholas; Landsberger, 2015).

2.6 Mikrokontroler ESP32 DEVKIT V1

ESP32 adalah mikrokontroler untuk sistem pemantauan energi cerdas dengan kemampuan pemrosesan data yang tinggi. Dikenal karena prosesor *dual-core Xtensa* 32-bit LX6 berkecepatan hingga 240 MHz, 520 KB RAM, dan 16 MB *flash*, ESP32 mampu mengumpulkan, menganalisis, dan mengirimkan data penggunaan energi secara *real-time*. Dapat terhubung melalui WIFI dan *Bluetooth* 4.2, ESP32 juga mendukung koneksi dengan aplikasi Blynk untuk pembaruan informasi. Konsumsi daya rendah dan fitur mode deep sleep membuatnya ideal untuk efisiensi energi. Dengan harga terjangkau dan spesifikasi unggul, ESP32 merupakan pilihan

tepat untuk sistem pemantauan energi yang memerlukan integrasi dan efisiensi tinggi (El-Khozondar et al., 2024).

Salah satu keunggulan dari ESP32 adalah kemampuannya untuk menangani berbagai aplikasi, mulai dari sensor sederhana hingga sistem yang lebih kompleks. Modul ini juga memiliki banyak pin input/output (I/O) yang dapat digunakan untuk menghubungkan berbagai sensor dan aktuator. Selain itu, ESP32 mendukung pemrograman menggunakan berbagai bahasa, termasuk *Arduino*, *MicroPython*, dan ESP-IDF (*Espressif IoT Development Framework*), yang memberikan fleksibilitas bagi pengembang dalam memilih *platform* yang sesuai dengan kebutuhan mereka (Aghenta & Iqbal, 2019).

ESP32 adalah mikrokontroler yang kuat dan serbaguna, dirancang oleh *Espressif Systems*, dengan *prosesor dual-core* 32-bit LX6 yang dapat beroperasi pada frekuensi hingga 240 MHz. Mikrokontroler ini dilengkapi dengan memori RAM sebesar 520 KB dan dukungan untuk penyimpanan *flash* eksternal hingga 16 MB. Dalam hal konektivitas, ESP32 mendukung WIFI IEEE 802.11 b/g/n dan *Bluetooth* v4.2, baik dalam mode *Classic* maupun BLE. Terdapat total 34 pin I/O, termasuk 18 saluran ADC 12-bit dan 2 saluran DAC 8-bit, serta mendukung berbagai antarmuka seperti UART, SPI, I2C, PWM, dan GPIO. Fitur tambahan yang ditawarkan mencakup antarmuka I2S dan SDIO, serta kemampuan enkripsi seperti AES, SHA-2, dan RSA, dengan manajemen daya yang efisien melalui beberapa mode tidur. ESP32 tersedia dalam berbagai paket, termasuk modul seperti ESP-WROOM-32 dan ESP-WROVER, dan kompatibel dengan berbagai platform pengembangan seperti ESP-IDF, Arduino IDE, dan PlatformIO. Dengan spesifikasi ini, ESP32 menjadi pilihan yang sangat baik untuk pengembangan proyek yang memerlukan konektivitas dan pemrosesan data yang efisien, termasuk aplikasi IoT,

otomasi rumah, dan prototyping perangkat pintar (Systems, 2024)



Gambar 2.2 Mikrokontroler ESP-WROOM-32

ESP-WROOM-32 adalah modul WIFI dan *Bluetooth* yang berbasis pada *chip* ESP32, dirancang khusus untuk aplikasi *Internet of Things* (IoT). Modul ini dilengkapi dengan prosesor *dual-core* Xtensa® 32-bit LX6 yang dapat beroperasi hingga 240 MHz, serta memiliki 520 KB SRAM dan dukungan untuk memori *flash* eksternal hingga 16 MB. Dalam hal konektivitas, ESP-WROOM-32 mendukung WIFI 802.11 b/g/n dan *Bluetooth* v4.2 BR/EDR serta BLE (*Bluetooth Low Energy*). Modul ini juga menyediakan 34 pin GPIO (*General Purpose Input/Output*) yang mendukung berbagai fungsi seperti PWM, ADC, DAC, I2C, I2S, SPI, dan UART. Fitur tambahan yang ditawarkan termasuk dukungan untuk berbagai protokol komunikasi seperti HTTP, MQTT, dan CoAP, serta keamanan dengan WPA/WPA2 dan SSL/TLS. Dalam hal konsumsi daya, modul ini memiliki mode aktif dengan konsumsi maksimum 160 mA dan mode tidur yang sangat efisien dengan konsumsi maksimum 10 μ A. ESP-WROOM-32 beroperasi pada tegangan 3.0V hingga 3.6V dan dapat dioperasikan dengan catu daya dari USB atau sumber eksternal. Dengan ukuran modul 25.5 mm x 18 mm dan suhu operasi yang dapat mencapai -40°C

hingga 125°C, ESP-WROOM-32 sangat cocok untuk berbagai aplikasi seperti *smart home*, sensor nirkabel, perangkat *wearable*, dan sistem pemantauan jarak jauh. Dokumentasi terkait, termasuk datasheet dan panduan pengembangan, tersedia untuk membantu pengguna memanfaatkan modul ini secara optimal (Systems, 2024)

2.7 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) adalah lingkungan pemrograman yang dirancang untuk memudahkan pengembangan dan pengunggahan kode ke papan Arduino. IDE ini bersifat *multi-platform*, dapat dijalankan di berbagai sistem operasi seperti *Windows*, *Macintosh*, dan *Linux*, serta menawarkan antarmuka yang sederhana dan mudah digunakan. Pengguna dapat menulis kode dalam bahasa yang mirip dengan C/C++, dan IDE menyediakan berbagai fungsi serta pustaka untuk mendukung pengembangan. Salah satu fitur utama dari Arduino IDE adalah kemampuannya untuk melakukan verifikasi kode sebelum diunggah ke papan Arduino, serta menyediakan *Serial Monitor* untuk menampilkan data yang dikirim dan diterima melalui komunikasi serial. Selain itu, pengguna perlu mengunduh *driver USB* agar komputer dapat mengenali papan Arduino yang terhubung. Arduino IDE banyak digunakan dalam pendidikan karena kemudahan penggunaannya, memungkinkan pemula untuk belajar pemrograman dan elektronik dengan cepat, serta didukung oleh komunitas online yang aktif (Artanto, 2019)

Papan Arduino menjalankan kode yang diunggah melalui IDE tersebut. Pada umumnya, papan Arduino menggunakan mikrokontroler 8-bit AVR buatan Atmel sebagai komponen utamanya. Kode yang ditulis dan diunggah ke papan Arduino

akan diproses oleh mikrokontroler tersebut. Arduino juga menyediakan pustaka-pustaka yang didukung oleh komunitas global. Produsen sensor dan perangkat pendukung turut menyediakan pustaka yang membuat implementasi Arduino lebih mudah diakses dan digunakan oleh komunitas luas.

Beberapa implementasi platform berbasis Arduino antara lain mencakup sistem lalu lintas kendaraan berbasis GSM, *Smart Energy Meter*, sistem peringatan banjir untuk tempat parkir, serta pemantauan suhu, kelembapan, dan kelembapan tanah untuk keperluan irigasi melalui GSM. Selain itu, Arduino telah digunakan dalam sistem pemantauan dan peringatan dini bencana geologi (*geohazards*). Penelitian-penelitian ini menunjukkan bahwa platform Arduino merupakan solusi yang andal dan mudah digunakan untuk pengembangan perangkat keras open-source (Kusuma et al., 2021)

Arduino IDE berperan penting dalam mengembangkan aplikasi yang dapat membaca dan memproses data dari sensor radiasi. Dengan menggunakan Arduino IDE, pengguna dapat memprogram Arduino untuk mengumpulkan data dari sensor, mengolah informasi tersebut, dan menampilkan hasilnya melalui antarmuka yang interaktif. IDE ini memungkinkan pengguna untuk mengimplementasikan berbagai fungsi, seperti pembacaan sinyal analog dari sensor radiasi, serta pengolahan data untuk menghasilkan output yang relevan. Dengan demikian, Arduino IDE menjadi alat yang sangat berguna dalam pengembangan sistem pencacah radiasi yang efektif dan efisien (Artanto, 2019)

2.8 Modul ADS1115

ADS1115 adalah konverter analog-ke-digital (ADC) 16-bit yang dirancang untuk aplikasi yang membutuhkan tingkat presisi tinggi dalam pengukuran sinyal

analog. Perangkat ini termasuk dalam seri ADS111x, yang juga mencakup model ADS1113, ADS1114, dan ADS1115. Dengan desain kompak dalam kemasan ultra-kecil, ADS1115 mendukung rentang tegangan suplai yang luas, yaitu antara 2,0 V hingga 5,5 V, dan memiliki konsumsi daya rendah sebesar 150 μ A pada mode konversi kontinu (Information & Diagrams, 2018)



Gambar 2.3 Modul ADS1115

ADS1115 16-bit digunakan untuk mengonversi nilai analog (tegangan) menjadi nilai digital. ADS1115 mampu melakukan konversi analog ke digital dengan resolusi tinggi, sehingga menghasilkan pengukuran yang lebih akurat. Konversi *single-ended* digunakan untuk memperoleh data dari sensor guna mengukur tegangan positif. Dengan metode konversi ini, ADS1115 menghasilkan resolusi sebesar 15-bit (Kusuma et al., 2021).

Perangkat ini mampu melakukan konversi dengan kecepatan hingga 860 sampel per detik (SPS) dan dilengkapi dengan penguat gain yang dapat diprogram serta *multiplexer input*. Fitur ini memungkinkan pengukuran sinyal baik dalam mode *single-ended* maupun diferensial. Selain itu, ADS1115 memiliki referensi tegangan internal, osilator bawaan, serta antarmuka I2C yang mendukung hingga empat alamat yang dapat dipilih. Model ADS1114 dan ADS1115 juga dilengkapi fitur komparator yang dapat diprogram untuk mendeteksi kondisi

tegangan tertentu dalam berbagai aplikasi pengukuran. Dirancang untuk beroperasi pada rentang suhu yang luas, dari -40°C hingga $+125^{\circ}\text{C}$, ADS1115 sangat cocok digunakan dalam aplikasi seperti instrumentasi portabel, pemantauan baterai, dan otomatisasi proses.

ADS1115 adalah konverter analog-ke-digital (ADC) 16-bit yang dirancang untuk aplikasi pengukuran dengan tingkat presisi tinggi. Meskipun bukan merupakan sensor langsung, perangkat ini berfungsi untuk mengubah sinyal analog yang dihasilkan oleh sensor menjadi data digital yang dapat diproses oleh mikrokontroler. Perangkat ini memegang peran penting dalam sistem yang membutuhkan pengukuran dari sinyal analog (Information & Diagrams, 2018)

2.9 Modul MCP4725

MCP4725 adalah modul *Digital-to-Analog Converter* (DAC) 12-bit yang dirancang untuk menghasilkan sinyal analog dengan resolusi tinggi.



Gambar 2.4 Modul MCP4725

Modul ini mampu menerima hingga 4096 nilai input, di mana input 0 menghasilkan output 0V dan input 4095 menghasilkan output maksimum sesuai dengan referensi tegangan yang terhubung ke pin VCC, yang berkisar antara 2,7V hingga 5,5V. Salah satu fitur utama MCP4725 adalah adanya memori EEPROM, yang memungkinkan penyimpanan nilai output untuk digunakan kembali setelah reset atau saat daya mati. Modul ini juga menggunakan antarmuka komunikasi TWI

(*Two Wire Interface*), yang mendukung hingga 8 alamat yang dapat dipilih dan menawarkan laju transmisi data yang tinggi hingga 3,4 Mbit/s. MCP4725 sering digunakan dalam proyek-proyek berbasis mikrokontroler seperti Arduino dan Raspberry Pi, karena kemudahan penggunaannya dan keandalannya dalam pengukuran. Dengan spesifikasi yang mencakup rentang pengukuran daya 0 ~ 9999 kW, tegangan 80 ~ 260 VAC, dan arus 0 ~ 100 A, MCP4725 menjadi komponen penting dalam sistem yang memerlukan konversi digital ke analog, memungkinkan pengembangan aplikasi yang lebih kompleks dan efisien. (Dwiky Kharisma Putra, Fiqqih Faizah, 2022)

2.10 Motor Servo MG996R

Motor servo MG996R merupakan salah satu jenis aktuator yang umum digunakan pada sistem kendali dan robotika karena memiliki kombinasi antara torsi tinggi, presisi posisi yang baik, serta konstruksi berbahan logam yang kuat. Servo ini bekerja dengan prinsip *closed-loop control*, di mana posisi sudut poros dikendalikan berdasarkan sinyal pulsa lebar (PWM) yang diterjemahkan oleh rangkaian internal servo menjadi gerakan sudut tertentu. MG996R dirancang untuk beroperasi pada tegangan 4,8 – 6 volt dengan kecepatan tanpa beban sekitar 0,17 s/60° pada 4,8 V dan 0,14 s/60° pada 6 V, serta mampu menghasilkan torsi hingga 11 kg·cm pada 6 V. Kombinasi torsi yang besar, respon cepat, dan presisi posisi menjadikannya salah satu servo yang banyak diaplikasikan dalam sistem pengendalian mekanik berukuran kecil hingga menengah (Technology, 2020).

Secara konstruksi, MG996R dilengkapi dengan *metal gear* serta *dual ball bearing* yang berfungsi meningkatkan ketahanan terhadap keausan dan stabilitas putaran. Komponen ini memiliki dimensi $40,7 \times 19,7 \times 42,9$ mm dan berat sekitar

55 gram, sehingga mudah diintegrasikan dengan sistem berbasis mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32. Servo ini dikendalikan menggunakan sinyal PWM dengan durasi pulsa antara 1 hingga 2 ms untuk mengatur posisi sudut dari 0° hingga 180°, menjadikannya sangat sesuai untuk aplikasi yang memerlukan kontrol posisi presisi pada ruang terbatas (Components101, 2023)

Penelitian yang dilakukan oleh Rahman dkk (2024) menunjukkan bahwa MG996R dapat dioptimalkan kinerjanya menggunakan sistem kendali PID yang dituning dengan algoritma Particle Swarm Optimization (PSO). Melalui pendekatan tersebut, servo mampu mencapai presisi posisi dengan tingkat kesalahan lebih kecil dan waktu respon lebih cepat dibandingkan kontrol konvensional. Penerapan MG996R pada sistem kendali berbasis umpan balik ini menunjukkan bahwa servo tersebut dapat digunakan tidak hanya pada sistem hobi, tetapi juga untuk penelitian yang menuntut ketelitian aktuasi tinggi (Rahman, M.; Ismail, A.; Shahril, 2024).



Gambar 2.5 Motor Servo MG996R

Dalam penelitian ini, MG996R digunakan sebagai aktuator penggerak mekanis untuk mengatur tegangan tinggi (*High Voltage – HV*) yang diproduksi oleh rangkaian EMCO. Servo menerima nilai kendali dalam bentuk sinyal digital dari mikrokontroler ESP32, kemudian mengubahnya menjadi gerakan sudut tertentu

untuk memutar potensiometer atau knob pengatur HV secara mekanis. Integrasi ini memungkinkan hubungan langsung antara data keluaran LabVIEW dan pengaturan fisik tegangan tinggi, sehingga sistem mampu melakukan pengaturan HV secara *real-time* dan stabil (Tiyapun, P.; Khamruangrit, N.; Ngamjarurojana, 2023)

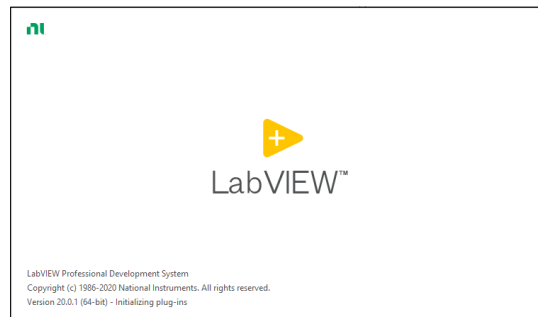
Secara keseluruhan, MG996R merupakan pilihan ekonomis dan efisien untuk sistem prototipe pengaturan tegangan tinggi berbasis ESP32–LabVIEW karena memiliki rasio torsi terhadap harga yang tinggi, kemudahan integrasi perangkat keras, serta respons sudut yang stabil. Dengan kalibrasi gerakan dan pembatasan sudut yang sesuai, servo ini dapat digunakan untuk menghasilkan kontrol HV yang halus dan presisi pada sistem pencacah radiasi berbasis LabVIEW yang dikembangkan dalam penelitian ini.

2.11 Pemrograman LabVIEW

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) adalah perangkat lunak yang dirancang untuk pemrosesan dan visualisasi data dalam bidang akuisisi data, kontrol, dan instrumentasi. Dikembangkan oleh *National Instruments* pada tahun 1986, *LabVIEW* menggunakan pendekatan pemrograman grafis yang memudahkan pengguna dalam membuat program dengan menarik dan menghubungkan ikon-ikon yang mewakili fungsi dan instruksi. Beberapa kelebihan *LabVIEW* dibandingkan dengan bahasa pemrograman teks adalah kemudahan pemahaman, kecepatan dalam pembuatan program, dan kemampuan untuk menangani instruksi secara paralel, yang memungkinkan eksekusi beberapa instruksi sekaligus (Artanto, 2019)

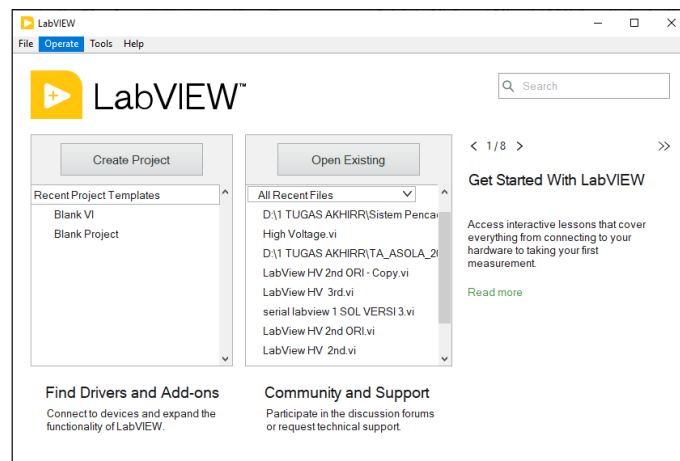
LabVIEW yang merupakan singkatan dari *Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench* adalah platform untuk pemrograman

visual dari National Instruments. Program LabVIEW disebut juga *instrument virtual* (IV) pada tampilan pengoperasiannya meniru instrumen fisik, seperti osiloskop dan multimeter. LabVIEW berisi seperangkat alat yang komprehensif untuk memperoleh analisis, menampilkan, dan menyimpan data, serta alat untuk membantu memecahkan kode (Williams & Shaffer, 2015)



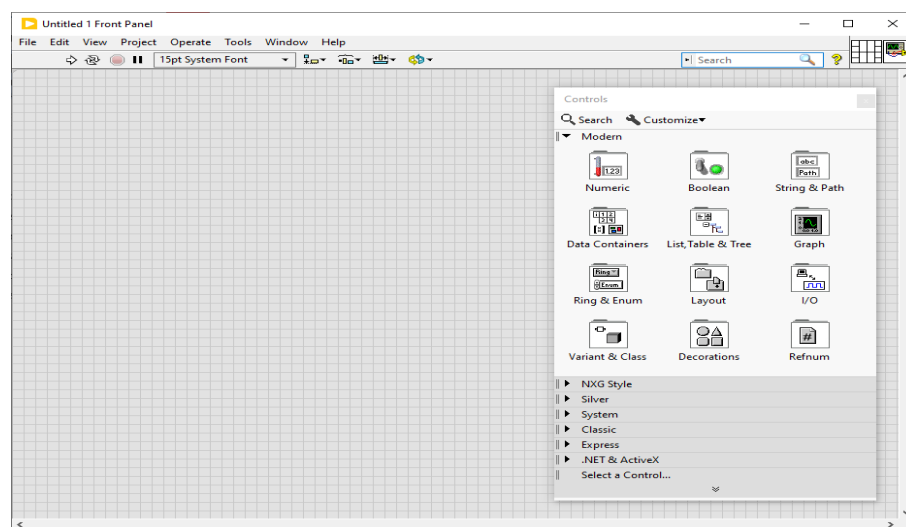
Gambar 2.6 LabVIEW 2020

LabVIEW bekerja dengan menyusun blok fungsional yang mewakili instrumen atau operasi, yang dihubungkan dengan jalur aliran data untuk mengatur pengolahan informasi. Tujuan utamanya adalah memberikan solusi mudah dan efisien untuk mengontrol perangkat keras dan mengolah data pengukuran, tanpa memerlukan penulisan kode secara manual. *LabVIEW* memungkinkan pembuatan sistem pengukuran yang kompleks dan pengolahan data secara bersamaan, serta menjadi alat penting untuk otomatisasi dalam berbagai bidang ilmiah dan teknis (Kodosky, 2020)



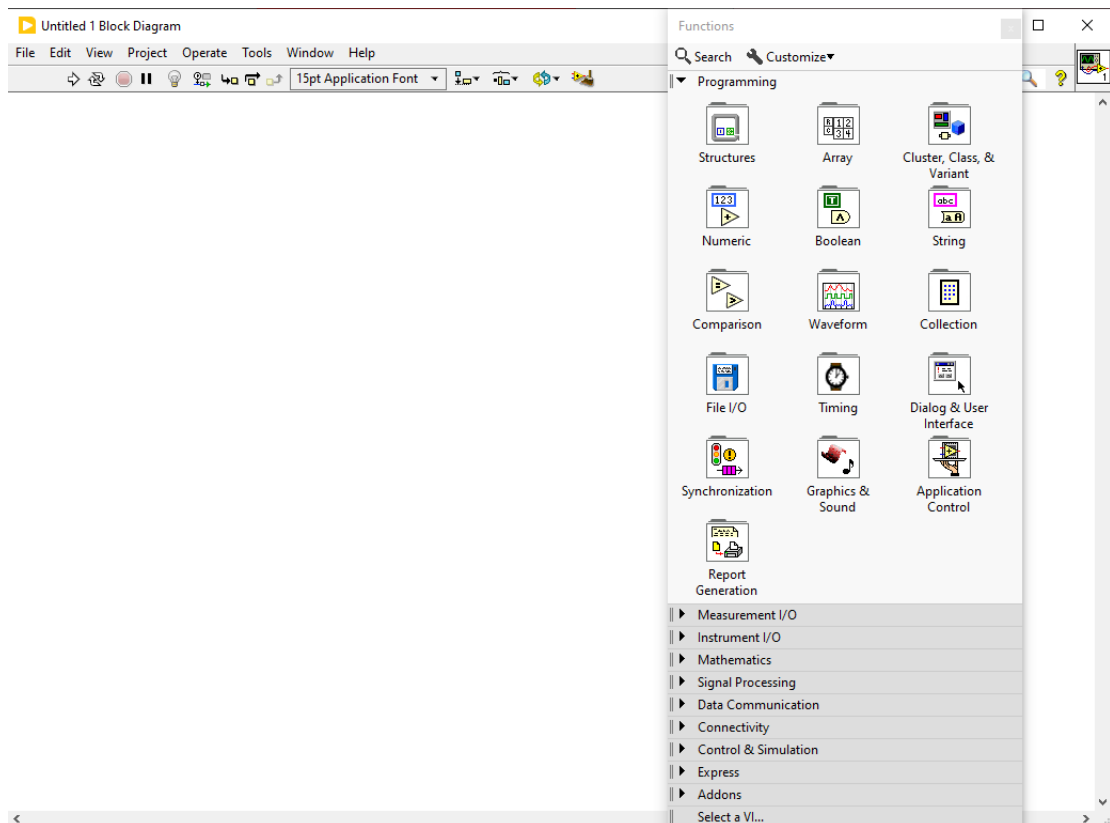
Gambar 2.7 Tampilan *Software LabVIEW 2020*

LabVIEW memiliki integrasi yang luas dengan berbagai perangkat keras dan pustaka, menjadikannya standar industri untuk aplikasi di bidang instrumentasi, pengolahan sinyal, dan analisis data. Lingkungan pemrograman *LabVIEW* terdiri dari dua jendela utama: *Front Panel*, yang berfungsi sebagai antarmuka pengguna, dan *Block Diagram*, tempat pembuatan logika program. Pengguna dapat menggunakan berbagai kontrol dan indikator untuk berinteraksi dengan data, serta memanfaatkan struktur pemrograman seperti *loop* dan percabangan untuk mengatur alur program (Artanto, 2019).



Gambar 2.8 Tampilan *Front Panel*

Pada gambar 2.8 menampilkan *control palette* yang terdiri dari *numeric sub palette*, pada *palette* tersebut terdapat *numerical control* sebagai input dan *numerical indicator* sebagai outputnya. Selain itu terdapat *boolean sub palette* yang biasanya digunakan untuk input tombol ataupun output indikator. Adapun *string and path sub palette* sebagai *string controls*, *combo box* dan sebagainya. Bagian *controls* tersebut dapat menyimulasikan perangkat masukkan instrumen dan data ke diagram blok VI. Indikator menyimulasi perangkat keluaran instrumen dan menampilkan data yang diperoleh atau dihasilkan diagram blok



Gambar 2.9 Tampilan *Block Diagram*

Tampilan utama laman diagram blok pada *LabVIEW* terdapat *Function palette* ditunjukkan pada gambar 2.8. terdapat *loop* and *structures* yang merupakan fitur untuk membuat *forloop*, *whileloop*, *case structure*, *sequence structure* dan

event structure. *While loop* digunakan untuk membuat diagram *loop* di mana sub diagrams di dalamnya akan berproses terus menerus tergantung dengan kondisi terminal, *input* terminal, dan partikular hasil *boolean*, adapun *case structure* yang biasanya digunakan untuk sub diagram dengan dua keadaan atau *case* yaitu keadaan *true* dan *false*, selain itu terdapat *sequence structure* yang merupakan struktur sub diagram atau *frames* yang dapat berproses berurutan, sedangkan fitur *local variable* digunakan untuk membaca masukkan *read* ataupun keluaran *write* kontrol dan indikator pada front panel (Instruments, n.d.).

Pada *function palette* juga terdapat numeric *palette* yang terdiri dari *numeric constant* untuk masukkan angka yang konstan dan juga keluaran diagram blok, selain itu terdapat *Double (DBL) numeric constant* yang digunakan untuk melampaui presisi ganda ataupun untuk *floating-point numeric* sebagai keluaran dari diagram blok. Adapun *comparison palette* berisi diagram blok untuk logika perbandingan seperti “*less?*” yang di mana masukkan x benar atau *true* sedangkan masukkan y untuk fungsi yang salah atau *false*. Untuk *timing palette* pada *function palette* biasanya digunakan fitur *wait* sebagai *delay* untuk waktu per milisekon (Instruments, n.d.)

LabVIEW juga mendukung pengembangan aplikasi yang kompleks melalui penggunaan subVI (subprogram), yang memungkinkan pengguna untuk membagi program menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan lebih mudah dikelola. Dengan komunitas yang besar dan dukungan dari *National Instruments*, *LabVIEW* menjadi alat yang sangat berharga dalam pendidikan dan industri, memfasilitasi transisi teknologi dari dunia pendidikan ke aplikasi praktis di lapangan (Artanto, 2019)

LabVIEW menyediakan berbagai fungsi dan pustaka yang dapat digunakan untuk mengolah sinyal dari sensor, seperti pembacaan nilai analog dan digital, serta

pengolahan data untuk menghasilkan output yang relevan. Selain itu, kemampuan *LabVIEW* untuk menangani pemrograman paralel memungkinkan sistem pencacah radiasi untuk melakukan beberapa tugas secara bersamaan, seperti pengambilan data dan pemrosesan sinyal, tanpa mengganggu kinerja sistem secara keseluruhan (Artanto, 2019)

Dengan antarmuka grafis yang mudah dipahami, pengguna dapat dengan cepat merancang dan memodifikasi program sesuai kebutuhan, serta melakukan *debugging* dengan lebih efisien. Hal ini menjadikan *LabVIEW* sebagai alat yang sangat efektif dalam pengembangan sistem pencacah radiasi, memungkinkan pengguna untuk menciptakan solusi yang handal dan efisien dalam memantau dan menganalisis radiasi (Artanto, 2019)

Selain kemampuan dalam pengolahan data dan visualisasi, *LabVIEW* juga mendukung komunikasi langsung dengan perangkat keras melalui port serial. Hal ini sangat penting dalam penelitian ini karena sistem pencacah radiasi menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengolah utama. Untuk menjembatani komunikasi antara perangkat keras dan perangkat lunak, *LabVIEW* memanfaatkan NI-VISA (Virtual Instrument Software Architecture) sebagai antarmuka standar yang dirancang untuk mengakses instrumen berbasis GPIB, VXI, PXI, Serial, Ethernet, dan USB (National Instruments, 2024).

Melalui VISA, *LabVIEW* dapat menginisialisasi port serial, mengirimkan perintah, serta membaca data balikan dari ESP32 secara *real-time*. Proses inisialisasi dilakukan dengan blok VISA Configure Serial Port yang mengatur parameter komunikasi, meliputi: baud rate 115200 bps, data bits 8, stop bit 1, parity None, flow control None, serta timeout 1000 ms (Control Automation, 2023) . Setelah port terhubung, VISA Write digunakan untuk mengirimkan instruksi

kontrol dari LabVIEW ke ESP32, sedangkan VISA Read berfungsi menerima data string yang dikirim ESP32, misalnya berisi nilai cacahan radiasi, tegangan tinggi, maupun status sistem. Data yang diterima kemudian diproses menggunakan fungsi pengolah string (misalnya Scan from String atau String Split) agar dapat ditampilkan pada indikator di front panel (Digilent, 2019).

Sebagai contoh, ESP32 dapat diprogram untuk mengirim data dalam format sederhana:

```
count;HV;status\n
```

di mana count adalah nilai cacahan radiasi dalam satuan cps, HV adalah nilai tegangan tinggi dalam volt, dan status menunjukkan kondisi sistem. Format berbasis delimiter ini umum digunakan untuk komunikasi serial karena memudahkan pemisahan data di sisi perangkat lunak.

Untuk menjaga kestabilan komunikasi, setiap sesi ditutup menggunakan blok VISA Close, sehingga port serial dapat digunakan kembali tanpa konflik pada eksekusi berikutnya. Dengan demikian, komunikasi serial menjadi elemen penting yang memastikan integrasi perangkat keras ESP32 dengan perangkat lunak LabVIEW berlangsung secara stabil, responsif, dan *real-time*, sekaligus mendukung keandalan sistem pencacah radiasi yang dirancang.

2.12 Penelitian Sebelumnya

| No. | Penelitian | Judul Penelitian | Hasil Penelitian |
|-----|---------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Widya A. Gammayani (2009) | Sistem Pencacah Radiasi dengan Detektor Sinitiliasi Berbasis | Penelitian ini mengembangkan sistem pencacah radiasi gamma berbasis mikrokomputer dengan detektor sintilasi, dioperasikan melalui Visual Basic untuk kemudahan penggunaan dan pengolahan data. Detektor dan preamplifier |

| | | | |
|----|---------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | Mikrokomputer | berada di luar komputer, sementara penguat pulsa, penganalisis, pencacah, dan pewaktu terintegrasi di dalamnya. Sistem mendukung pencacahan dalam mode integral dan mode window untuk memilih energi spesifik. Hasilnya menunjukkan kinerja baik dan fleksibilitas tinggi dalam pengukuran serta pengolahan data radiasi. |
| 2. | Sudiono dkk (2013) | Rancang Bangun sistem Pencacah Nuklir Berbasis Mikrokontroller ATmega8535 | Penelitian ini merancang sistem pencacah nuklir berbasis mikrokontroler ATmega8535 untuk mengukur radiasi. Sistem mencakup penyedia tegangan tinggi DC, pembalik dan pembentuk pulsa, timer/counter, tombol pengatur, serta penampil seven segment. Hasil uji menunjukkan tegangan output 323–1020 volt dengan kestabilan 99,04%, keluaran pulsa positif 5,2 volt (TTL) dengan lebar maksimum 2,4 ms. Pengujian dengan sumber Cs-137 menunjukkan ketidakpastian $\pm 0,4$ cacah/detik untuk $N = 20$, menandakan sistem efektif dan andal untuk pengukuran radiasi. |
| 3. | Adi Abimanyu (2014) | Rancang Bangun Monitor Radiasi Kartini menggunakan LabVIEW | Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan radiasi di Reaktor Kartini menggunakan mikrokontroler ATmega8 dan LabVIEW 2011. Sistem memantau laju paparan radiasi gamma secara <i>real-time</i> dengan mengintegrasikan enam monitor radiasi (Ludlum) ke satu komputer, memudahkan operator dalam pemantauan dan dokumentasi. Sistem dapat beroperasi pada baud rate 1200–38400 bps, memperbarui data tiap 6 detik, dan mencatat data dalam logbook. Hasilnya, |

| | | | |
|----|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | efisiensi dan akurasi pemantauan radiasi meningkat demi keselamatan lingkungan fasilitas nuklir. |
| 4. | Fajar, M.S., & Habsari, K. M. (2022) | Pemanfaatan Modul Geiger- Muller untuk Mendeteksi Radiasi pada Pengolahan Limbah B3 Rumah Sakit | Jurnal ini membahas pengembangan modul Geiger-Muller untuk mendeteksi radiasi pada pengolahan limbah B3 di rumah sakit yang meningkat akibat pandemi. Alat dirancang dengan mikrokontroler Arduino Uno dan LCD Nokia 5110 untuk membantu petugas memantau radiasi dan melindungi diri dari paparan berbahaya. Modul berhasil diuji dengan ion chamber, memberikan respon alarm dan LED saat terjadi peningkatan radiasi. Alat ini diharapkan dapat mengurangi risiko kesehatan akibat radiasi di lingkungan rumah sakit. |

2.13 Integrasi antara Sains dan Islam

Penelitian ini menekankan pentingnya pengukuran radiasi menggunakan detektor Geiger-Müller yang terintegrasi dengan perangkat lunak LabVIEW untuk memastikan keselamatan dan kesehatan masyarakat dari bahaya paparan radiasi. Penggunaan teknologi pemantauan radiasi secara *real-time* terbukti dapat memberikan informasi yang akurat dan cepat mengenai tingkat radiasi, terutama di lingkungan sekitar fasilitas nuklir.

Selain bermanfaat untuk penelitian dan penerapannya, penelitian ini juga mencerminkan nilai-nilai yang diajarkan dalam Islam. Seperti yang tertulis dalam Al-Qur'an, Surah Al- Baqarah (2:195). Allah Subhanahu wa Ta'ala berfirman:

وَأَنْفِقُوا فِي سَبِيلِ اللَّهِ وَلَا تُلْقُوا بِأَيْدِيكُمْ إِلَى التَّهْلُكَةِ ۚ وَأَحْسِنُوا ۚ إِنَّ اللَّهَ يُحِبُّ
الْمُحْسِنِينَ

"Berinfaklah di jalan Allah, janganlah jerumuskan dirimu ke dalam kebinasaan, dan berbuatbaiklah. Sesungguhnya Allah menyukai orang-orang yang berbuat baik" (QS. Al-Baqarah: 195) (Kemenag, 2022)

Ayat ini mengingatkan pentingnya menjaga keselamatan diri dan menghindari segala bentuk tindakan yang dapat menimbulkan bahaya. Dalam kaitannya dengan penelitian ini, pengembangan sistem pencacah radiasi bertujuan untuk membantu memantau paparan radiasi agar tetap berada dalam batas aman, sehingga dapat melindungi kesehatan manusia dan lingkungan. Dengan demikian, penelitian ini sejalan dengan ajaran Islam yang menekankan upaya pencegahan bahaya dan perlindungan terhadap kehidupan.

Penelitian ini juga mencerminkan konsep tanggung jawab sosial dalam Islam. Sebagaimana dinyatakan dalam hadits, seorang Muslim memiliki kewajiban untuk melindungi sesama dari bahaya. Melalui pengembangan sistem pemantauan radiasi ini, penelitian berfungsi sebagai bentuk kontribusi nyata dalam melindungi masyarakat dari potensi risiko radiasi.

Integrasi antara sains dan Islam yang tercermin dalam penelitian ini menunjukkan bahwa keduanya dapat berjalan beriringan dalam menciptakan manfaat yang lebih luas. Sains berperan dalam menyediakan solusi teknologi yang akurat dan efektif, sementara Islam memberikan panduan etis dan moral untuk memastikan bahwa teknologi tersebut digunakan demi kebaikan bersama. Dengan

memadukan aspek teknis dan spiritual, penelitian ini tidak hanya mendukung kesejahteraan masyarakat tetapi juga menguatkan nilai-nilai keimanan

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam kategori penelitian pengembangan (R&D) atau research and development. Penelitian ini berfokus pada pembuatan dan pengembangan prototipe perangkat lunak dan perangkat keras, dalam hal ini sistem pencacah radiasi dengan detektor *Geiger-Müller* yang terintegrasi dengan ESP32 dan *LabVIEW*. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem yang mampu memonitor data radiasi dan tegangan tinggi secara *real-time*, sehingga mendukung pemantauan yang efisien dan ergonomis untuk praktikum online. Melalui pendekatan eksperimen dan aplikasi, penelitian ini menguji performa dan akurasi perangkat, serta eksplorasi solusi untuk menampilkan data secara informatif di *LabVIEW*, sehingga sistem yang dihasilkan dapat digunakan untuk analisis radiasi yang akurat dan fleksibel. Dengan menggunakan Sensor Geiger-Müller dan perangkat keras sistem pencacah radiasi dengan hasil data cacahan radiasi dan meregulasi tegangan tinggi.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dimulai pada tanggal 1 Agustus 2024 – 30 November 2024. Adapun tempat penelitian dilakukan di Instalasi Reaktor Kartini, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Yogyakarta.

3.3 Alat dan Bahan

Penelitian ini didukung oleh sejumlah alat dan bahan yang berfungsi untuk menunjang proses eksperimen. Adapun daftar alat dan bahan yang digunakan dijelaskan sebagai berikut:

1. Alat yang digunakan dalam penelitian:

1. Power Supply
2. Signal Generator
3. Multimeter
4. Laptop/Komputer
5. LabVIEW 2020 SP1
6. Arduino IDE 2.2.1
7. Draw.Io
8. Hardware Sistem Pencacah

2. Bahan yang dibutuhkan untuk penelitian:

1. Detektor Geiger-Muller
2. Sumber Radiasi (Cesium)
3. ESP32 DEVKIT V1
4. TFT ILI9488
5. ADS 1115
6. MCP 4725
7. EMCO F15
8. Motor Servo MG996R
9. Kabel USB
10. Komunikasi Serial

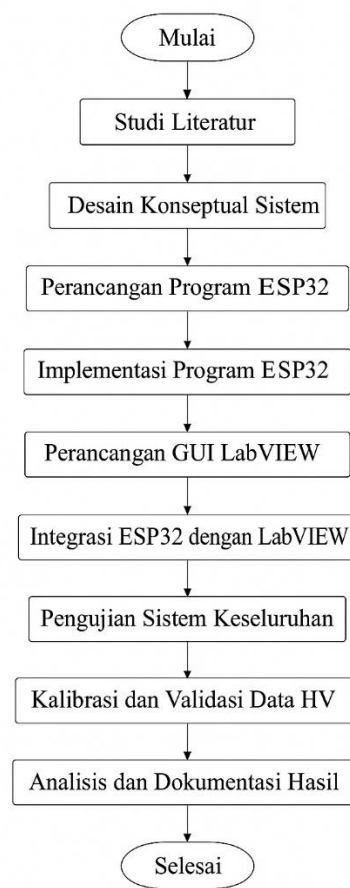
3.4 Variabel Penelitian

Variabel pada penelitian ini terdiri atas variabel bebas berupa tegangan tinggi (HV) yang dikendalikan melalui perangkat lunak *LabVIEW* serta instruksi kendali sistem (*start*, *stop*, *reset*). Variabel terikat adalah jumlah cacahan radiasi yang terdeteksi dalam satuan CPS (*Counts Per Second*) dan nilai tegangan tinggi aktual

hasil pembacaan ADC yang ditampilkan pada GUI *LabVIEW*. Adapun variabel kontrol meliputi jenis detektor *Geiger-Müller*, mikrokontroler ESP32 dengan modul ADC (ADS1115) dan DAC (MCP4725), catu daya 5 V, serta kondisi lingkungan pengukuran yang dijaga konstan.

3.5 Prosedur Penelitian

Perancangan perangkat lunak sistem pencacah radiasi dilakukan melalui beberapa tahapan yang melibatkan dua komponen utama, yaitu perangkat lunak pada mikrokontroler ESP32 dan perangkat lunak pada komputer berbasis *LabVIEW*. Kedua perangkat lunak ini saling terintegrasi sehingga memungkinkan data dari detektor *Geiger-Müller* dapat diakuisisi, diproses, dan ditampilkan secara *real-time*.

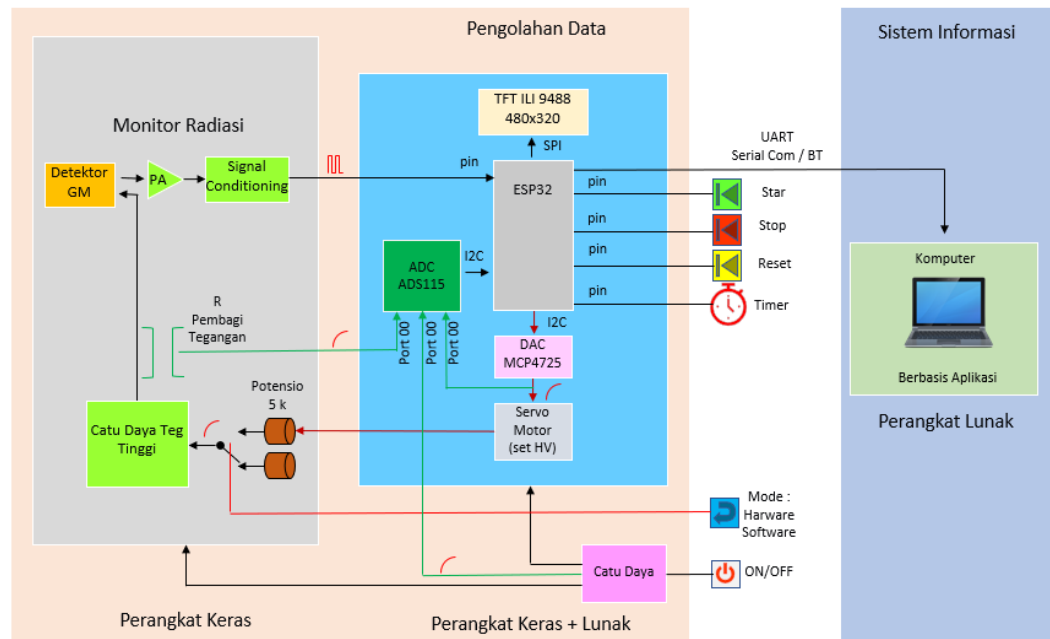


Gambar 3.1 Prosedur penelitian

Tahapan umum penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1 menunjukkan tahapan prosedur penelitian yang dilakukan dalam pengembangan perangkat lunak sistem pencacah radiasi berbasis ESP32 dan LabVIEW. Penelitian diawali dengan studi literatur untuk memperoleh dasar teori mengenai prinsip kerja detektor Geiger-Müller, sistem pencacahan radiasi, serta penggunaan mikrokontroler ESP32, ADC ADS1115, DAC MCP4725, dan perangkat lunak LabVIEW. Tahap berikutnya adalah desain konseptual sistem yang menggambarkan hubungan antara perangkat keras dan perangkat lunak, mencakup rancangan komunikasi antara ESP32 dengan modul sensor serta antarmuka LabVIEW agar sistem dapat bekerja secara terintegrasi. Setelah itu dilakukan perancangan program ESP32 yang berfungsi

untuk melakukan akuisisi data dari detektor GM, membaca tegangan melalui ADC ADS1115, mengatur tegangan tinggi melalui DAC MCP4725 dan servo motor, serta mengirimkan data secara serial ke komputer. Kemudian dilakukan implementasi program ESP32 untuk menguji fungsi dasar sistem agar sesuai dengan rancangan, termasuk proses pengiriman data dan pengaturan tegangan tinggi. Tahap selanjutnya yaitu perancangan GUI LabVIEW sebagai antarmuka pengguna untuk menampilkan data cacahan radiasi, tegangan tinggi, serta kontrol sistem seperti tombol start, stop, dan reset. Setelah antarmuka selesai, dilakukan integrasi ESP32 dengan LabVIEW untuk menguji komunikasi dua arah melalui antarmuka serial (VISA), sehingga sistem dapat mengirim dan menerima data secara sinkron. Tahap pengujian sistem keseluruhan dilakukan untuk memastikan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak bekerja secara terpadu, diikuti dengan kalibrasi dan validasi data HV dengan membandingkan hasil pengaturan tegangan pada GUI terhadap pengukuran aktual menggunakan multimeter, serta penerapan analisis regresi polinomial untuk memperoleh hasil yang akurat. Tahap terakhir adalah analisis dan dokumentasi hasil, yang mencakup penyusunan laporan dan pembahasan performa sistem berdasarkan parameter yang diukur.

Rancangan desain konseptual disusun agar sistem mampu bekerja secara terintegrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak, sehingga proses pencacahan dapat dilakukan secara akurat, stabil, dan dapat dipantau secara *real-time* melalui antar muka LABView.



Gambar 3.2 Desain konseptual sistem pencacah

Gambar 3.2 menunjukkan desain konseptual sistem pencacah radiasi yang dikembangkan pada penelitian ini. Sistem terdiri atas dua bagian utama, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak yang terintegrasi melalui mikrokontroler ESP32. Pada bagian perangkat keras, detektor Geiger-Müller (GM) berfungsi mendeteksi radiasi ionisasi dan menghasilkan sinyal pulsa yang diteruskan ke rangkaian *signal conditioning* agar dapat dibaca oleh ESP32. Tegangan tinggi yang dibutuhkan tabung GM disuplai oleh rangkaian catu daya tegangan tinggi (HV), yang nilainya diatur oleh *servo motor* MG996R untuk memutar potensiometer HV. *Servo motor* ini dikendalikan secara digital oleh ESP32 melalui DAC MCP4725 yang menghasilkan sinyal analog sebagai pengatur posisi servo. Tegangan aktual dari sistem HV dimonitor oleh modul ADC ADS1115 melalui rangkaian *voltage divider* agar dapat dibaca secara akurat oleh ESP32. Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali sistem, melakukan komunikasi dua arah dengan perangkat lunak LabVIEW melalui

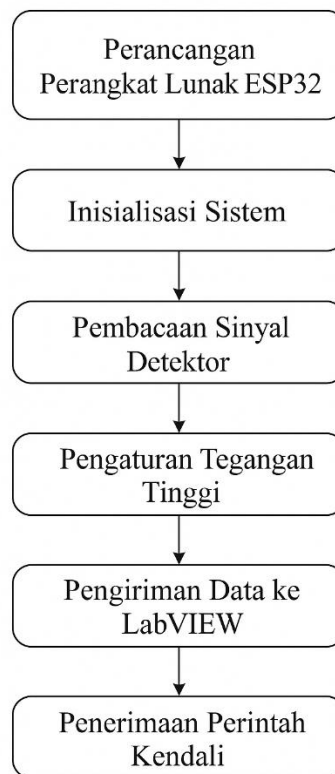
antarmuka serial, serta menampilkan data pada layar TFT ILI9488. Pada sisi perangkat lunak, LabVIEW berperan sebagai pusat pemrosesan data sekaligus antarmuka pengguna (*Graphical User Interface/GUI*). LabVIEW menerima data cacahan dan tegangan dari ESP32, menampilkannya secara real-time, serta mengirimkan perintah kendali seperti *start*, *stop*, dan *reset* ke sistem. Selain itu, terdapat indikator dan kontrol virtual untuk pengaturan HV serta mode operasi (*hardware/software*).

3.5.1 Perancangan Perangkat Lunak ESP32

Perancangan perangkat lunak pada mikrokontroler ESP32 merupakan tahap penting dalam sistem pencacah radiasi karena berfungsi sebagai pusat kendali seluruh proses akuisisi data, pengaturan tegangan tinggi, serta komunikasi dengan perangkat lunak *LabVIEW*. Program ini dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Arduino (C/C++) dengan bantuan Arduino IDE, yang menyediakan dukungan pustaka dan antarmuka untuk komunikasi serial serta pengendalian sensor dan aktuator secara *real-time*.

Struktur program dirancang secara modular agar setiap fungsi sistem dapat berjalan efisien dan mudah dipahami. Secara umum, perangkat lunak ESP32 terdiri dari lima tahapan utama, yaitu: inisialisasi sistem, pembacaan sinyal detektor, pengaturan tegangan tinggi, komunikasi data dua arah dengan LabVIEW, dan penerimaan perintah kendali dari LabVIEW.

Desain tahapan proses kerja program ESP32 ditunjukkan pada Gambar 3.2, yang menggambarkan urutan proses dari awal sistem dijalankan hingga program berhenti beroperasi.



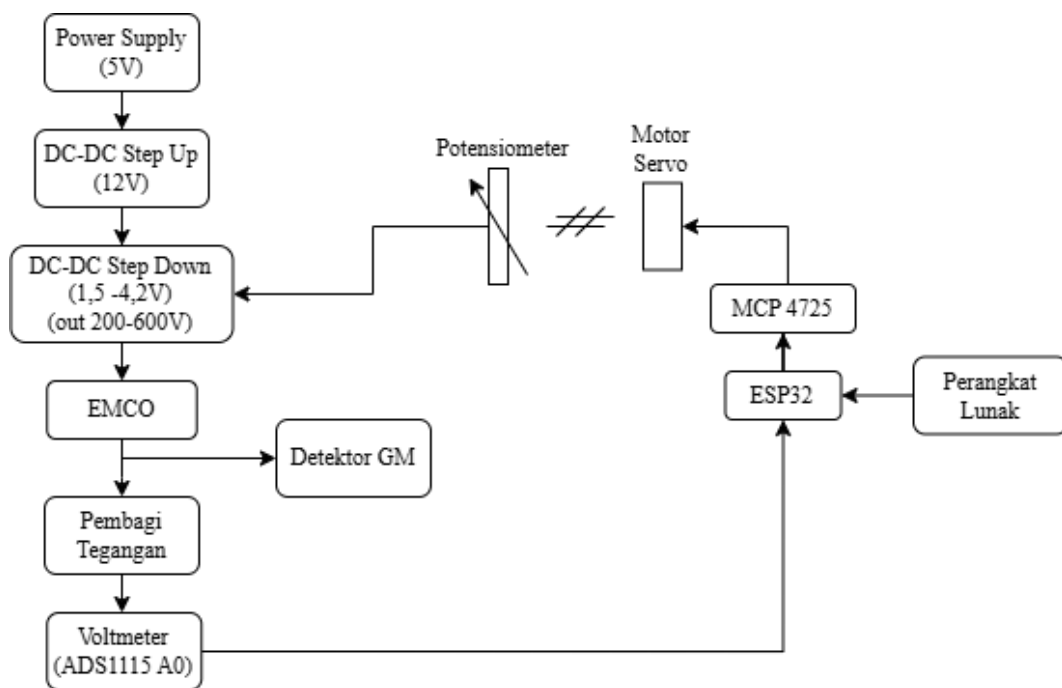
Gambar 3.3 Tahapan perancangan perangkat lunak ESP32

Pada tahap inisialisasi sistem, ESP32 mengatur komunikasi serial menggunakan baud rate sebesar 115200 bps, serta mendefinisikan pin input dan output yang digunakan, seperti pin masukan sinyal dari detektor Geiger-Müller (GM) dan pin keluaran ke modul MCP4725 (DAC) dan ADS1115 (ADC). Selain itu, servo motor yang menggerakkan potensiometer HV juga diinisialisasi agar dapat bergerak sesuai nilai keluaran DAC.

Selanjutnya, pada bagian pembacaan sinyal detektor, pin digital ESP32 dikonfigurasi untuk menghitung jumlah pulsa radiasi yang diterima dari tabung GM. Setiap pulsa yang terdeteksi akan meningkatkan nilai pencacahan (count), dan hasilnya disimpan dalam variabel khusus untuk dikirim ke LabVIEW.

Tahap berikutnya adalah pengaturan tegangan tinggi (HV). Nilai tegangan yang diatur oleh pengguna melalui knob HV Regulator di LabVIEW dikirim ke

ESP32 dalam bentuk data serial. 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 diputar di knop dalam program. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Konseptual rangkaian *high voltage*

Bagian selanjutnya yaitu komunikasi dua arah dengan LabVIEW. ESP32 mengirimkan data ke komputer dalam format string yang dipisahkan tanda titik koma (“;”), dengan urutan: jumlah cacahan, nilai pengaturan HV, nilai HV aktual, status sistem (START, STOP, RESET), dan waktu pencacahan. Data ini dikirim secara periodik setiap satu detik agar dapat ditampilkan secara *real-time* pada antarmuka LabVIEW.

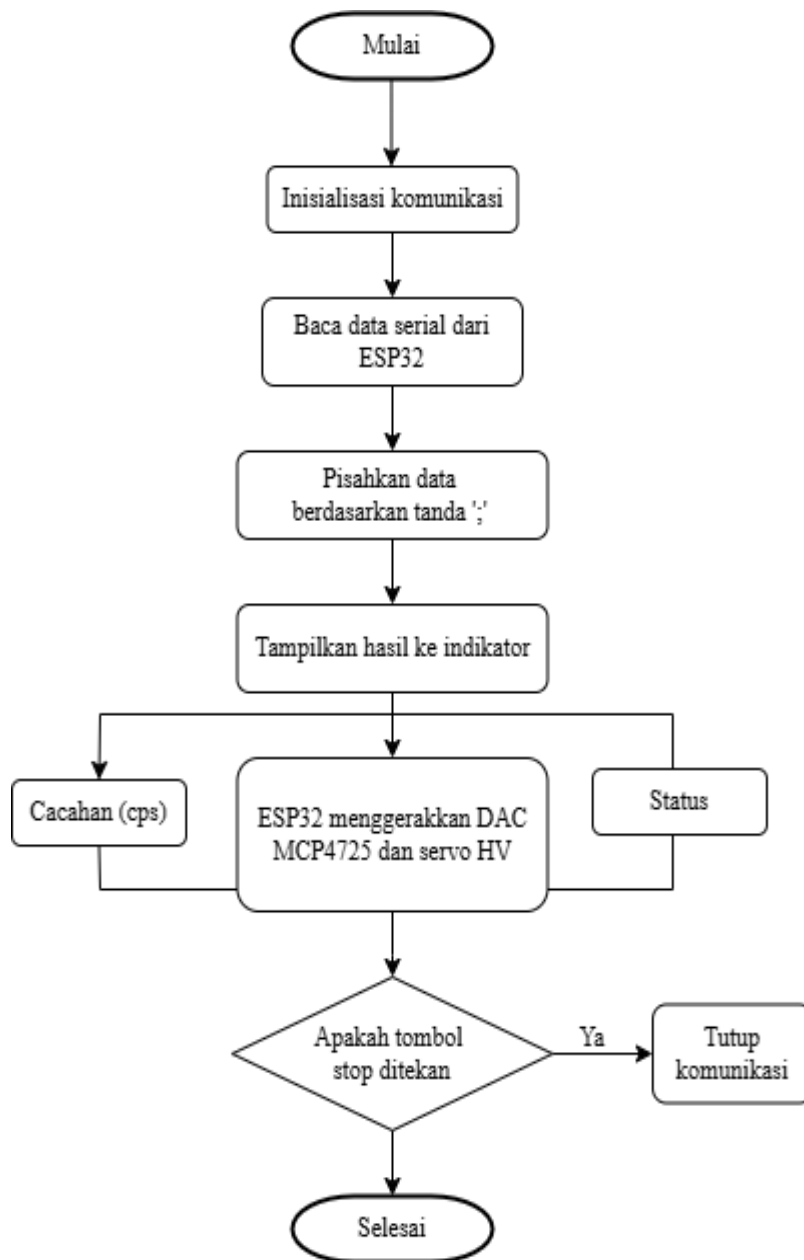
Selain mengirim data, ESP32 juga menerima perintah kontrol dari

LabVIEW, seperti karakter “s” (start), “r” (reset), dan “p” (stop). Ketika perintah “s” diterima, sistem mulai menghitung cacahan dan mengirimkan data secara kontinu. Perintah “r” akan mengatur ulang seluruh variabel ke kondisi awal, sedangkan perintah “p” menghentikan sementara proses pencacahan tanpa menghapus data yang telah dikumpulkan.

Dengan rancangan ini, perangkat lunak ESP32 mampu menjalankan fungsi akuisisi, pemrosesan, dan komunikasi secara efisien. Seluruh sistem berjalan secara sinkron dengan perangkat lunak LabVIEW, menghasilkan proses pengukuran radiasi yang stabil, terkontrol, dan mudah dioperasikan.

3.5.2 Perancangan Perangkat Lunak *LabVIEW*

Perancangan perangkat lunak sistem pencacah radiasi ini divisualisasikan dalam bentuk flowchart sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.5 Flowchart tersebut menggambarkan alur kerja utama program antarmuka yang dikembangkan menggunakan LabVIEW, mulai dari proses inisialisasi komunikasi antara perangkat lunak dan perangkat keras hingga penutupan koneksi setelah program dihentikan.



Gambar 3.5 Flowchart program sistem pencacah radiasi

Desain dasar sistem perangkat lunak ditunjukkan melalui flowchart yang menggambarkan alur kerja antara perangkat keras dan perangkat lunak secara terintegrasi. Pada tahap awal, sistem dimulai dengan proses inisialisasi komunikasi serial antara perangkat lunak LabVIEW dan mikrokontroler ESP32. Tahap ini bertujuan memastikan bahwa koneksi antara kedua

perangkat telah terhubung dengan benar melalui port komunikasi yang sesuai sehingga proses pertukaran data dapat berlangsung secara stabil dan berkesinambungan.

Setelah inisialisasi berhasil dilakukan, detektor Geiger-Müller (GM) mulai berfungsi untuk mendeteksi partikel radiasi dari sumber yang ada di lingkungan pengujian. Setiap kali detektor GM mendeteksi partikel radiasi, sinyal cacahan dikirimkan ke mikrokontroler ESP32. Mikrokontroler kemudian mengolah sinyal tersebut dan mengirimkan data hasil cacahan melalui komunikasi serial ke perangkat lunak LabVIEW secara kontinu untuk selanjutnya diproses dan ditampilkan secara real-time.

Perangkat lunak LabVIEW bertugas membaca data yang diterima dari ESP32 dalam format string dengan pemisah tanda titik koma (“;”). Data tersebut kemudian diolah menggunakan fungsi pemrosesan string (string parser) di dalam blok diagram LabVIEW untuk memisahkan masing-masing parameter yang dibutuhkan, seperti jumlah cacahan radiasi (counts per second) dan nilai tegangan tinggi (HV). Hasil pemrosesan data tersebut ditampilkan pada antarmuka pengguna melalui indikator numerik dan grafik. Beberapa indikator utama yang ditampilkan meliputi indikator CACAHAN (cps) yang menunjukkan jumlah cacahan per detik, serta indikator Status Sistem yang menampilkan kondisi operasi seperti START, STOP, atau RESET.

Selain menerima data, LabVIEW juga memiliki fungsi kendali terhadap sistem tegangan tinggi. Pengguna dapat mengatur nilai HV melalui knob pengaturan pada antarmuka LabVIEW. Nilai yang diatur ini dikirimkan dari LabVIEW ke mikrokontroler ESP32 melalui jalur komunikasi serial. ESP32

kemudian memproses nilai tersebut untuk menggerakkan DAC MCP4725 dan servo pengatur HV, sehingga tegangan keluaran dapat disesuaikan sesuai dengan pengaturan yang diinginkan. Proses pengiriman nilai HV dilakukan secara terkontrol, hanya ketika pengguna menekan tombol kontrol pada antarmuka, untuk menjaga efisiensi dan kestabilan sistem.

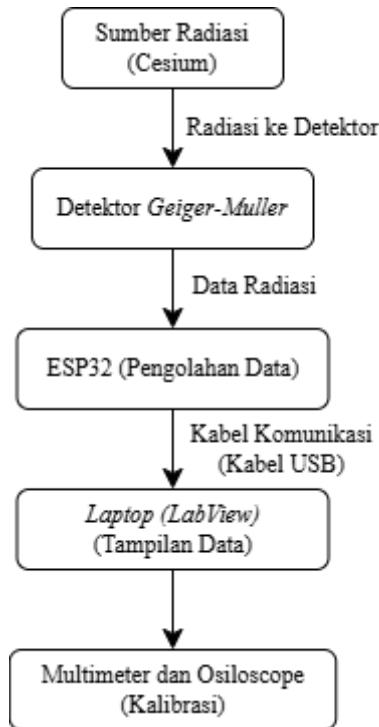
Seluruh proses ini berjalan di dalam struktur Whileloop pada LabVIEW yang memungkinkan sistem bekerja secara berulang dan real-time hingga pengguna menekan tombol Stop. Ketika tombol Stop diaktifkan, LabVIEW akan mengeksekusi perintah VISA Close untuk menutup port komunikasi serial secara aman agar tidak terjadi konflik koneksi saat program dijalankan kembali. Setelah proses penutupan koneksi selesai, sistem beralih ke kondisi Selesai (End) dan program berhenti sepenuhnya.

Secara keseluruhan, flowchart desain dasar ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan bersifat modular, terstruktur, dan beroperasi secara real-time. Setiap komponen, mulai dari pembacaan data detektor GM, pengaturan tegangan tinggi, hingga pengendalian status sistem saling terintegrasi dengan baik antara perangkat keras dan perangkat lunak, sehingga mendukung proses pencacahan radiasi yang akurat dan efisien.

3.6 Pengujian Alat

3.6.1 Persiapan dan Kalibrasi Alat

Persiapan dan kalibrasi alat untuk Rancang Bangun Prototipe Perangkat Lunak Sistem Pencacah Radiasi dengan Detektor Geiger Muller adalah sebagai berikut:



Gambar 3.6 Blok diagram persiapan dan kalibrasi alat

Langkah pertama sebelum menguji sistem adalah memastikan semua perangkat keras dan perangkat lunak siap digunakan. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup detektor Geiger-Müller sebagai alat utama untuk mendeteksi radiasi, ESP32 sebagai pengolah data dari detektor, dan komputer dengan perangkat lunak LabVIEW untuk menampilkan data radiasi secara *real-time*. Selain itu, kabel komunikasi digunakan untuk menghubungkan ESP32 dengan komputer, dan sumber radiasi yaitu Cesium yang digunakan sebagai acuan dalam proses kalibrasi. Multimeter juga disiapkan untuk membantu memeriksa data.

Proses kalibrasi dimulai dengan memastikan semua perangkat terhubung dengan benar dan dapat berfungsi dengan baik. Setelah itu, detektor ditempatkan pada jarak tertentu dari sumber radiasi yang telah diukur dengan teliti untuk memastikan akurasi. Sistem dinyalakan, dan detektor dibiarkan

beroperasi selama beberapa menit agar mencapai stabilitas. Pembacaan awal radiasi dilakukan dalam kondisi lingkungan yang konsisten untuk menghindari variabilitas.

Langkah terakhir dalam proses kalibrasi adalah membandingkan hasil pembacaan detektor dengan nilai radiasi sumber standar, dan apabila ditemukan perbedaan signifikan, maka dilakukan penyesuaian parameter atau kalibrasi ulang untuk memperoleh hasil yang lebih akurat. Pada tahap ini, multimeter digunakan untuk mengkalibrasi tegangan tinggi (HV) sehingga nilai HV aktual yang diberikan ke tabung Geiger–Müller benar-benar sesuai dengan setpoint yang diatur melalui perangkat lunak, sementara osiloskop digunakan untuk mengkalibrasi cacahan dengan memeriksa bentuk gelombang pulsa radiasi agar setiap pulsa terdeteksi dan dihitung dengan tepat.

3.6.2 Pengujian Fungsi Sistem

Pengujian fungsi sistem dilakukan untuk memastikan bahwa perangkat prototipe bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah dirancang, baik dalam hal pengaturan tegangan tinggi (*High Voltage*/HV) maupun dalam fungsi pencacahan radiasi oleh detektor Geiger–Müller (GM). Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi integrasi antara perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software), sehingga sistem mampu memberikan hasil pengukuran yang akurat, stabil, dan konsisten.

Pengujian dilakukan melalui dua tahapan utama, yaitu kalibrasi HV dan kalibrasi sistem pencacahan radiasi. Tahapan ini dilakukan secara berurutan untuk memastikan bahwa sistem pengatur tegangan dan sistem pencacah bekerja dengan baik secara terpisah maupun terintegrasi.

1. Kalibrasi Tegangan Tinggi (HV)

Pada tahap ini, dilakukan pengujian terhadap keakuratan sistem dalam menghasilkan tegangan tinggi yang dikontrol melalui antarmuka LabVIEW. Tegangan keluaran yang diatur menggunakan knob kontrol pada LabVIEW dibandingkan dengan pembacaan aktual pada voltmeter digital yang telah dikalibrasi.

Langkah kerja pengujian kalibrasi HV adalah sebagai berikut:

1. Hubungkan rangkaian ESP32 dengan modul MCP4725 (DAC) sebagai pengatur tegangan analog, serta voltmeter digital sebagai pembanding hasil keluaran HV.
2. Jalankan program LabVIEW dan aktifkan antarmuka pengaturan HV.
3. Atur nilai HV pada LabVIEW dengan kenaikan bertahap, misalnya mulai dari 0 V hingga 5000 mV.
4. Catat nilai HV yang ditampilkan pada LabVIEW serta nilai aktual yang terbaca pada voltmeter digital.
5. Ulangi langkah pengukuran untuk setiap titik tegangan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan nilai rata-rata.
6. Bandingkan hasil pembacaan LabVIEW dan voltmeter untuk menghitung deviasi dan persentase error.
7. Analisis hasil perbandingan untuk menentukan akurasi sistem pengaturan HV dan melakukan penyesuaian jika diperlukan.

Proses ini bertujuan untuk memastikan bahwa nilai tegangan yang ditampilkan di LabVIEW sesuai dengan nilai aktual yang dihasilkan oleh sistem.

2. Kalibrasi Sistem Pencacahan Radiasi

Sebelum melakukan kalibrasi menggunakan detektor dan sumber radiasi, sistem terlebih dahulu melalui tahap kalibrasi sinyal untuk memastikan bahwa rangkaian pencacahan dan perangkat mikrokontroler ESP32 mampu membaca pulsa dengan benar. Pada tahap ini, detektor Geiger-Müller tidak digunakan. Sinyal pulsa diinjeksikan langsung ke pin input pencacahan yaitu pin D4 menggunakan function generator dengan frekuensi uji 10 Hz, 100 Hz, 1000 Hz, dan 10.000 Hz. Hasil pencacahan pada LabVIEW kemudian dibandingkan dengan frekuensi referensi dari function generator. Setelah perangkat dipastikan bekerja dengan baik melalui kalibrasi sinyal, pengujian dilanjutkan dengan kalibrasi sistem pencacahan radiasi menggunakan detektor Geiger-Müller. Tahapan ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi dan menghitung pulsa radiasi secara real-time. Langkah kerja kalibrasi adalah sebagai berikut:

Langkah kerja pengujian kalibrasi cacahan adalah sebagai berikut:

1. Siapkan sumber radiasi standar Cs-137 sebagai sumber uji.
2. Tempatkan detektor Geiger-Müller pada jarak tertentu dari sumber radiasi (pada jarak 1, 2, 3, dan 4 cm).
3. Jalankan sistem dan mulai proses pencacahan selama waktu tertentu (misalnya 60 detik) untuk setiap jarak.
4. Catat jumlah cacahan yang terbaca pada sistem LabVIEW.
5. Lakukan pengulangan pengukuran sebanyak tiga kali pada setiap jarak untuk memperoleh nilai rata-rata cacahan.
6. Bandingkan hasil pencacahan antar jarak untuk menilai sensitivitas dan

kestabilan detektor.

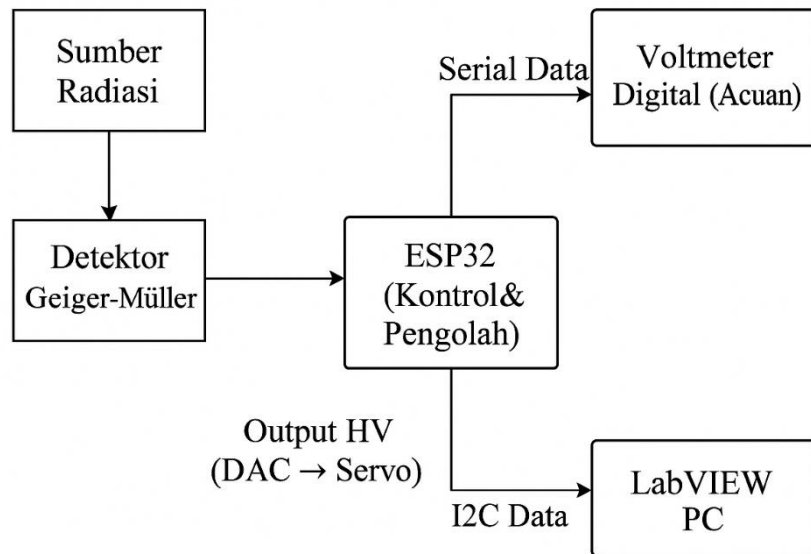
7. Analisis data untuk menentukan hubungan antara jarak detektor dengan laju cacahan radiasi yang diterima.

Melalui tahap ini dapat diketahui respon sistem terhadap variasi intensitas radiasi serta keakuratan hasil pencacahan yang ditampilkan oleh perangkat lunak.

3. Langkah Kerja Pengambilan Data Keseluruhan

Secara umum, proses pengambilan data pada pengujian fungsi sistem dilakukan berdasarkan alur berikut:

1. Inisialisasi seluruh perangkat keras (ESP32, Detektor GM, DAC, ADC, dan Motor Servo).
2. Jalankan program LabVIEW dan pastikan komunikasi serial antara ESP32 dan LabVIEW terhubung dengan baik.
3. Lakukan kalibrasi HV terlebih dahulu untuk memastikan kestabilan tegangan tinggi.
4. Setelah HV stabil, lanjutkan ke tahap kalibrasi cacahan radiasi.
5. Variasikan jarak sumber radiasi terhadap detektor dan lakukan pencatatan hasil cacahan.
6. Simpan seluruh data pengukuran untuk dianalisis dalam bentuk tabel dan grafik.
7. Bandingkan hasil pengukuran dengan nilai teoritis atau hasil referensi untuk menilai kinerja sistem.



Gambar 3.7 Blok diagram pengujian fungsi sistem

Blok diagram pengujian fungsi sistem pada Gambar 3.7 menunjukkan alur kerja pengujian antara komponen perangkat keras dan perangkat lunak. Sumber radiasi menghasilkan partikel yang dideteksi oleh detektor Geiger-Müller, kemudian sinyal hasil deteksi dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali dan pemrosesan data. Mikrokontroler ESP32 mengatur tegangan tinggi (*High Voltage/HV*) melalui modul DAC (MCP4725) yang terhubung dengan servo, serta mengirimkan data hasil pengukuran ke perangkat lunak LabVIEW melalui komunikasi serial. Nilai HV yang dihasilkan kemudian divalidasi menggunakan voltmeter digital sebagai acuan pembanding. Data yang diterima oleh LabVIEW ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel, sehingga dapat digunakan untuk melakukan analisis terhadap performa dan keakuratan sistem secara keseluruhan.

3.7 Tahap Pengambilan Data

3.7.1 Prosedur Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan untuk menguji kemampuan alat dalam mengukur tegangan tinggi (*High Voltage/HV*) dan menghitung cacah detektor. Proses pengujian ini melibatkan dua langkah utama, yaitu kalibrasi HV dan kalibrasi cacah.

Pada tahap kalibrasi HV, pengukuran dilakukan dengan menggunakan voltmeter yang telah dikalibrasi sebagai alat acuan. Hasil pengukuran voltmeter tersebut kemudian dibandingkan dengan pembacaan tegangan yang ditampilkan pada perangkat lunak LabVIEW. Selisih antara kedua nilai ini dianalisis untuk mengevaluasi akurasi alat, serta untuk menghitung penyimpangan yang mungkin terjadi selama proses pengukuran.

Sedangkan pada kalibrasi cacah, nilai cacah yang dihasilkan oleh detektor diukur dan dijadikan sebagai acuan. Data ini kemudian dibandingkan dengan nilai cacah yang terbaca melalui LabVIEW. Dari perbandingan ini, dilakukan evaluasi terhadap akurasi sistem pencacahan dan konsistensinya dalam memberikan hasil yang stabil.

Pengambilan data dilakukan dengan memvariasikan parameter seperti jarak detektor dari sumber radiasi untuk mendapatkan data yang lebih komprehensif. Selain itu, pengukuran diulang beberapa kali untuk memastikan hasil yang diperoleh benar-benar konsisten.

3.7.2 Pencatatan dan Analisis Data

Hasil dari setiap pengujian dicatat secara terperinci dalam tabel yang telah disiapkan. Untuk kalibrasi HV, tabel memuat nilai tegangan yang diukur

dengan voltmeter, nilai tegangan yang terbaca melalui LabVIEW, dan selisih antara keduanya. Beberapa parameter tambahan, seperti faktor pembagi tegangan dan jarak detektor, juga dicatat untuk membantu analisis lebih lanjut.

Pada pengujian kalibrasi cacah, tabel mencatat nilai cacah yang diukur oleh detektor, nilai cacah yang terbaca pada LabVIEW, serta selisih di antara keduanya. Jika digunakan alat tambahan seperti Orteck, hasil pembacaannya juga dicatat sebagai data pembanding.

Tabel 3.1 Tabel kalibrasi *high voltage*

| No | HV Terukur (voltmeter) | | HV Terbaca (LabView) | | Penyimpangan |
|----|------------------------|------|----------------------|------|--------------|
| | HV | Volt | HV | Volt | |
| 1 | 100 | | | | |
| 2 | 200 | | | | |
| 3 | 300 | | | | |
| 4 | 400 | | | | |
| 5 | 500 | | | | |
| 6 | 600 | | | | |

Setelah dilakukan kalibrasi pada pengaturan *High Voltage* kemudian diambil hasil cacahan dengan variasi tegangan dari 100 – 600 volt untuk menentukan tegangan tinggi yang bekerja untuk detektor optimal. Data hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Penentuan tegangan tinggi optimal untuk detektor

| No. | Tegangan (volt) | Cacah (cps) |
|-----|-----------------|-------------|
| 1. | 150 | |

| | | |
|-----|-----|--|
| 2. | 200 | |
| 3. | 250 | |
| 4. | 300 | |
| 5. | 350 | |
| 6. | 400 | |
| 7. | 450 | |
| 8. | 500 | |
| 9. | 550 | |
| 10. | 600 | |

Tabel 3.3 Tabel kalibrasi cacahan radiasi oleh detektor

| No | Variasi Jarak (cm) | Cacah (CPS/CPM) | | Penyimpangan |
|----|-----------------------|-----------------|---------|--------------|
| | | Orteck | LabView | |
| 1 | 5 | | | |
| 2 | 10 | | | |
| 3 | 15 | | | |
| 4 | 20 | | | |
| 5 | 25 | | | |
| 6 | 30 | | | |

Setelah data dikumpulkan, dilakukan analisis untuk menilai akurasi dan presisi alat. Akurasi diukur berdasarkan sejauh mana hasil pengukuran mendekati nilai sebenarnya, sedangkan presisi dilihat dari tingkat konsistensi hasil pengukuran dalam beberapa kali pengulangan. Hasil analisis ini digunakan untuk menilai performa keseluruhan alat, terutama dalam hal

kemampuannya mengukur tegangan tinggi dan menghitung cacah radiasi secara andal dan optimal.

Setelah dilakukan kalibrasi untuk melakukan pengujian hasil pencacahan. Dipersiapkan untuk melakukan pengambilan data cacahan dengan variasi jarak dalam jangka waktu 1 menit, 3 menit, dan 5 menit untuk mengetahui keakuratan program bekerja. Data diambil kemudian ditampilkan seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Laju cacah dalam rentang waktu

| Jarak (cm) | Laju cacah/R (cps) | Laju cacah/R (cps) | Laju cacah/R (cps) |
|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini menguraikan pengembangan sebuah prototipe sistem pencacah radiasi terintegrasi. Sistem ini mengintegrasikan detektor Geiger-Müller (GM), yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32, dan divisualisasikan datanya melalui perangkat lunak LabVIEW. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan sebuah solusi pemantauan radiasi *real-time* yang akurat, mudah dioperasikan, dan memiliki tingkat reliabilitas yang tinggi. Sistem yang dikembangkan ini diharapkan mampu menyediakan informasi yang akurat dan terpercaya mengenai tingkat radiasi di berbagai kondisi lingkungan. Selain itu, sistem ini juga diharapkan dapat menjadi platform yang efektif untuk keperluan edukasi dan pelatihan di bidang terkait radiasi.

4.2 Desain dan Implementasi Sistem

4.2.1 Desain Dasar

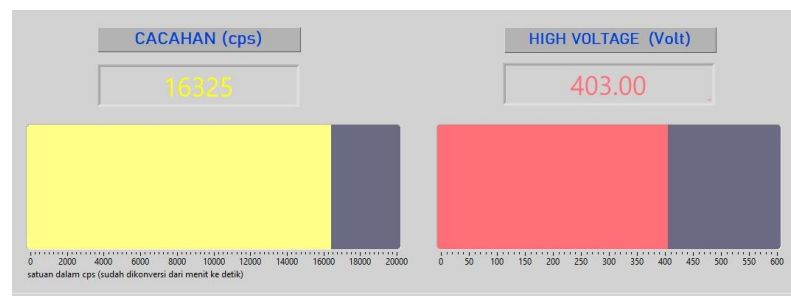
. Desain dasar perangkat lunak menggambarkan tampilan antarmuka pengguna (front panel) beserta fungsi visual dari setiap komponen yang tampil pada layar. Tujuan utama penyajian desain dasar adalah memberikan gambaran awal mengenai bagaimana pengguna berinteraksi dengan sistem pencacah radiasi, tanpa membahas logika internal, alur data, maupun sintaks pemrograman. Desain dasar ini divisualisasikan pada Gambar 4.1, yang menampilkan tampilan utama antarmuka sistem pencacah radiasi berbasis LabVIEW.



Gambar 4.1 Tampilkan antarmuka program sistem pencacah radiasi

Antarmuka yang dirancang telah menampilkan seluruh elemen yang dibutuhkan pengguna untuk memantau data radiasi, mengatur tegangan tinggi, dan mengendalikan proses pencacahan. Komponen-komponen utama yang terdapat dalam tampilan antarmuka LabVIEW dijelaskan sebagai berikut:

1. Panel Tampilan Data



Gambar 4.2 Panel tampilan data

Panel ini menampilkan hasil pembacaan data radiasi dan tegangan tinggi dalam bentuk numerik maupun grafik.

- Cacahan Radiasi (Count per Second / cps)

Panel tampilan cacahan menampilkan jumlah pulsa radiasi yang

terdeteksi oleh tabung Geiger-Müller setiap detik. Data hasil pencacahan tersebut dikirim dari mikrokontroler ESP32 ke perangkat lunak LabVIEW melalui komunikasi serial, kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik batang agar pengguna dapat memantau variasi tingkat radiasi secara dinamis dan *real-time*.

- Tegangan Tinggi (*High Voltage / HV*)

Panel tegangan tinggi (*High Voltage*) menampilkan nilai tegangan yang diberikan kepada tabung Geiger-Müller. Nilai tegangan tinggi ini diukur oleh modul ADC (ADS1115) dan dikirim ke perangkat lunak LabVIEW untuk ditampilkan dalam bentuk indikator numerik serta grafik batang, sehingga pengguna dapat memantau perubahan nilai HV secara *real-time*. Dengan memproses pembacaan tegangan oleh ADC melalui rangkaian pembagi tegangan yang terhubung ke ESP32, kemudian data hasil pengukuran tersebut dikirimkan ke LabVIEW untuk divisualisasikan.

2. Kontrol Koneksi Serial



Gambar 4.3 Fitur kontrol koneksi serial

Fitur kontrol koneksi serial untuk menentukan port (COM) yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32. Komponen ini untuk memastikan bahwa koneksi antara perangkat keras dan perangkat lunak telah aktif sebelum proses pencacahan radiasi dimulai. Agar dengan perangkat keras terletak pada proses penghubungan port komunikasi

ESP32 dengan komputer melalui fungsi VISA di LabVIEW, sehingga data dapat dikirim dan diterima secara *real-time* tanpa gangguan koneksi.

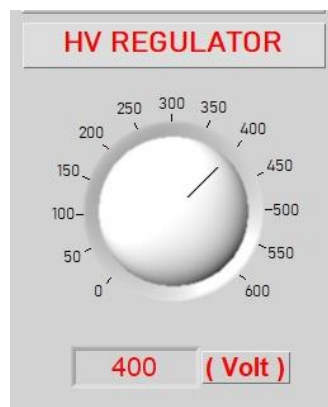
3. Indikator Timer



Gambar 4.4 Indikator penampil timer

Bagian penampil waktu pencacahan untuk menunjukkan durasi proses pengukuran yang sedang berlangsung. Nilai waktu diperoleh secara langsung dari mikrokontroler ESP32 dan ditampilkan secara real-time di LabVIEW agar pengguna dapat memantau lama proses pencacahan dengan mudah. Korelasi dengan perangkat keras terletak pada kesesuaian antara waktu yang dihitung oleh sistem timer di ESP32 dan waktu yang ditampilkan pada antarmuka LabVIEW, sehingga sinkronisasi antara perangkat keras dan perangkat lunak tetap terjaga selama proses pengambilan data radiasi.

4. Pengatur *High Voltage*



Gambar 4.5 Knop pengatur *high voltage*

Knob kendali *High Voltage* (HV) pada antarmuka LabVIEW sebagai

komponen utama dalam pengaturan besar tegangan kerja yang diberikan kepada tabung Geiger-Müller. Nilai tegangan yang diatur oleh pengguna melalui knob ini dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 melalui komunikasi serial untuk selanjutnya dikonversi menjadi sinyal analog oleh modul DAC MCP4725. Sinyal analog yang dihasilkan kemudian digunakan untuk menggerakkan motor servo yang berfungsi memutar potensiometer pada modul EMCO, sehingga menghasilkan tegangan tinggi sesuai dengan nilai yang diinginkan. Mekanisme ini menunjukkan keterpaduan antara sistem perangkat lunak dan perangkat keras, di mana proses pengendalian tegangan berlangsung secara terintegrasi melalui rantai kendali Knob LabVIEW → ESP32 → DAC MCP4725 → Servo HV → Rangkaian EMCO → Tabung Geiger-Müller. Dengan demikian, pengaturan tegangan tinggi dapat dilakukan secara presisi dan *real-time*, sehingga mendukung stabilitas operasi sistem pencacah radiasi secara keseluruhan.

5. Tombol Fungsi Utama

Pada antarmuka sistem, terdapat lima tombol utama yang berfungsi untuk mengendalikan keseluruhan proses operasional perangkat lunak dan perangkat keras secara terintegrasi.



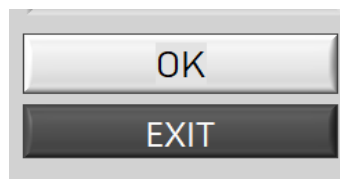
Gambar 4.6 Tampilan tombol *start*, *stop*, dan *reset* pada antarmuka sistem

Start: mengaktifkan sistem pencacahan serta menampilkan data radiasi

secara *real-time* di LabVIEW. Saat tombol ditekan, LED berwarna hijau menyala menandakan sistem aktif.

Stop: Menghentikan sementara proses pencacahan tanpa menghapus data yang telah ditampilkan. LED menyala berwarna merah indikator jeda sistem.

Reset: Mengatur ulang seluruh data dan tampilan grafik ke kondisi awal. LED kuning menyala setelah proses reset berhasil.



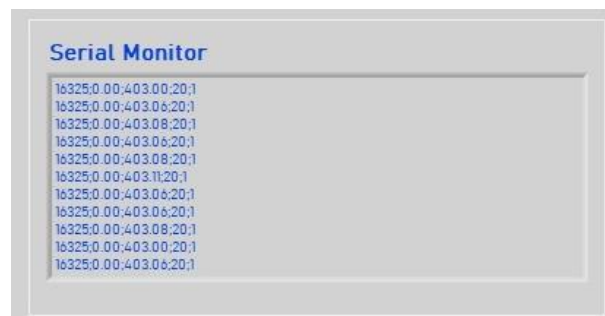
Gambar 4.7 Tampilan Tombol *OK* dan *Exit* pada Antarmuka Sistem

OK: mengirimkan nilai tegangan tinggi (HV) yang telah diatur oleh pengguna ke mikrokontroler ESP32 agar dapat diterapkan pada sistem

EXIT: Menutup aplikasi antarmuka secara menyeluruh dan mengakhirisecara menyeluruh sekaligus menonaktifkan koneksi VISA antara perangkat lunak dan mikrokontroler.

Semua tombol berfungsi sesuai dengan rancangan, dengan respons yang cepat terhadap perintah pengguna.

6. Serial Monitor

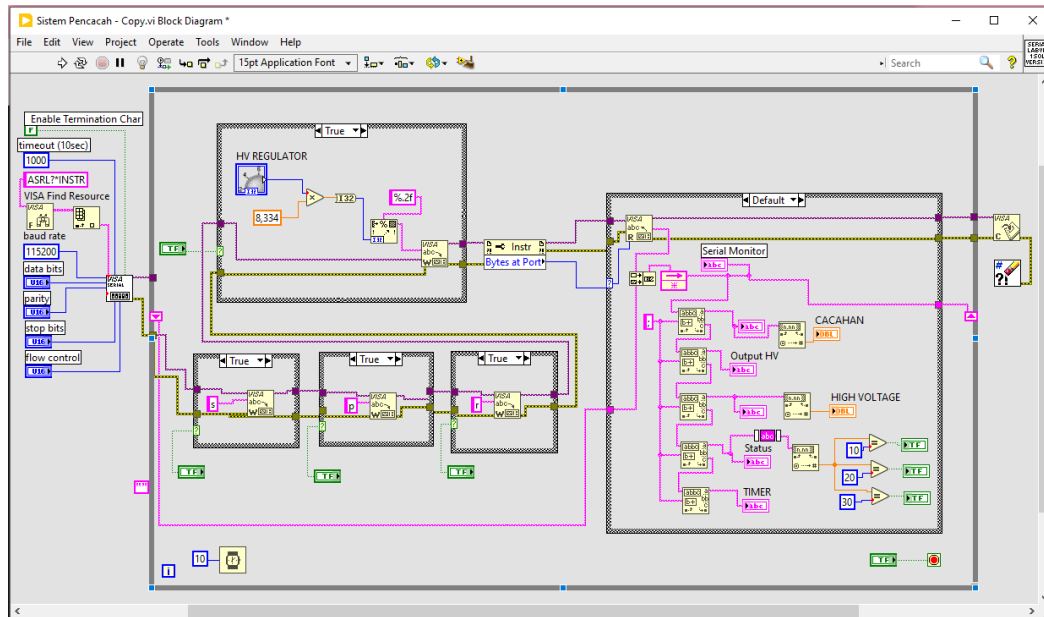


Gambar 4. 8 Tampilan panel *serial monitor*

Fitur Serial Monitor berfungsi untuk menampilkan data mentah yang dikirimkan secara langsung dari mikrokontroler ESP32 dalam bentuk string yang dipisahkan oleh tanda titik koma (“;”). Data yang ditampilkan mencakup informasi jumlah cacahan radiasi, nilai tegangan tinggi (HV) aktual, serta status sistem secara keseluruhan. Selain berfungsi sebagai media pemantauan data secara *real-time*, fitur ini juga digunakan dalam proses debugging untuk memastikan komunikasi dan pengolahan data antara perangkat keras dan perangkat lunak berjalan dengan baik. Secara fungsional, fitur ini memiliki korelasi langsung dengan perangkat keras, karena menampilkan data aktual hasil komunikasi serial dua arah antara ESP32 dan perangkat lunak LabVIEW, sehingga memungkinkan pengguna untuk memverifikasi kinerja sistem secara komprehensif.

4.2.2 Desain Rinci

Untuk mendukung kinerja sistem secara menyeluruh, perangkat lunak antarmuka dirancang menggunakan LabVIEW dengan pendekatan yang modular dan tersusun rapi. Alur kerja program divisualisasikan melalui blok diagram, yang memperlihatkan keterkaitan antar komponen secara logis dan terstruktur. Seperti pada Gambar 4.9



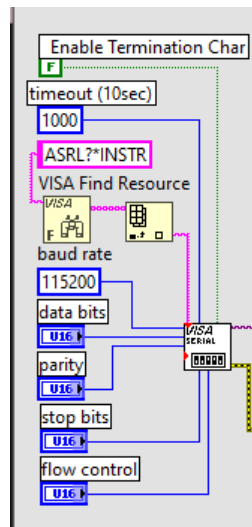
Gambar 4.9 Gambar Block Diagram Program Sistem Pencacah

Uraian detail mengenai alur dalam blok diagram disampaikan pada bagian berikut ini:

Program antarmuka sistem pencacah radiasi ini dirancang menggunakan perangkat lunak LabVIEW, yang terdiri dari beberapa bagian utama yaitu inisialisasi komunikasi serial, pengaturan tegangan tinggi (HV Regulator), pengiriman perintah kendali, pembacaan data dari mikrokontroler, serta proses pemisahan dan penampilan data pada antarmuka. Seluruh proses tersebut disusun di dalam struktur *whileloop*, sehingga program dapat berjalan secara terus-menerus selama tidak dihentikan secara manual.

Adapun penjabaran lebih lanjut mengenai masing-masing bagian dalam blok diagram tersebut adalah sebagai berikut:

1. Inisialisasi Komunikasi Serial

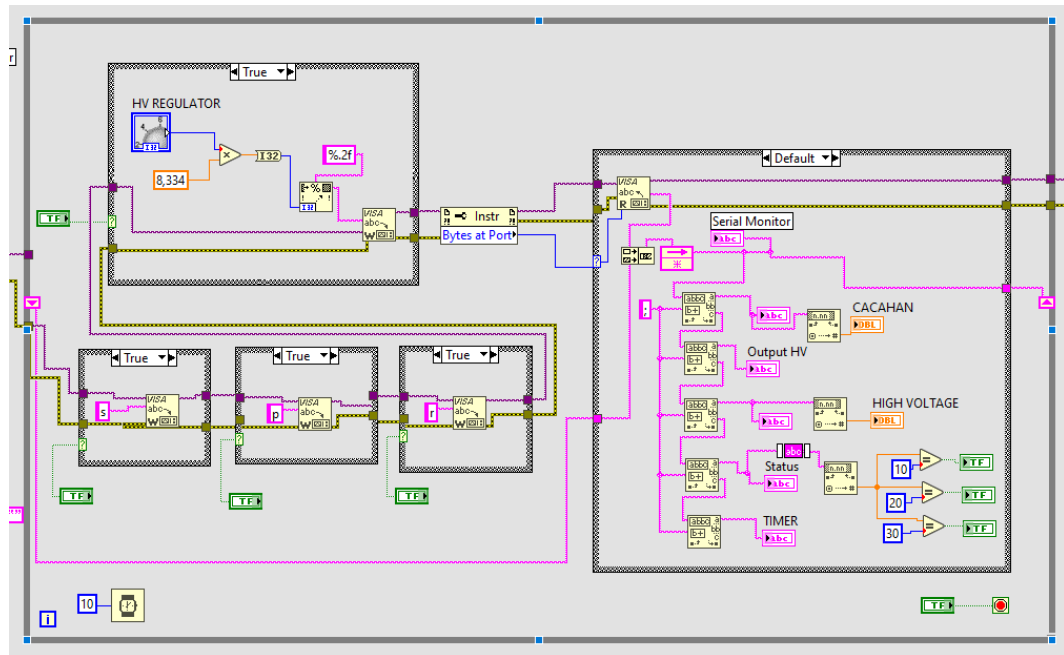


Pada sisi kiri blok diagram, program diawali dengan tahapan inisialisasi komunikasi serial menggunakan fungsi VISA Find Resource dan VISA Configure Serial Port, untuk menghubungkan perangkat lunak LabVIEW dengan mikrokontroler (ESP32) melalui jalur komunikasi serial. Parameter komunikasi yang digunakan disesuaikan dengan standar umum, yaitu:

- Kecepatan baud (baud rate): 115200
- Jumlah bit data: 8
- Paritas: Tidak digunakan (None)
- Jumlah bit stop: 1
- Kontrol aliran data: Tidak ada (None)
- Waktu tunggu (timeout): 1000 milidetik

Dengan konfigurasi tersebut, komunikasi antara LabVIEW dan perangkat keras dapat berlangsung secara stabil dan responsif. Setelah port serial berhasil dikenali, program akan melanjutkan ke proses pengiriman dan pembacaan data dari mikrokontroler.

2. Struktur *Whileloop* keseluruhan sistem program dan Tombol *Exit*



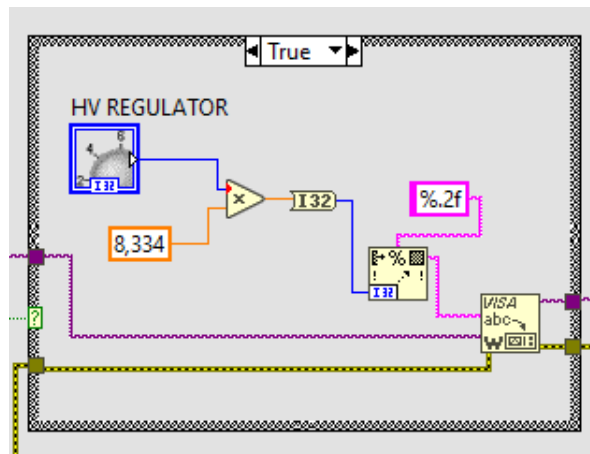
Gambar 4.10 Struktur while loop sistem program

Logika utama program diletakkan di dalam struktur *whileloop*, yang digunakan untuk menjalankan sistem secara terus-menerus selama belum dihentikan oleh pengguna. Di dalam *loop* ini, LabVIEW secara berulang membaca masukan dari pengguna, memproses perintah, dan menampilkan data secara *real-time* ke antarmuka. Struktur ini juga memuat komponen-komponen penting seperti pengambilan data dari port serial, pemrosesan sinyal, dan kontrol tampilan. Sebagai mekanisme penghenti, disediakan tombol stop berwarna merah di pojok kanan bawah antarmuka, yang dihubungkan ke terminal kondisi *whileloop* untuk menghentikan program saat ditekan.

3. Pengaturan Tegangan Tinggi (HV Regulator)

Pada bagian tengah atas blok diagram LabVIEW terdapat modul pengatur tegangan tinggi (HV Regulator) yaitu pada gambar 4.11 yang berfungsi mengontrol nilai HV yang dikirimkan dari LabVIEW ke

mikrokontroler ESP32.



Gambar 4.11 Pengaturan HV Regulator

Pengguna dapat mengatur besar tegangan melalui knob pada antarmuka LabVIEW, yang menampilkan nilai dalam satuan volt, misalnya 600 V. Namun, karena mikrokontroler ESP32 menerima data dalam bentuk milivolt atau representasi digital tertentu, diperlukan konversi satuan. Untuk itu, LabVIEW secara otomatis mengalikan nilai dari knob dengan faktor 8,334 agar sesuai dengan format input yang dapat diproses ESP32. Misalnya, jika knob diatur pada 600, maka nilai dikalikan $600 \times 8,334$, menghasilkan sekitar 5000 milivolt.

Nilai hasil konversi ini kemudian diformat menjadi string menggunakan fungsi Format Into String dengan format "%.2f" sebelum dikirim ke ESP32 melalui port komunikasi serial menggunakan blok VISA Write. Proses pengiriman tidak berlangsung terus-menerus, melainkan hanya dilakukan ketika tombol kontrol ditekan. Tombol ini berfungsi sebagai saklar logika boolean, yang hanya mengizinkan pengiriman data saat kondisinya aktif (True), sehingga pengguna memiliki kendali penuh kapan nilai tegangan dikirim dan mencegah beban komunikasi yang tidak perlu. Pada sisi ESP32,

bagian program yang bekerja sama dengan modul HV Regulator LabVIEW terdapat pada loop utama dan fungsi processCommand(), sebagai berikut:

```
// ===== LOOP: MENERIMA PERINTAH HV =====
void loop() {
    if (Serial.available()) {
        String input = Serial.readStringUntil('\n');// Baca input
        sampai newline
        processCommand(input);
    }
}
// ===== FUNGSI PERINTAH =====
void processCommand(String cmd) {

    // Perintah SETPOINT HV berupa angka mV == mengubah nilai
    string menjadi integer
    int mV = input.toInt();
    if (mV >= 0 && mV <= 5000) {

        // pemetaan nilai mV menjadi output DAC 0-4095
        int dacValue = round((mV / 5000.0) * 4095);
        dac1.setVoltage(dacValue, false);

        // pemetaan nilai mV menjadi sudut servo untuk digerakkan
        currentVoltage = dacValue;
        vInput = mV;
        servoAngle = map(vInput, 0, 5000, 180, 0);
        myServo.write(servoAngle);
    } else {
    }
}
```

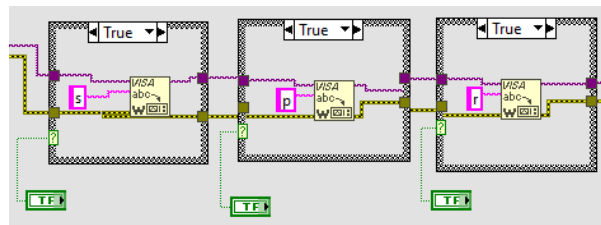
Dalam kode di atas, ESP32 membaca data setpoint yang dikirim dari LabVIEW melalui `String input = Serial.readStringUntil('\n')` dan memanggil fungsi `processCommand(input)` untuk memproses nilai tersebut. Nilai string dikonversi menjadi bilangan integer menggunakan `int mV = input.toInt()`. Setelah lolos validasi rentang (0–5000 mV), nilai tersebut dipetakan menjadi sinyal digital 12-bit (0–4095) untuk DAC MCP4725 menggunakan fungsi `int dacValue = round((mV / 5000.0) * 4095)`, sehingga menghasilkan tegangan analog 0–5 V yang menjadi referensi pengaturan HV. Nilai yang sama juga digunakan untuk mengatur sudut servo

melalui `myServo.write(servoAngle)`, yang memutar potensiometer HV aktual, sehingga tegangan tinggi fisik yang diberikan ke tabung Geiger-Müller sesuai dengan setpoint yang ditentukan pengguna.

Dengan mekanisme ini, seluruh alur HV Regulator mulai dari input knob LabVIEW, konversi ke milivolt, pemformatan menjadi string, pengiriman melalui serial, hingga pengaturan DAC dan motor servo bekerja secara terintegrasi dan presisi. Sistem memastikan bahwa nilai tegangan tinggi dapat diatur secara tepat, stabil, dan tetap berada dalam kendali penuh pengguna.

4. Pengaturan Tombol Perintah: Start, Reset, dan Stop

Di bagian tengah blok diagram LabVIEW, terdapat tiga struktur *Case* yang masing-masing dirancang untuk menangani perintah dari tombol Start, Reset, dan Stop pada antarmuka pengguna. Saat salah satu tombol ditekan, seperti Start, maka sinyal logika boolean akan berubah menjadi True, yang secara otomatis mengaktifkan frame True pada struktur *Case* terkait. Pada kondisi ini, program akan mengeksekusi perintah pengiriman data berupa karakter melalui blok VISA Write. Karakter yang dikirim berbentuk string singkat, seperti “s” untuk Start, “r” untuk Reset, dan “p” untuk Stop, yang kemudian dimasukkan ke input write buffer pada blok VISA Write (berada di kanan atas blok tersebut).



Sementara itu, input resource name—yang menunjukkan port komunikasi serial yang digunakan, misalnya COM3 atau COM4—diletakkan

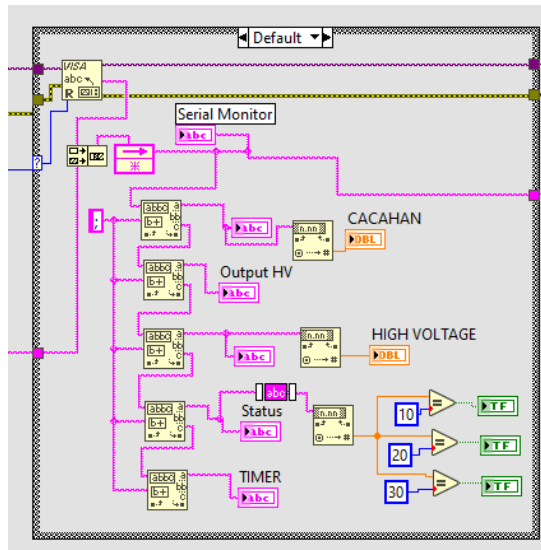
di sisi kiri atas blok VISA Write. Nilai ini berasal dari hasil konfigurasi awal komunikasi serial yang dilakukan menggunakan VISA Configure Serial Port pada bagian awal blok diagram. Data karakter yang dikirimkan akan diterima oleh mikrokontroler ESP32 melalui port serial dan diproses berdasarkan logika yang telah ditanamkan di dalam program Arduino. Di sisi mikrokontroler, karakter yang diterima diproses menggunakan program Arduino/ESP32. Bagian kode yang menangani perintah tombol adalah sebagai berikut:

```
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;
    }
  }
}
```

Dengan pendekatan ini, terjadi komunikasi dua arah yang sinkron antara antarmuka LabVIEW dan mikrokontroler, di mana setiap perintah dari pengguna dikirimkan dalam bentuk karakter melalui jalur serial dan langsung ditindaklanjuti oleh ESP32 sesuai fungsi masing-masing. Jika tidak ada tombol yang ditekan, maka logika boolean tetap bernilai False, sehingga frame *Case* tidak menjalankan instruksi apa pun dan data tidak dikirim.

Mekanisme ini menjamin bahwa hanya perintah yang benar-benar dibutuhkan yang dikirim, menjaga stabilitas komunikasi, serta memungkinkan sistem pencacahan dikontrol secara *real-time* dari sisi perangkat lunak.

5. Pengolahan dan Penampilan Data Serial



Setelah LabVIEW mengirimkan perintah ke mikrokontroler ESP32, data balikan dibaca melalui fungsi VISA Read di bagian kanan atas blok diagram. Mikrokontroler mengirimkan satu baris string berisi parameter penting yang dipisahkan dengan tanda titik koma (;), seperti: jumlah pulsa radiasi (cacahan), nilai knob pengatur HV, tegangan tinggi aktual, status sistem (START, STOP, RESET), dan waktu pencacahan.

String ini kemudian diuraikan menjadi elemen array menggunakan Spreadsheet String to Array, lalu dikonversi ke format numerik atau string sesuai jenis datanya. Data hasil konversi langsung ditampilkan secara *real-time* melalui indikator pada Front Panel.

Grafik batang “CACAHAN (cps)” menampilkan jumlah pulsa per detik, sedangkan grafik “HIGH VOLTAGE (Volt)” menunjukkan tegangan tinggi aktual. Di bawahnya, indikator “Output HV (Volt)” merepresentasikan nilai pengaturan HV dari knob “HV REGULATOR”. Status sistem (START/STOP/RESET) ditampilkan melalui indikator teks “Status”, dan durasi pencacahan aktif ditunjukkan dalam detik pada indikator “TIMER”.

Antarmuka juga memiliki kontrol numerik (10, 20, 30) untuk

menampilkan durasi pencacahan 1–3 menit secara visual, meskipun pengaturannya tetap dilakukan oleh mikrokontroler. Di sisi mikrokontroler, bagian kode yang digunakan untuk mengeluarkan barisan string tersebut adalah sebagai berikut:

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

    // Pemetaan status LED
    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 {

    }

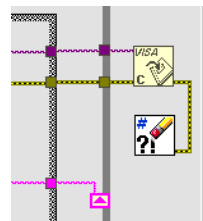
    // Pemetaan status timer
    Serial.print(";");
    if (selectedTimer == 0) {
        Serial.println("1");
    } else if (selectedTimer == 1) {
        Serial.println("3");
    } else if (selectedTimer == 2) {
        Serial.println("5");
    } else {
        Serial.println("0");
    }
}
```

```
}
}
```

Seluruh proses berlangsung dalam struktur *Whileloop*, yang menjaga agar sistem berjalan secara kontinu dan *real-time*. Dengan desain ini, antarmuka LabVIEW mampu memantau radiasi dan status sistem secara akurat, interaktif, dan andal.

6. Pemrosesan Data Serial dan Penutupan Koneksi

Setelah perintah dikirim dari LabVIEW ke mikrokontroler, sistem membaca data balikan dari ESP32 melalui blok VISA Read. Data yang diterima berupa satu baris string berisi nilai-nilai penting seperti cacahan radiasi, tegangan tinggi aktual, status sistem, dan waktu pencacahan, yang dipisahkan oleh tanda titik koma (;).



Bagian blok diagram berwarna merah muda memproses data ini menggunakan fungsi seperti Spreadsheet String to Array dan Index Array untuk memisahkan dan mengambil masing-masing parameter. Nilai-nilai yang telah diparsing kemudian dikonversi dan ditampilkan secara *real-time* ke panel depan melalui indikator seperti CACAHAN, Output HV, Status, dan TIMER.

Setelah proses pembacaan selesai, blok VISA Close yang bergaris ungu digunakan untuk menutup koneksi serial dengan ESP32 agar port tidak terkunci saat program diulang. Jalur resource name ke blok ini berasal dari inisialisasi awal VISA. Sebagai tambahan, blok Simple Error Handler yang

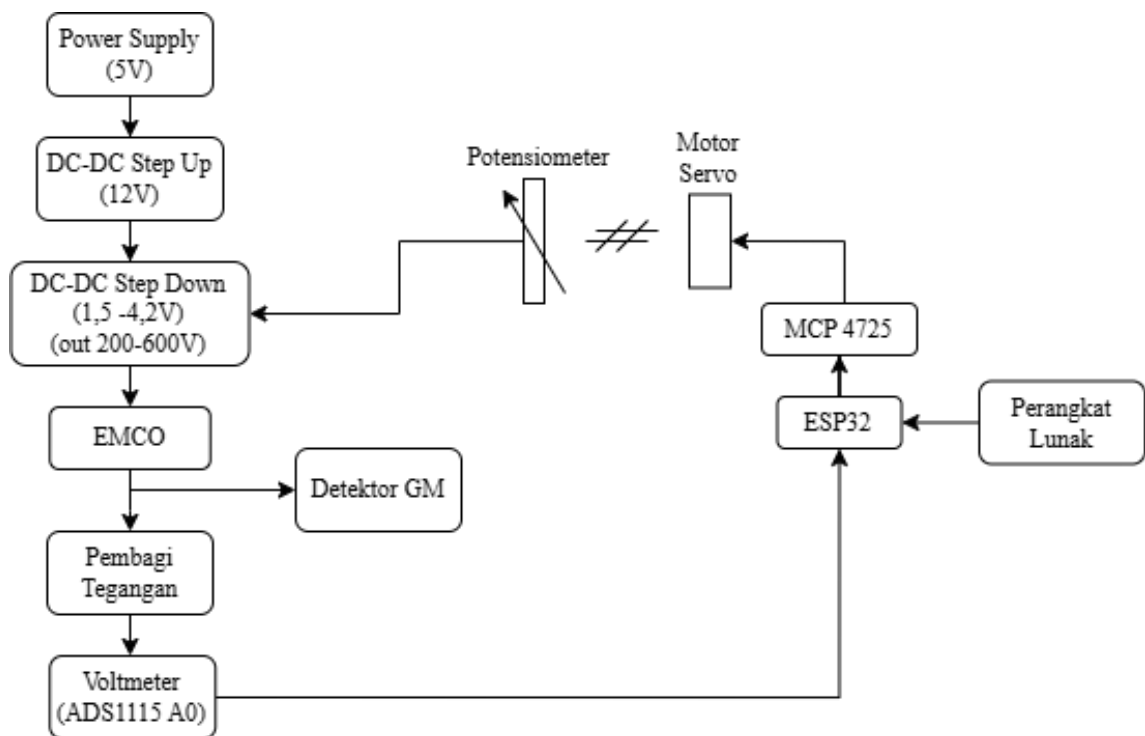
bergaris =-dipasang untuk mendeteksi dan menampilkan pesan kesalahan jika terjadi gangguan komunikasi selama pembacaan, penulisan, atau penutupan koneksi. Seluruh konfigurasi ini memastikan sistem bekerja stabil, efisien, dan mampu menampilkan data kondisi radiasi secara akurat serta menjaga komunikasi tetap aman dan terkendali.

Dengan selesainya proses implementasi seluruh komponen program, yang mencakup inisialisasi komunikasi serial, pengaturan tegangan tinggi, pengendalian tombol interaktif, akuisisi data dari mikrokontroler, hingga proses penutupan koneksi dan penanganan error, maka sistem perangkat lunak pencacah radiasi berbasis LabVIEW telah berhasil dirancang dan dioperasikan secara menyeluruh. Seluruh elemen dalam blok diagram telah terintegrasi secara harmonis dan mampu bekerja secara *real-time* untuk menyajikan data radiasi secara akurat, memberikan kontrol sistem yang responsif, serta menawarkan antarmuka pengguna yang interaktif dan mudah digunakan. Hasil implementasi ini akan dibahas dan dianalisis lebih lanjut pada bagian berikutnya untuk mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan data yang diperoleh selama proses pengujian.

Fokus utama dari sistem ini adalah pengembangan perangkat lunak antarmuka yang dibuat menggunakan LabVIEW. Meskipun begitu, karena perangkat lunak ini dirancang untuk mengendalikan dan memantau data dari alat fisik secara langsung, pemahaman terhadap susunan keseluruhan sistem tetap dibutuhkan agar semuanya dapat bekerja dengan baik.

Sistem ini bekerja dengan cara menghubungkan LabVIEW ke perangkat keras melalui komunikasi serial. Perangkat keras yang digunakan meliputi detektor Geiger-Müller (GM) untuk mendeteksi radiasi, mikrokontroler ESP32

sebagai pusat pengolah data, alat pengubah sinyal analog ke digital (ADC/ADS1115) untuk membaca tegangan tinggi, alat pengubah sinyal digital ke analog (DAC/MCP4725) untuk mengatur tegangan tinggi secara bertahap, serta motor servo yang berfungsi untuk menyesuaikan keluaran fisik dari sistem tegangan tinggi tersebut. Seperti yang ada pada Gambar 4.12



Gambar 4.12 Konseptual integrasi perangkat lunak dan keras dalam pengaturan high voltage

LabVIEW berperan sebagai pusat kendali dan tampilan data, di mana pengguna dapat memantau jumlah hitungan radiasi, mengatur besar tegangan kerja detektor, serta mengendalikan proses pengukuran melalui tampilan antarmuka yang dirancang agar mudah digunakan dan nyaman.

Dengan pendekatan ini, perangkat lunak yang dibuat tidak hanya berdiri sendiri, tetapi juga menjadi bagian penting dari sistem terpadu yang langsung terhubung dengan perangkat keras. Pendekatan ini sejalan dengan konsep alat ukur virtual,

yaitu sistem pengukuran dan pengendalian modern yang menggunakan tampilan di komputer untuk menggantikan sebagian fungsi alat ukur fisik

4.3 Kalibrasi *High Voltage*

Kalibrasi dilakukan untuk memastikan bahwa nilai tegangan keluaran (*actual output*) yang dihasilkan oleh rangkaian pengaturan high voltage sesuai dengan nilai tegangan yang ditetapkan melalui antarmuka *LabVIEW*. Pada sistem ini, nilai *setpoint* HV diatur melalui sebuah knop pada *LabVIEW* dengan rentang 0–600 mV. Nilai *setpoint* tersebut kemudian dikirim ke mikrokontroler untuk diubah ke format digital (0–4095) oleh modul DAC MCP4725, yang selanjutnya menggerakkan motor servo untuk mengatur pembagian tegangan pada rangkaian HV.

Pengukuran dilakukan menggunakan multimeter sebagai acuan pembandingan. Setiap nilai *setpoint* kemudian dicatat bersama nilai tegangan keluaran aktual yang ditampilkan melalui TFT/*LabVIEW*. Error dihitung menggunakan Persamaan:

$$\text{Error (\%)} = \left(\frac{a-d}{a} \right) \times 100\%$$

dengan:

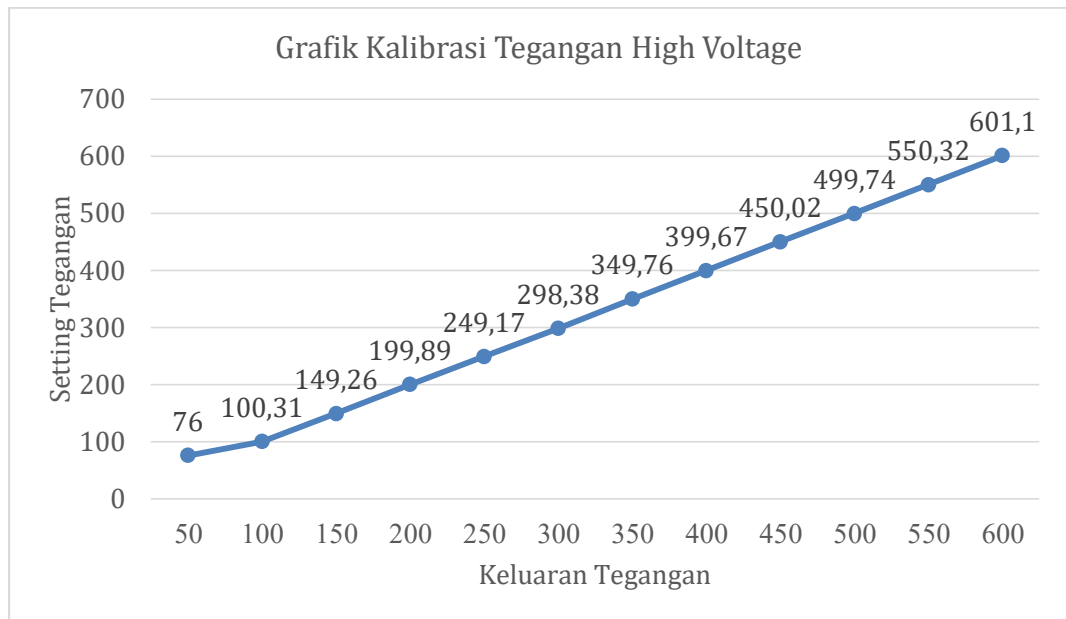
a = tegangan *setting* pada *LabVIEW* (V)

d = tegangan keluaran hasil pengukuran (V)

Tabel 4.1 Tabel Kalibrasi *High Voltage*

| No | Set Tegangan (Volt) | Set mcp ke servo | | Keluaran (Volt) | Error (%) |
|----|---------------------|------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| | Knop LabView | input mcp | out mcp (input servo) | TFT/LabView | [$((a-d)/a)*100\%$] |
| | | digital | mVolt | | |
| | a | b | c | d | e |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 76 | |
| 2 | 50 | 171 | 208 | 76 | 52,00 |
| 3 | 100 | 341 | 417 | 100,31 | 0,31 |
| 4 | 150 | 512 | 625 | 149,26 | 0,49 |
| 5 | 200 | 683 | 833 | 199,89 | 0,06 |
| 6 | 250 | 853 | 1042 | 249,17 | 0,33 |
| 7 | 300 | 1024 | 1250 | 298,38 | 0,54 |
| 8 | 350 | 1195 | 1458 | 349,76 | 0,07 |
| 9 | 400 | 1365 | 1667 | 399,67 | 0,08 |
| 10 | 450 | 1536 | 1875 | 450,02 | 0,00 |
| 11 | 500 | 1707 | 2084 | 499,74 | 0,05 |
| 12 | 550 | 1877 | 2292 | 550,32 | 0,06 |
| 13 | 600 | 2048 | 2500 | 601,1 | 0,18 |

Pada Tabel 4.1 menunjukkan hubungan antara nilai setpoint tegangan yang diatur melalui knop pada antarmuka LabVIEW dengan nilai tegangan keluaran aktual yang terukur melalui TFT/LabVIEW. Pada tabel tersebut ditampilkan parameter penting, yaitu nilai setpoint (a), nilai digital yang dikirimkan ke modul DAC MCP4725 (b), nilai tegangan analog keluaran DAC yang menggerakkan servo (c), serta nilai tegangan aktual hasil pengukuran (d). Selain itu, tabel juga menampilkan nilai error yang dihitung berdasarkan selisih antara *setting* tegangan dan keluaran aktual.



Gambar 4.13 Grafik kalibrasi *high voltage*

Gambar 4.13 memperlihatkan hubungan antara setpoint LabVIEW dan keluaran tegangan aktual. Grafik tersebut membentuk pola yang hampir linear, menunjukkan bahwa peningkatan setpoint berbanding lurus dengan peningkatan keluaran yang dihasilkan. Titik-titik pengukuran yang berada dekat dengan garis ideal mengindikasikan bahwa sistem DAC–servo bekerja dengan konsisten dalam mengatur tegangan sesuai setpoint. Grafik ini juga memperkuat hasil dari tabel, dimana perbedaan antara setpoint dan keluaran aktual sangat kecil, sehingga sistem dapat dikatakan cukup akurat dan dapat diandalkan.

4.4 Penetapan Daerah *Plateau*

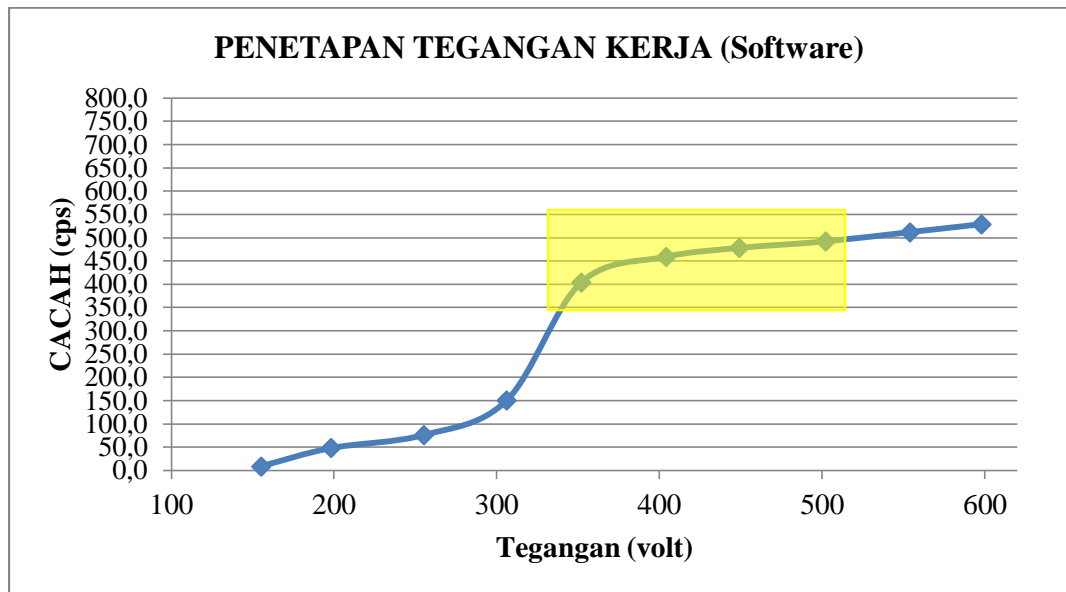
Penentuan daerah *plateau* dilakukan untuk mengetahui tegangan kerja optimal detektor Geiger-Müller. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi tegangan tinggi pada detektor dan mencatat laju cacahan yang dihasilkan pada setiap titik tegangan. Data hasil pengukuran ditampilkan pada

Tabel 4.2 yang menunjukkan hubungan antara besar tegangan tinggi (V) terhadap laju cacahan radiasi dalam satuan counts per second (cps).

Tabel 4.2 Hasil data penetapan daerah tegangan kerja

| No. | Tegangan | CACAH (cps) |
|-----|----------|-------------|
| 1. | 155 | 9,0 |
| 2. | 198 | 48,0 |
| 3. | 255 | 76,0 |
| 4. | 306 | 150,0 |
| 5. | 352 | 404,0 |
| 6. | 404 | 459,0 |
| 7. | 449 | 478,0 |
| 8. | 502 | 492,0 |
| 9. | 554 | 512,0 |
| 10. | 598 | 529,0 |

Berdasarkan Tabel 4.2 terlihat bahwa kenaikan tegangan dari 155 V hingga 306 V menghasilkan peningkatan laju cacahan yang signifikan, menandakan peningkatan sensitivitas detektor terhadap radiasi. Namun, mulai dari tegangan 352 V hingga 502 V, kenaikan laju cacahan menjadi relatif kecil, menandakan terbentuknya daerah stabil atau *plateau*. Pada rentang ini, perubahan tegangan tidak secara signifikan memengaruhi jumlah cacahan yang terdeteksi, sehingga mencerminkan kondisi kerja ideal detektor.



Gambar 4.14 Kurva daerah *plateau* detektor Geiger-Müller

Kurva hubungan antara tegangan dan laju cacahan pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa rentang 352–502 V merupakan daerah *plateau*, di mana laju cacahan relatif konstan pada kisaran 404–492 cps. Daerah ini menjadi acuan untuk menentukan tegangan kerja (*operating voltage*), yaitu tegangan tengah antara batas bawah dan batas atas *plateau*.

Tabel 4.3 Tabel Tegangan Kerja

| Tegangan kerja | | |
|----------------------------------|-------------|------------|
| V1= | 352 | volt |
| N1= | 404,0 | cps |
| V2= | 502,0 | volt |
| N2= | 492,0 | cps |
| Panjang plato= | 150,0 | volt |
| Vo (1/3 -1/2 panjang plato)= | 427,0 | volt |
| Slope | | |
| $(100(N2-N1)/N1)/(V1-V2))*100\%$ | 14,52145215 | % per volt |

Perhitungan nilai *slope* dilakukan untuk menilai kestabilan detektor pada daerah *plateau*. Nilai *slope* yang kecil menunjukkan bahwa respon detektor terhadap variasi tegangan tinggi cukup stabil. Berdasarkan hasil pengujian,

diperoleh tegangan kerja optimal sebesar 427 V dengan nilai *slope* sebesar 0,14% per volt. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem deteksi memiliki kestabilan yang baik dalam mendeteksi radiasi pada tegangan kerja tersebut. Rentang *plateau* yang diperoleh, yaitu 352–502 V, berada dalam kisaran spesifikasi umum tabung GM, sehingga sistem dapat dikatakan bekerja pada kondisi yang sesuai untuk deteksi radiasi gamma. Tegangan 427 V dipilih sebagai tegangan operasi sistem karena mewakili titik tengah dari daerah stabil serta memberikan keseimbangan antara sensitivitas dan kestabilan pengukuran.

4.5 Aktivitas Sumber Standar dan Pencacahan Latar Belakang

4.5.1 Aktivitas Sumber Standar

Untuk menentukan efisiensi deteksi sistem pencacah radiasi, diperlukan data aktivitas sumber standar. Aktivitas ini menggambarkan laju peluruhan inti radioaktif dari suatu isotop pada waktu tertentu dan menjadi acuan utama dalam perhitungan efisiensi deteksi.

Tabel 4.4 Perhitungan aktivitas sumber standar

| Perhitungan Aktivitas sumber standar | | | | |
|--------------------------------------|------------|-----------------|---------------|--------------------|
| Isotop Sumber Standar = | cs-137 | | | |
| Sumber Radiasi = | gamma | | | |
| Tanggal awal (To) = | 01-Apr-86 | | | |
| Tanggal saat ini = | 24-May-25 | Konversi | Satuan | |
| Waktu tunda (delta T) [tahun] = | 39 | 468 | bulan | |
| Waktu Paro (T 1/2) [tahun] = | 30,05 | 360,6 | bulan | |
| Aktivitas awal (Ao) [Ci/Curie] = | 1,02E-05 | 378510 | Bq atau dps | n (T/T 1/2) |
| Aktivitas saat ini (At)= | 4,1671E-06 | 154182,8647 | Bq atau dps | 1,297836938 |

Pada penelitian ini, digunakan sumber standar isotop Cs-137 dengan jenis radiasi gamma. Pada tabel 4.2 menunjukkan aktivitas saat ini dari sumber

standar Cs-137 berdasarkan paruh waktu dan waktu tunda sejak sumber diaktifkan, dengan aktivitas awal sebesar $1,02 \times 10^{-5}$ Ci pada tanggal 1 April 1986. Pengukuran dilakukan pada 24 Mei 2025, dengan selisih waktu 39 tahun dan waktu paruh Cs-137 sebesar 30,05 tahun, sehingga diperoleh nilai $n=1,2978$. Berdasarkan perhitungan peluruhan radioaktif, aktivitas saat ini (A_t) adalah $4,1671 \times 10^{-6}$ Ci atau setara dengan 154.182,86 Bq, yang kemudian digunakan sebagai acuan dalam penentuan efisiensi sistem deteksi.

4.5.2 Pencacahan Latar Belakang

Berdasarkan hasil pencacahan latar belakang selama 60 detik, diperoleh jumlah cacahan berturut-turut sebesar 39, 47, dan 55 cpm, dengan nilai rata-rata cacahan (Cr) sebesar 47 cpm atau setara 0,78 cps. Data lengkap ditampilkan pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil pencacahan latar belakang

| Pencacahan Latar Belakang | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------|-------|--------|----------------|-----------------|------------|
| Waktu Cacah (t)= | 60 | detik | | | | |
| | Jumlah Cacah (cpm) | | | | Standar deviasi | LD=3*sigma |
| | Kesatu | Kedua | Ketiga | Rata-Rata (Cr) | | |
| Cacahan (C) | 39 | 47 | 55 | 47,00 | 3,96 | 12 |
| Laju Cacah (Rlb) | | | | 0,78 | | 0,20 |
| | | | | | | |
| Laju cacah latar belakang (Cr/t)= | 0,78 | cps | | | | |
| Standar Deviasi ($\sqrt{Cr/n}$)= | 3,96 | | | | | |
| Limit Deteksi (3*Standar Deviasi)= | 11,87 | | | | | |
| Laju Limit Deteksi (LD/t)= | 0,20 | | | | | |

Dari data ini dihitung simpangan baku sebesar 3,96, yang digunakan dalam perhitungan Limit Deteksi (LD) dengan pendekatan 3 kali simpangan baku (3σ). Hasilnya, diperoleh nilai LD sebesar 11,87 cpm atau setara dengan laju limit deteksi sebesar 0,20 cps. Nilai ini menjadi batas minimum yang harus dilampaui oleh sistem untuk memastikan bahwa sinyal radiasi yang terdeteksi

berasal dari sumber, bukan dari fluktuasi latar belakang, sehingga digunakan dalam evaluasi efisiensi sistem deteksi.

4.6 Efisiensi Sistem Menggunakan Sumber Standar dengan Variasi Jarak

Pengukuran efisiensi sistem dilakukan dengan menggunakan sumber standar Cs-137 pada beberapa jarak terhadap detektor, yaitu 1 cm, 2 cm, 3 cm, dan 4 cm. Pada masing-masing jarak, dilakukan pencacahan selama 60 detik sebanyak tiga kali untuk memperoleh rata-rata jumlah cacahan per menit (cpm). Selanjutnya, dihitung laju cacah (cps) dan laju cacah netto dengan mengurangi laju cacah latar belakang yang sebelumnya telah diperoleh, yaitu sebesar 0,78 cps.

Berikut ini disajikan hasil pengukuran efisiensi sistem deteksi pada jarak 1 cm antara sumber dan detektor.

Tabel 4.6 Efisiensi menggunakan sumber standar jarak 1 cm

| Efisiensi Menggunakan Sumber Standar Jarak (1) | | | | | |
|------------------------------------------------|-----------------------|-------|--------|----------------|---------------------------------------|
| Jarak sumber ke detektor (rak 10) = | 1 Cm | | | | |
| Aktivitas sumber saat ini (At)= | 154182,86 Bq atau dps | | | | |
| Probabilitas pancaran radiasi (p)= | 100 % | | | | |
| Waktu cacah= | 60 detik | | | | |
| | | | | | |
| | Jumlah Cacah (cpm) | | | | Uji Terhadap LD |
| | Kesatu | Kedua | Ketiga | Rata-Rata (Cr) | (Laju cacah netto>Laju Limit Deteksi) |
| Cacahan (C) | 440 | 452 | 438 | 443,333333 | |
| Laju Cacah (R) | | | | 7,39 | |
| Laju Cacah Netto (R-Rlb) | | | | 6,61 | (Memenuhi/Tidak memenuhi) |
| | | | | | |
| Efisiensi ((R-Rlb)/At*p)= | 0,0043 | | | | |

Tabel 4.6 menunjukkan hasil pencacahan menggunakan sumber standar pada jarak 1 cm dari detektor. Rata-rata jumlah cacahan yang diperoleh sebesar 443,33 cpm dengan laju cacah 7,39 cps. Setelah dikurangi laju cacah latar belakang, diperoleh laju cacah netto sebesar 6,61 cps. Hasil ini memenuhi kriteria karena melebihi laju limit deteksi. Efisiensi sistem dihitung sebesar 0,0043 atau 0,43%.

Berikut ini disajikan hasil pengukuran efisiensi sistem deteksi pada jarak 2 cm antara sumber dan detektor.

Tabel 4.7 Efisiensi menggunakan sumber standar jarak 2 cm

| Efisiensi Menggunakan Sumber Standar Jarak (2) | | | | | |
|------------------------------------------------|-----------------------|-------|--------|----------------|----------------------------------------------------------|
| Jarak sumber ke detektor (rak 2) = | 2 Cm | | | | |
| Aktivitas sumber saat ini (At)= | 154182,86 Bq atau dps | | | | |
| Probabilitas pancaran radiasi (p)= | 100 % | | | | |
| Waktu cacah= | 60 detik | | | | |
| | Jumlah Cacah (cpm) | | | | Uji Terhadap LD (Laju cacah netto>Laju Limit Deteksi) |
| | Kesatu | Kedua | Ketiga | Rata-Rata (Cr) | |
| Cacahan (C) | 322 | 332 | 336 | 330,00 | |
| Laju Cacah (R) | | | | 5,50 | |
| Laju Cacah Netto (R-Rlb) | | | | 4,72 | (Memenuhi/Tidak memenuhi) |
| Efisiensi ((R-Rlb)/At*p)= | 0,0031 | | | | |

Tabel 4.7 menunjukkan hasil pencacahan menggunakan sumber standar pada jarak 2 cm dari detektor. Rata-rata jumlah cacahan yang diperoleh sebesar 330,00 cpm dengan laju cacah 5,50 cps. Setelah dikurangi laju cacah latar belakang, diperoleh laju cacah netto sebesar 4,72 cps. Hasil ini memenuhi kriteria karena melebihi laju limit deteksi. Efisiensi sistem dihitung sebesar 0,0031 atau 0,31%.

Berikut ini disajikan hasil pengukuran efisiensi sistem deteksi pada jarak 3 cm antara sumber dan detektor.

Tabel 4.8 Efisiensi menggunakan sumber standar jarak 3 cm

| Efisiensi Menggunakan Sumber Standar Jarak (3) | | | | | |
|------------------------------------------------|-----------------------|-------|--------|----------------|----------------------------------------------------------|
| Jarak sumber ke detektor (rak 10) = | 3 Cm | | | | |
| Aktivitas sumber saat ini (At)= | 154182,86 Bq atau dps | | | | |
| Probabilitas pancaran radiasi (p)= | 100 % | | | | |
| Waktu cacah= | 60 detik | | | | |
| | Jumlah Cacah (cpm) | | | | Uji Terhadap LD (Laju cacah netto>Laju Limit Deteksi) |
| | Kesatu | Kedua | Ketiga | Rata-Rata (Cr) | |
| Cacahan (C) | 98 | 108 | 88 | 98 | |
| Laju Cacah (R) | | | | 1,63 | |
| Laju Cacah Netto (R-Rlb) | | | | 0,85 | (Memenuhi/Tidak memenuhi) |
| Efisiensi ((R-Rlb)/At*p)= | 0,0006 | | | | |

Tabel 4.8 menunjukkan hasil pencacahan menggunakan sumber standar pada jarak 3 cm dari detektor. Rata-rata jumlah cacahan yang diperoleh sebesar 98,00 cpm dengan laju cacah 1,63 cps. Setelah dikurangi laju cacah latar belakang sebesar 0,78 cps, diperoleh laju cacah netto sebesar 0,85 cps. Hasil ini memenuhi kriteria karena melebihi laju limit deteksi sebesar 0,20 cps. Efisiensi sistem dihitung sebesar 0,0006 atau 0,06%.

Berikut ini disajikan hasil pengukuran efisiensi sistem deteksi pada jarak 4 cm antara sumber dan detektor.

Tabel 4.9 Efisiensi menggunakan sumber standar jarak 4 cm

| Efisiensi Menggunakan Sumber Standar Jarak (4) | | | | | |
|------------------------------------------------|-----------------------|-------|--------|----------------|---------------------------------------|
| Jarak sumber ke detektor (rak 2) = | 4 Cm | | | | |
| Aktivitas sumber saat ini (At)= | 154182,86 Bq atau dps | | | | |
| Probabilitas pancaran radiasi (p)= | 100 % | | | | |
| Waktu cacah= | 60 detik | | | | |
| | Jumlah Cacah (cpm) | | | | Uji Terhadap LD |
| | Kesatu | Kedua | Ketiga | Rata-Rata (Cr) | (Laju cacah netto>Laju Limit Deteksi) |
| Cacahan (C) | 48 | 52 | 58 | 52,67 | |
| Laju Cacah (R) | | | | 0,88 | |
| Laju Cacah Netto (R-Rlb) | | | | 0,09 | (Memenuhi/Tidak memenuhi) |
| Efisiensi $((R-Rlb)/At*p)=$ | 0,0001 | | | | |

Tabel 4.9 menunjukkan hasil pencacahan menggunakan sumber standar pada jarak 4 cm dari detektor. Rata-rata jumlah cacahan yang diperoleh sebesar 52,67 cpm dengan laju cacah 0,88 cps. Setelah dikurangi laju cacah latar belakang sebesar 0,78 cps, diperoleh laju cacah netto sebesar 0,09 cps. Hasil ini tidak memenuhi kriteria karena laju cacah netto lebih kecil dari laju limit deteksi sebesar 0,20 cps. Efisiensi sistem dihitung sebesar 0,0001 atau 0,01%.

4.7 Pengujian Cacahan pada Variasi Jarak

Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi jarak antara sumber radiasi dan detektor terhadap laju cacahan yang terdeteksi oleh sistem. Pengukuran dilakukan pada empat variasi jarak, yaitu 1 cm, 2 cm, 3 cm, dan 4 cm, dengan masing-masing dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan.

Tabel 4.10 Hasil pengujian laju cacahan pada variasi jarak dengan tiga kali pengulangan

| Pengujian Cacah | | | |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Jarak (cm) | Laju cacah/R (cps) | Laju cacah/R (cps) | Laju cacah/R (cps) |
| 1 | 440,0 | 452,0 | 438,0 |
| 2 | 322,0 | 332,0 | 336,0 |
| 3 | 98,0 | 108,0 | 88,0 |
| 4 | 48,0 | 52,0 | 58,0 |

Hasil pengukuran laju cacahan (dalam satuan cps) pada setiap jarak ditampilkan dalam Tabel 4.10 Pada jarak 1 cm, diperoleh nilai cacahan sebesar 440,0 cps, 452,0 cps, dan 438,0 cps. Pada jarak 2 cm, nilai cacahan yang diperoleh yaitu 322,0 cps, 332,0 cps, dan 336,0 cps. Selanjutnya, pada jarak 3 cm diperoleh hasil 98,0 cps, 108,0 cps, dan 88,0 cps. Sementara itu, pada jarak 4 cm diperoleh nilai 48,0 cps, 52,0 cps, dan 58,0 cps. Data ini akan dianalisis lebih lanjut pada subbab pembahasan untuk melihat hubungan antara jarak dan intensitas cacahan yang terdeteksi.

4.8 Pembahasan

4.8.1 Pembahasan Hasil Desain dan Implementasi Sistem

Berdasarkan hasil implementasi perangkat lunak sistem pencacah radiasi yang telah dijelaskan pada Subbab 4.2 dapat disimpulkan bahwa rancangan sistem antarmuka berbasis LabVIEW berhasil diwujudkan dan mampu berfungsi secara optimal dalam melakukan pemantauan serta pengendalian proses pencacahan radiasi secara *real-time*. Sistem ini menunjukkan integrasi yang baik antara perangkat lunak dan perangkat keras, serta mampu memenuhi kebutuhan pengukuran radiasi dengan pendekatan yang interaktif dan fleksibel.

Salah satu indikator keberhasilan desain adalah keberfungsian sistem

dalam menginisialisasi dan menjaga koneksi komunikasi serial secara stabil antara LabVIEW dan mikrokontroler ESP32. Penggunaan parameter komunikasi seperti baud rate 115200, 8 data bit, tanpa paritas, dan 1 stop bit terbukti mendukung pertukaran data yang cepat dan minim kesalahan. Hal ini menjadi penting mengingat data yang diproses bersifat dinamis dan perlu ditampilkan secara langsung.

Struktur logika program yang dirancang dalam *whileloop* memberikan keunggulan dalam aspek keberlanjutan proses monitoring, serta menjamin bahwa sistem tetap aktif dan responsif selama program belum dihentikan secara manual. Selain itu, penggunaan *Case structure* untuk menangani perintah dari tombol Start, Reset, dan Stop mencerminkan pendekatan modular yang memudahkan identifikasi dan pengendalian fungsi program secara terpisah namun saling terhubung.

Fungsi pengaturan tegangan tinggi (HV Regulator) yang berbasis knob digital menunjukkan bahwa sistem mampu menerjemahkan input pengguna ke dalam bentuk sinyal yang sesuai dengan kebutuhan perangkat keras. Nilai tegangan yang dimasukkan dalam satuan volt dikonversi ke milivolt menggunakan faktor pengali tertentu agar sesuai dengan input mikrokontroler dan perangkat DAC. Proses ini menegaskan bahwa desain sistem mempertimbangkan aspek kompatibilitas data antarperangkat secara teknis.

Pada sisi pembacaan data, sistem berhasil mengelola string data dari mikrokontroler yang berisi informasi cacahan, tegangan aktual, status sistem, dan waktu pencacahan. Penggunaan fungsi pemrosesan string seperti Spreadsheet String to Array dan Index Array secara efektif mampu memisahkan parameter-parameter tersebut dan menampilkannya dalam bentuk

indikator maupun grafik pada Front Panel. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan akuisisi data secara *real-time* yang mendukung akurasi pengamatan kondisi radiasi.

Desain pengiriman data kontrol yang hanya diaktifkan saat tombol tertentu ditekan merupakan pendekatan yang efisien, karena menghindari beban komunikasi yang tidak diperlukan. Sistem hanya mengirim data tegangan saat dibutuhkan, sehingga menjaga kestabilan komunikasi serial.

Secara keseluruhan, hasil implementasi sistem ini membuktikan bahwa pendekatan virtual instrumentation menggunakan LabVIEW dapat menggantikan sebagian besar fungsi alat ukur fisik dalam sistem pencacah radiasi. Antarmuka yang dirancang mampu mengintegrasikan kendali tegangan, akuisisi data, dan pengendalian proses pencacahan dalam satu platform terpadu. Kinerja sistem yang stabil, presisi tegangan yang baik, serta tampilan antarmuka yang interaktif menjadikan sistem ini layak untuk digunakan dalam skala laboratorium pendidikan maupun penelitian radiasi tingkat dasar.

4.8.2 Pembahasan Hasil Kalibrasi *High Voltage*

Proses kalibrasi high voltage dilakukan untuk memastikan bahwa sistem mampu menghasilkan tegangan keluaran yang sesuai dengan nilai setpoint yang diberikan melalui antarmuka LabVIEW. Berdasarkan data pada Tabel 4.1 dan grafik kalibrasi, dapat dianalisis beberapa aspek penting, yaitu akurasi, linearitas, serta stabilitas sistem pengaturan tegangan.

Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang sangat baik pada rentang kerja utama, yaitu setpoint 100 mV hingga 600 mV.

Pada rentang ini, nilai error absolut tercatat sangat kecil, yakni berada antara 0.00% hingga 0.54%. Nilai ini menunjukkan bahwa selisih antara tegangan yang diatur dan tegangan aktual yang dihasilkan sangat kecil, sehingga sistem DAC–servo mampu mengikuti perubahan nilai setpoint secara presisi. Dengan error di bawah 1%, sistem dapat dikategorikan memiliki performa yang akurat dan layak digunakan untuk pengaturan tegangan operasi detektor *Geiger Müller*.

Linearitas sistem juga terlihat sangat baik. Grafik kalibrasi menunjukkan hubungan yang hampir linear antara nilai setpoint dan keluaran aktual, di mana titik-titik hasil pengukuran berada sangat dekat dengan garis ideal. Linearitas ini menunjukkan bahwa perubahan tegangan yang diberikan melalui LabVIEW diterjemahkan secara konsisten oleh rangkaian DAC–servo ke dalam perubahan posisi servo, yang kemudian memengaruhi pembagian tegangan pada rangkaian HV. Linearitas yang baik sangat penting agar setiap perubahan kecil pada setpoint dapat menghasilkan perubahan tegangan yang proporsional pada keluaran.

Error terbesar muncul pada setpoint 50 mV, yaitu sebesar 52.00%. Nilai error yang besar ini bukan berasal dari kesalahan proses kalibrasi atau ketidaktepatan sistem DAC–servo, melainkan disebabkan oleh karakteristik dari rangkaian hardware. Modul DC–DC yang digunakan sebagai tahap awal sebelum rangkaian HV EMCO memiliki batas tegangan minimum sekitar 2 volt untuk dapat aktif dan bekerja dengan normal. Jika tegangan yang diberikan berada di bawah nilai tersebut, modul DC–DC tidak akan menyala atau tidak dapat beroperasi dengan stabil. Akibatnya, pada setpoint yang sangat rendah seperti 50 mV, rangkaian belum aktif sehingga tegangan keluaran tidak

mengikuti nilai setpoint yang diberikan. Kondisi ini menyebabkan perbedaan yang besar antara setpoint dan tegangan aktual. Namun demikian, hal ini tidak menjadi masalah karena tegangan operasional yang digunakan untuk sistem HV pada detektor Geiger Müller berada jauh di atas batas minimum tersebut, sehingga rangkaian dapat bekerja secara normal pada rentang tegangan kerja yang sebenarnya.

Dari sisi stabilitas, keluaran tegangan menunjukkan pola perubahan yang halus dan konsisten pada setiap titik pengukuran. Tidak terdapat lonjakan atau fluktuasi yang tidak normal, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem bekerja dengan stabil dalam menghasilkan tegangan keluaran sesuai kebutuhan operasi detektor.

Secara keseluruhan, hasil kalibrasi menunjukkan bahwa sistem pengaturan high voltage berbasis DAC–servo yang digunakan pada penelitian ini telah memiliki tingkat akurasi tinggi, linearitas yang baik, serta stabilitas yang memadai. Dengan nilai error absolut yang sangat kecil pada rentang kerja utamanya, sistem ini dapat dianggap memiliki kinerja yang cukup baik sehingga berpotensi digunakan dalam aplikasi pencacahan radiasi menggunakan detektor *Geiger Müller*.

4.8.3 Pembahasan Hasil Penetapan Daerah *Plateau*

Penetapan daerah plato pada detektor Geiger-Müller (GM) merupakan tahap esensial untuk menentukan rentang tegangan optimal yang menghasilkan respons deteksi paling stabil. Secara prinsip, daerah plato adalah wilayah tegangan di mana laju cacahan tidak mengalami perubahan signifikan meskipun terjadi peningkatan tegangan tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa

detektor telah mencapai kondisi kerja stabil, di mana setiap partikel radiasi yang masuk dapat dideteksi secara efisien tanpa terpengaruh oleh fluktuasi tegangan kecil.

Berdasarkan hasil pengukuran pada Subbab 4.3, diperoleh data laju cacahan (cps) terhadap tegangan tinggi yang diberikan ke detektor. Dari grafik hubungan tegangan terhadap cacahan (Gambar 4.8), terlihat bahwa laju cacahan mengalami kenaikan tajam pada rentang tegangan 198 V hingga 352 V, yang menunjukkan fase transien, yaitu ketika detektor mulai aktif merespons partikel radiasi. Setelah mencapai tegangan sekitar 352 V, laju cacahan mulai mengalami stabilisasi, dan tetap berada dalam rentang 404 cps hingga 492 cps hingga tegangan mencapai 502 V.

Stabilitas inilah yang secara visual membentuk daerah datar pada kurva, yang dikenal sebagai daerah plato, yakni pada rentang 352 V hingga 502 V. Dalam rentang ini, perubahan tegangan sebesar 150 V hanya mengakibatkan kenaikan laju cacahan sebesar 88 cps (dari 404 cps ke 492 cps), yang berarti sensitivitas sistem terhadap tegangan menjadi minimal, dan ini sangat diinginkan dalam pengoperasian detektor radiasi.

Selanjutnya, tegangan kerja optimal sistem dihitung dengan menggunakan pendekatan sepertiga hingga setengah panjang plato, yaitu:

$$V_o = V_1 + 31 \times (V_2 - V_1) = 352 \text{ V} + \frac{1}{3} \times 150 \text{ V} = 427 \text{ V}$$

Tegangan ini dipilih untuk memastikan bahwa detektor bekerja pada kondisi stabil namun masih berada dalam batas aman, tanpa risiko menimbulkan pulsa spurious akibat tegangan yang terlalu tinggi.

Kemudian, untuk mengevaluasi kualitas daerah plato, dilakukan perhitungan *slope* menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Slope = \left(\frac{100 \times (N_2 - N_1)}{N_1 \times (V_1 - V_2)} \right) = \left(\frac{100 \times (492 - 404)}{404 \times (502 - 352)} \right) = 0,1452 \Rightarrow 14,52\%$$

Nilai *slope* sebesar 14,52% per 150 volt atau sekitar 0,097% per volt, menunjukkan bahwa daerah plato masih berada dalam batas toleransi akseptabel. Dalam praktik standar, *slope* ideal untuk detektor GM berada di bawah 10% per 100 volt. Nilai yang diperoleh dalam penelitian ini sedikit lebih tinggi dari standar ideal, namun masih menunjukkan kestabilan sistem yang baik, terutama untuk sistem prototipe berbasis mikrokontroler dan DAC.

Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem pencacah radiasi yang dikembangkan telah mampu mendeteksi dan mencatat pulsa radiasi secara konsisten dalam rentang tegangan yang ditetapkan. Hal ini juga mencerminkan kualitas sinyal HV yang dikendalikan melalui DAC MCP4725 dan dikalibrasi secara linier oleh sistem kontrol servo, yang memastikan tegangan kerja tetap berada dalam rentang efektif tanpa mengalami lonjakan atau fluktuasi yang tidak diinginkan.

Dengan penetapan daerah plato yang valid secara grafis dan matematis, serta dengan pemilihan tegangan kerja pada 427 V yang mempertimbangkan kestabilan dan keselamatan operasi, maka sistem ini telah memenuhi salah satu kriteria penting dalam desain sistem pencacah berbasis Geiger-Müller. Validitas daerah plato ini juga memberikan dasar kuat untuk pengujian efisiensi deteksi dan interpretasi data pengukuran radiasi selanjutnya.

4.8.4 Pembahasan Hasil Aktivitas Sumber Standar dan Pencacahan Latar

Belakang

Penetapan nilai aktivitas sumber standar dan cacahan latar belakang merupakan dasar utama dalam proses evaluasi efisiensi sistem pencacah radiasi. Dalam penelitian ini, sumber standar yang digunakan adalah isotop Cs-137 dengan aktivitas awal sebesar $1,02 \times 10^{-5}$ Ci sejak tanggal 1 April 1986. Dengan menghitung selisih waktu hingga tanggal pengukuran, yaitu 24 Mei 2025, diperoleh selang waktu 39 tahun. Menggunakan waktu paruh Cs-137 sebesar 30,05 tahun, maka diperoleh nilai $n = \frac{\Delta t}{T_{1/2}} = 1,2978$, yang kemudian digunakan dalam persamaan peluruhan radioaktif: $A_t = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n$

Dari perhitungan tersebut, diperoleh aktivitas saat ini sebesar $4,1671 \times 10^{-6}$ Ci, atau setara dengan 154.182,86 Bq. Nilai ini mencerminkan jumlah disintegrasi per detik yang masih terjadi pada sumber Cs-137 saat ini, dan dijadikan dasar perbandingan dalam perhitungan efisiensi sistem deteksi.

Sementara itu, pencacahan latar belakang dilakukan selama 60 detik sebanyak tiga kali, dan diperoleh nilai cacahan pada tabel 4.4 yaitu nilai cacahan 39, 47, dan 55 cpm, dengan nilai rata-rata 47 cpm, atau 0,78 cps. Nilai ini menunjukkan adanya radiasi latar yang memang selalu ada di sekitar kita, baik dari alam seperti tanah dan sinar kosmik, maupun dari gangguan elektronik pada sistem seperti suara listrik, getaran sensor, atau sinyal yang tidak stabil. Karena itu, pengukuran latar belakang penting dilakukan agar hasil cacahan dari sumber radiasi tidak tercampur dengan sinyal lain yang bukan berasal dari sumber sebenarnya.

Selain itu, hasil pencacahan latar belakang digunakan untuk menghitung

Limit of Detection (LD) sistem, yaitu ambang batas minimal sinyal yang dapat dikatakan signifikan secara statistik. Dengan simpangan baku (σ) sebesar 3,96, dan menggunakan pendekatan statistik standar:

$$LD = 3 \times \sigma = 3 \times 3,96 = 11,87 \text{ cpm}$$

Jika dikonversi ke satuan internasional:

$$LD = \frac{11,87}{60} = 0,20 \text{ cps}$$

Nilai LD sebesar 0,20 cps ini merupakan batas minimum bagi sistem pencacah untuk menyatakan bahwa suatu sinyal benar-benar berasal dari radiasi sumber, bukan hanya hasil dari fluktuasi acak latar belakang. Dengan demikian, setiap hasil pengukuran laju cacahan dari sumber standar yang melebihi nilai ini dapat dikategorikan sebagai deteksi yang valid dan signifikan secara statistik.

Keberadaan nilai LD juga penting dalam tahap evaluasi efisiensi deteksi. Sistem dinilai sensitif dan andal apabila dapat menghasilkan cacahan bersih (netto) yang melampaui batas LD ini. Sebaliknya, bila hasil cacahan netto berada di bawah nilai LD, maka sinyal tersebut tidak dapat digunakan dalam perhitungan efisiensi karena tidak memenuhi ambang deteksi minimum.

Dengan mempertimbangkan aktivitas sumber yang telah disesuaikan dan pencacahan latar belakang yang telah dianalisis, maka sistem pencacah yang dikembangkan telah memenuhi kriteria dasar pengujian sistem deteksi radiasi, baik dari aspek intensitas sumber maupun kestabilan lingkungan. Hasil ini menjadi landasan kuat untuk analisis efisiensi sistem pada pengujian selanjutnya.

4.8.5 Pembahasan Efisiensi Sistem Menggunakan Sumber Standar dengan

Variasi Jarak

Pengujian efisiensi sistem pencacah radiasi dengan menggunakan sumber standar Cs-137 pada berbagai jarak bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi radiasi secara efektif terhadap perubahan posisi relatif antara detektor dan sumber. Efisiensi deteksi didefinisikan sebagai rasio antara jumlah radiasi yang terdeteksi oleh sistem terhadap jumlah peluruhan yang terjadi pada sumber, dengan dasar perhitungan berasal dari nilai aktivitas sumber saat ini yang telah ditetapkan sebelumnya. Dalam konteks ini, pengukuran dilakukan pada empat variasi jarak, yaitu 1 cm, 2 cm, 3 cm, dan 4 cm, masing-masing dilakukan selama 60 detik sebanyak tiga kali. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa laju cacahan menurun secara signifikan seiring dengan bertambahnya jarak antara detektor dan sumber. Penurunan ini sejalan dengan prinsip fisika radiasi, di mana intensitas radiasi gamma menurun sesuai hukum kuadrat terbalik (*inverse square law*), yang menyatakan bahwa besarnya intensitas radiasi berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya dari sumber.

Pada jarak 1 cm, sistem menunjukkan efisiensi tertinggi dengan laju cacahan sebesar 7,39 cps dan cacahan netto sebesar 6,61 cps setelah dikoreksi dengan nilai latar belakang. Nilai ini jauh melebihi batas deteksi minimum (LD) sebesar 0,20 cps, yang menandakan bahwa sistem sangat responsif terhadap radiasi pada jarak ini. Efisiensi sistem pada jarak ini tercatat sebesar 0,43%, yang menunjukkan kinerja optimal sistem saat sumber berada sangat dekat dengan detektor. Ketika jarak ditingkatkan menjadi 2 cm, laju cacahan netto menurun menjadi 4,72 cps, dan efisiensinya menjadi 0,31%. Meskipun

terjadi penurunan, nilai tersebut masih berada di atas ambang deteksi, sehingga tetap dikategorikan sebagai sinyal yang valid secara statistik. Pada jarak 3 cm, sistem hanya menghasilkan cacahan netto sebesar 0,85 cps dengan efisiensi sebesar 0,06%. Nilai ini masih di atas LD, tetapi menunjukkan bahwa sensitivitas sistem mulai menurun secara signifikan.

Penurunan yang paling tajam terjadi pada jarak 4 cm, di mana laju cacahan netto hanya sebesar 0,09 cps, yang berarti berada di bawah nilai LD. Hal ini mengindikasikan bahwa sinyal yang diterima pada jarak tersebut tidak dapat dibedakan secara signifikan dari radiasi latar belakang, sehingga secara statistik dianggap tidak valid. Efisiensi pada jarak ini sangat rendah, yaitu sebesar 0,01%, dan tidak dapat digunakan sebagai dasar pengambilan data dalam evaluasi sistem. Fenomena penurunan efisiensi ini mencerminkan keterbatasan sistem dalam mendeteksi radiasi pada jarak yang lebih jauh. Selain disebabkan oleh hukum penyebaran radiasi, faktor-faktor lain seperti sensitivitas detektor GM, karakteristik geometris posisi sumber terhadap detektor, dan akurasi tegangan kerja yang digunakan juga berkontribusi terhadap penurunan respons deteksi.

Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa sistem pencacah yang dikembangkan bekerja secara efektif dan akurat pada jarak dekat dengan sumber radiasi. Ketika sumber berada dalam radius 1 hingga 2 cm dari detektor, sistem dapat mendeteksi radiasi dengan efisiensi yang cukup tinggi dan dengan sinyal yang jelas melebihi batas deteksi. Namun, pada jarak lebih dari 3 cm, sistem mulai kehilangan kemampuannya dalam membedakan sinyal dari latar belakang, sehingga efektivitas deteksinya menurun tajam. Oleh karena itu, pengaturan jarak antara sumber dan detektor menjadi salah satu parameter

penting yang perlu diperhatikan dalam penggunaan sistem ini, baik untuk keperluan edukasi maupun penelitian dasar. Hasil ini juga memberikan gambaran tentang batas spasial atau jangkauan kerja optimal sistem, yang dapat dijadikan acuan dalam penggunaan di skenario pengukuran aktual.

4.8.6 Pembahasan Hasil Data Cacahan pada Variasi Jarak

Pengujian terhadap variasi jarak antara sumber radiasi dan detektor dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan posisi fisik terhadap besarnya laju cacahan yang diterima oleh sistem. Pemahaman ini menjadi penting dalam menilai karakteristik respons sistem terhadap intensitas radiasi yang diterima secara langsung pada jarak berbeda, khususnya dalam konteks penggunaan praktis di lingkungan terbuka maupun laboratorium. Prinsip dasar yang mendasari pengujian ini adalah bahwa radiasi gamma dari sumber Cs-137 menyebar secara isotropik, sehingga semakin jauh posisi detektor dari sumber, maka semakin sedikit partikel radiasi yang dapat mencapai permukaannya.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada jarak 1 cm, sistem mampu mencatat laju cacahan yang tinggi dan stabil, yaitu sebesar 440,0 cps, 452,0 cps, dan 438,0 cps pada tiga kali pengulangan. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa detektor menerima radiasi dalam jumlah maksimum karena kedekatan posisi dengan sumber, sehingga sebagian besar partikel yang dipancarkan mampu menimbulkan ionisasi di dalam tabung GM dan menghasilkan pulsa yang dapat dihitung. Kondisi ini merepresentasikan situasi ideal dalam sistem pencacah, ketika interaksi antara radiasi dan detektor berada dalam posisi paling efisien secara geometris.

Ketika jarak ditingkatkan menjadi 2 cm, terjadi penurunan intensitas

radiasi yang diterima, tercermin dari hasil cacahan sebesar 322,0 cps, 332,0 cps, dan 336,0 cps. Meskipun sinyal yang diterima masih cukup tinggi dan stabil, namun tren penurunan sudah mulai tampak akibat menyebarnya partikel radiasi ke ruang yang lebih luas. Penyebab utama fenomena ini adalah prinsip hukum kuadrat terbalik, di mana intensitas radiasi berkurang dengan kuadrat dari jarak, sehingga pada jarak yang lebih jauh, jumlah partikel yang tepat menuju detektor menjadi lebih sedikit.

Penurunan yang lebih signifikan diamati pada jarak 3 cm, dengan hasil cacahan sebesar 98,0 cps, 108,0 cps, dan 88,0 cps. Selain nilai cacahan yang lebih rendah, rentang variasi antar pengulangan juga mulai membesar. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil jumlah partikel yang mencapai detektor, semakin besar pengaruh faktor ketidakteraturan lingkungan terhadap hasil pengukuran. Sistem masih mampu merespons radiasi, namun mulai mendekati batas sensitivitas yang memungkinkan fluktuasi hasil menjadi lebih mencolok.

Pada jarak 4 cm, hasil cacahan tercatat sebesar 48,0 cps, 52,0 cps, dan 58,0 cps. Nilai-nilai ini berada sangat dekat dengan kisaran nilai cacahan latar belakang yang telah diperoleh sebelumnya, yang berarti sinyal yang diterima pada kondisi ini semakin sulit dibedakan dari gangguan atau radiasi latar yang tidak berasal dari sumber utama. Keadaan ini menandakan bahwa sistem mulai kehilangan kemampuannya dalam mendeteksi radiasi secara signifikan pada jarak tersebut, dan hasil cacahan menjadi kurang representatif untuk digunakan dalam analisis lanjutan.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pencacah bekerja paling baik saat detektor berada dalam jarak dekat dengan sumber, di mana partikel radiasi memiliki peluang tinggi untuk berinteraksi

dengan media pendeteksi. Penurunan laju cacahan yang konsisten dengan bertambahnya jarak memperlihatkan batas efektif sistem dalam mendeteksi radiasi pada intensitas rendah. Hasil ini menegaskan bahwa jarak merupakan salah satu parameter krusial dalam konfigurasi sistem deteksi, dan harus diperhitungkan secara cermat terutama dalam eksperimen yang mengandalkan ketelitian hasil pencacahan.

4.8.7 Pembahasan Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Pembahasan ini membandingkan hasil dan pendekatan penelitian dengan beberapa penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dalam konteks instrumentasi radiasi, penggunaan detektor, maupun pengembangan sistem pencacah berbasis mikrokontroler dan komputer. Perbandingan dilakukan berdasarkan kesamaan teknis, karakteristik detektor, tujuan pengembangan alat, serta konteks radiasi yang diukur.

Penelitian Widya A. Gammayani (2009) mengembangkan sistem pencacah radiasi menggunakan detektor sintilasi yang diintegrasikan dengan komputer melalui rangkaian penguat dan penganalisis pulsa serta perangkat lunak Visual Basic. Detektor sintilasi memiliki sensitivitas tinggi dan mampu menghasilkan pulsa dengan amplitudo proporsional terhadap energi radiasi, sehingga memungkinkan analisis energi. Penelitian ini berbeda dari penelitian Widya karena menggunakan detektor Geiger–Müller (GM) yang bersifat non-energi-resolving. Meskipun demikian, detektor GM menawarkan kelebihan berupa desain instrumen yang sederhana, ekonomis, mudah diintegrasikan dengan ESP32, serta memberikan performa stabil pada daerah plateau untuk pengukuran laju cacahan radiasi, yang menjadi fokus penelitian ini. Selain itu,

penelitian ini mengimplementasikan kalibrasi tegangan tinggi, antarmuka LabVIEW, dan kontrol HV berbasis DAC–servo, yang tidak terdapat pada penelitian Widya.

Penelitian Sudiono dkk (2013) memiliki kemiripan dalam hal penggunaan sumber radiasi Cs-137, namun menggunakan detektor sintilasi sebagai komponen utama sistem. Sistem HV dalam penelitian tersebut juga masih disetel secara manual sehingga kurang fleksibel untuk proses kalibrasi. Penelitian ini mengembangkan pendekatan berbeda melalui pemanfaatan detektor GM yang lebih sederhana dan implementasi pengaturan HV digital. Penggunaan ESP32 sebagai unit kendali dan akuisisi memberikan kemampuan pemrosesan dan komunikasi data yang lebih luas dibandingkan ATmega8535 yang digunakan Sudiono. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan sistem pencacah yang lebih ringkas, praktis, dan mudah direplikasi untuk kebutuhan praktikum maupun pengembangan instrumentasi.

Penelitian Abimanyu (2014) memanfaatkan perangkat Sistem Monitor Radiasi (SMR) Ludlum di Reaktor Kartini, yang merupakan instrumen komersial berstandar industri dengan rangkaian elektronik terintegrasi seperti *pulse shaping*, *energy window*, dan *dose rate conversion*. Perangkat tersebut mampu menghasilkan berbagai parameter pemantauan radiasi seperti laju dosis, tingkat dosis, alarm batas radiasi, dan log pemantauan. Penelitian ini memiliki keluaran data yang lebih terbatas karena menggunakan detektor GM yang hanya menyediakan informasi jumlah interaksi radiasi berupa cacahan. Namun demikian, penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah berbeda karena membangun prototipe instrumen pencacah secara mandiri, mencakup perancangan HV digital berbasis DAC–servo, kalibrasi HV, penetapan plateau,

pengukuran efisiensi, dan variasi jarak sumber. Perbedaan ini disebabkan oleh tujuan instrumentasi yang berbeda: penelitian Abimanyu fokus pada pemantauan radiasi reaktor menggunakan instrumen komersial siap pakai, sedangkan penelitian ini menitikberatkan pada pengembangan alat dari awal untuk kebutuhan laboratorium dan pendidikan.

Penelitian Fajar dan Habsari (2022) mengembangkan alat deteksi radiasi berbasis detektor GM dan Arduino untuk pemantauan radiasi pada limbah B3 rumah sakit. Fokus aplikasi lingkungan membuat radiasi yang diukur berada pada tingkat paparan rendah, dan desain alat ditujukan untuk monitoring sederhana sehingga keluaran data hanya berupa laju cacahan. Perbandingan tetap relevan karena kedua penelitian sama-sama menggunakan detektor GM dan membangun instrumen pencacah berbasis mikrokontroler. Namun, penelitian ini memiliki cakupan pengembangan yang lebih mendalam melalui integrasi ESP32, antarmuka LabVIEW, serta karakterisasi detektor yang meliputi kalibrasi HV, penetapan daerah plateau, efisiensi, dan variasi jarak dengan sumber Cs-137. Dengan demikian, penelitian ini berada pada tingkat instrumentasi yang lebih komprehensif untuk pengembangan sistem pencacah radiasi laboratorium.

Secara keseluruhan, perbandingan terhadap penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penelitian ini memberikan kontribusi berbeda dan lebih luas pada aspek pengembangan sistem pencacah radiasi berbasis detektor GM. Penelitian ini tidak hanya melakukan pencacahan radiasi, tetapi juga mengintegrasikan sistem kontrol dan akuisisi data digital yang memungkinkan karakterisasi detektor secara menyeluruh, sehingga instrumen yang dihasilkan

memiliki nilai aplikatif untuk pembelajaran dan penelitian dasar instrumentasi radiasi.

4.8.8 Implementasi Sains dalam Keislaman

Pengembangan sistem pencacah radiasi berbasis perangkat lunak dan detektor Geiger Müller memiliki nilai dan hikmah yang mendalam jika ditinjau dari perspektif Islam. Inovasi ini tidak hanya menampilkan kemajuan teknologi dalam bidang nuklir, tetapi juga menjadi bentuk implementasi dari perintah Allah SWT kepada manusia untuk meneliti dan memahami ciptaan-Nya sebagai tanda kebesaran dan kekuasaan-Nya. Dalam pandangan Islam, setiap fenomena alam merupakan ayat kauniyah yang dapat dikaji secara ilmiah untuk menambah keimanan kepada Sang Pencipta (Sunarya et al., 2021).

Dari sudut pandang Islam, kegiatan penelitian dan rekayasa teknologi seperti sistem pencacah radiasi ini merupakan bentuk pengamalan amanah manusia sebagai *khalīfah fil ardh* (pemelihara bumi). Islam tidak memisahkan ilmu agama dan ilmu sains, melainkan menempatkan keduanya dalam hubungan yang saling melengkapi. Dengan memanfaatkan teknologi untuk mendeteksi dan memantau radiasi, peneliti secara tidak langsung menjalankan nilai *hifẓ al-nafs* (menjaga jiwa) dan *hifẓ al-bi'ah* (menjaga lingkungan), karena alat ini berfungsi mencegah bahaya paparan radiasi terhadap manusia dan makhluk hidup di sekitarnya. Prinsip ini sejalan dengan pandangan bahwa ilmu pengetahuan dan teknologi harus diarahkan untuk kemaslahatan umat dan kelestarian alam (Kamilin & Solekhin, 2025).

Dalam penelitian ini, penggunaan perangkat lunak untuk memproses data radiasi secara akurat menunjukkan integrasi antara kecerdasan ilmiah dan

tanggung jawab etis. Ilmu yang dikembangkan dengan dasar keimanan menjadi sarana mendekatkan diri kepada Allah, sebagaimana disebutkan dalam firman-Nya dalam QS. Al-Jasiyah [45:13]:

وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمُوتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ

"Dia telah menundukkan (pula) untukmu apa yang ada di langit dan apa yang ada di bumi semuanya (sebagai rahmat) dari-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang berpikir." (QS. Al-Jasiyah: 13) (Kemenag, 2022)

Ayat tersebut menjelaskan bahwa seluruh fenomena di alam semesta, termasuk energi dan radiasi, merupakan ciptaan Allah yang ditundukkan untuk dimanfaatkan secara bijak oleh manusia. Oleh karena itu, pengembangan sistem pencacah radiasi dapat dimaknai sebagai bentuk pemanfaatan ilmu pengetahuan yang bernilai ibadah, selama diarahkan untuk kebaikan dan keselamatan hidup. Rasulullah SAW juga bersabda:

مَنْ سَلَكَ طَرِيقًا يَلْتَمِسُ فِيهِ عِلْمًا سَهَّلَ اللَّهُ لَهُ بِهِ طَرِيقًا إِلَى الْجَنَّةِ

"Barang siapa yang menempuh suatu jalan untuk menuntut ilmu, maka Allah mudahkan baginya jalan menuju surga" (Al-Hajjāj, 2006)

Hadits tersebut menegaskan bahwa aktivitas ilmiah seperti penelitian dan pengembangan teknologi memiliki nilai spiritual, apabila dilakukan dengan niat ikhlas dan tujuan yang bermanfaat bagi umat. Dengan demikian, hikmah dari pengembangan sistem pencacah radiasi ini tidak hanya terletak pada pencapaian teknologinya, tetapi juga pada pembentukan karakter ilmuwan yang beriman, beretika, dan bertanggung jawab terhadap dampak sosial serta lingkungan dari penelitiannya.

Secara keseluruhan, perangkat lunak sistem pencacah radiasi

mencerminkan sinergi antara sains dan nilai-nilai Islam dimana sains sebagai alat untuk memahami hukum alam, dan Islam sebagai panduan moral dalam memanfaatkan pengetahuan tersebut. Keduanya bersatu dalam visi besar untuk menjaga kehidupan (*hifz al-nafs*), melestarikan lingkungan (*hifz al-bi'ah*), serta mewujudkan kemajuan teknologi yang bermakna bagi kemaslahatan umat manusia.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merealisasikan rancang bangun prototipe perangkat lunak sistem pencacah radiasi berbasis LabVIEW yang terintegrasi dengan perangkat keras menggunakan mikrokontroler ESP32 dan detektor Geiger–Müller. Perangkat lunak LabVIEW berfungsi sebagai antarmuka utama yang mampu melakukan komunikasi serial dengan ESP32, menampilkan data cacahan radiasi secara real-time, memulai waktu pencacahan, serta mengendalikan tegangan tinggi (high voltage). Integrasi antara perangkat lunak dan perangkat keras berjalan dengan baik, ditunjukkan oleh kestabilan komunikasi data, respons sistem yang sesuai terhadap perintah pengguna, serta keberhasilan pengaturan tegangan tinggi melalui konversi sinyal digital–analog menggunakan modul MCP4725 dan aktuasi mekanis motor servo MG996R.

Unjuk kerja prototipe sistem pencacah radiasi menunjukkan kinerja yang stabil dan andal. Hasil kalibrasi tegangan tinggi memperlihatkan hubungan yang konsisten antara setpoint pada antarmuka LabVIEW dan tegangan keluaran aktual, sehingga sistem mampu menyediakan tegangan kerja yang sesuai untuk detektor Geiger–Müller. Penetapan daerah plateau berhasil dilakukan dengan menunjukkan laju cacahan yang relatif stabil terhadap variasi tegangan tinggi pada rentang tertentu, yang menandakan bahwa sistem dapat beroperasi pada kondisi optimal dan aman untuk proses pencacahan radiasi.

Selain itu, hasil pengujian aktivitas sumber standar, pencacahan latar belakang, serta variasi jarak sumber menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pencacahan radiasi secara konsisten dan sesuai dengan karakteristik fisika radiasi. Nilai efisiensi sistem cenderung menurun seiring bertambahnya jarak sumber, yang mengindikasikan bahwa respons detektor dan sistem pencacah bekerja sebagaimana mestinya. Secara keseluruhan, prototipe perangkat lunak sistem pencacah radiasi yang dikembangkan memiliki unjuk kerja yang baik dari sisi desain, integrasi, dan performa pengukuran, sehingga dapat digunakan untuk keperluan praktikum, penelitian laboratorium, dan pengembangan lebih lanjut.

5.2 Saran

Sebagai tindak lanjut dari penelitian ini dan untuk peningkatan performa serta cakupan sistem di masa mendatang, berikut beberapa saran yang dapat dipertimbangkan:

1. Peningkatan sensitivitas sistem dapat dilakukan dengan mengganti detektor GM dengan tipe yang memiliki efisiensi lebih tinggi atau respons terhadap jenis radiasi lain seperti beta atau neutron, tergantung kebutuhan.
2. Pengembangan sistem komunikasi nirkabel seperti Bluetooth atau Wi-Fi secara penuh akan memudahkan penggunaan sistem dalam kondisi lapangan dan memperluas cakupan penggunaannya tanpa ketergantungan pada koneksi kabel serial.
3. Penambahan fungsi logging dan ekspor data otomatis akan sangat membantu dalam dokumentasi dan pelaporan hasil pengujian, khususnya untuk penelitian yang membutuhkan pelacakan jangka panjang.
4. Kalibrasi berkala dan uji ketertelusuran terhadap standar internasional perlu

dilakukan apabila sistem ini akan diterapkan untuk keperluan pengukuran resmi atau sertifikasi.

Dengan mengacu pada hasil dan pembahasan yang telah diperoleh, sistem ini memiliki potensi yang cukup besar untuk dikembangkan lebih lanjut, baik dalam konteks pengajaran, riset, maupun aplikasi lapangan yang memerlukan pengukuran tingkat radiasi dengan antarmuka yang sederhana dan mudah digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abimanyu, A., Fahrul, A., Khoiri, M., Sains, I. P., & Batan, A. (2014). *Rancangbangun monitor radiasi kartini menggunakan labview*. 10–11.
- Abimanyu, A., Harsono, D., Fa, R., Yuliansari, D., Nurhidayat, S., Surveymeter, M., Penambahan, D., Pesan, F., & Sms, S. (2013). Modifikasi Surveymeter Dengan Penambahan Fasilitas Pesan Singkat (Sms). *Sttn-Batan*, 281–287.
- Aghenta, L. O., & Iqbal, M. T. (2019). Low-cost, open source IoT-based SCADA system design using thinger.IO and ESP32 thing. *Electronics (Switzerland)*, 8(8), 1–24. <https://doi.org/10.3390/electronics8080822>
- Al-Ḥajjāj, M. ibn. (2006). *Ṣaḥīḥ Muslim*. Dār al-Kutub al-‘Ilmiyyah. <https://sunnah.com/muslim:2699>
- Artanto, D. (2019). *Interaksi Arduino dan LabVIEW*. 329.
- Bahrami Asl, F., Islami-seginsara, M., Ebrahimi Kalan, M., Hemmatjo, R., Hesam, M., & Shafiei-Irannejad, V. (2023). Exposure to ionizing radiations and changes in blood cells and interleukin-6 in radiation workers. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(13), 35757–35768. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24652-8>
- Campbell, G. S., & Norman, J. M. (1998). *Radiation Basics*. An Introduction to Environmental Biophysics. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1626-1_10
- Cherry, S. R.; Sorenson, J. A.; Phelps, M. E. (2012). *Physics in Nuclear Medicine* (4th ed.). Elsevier Saunders.
- Components101. (2023). *MG996R Servo Motor Datasheet, Wiring Diagram & Features*. Components101. <https://components101.com/motors/mg996r-servo-motor-datasheet>
- Darmawati, S. (2024). *Pengantar Sistem Proteksi Radiasi Pengantar Sistem Proteksi Radiasi buku ini tidak diperjualbelikan*.
- Dwiky Kharisma Putra, Fiqqih Faizah, A. M. (2022). RANCANG BANGUN SISTEM PROTEKSI DAN KONTROL KECEPATAN MOTOR 3 PHASE BERBASIS INTERNET OF THING (IoT). *PROSIDING Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan (SNITP)*.
- El-Khozondar, H. J., Mtair, S. Y., Qoffa, K. O., Qasem, O. I., Munyarawi, A. H., Nassar, Y. F., Bayoumi, E. H. E., & Halim, A. A. E. B. A. El. (2024). A smart energy monitoring system using ESP32 microcontroller. *E-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 9(June), 100666. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100666>

- Fisika, P., Saintek, F., Kalijaga, U. I. N. S., Marsda, J., & Yogyakarta, A. (2011). *DETEKTOR GEIGER-MUELLER SELF QUENCHING*. 651–662.
- Galindo, A. (2021). *What is Radiation?* <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-radiation>
- Gobaili Saged, A. A., Abu Alhaj, T. A., & Zulkifli Bi, M. Y. (2017). The role of the Maqās.id al-Sharī'ah in preserving the environment. *Humanomics*, 33(2), 125–132. <https://doi.org/10.1108/H-12-2016-0105>
- Hendee, William R.; Ritenour, E. R. (2002). *Medical Imaging Physics (4th edition)* (4th ed.). Wiley-Liss.
- 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>
- Information, D., & Diagrams, S. B. (2018). *With Internal Reference , Oscillator , and Programmable Comparator*.
- Instruments, N. (n.d.). *What is LabVIEW?* <https://www.ni.com/en-us/shop/labview.html>
- Jensen, L. S., Özkil, A. G., & Mortensen, N. H. (2016). Prototypes in engineering design: Definitions and strategies. *Proceedings of International Design Conference, DESIGN, DS 84*, 821–830.
- Kamilin, A., & Solekhin, M. (2025). *THE USE OF TECHNOLOGY IN ISLAMIC RELIGIOUS EDUCATION : DIGITAL INCLUSION IN THE SOCIETY 5 . 0*. 03(01), 9–17.
- Kemenag. (2022). *Tafsir Al-A'raf*. Quran.Kemenag.
- Kemenag. (2023). *Tafsir Al-Jasiyah*. Qurn Kemenag.
- Knoll, G. F., & Kraner, H. W. (1981). Radiation Detection and Measurement. In *Proceedings of the IEEE* (Vol. 69, Issue 4). <https://doi.org/10.1109/PROC.1981.12016>
- Kodosky, J. (2020). LabVIEW. *Proceedings of the ACM on Programming Languages*, 4(HOPL). <https://doi.org/10.1145/3386328>
- Kusuma, H. A., Purbakawaca, R., Pamungkas, I. R., Fikry, L. N., & Maulizar, S. S. (2021). Design and Implementation of IoT-Based Water Pipe Pressure Monitoring Instrument. *Jurnal Elektronika Dan Telekomunikasi*, 21(1), 41. <https://doi.org/10.14203/jet.v21.41-44>
- Leo, W. R. (1994). *Techniques for nuclear and particle physics experiments: A*

- how-to approach* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-57920-2>
- Martin, Alan; Harbison, S. A. (2006). *An Introduction to Radiation Protection* (5th ed.). Butterworth-Heinemann.
- Mukanthi, D., Jayuska, A., Makmur, M., & Idiawati, N. (2021). Kajian Kualitas Air Laut dan Dosis Cesium 137 Pada Biota di Pantai Gosong, Kalimantan Barat Sebagai Calon Tapak PLTN. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 23(2). <https://doi.org/10.17146/jpen.2021.23.2.6539>
- Muslimin, J. M., Chakim, L., & Fauzani, . (2020). *Maqasid al-Shariah in Environmental Conservation of Yusuf al-Qardawi's Perspective*. 95, 869–877. <https://doi.org/10.5220/0009919008690877>
- Opportunities, B. (2023). *Islam in the Midst of AI (Artificial Intelligence) Struggles: Between Opportunities and Threats*. 35(1).
- Rahman, M.; Ismail, A.; Shahril, M. (2024). Enhancing MG996R Servo Motor Performance Using PSO-Tuned PID and Feedforward Control. *International Journal of Robotics and Control Systems*, 4(1), 37–46. <https://pubs2.ascee.org/index.php/IJRCS/article/download/1854/pdf>
- Reaktor, T., Dan, H., Ahr, P., & Homogeneous, A. (2014). *Seminar Keselamatan Nuklir 2014 Makalah Penyaji Oral Bidang Instalasi dan Bahan Nuklir*. di(September 1985), 1–6.
- Sayono, Suprpto, & Irianto. (2009). Pembuatan Detektor Geiger Muller Tipe Jendela Sampling Dengan Isian Gas Argon, Alkohol, dan Bromine. *Pusat Teknologi Akselerator Dan Proses Bahan*, 53–60.
- Stevanni, T. P., Lengkong, N., & Kathleen, P. (2017). *Kajian Hukum Pembuangan Limbah Nuklir Di Laut Menurut Hukum Lingkungan Internasional*. 63(4), 532–548.
- Subarna, E., Makhsun, & Taryo, T. (2024). Aero Surveymeter Sebagai Instrumen Pemetaan Paparan Radiasi Gamma Lingkungan Menggunakan Drone Berbasis Detektor Geiger Muller. *Jurnal Unggul Teknologi Dan Informatika (JUTIKA)*, 1(1), 1–6.
- Sunarya, P. A., Lutfiani, N., Puji, N., Santoso, L., & Ajeng, R. (2021). *The Importance of Technology to the View of the Qur ' an for Studying Natural Sciences*. 3(1).
- Systems, E. (2024). *esp-dev-kits Documentation*.
- Technology, H. (2020). *MG996R Servo Motor Datasheet*. Handson Technology. https://www.handsontec.com/dataspecs/motor_fan/MG996R.pdf
- Tiyapun, P.; Khamruangrit, N.; Ngamjarujana, A. (2023). Development of

Radiation Monitoring System Based on LabVIEW and Microcontroller Integration. *Applied Radiation and Isotopes*, 197, 110754. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2023.110754>

Tiyapun, K., Seemapapon, S., Hemla, P., Wetchagarun, S., Punnachaiya, S., & Keawmorakot, U. (2023). Radiation Measurement with Data Acquisition Using LabVIEW. *Current Applied Science and Technology*, 23(5), 1–7. <https://doi.org/10.55003/cast.2023.05.23.004>

Tsoufanidis, Nicholas; Landsberger, S. (2015). *Measurement and Detection of Radiation*. CRC Press.

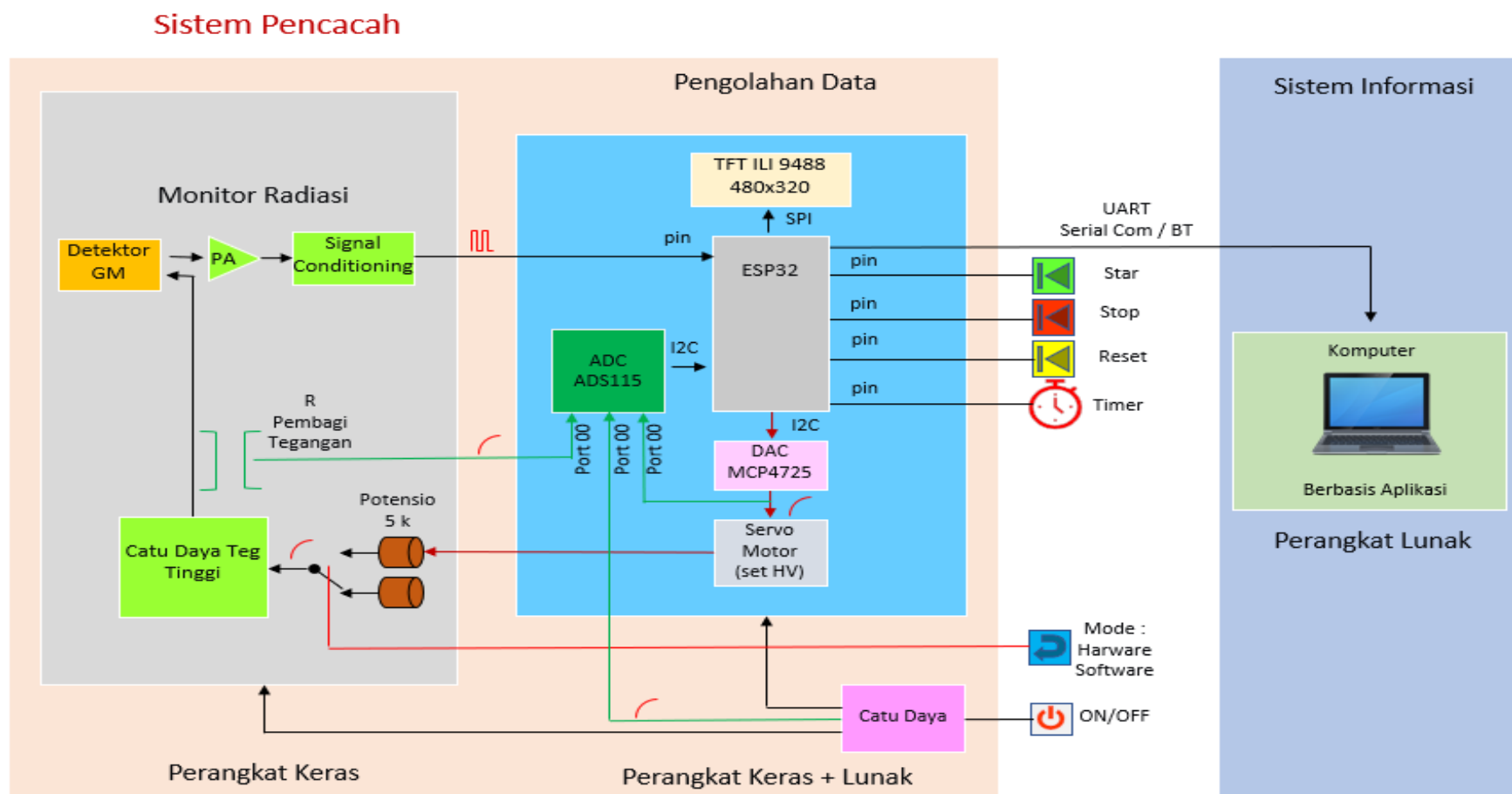
WHO TEAM. (2023). *Radiation and health*. <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-and-health>

Williams, E., & Shaffer, A. R. (2015). The Defense Innovation Initiative The Importance of Capability Prototyping. *Joint Forces Quarterly*, 77, 34–43. https://ndupress.ndu.edu/Portals/68/Documents/jfq/jfq-77/jfq-77_34-43_Williams-Shaffer.pdf

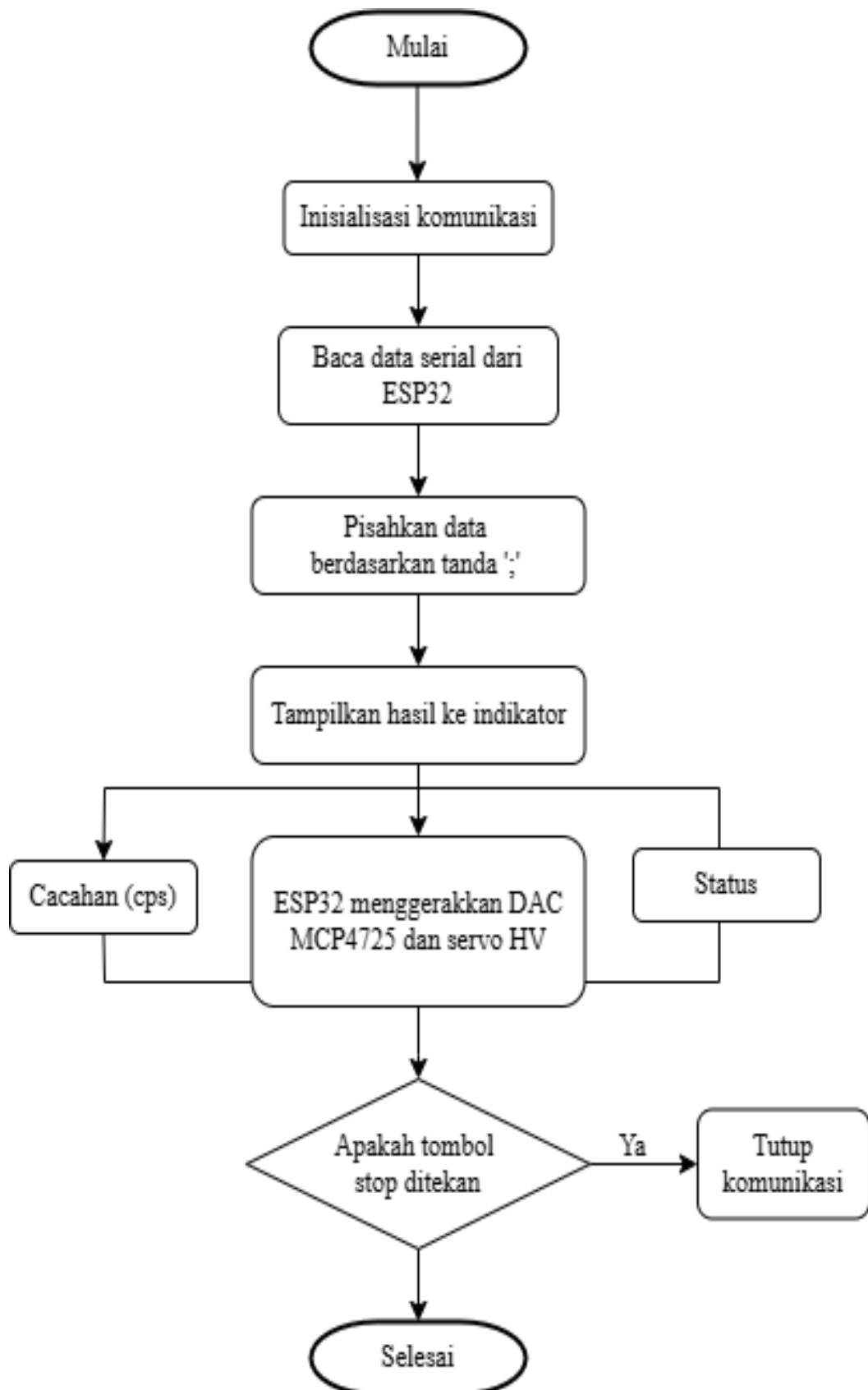
You, A., Be, M., & In, I. (2023). *Development of IoT Based Meteorological and. 060004*(May 1991).

LAMPIRAN

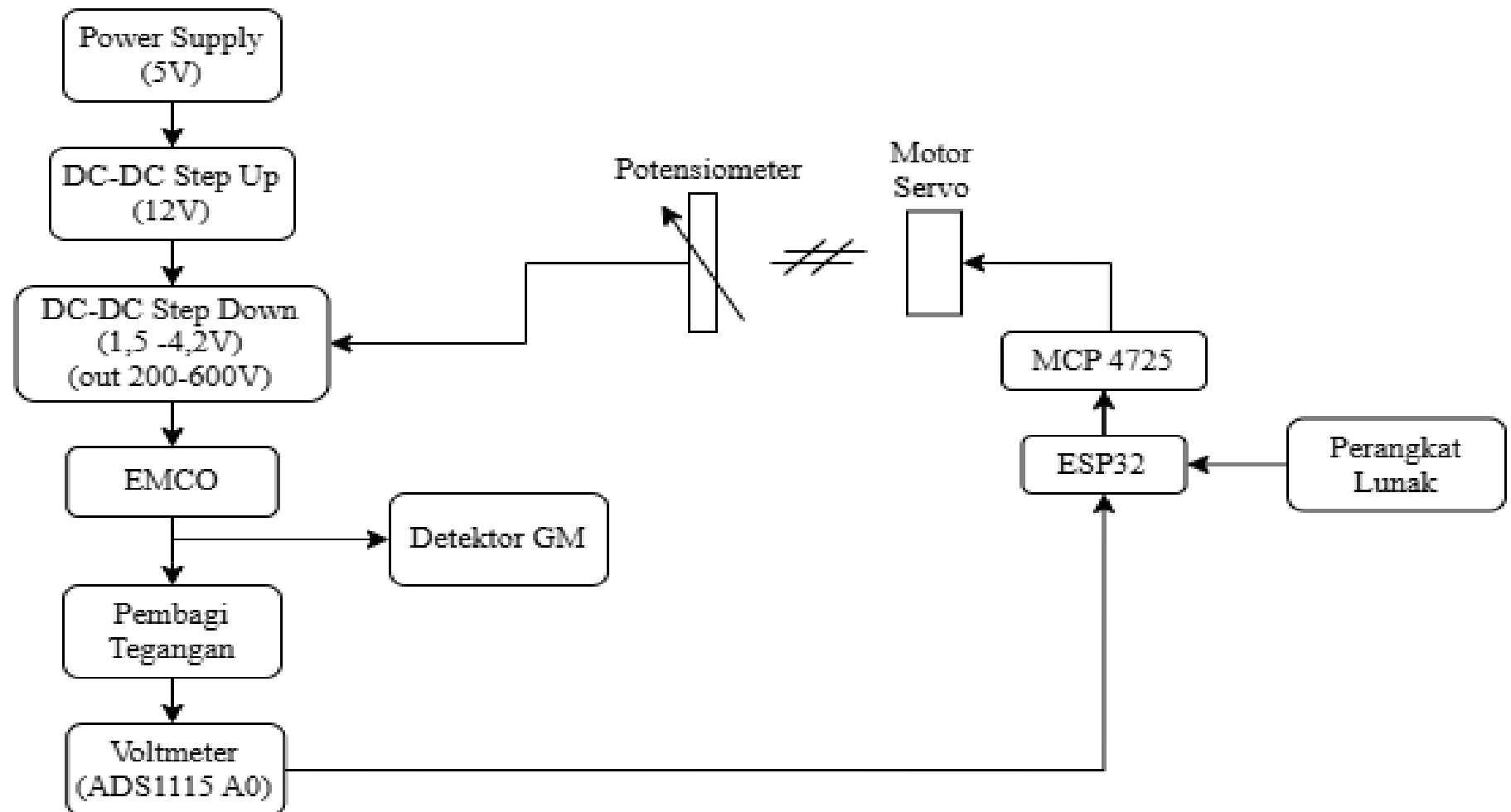
Lampiran 1 Gambar Konseptual Sistem Pencacah



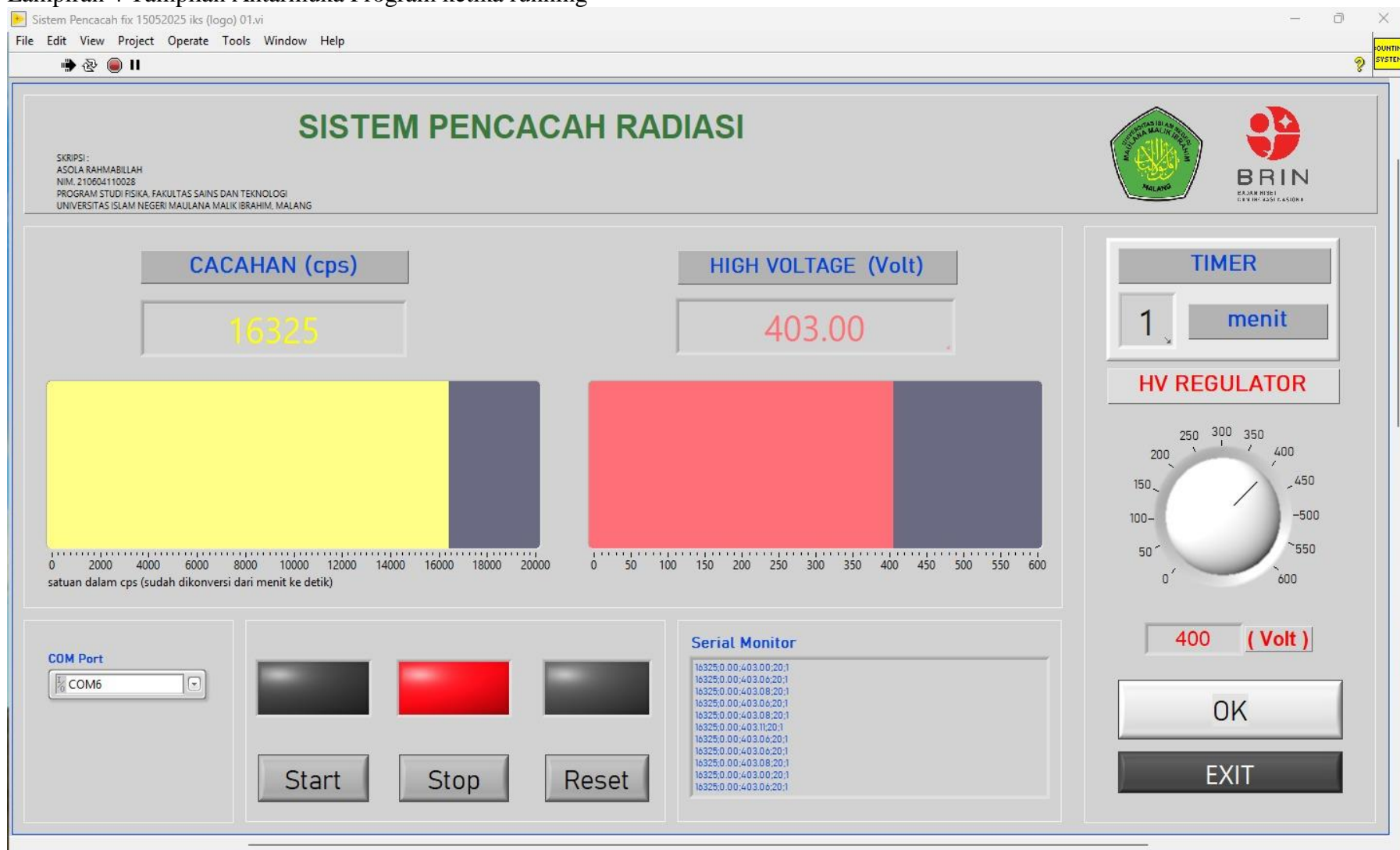
Lampiran 2 Flowchart program sistem pencacah radiasi



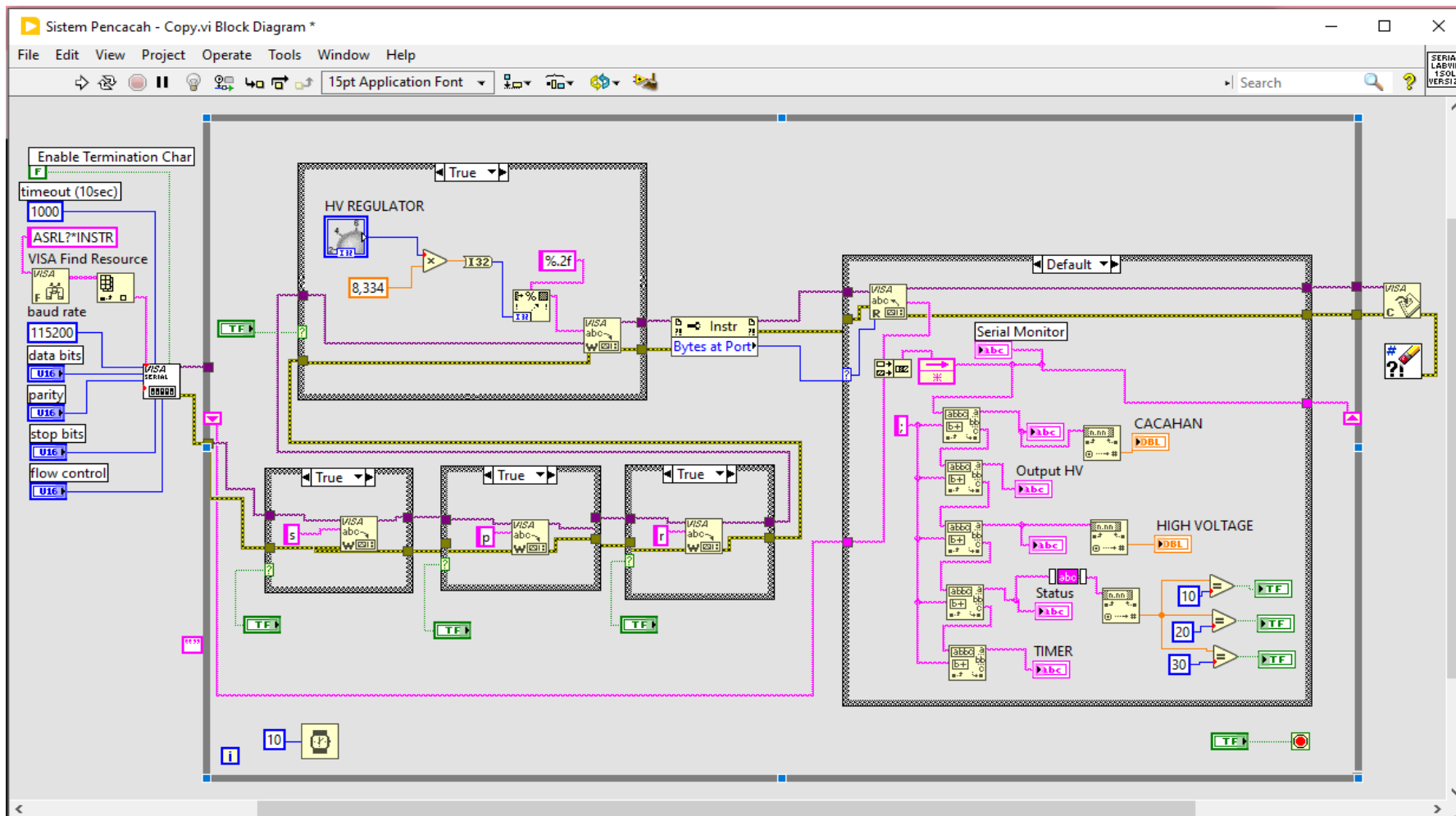
Lampiran 3 Konseptual rangkaian high voltage dengan motor servo



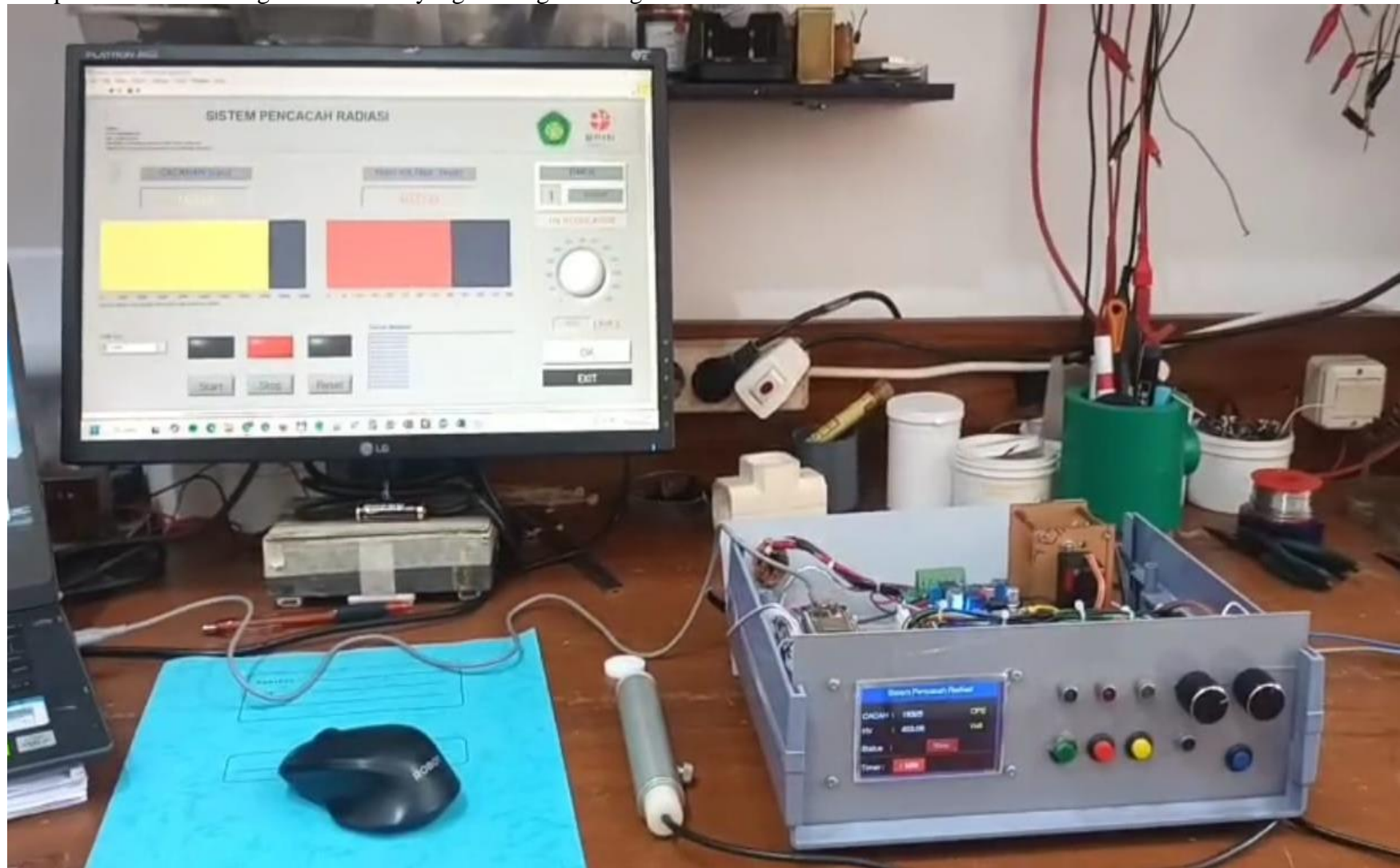
Lampiran 4 Tampilan Antarmuka Program ketika running

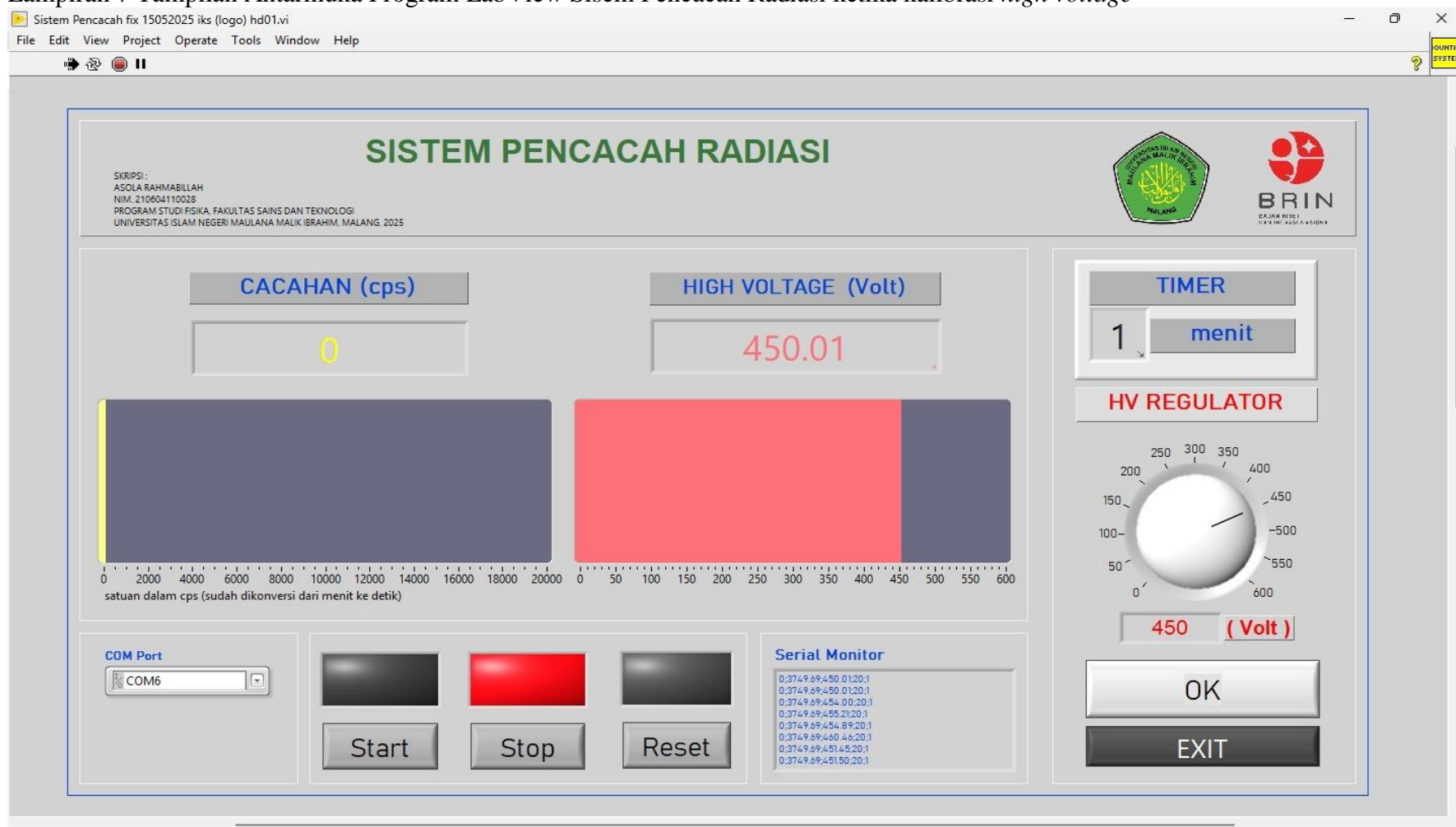


Lampiran 5 Tampilan Block Diagram Program Software Sistem Pencacah Radiasi



Lampiran 6 Gambar Program Software yang terintegrasi dengan Hardware Sistem Pencacah



Lampiran 7 Tampilan Antarmuka Program LabView Sisem Pencacah Radiasi ketika kalibrasi *high voltage*

Lampiran 8 Listing Program Sistem Pencacah untuk *Software*

```

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1115.h>
#include <Adafruit_MCP4725.h>
#include <ESP32Servo.h>
#include <SPI.h>

// ===== VARIABEL DAN KONFIGURASI =====
const int inPin = 4;
volatile unsigned long pulseCount = 0;

unsigned long prevMillisFreq = 0;
const unsigned long intervalFreq = 1000;

Adafruit_ADS1115 adc1;
Adafruit_MCP4725 dac1;
Servo myServo;

// Variabel utama
bool isCounting = false;
unsigned long startTime = 0;

int currentVoltage = 0; // nilai DAC 0-4095
int16_t adc_0;
float volts0;
int servoAngle;
float vInput;

// Timer (1,3,5 menit)
int selectedTimer = 0;

// ===== INTERRUPT =====
void IRAM_ATTR handleInterrupt() {
    if (isCounting) {
        pulseCount++;
    }
}

// ===== SETUP =====
void setup() {
    Serial.begin(115200);

    dac1.begin(0x60);
    adc1.begin(0x48);
    adc1.setGain(GAIN_TWOTHIRDS);

```

```

myServo.attach(15);

pinMode(inPin, INPUT);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(inPin), handleInterrupt,
RISING);
}

// ===== FUNGSI KIRIM DATA =====
void printSerial(int frequencyInt) {

    Serial.print(frequencyInt); // cacahan
    Serial.print(";");

    Serial.print((currentVoltage / 4095.0) * 5000); // output DAC
(mV)
    Serial.print(";");

    Serial.print(volts0 * 140.123); // HV aktual
    Serial.print(";");

    Serial.println(
        selectedTimer == 0 ? "1" :
        selectedTimer == 1 ? "3" : "5"
    );
}

// ===== FUNGSI PERINTAH =====
void processCommand(String cmd) {

    cmd.trim();

    // Perintah START / STOP / RESET (s, p, r)
    if (cmd.length() == 1) {
        char c = cmd.charAt(0);

        if (c == 's') {
            isCounting = true;
            pulseCount = 0;
            startTime = millis();
            return;
        }
        if (c == 'p') {
            isCounting = false;
            return;
        }
        if (c == 'r') {
            isCounting = false;

```



```

        pulseCount = 0;
        return;
    }
}

// Perintah SETPOINT HV berupa angka mV
int mV = cmd.toInt();
if (mV >= 0 && mV <= 5000) {

    currentVoltage = map(mV, 0, 5000, 0, 4095);
    dac1.setVoltage(currentVoltage, false);

    vInput = mV;
    servoAngle = map(mV, 0, 5000, 180, 0);
    myServo.write(servoAngle);

    return;
}
}

// ===== LOOP UTAMA =====
void loop() {

    // Menerima perintah dari LabVIEW
    if (Serial.available()) {
        String input = Serial.readStringUntil('\n');
        processCommand(input);
    }

    // Membaca HV aktual (ADC)
    adc_0 = adc1.readADC_SingleEnded(0);
    volts0 = adc_0 * 0.1875 / 1000.0;

    // Hitung CPS
    unsigned long now = millis();
    if (now - prevMillisFreq >= intervalFreq) {
        prevMillisFreq = now;

        int frequencyInt = pulseCount;
        pulseCount = 0;

        printSerial(frequencyInt);
    }
}

```