

**PEMODELAN RANGKAIAN UMPAN BALIK
PADA SISTEM RADIO FREKUENSI SIKLOTRON DECY-13
BERBASIS *PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER* F2424
UNTUK STABILISASI FREKUENSI**

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat sarjana S-1

Program Studi Fisika



Diajukan oleh :

Febi Lutfiatul Hanifah

21106020042

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UIN SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2025

LEMBAR PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1679/Un.02/DST/PP.00.9/08/2025

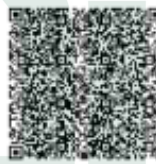
Tugas Akhir dengan judul : Pemodelan Rangkaian Umpan Balik pada Sistem Radio Frekuensi Siklotron DECY-13 Berbasis Programmable Logic Controller F2424 untuk Stabilisasi Frekuensi

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : FEBI LUTFIATUL HANIFAH
Nomor Induk Mahasiswa : 21106020042
Telah diujikan pada : Jumat, 01 Agustus 2025
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Valid ID: 689aa42ad41a1

Ketua Sidang
Frida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Sc.
SIGNED



Valid ID: 6899437326f6d

Penguji I
Asih Melati, S.Si., M.Sc., Ph.D.
SIGNED



Valid ID: 68940e73c8ae4

Penguji II
Sri Hidayati, M.Sc.
SIGNED



Valid ID: 689af318b9b71

Yogyakarta, 01 Agustus 2025
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Febi Lutfiatul Hanifah

NIM : 21106020042

Program Studi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Pemodelan Rangkaian Umpan Balik Pada Sistem Radio Frekuensi Siklotron Decy-13 Berbasis *Programmable Logic Controller F2424* Untuk Stabilisasi Frekuensi” merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 22 Juli 2025

Penulis



Febi Lutfiatul Hanifah

21106020042

SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Febi Lutfiatul Hanifah
NIM : 21106020042
Judul Skripsi : Pemodelan Rangkaian Umpan Balik Pada Sistem Radio Frekuensi Siklotron Decy-13 Berbasis *Programmable Logic Controller F2424* Untuk Stabilisasi Frekuensi

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Pembimbing II



Agus Dwiatmaja, S.T., M.Eng.
NIP. 198308192008011017

Yogyakarta, 21 Juli 2025

Pembimbing I

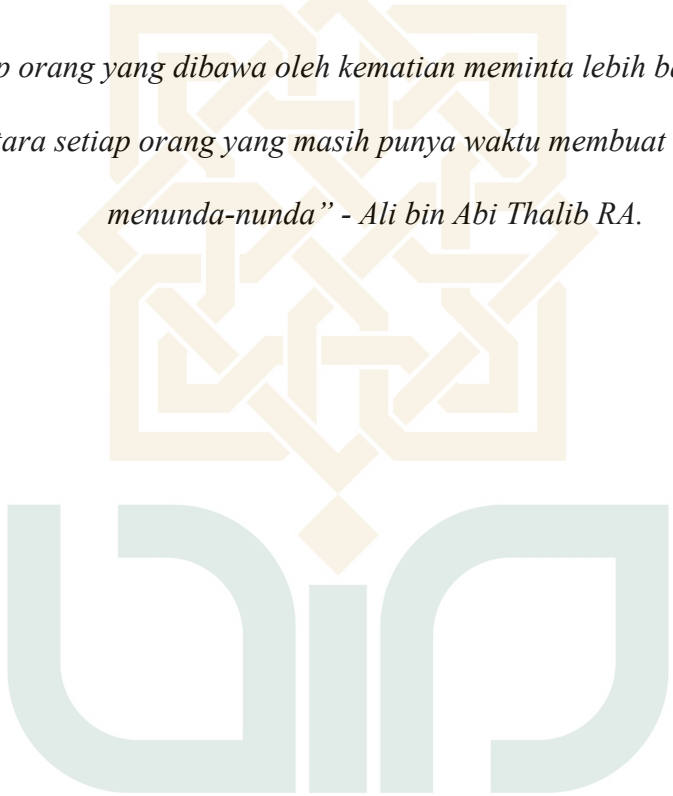


Frida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Si.
NIP. 197805102005021003

HALAMAN MOTTO

"Tidak ada kemudahan kecuali yang engkau buat mudah. Dan engkau menjadikan kesedihan (kesusahan), jika engkau kehendaki pasti akan menjadi mudah." – HR.Ibnu Hibban

"Setiap orang yang dibawa oleh kematian meminta lebih banyak waktu, sementara setiap orang yang masih punya waktu membuat alasan untuk menunda-nunda" - Ali bin Abi Thalib RA.



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini dipersembahkan untuk:

Allah SWT.

Diri saya sendiri

Kedua orang tua penulis Bapak Khamdani dan Ibu Lifhatul Izzah

Roifa Zakiya Nurfajriah

Fisika 2021

Study Club Fisika Instrumentasi

Program Studi Fisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, puja dan puji syukur kepada Allah SWT berkat rahmatnya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pemodelan Rangkaian Umpan Balik pada Sistem Radio Frekuensi Siklotron DECY-13 berbasis *Programmable Logic Controller F2424* Untuk Stabilisasi Frekuensi” dengan baik. Tidak lupa shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, semoga kita mendapatkan syafaatnya.

Penulisan skripsi ini merupakan bentuk tanggung jawab penulis untuk menyelesaikan studi yang merupakan salah satu syarat kelulusan. Penulis berharap tulisan ini dapat membawa manfaat dan keberkahan terhadap berbagai macam pihak. Dalam penyusunan serta pelaksanaan tugas akhir ini penulis telah mendapat banyak bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, sepatutnya penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Khamdani dan Ibu Lifhatul Izzah, serta saudara penulis Roifa Zakiya Nurfajriah. Terimakasih telah menemani dan mensupport penulis dalam kondisi bagaimanapun.
2. Bapak Prof. Noorhaidi, M.A., M.Phil., Ph.D. selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
3. Ibu Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

4. Ibu Dr. Widayanti, S.Si., M.Si. selaku Ketua Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
5. Bapak Frida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Sc selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus dosen pembimbing pertama penelitian tugas akhir ini.
6. Bapak Agus Dwiatmaja, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing kedua dalam penelitian tugas akhir ini, terima kasih banyak atas waktu, dan kesabaran yang diberikan dalam memberikan bimbingan, nasehat, dan motivasi yang tiada henti.
7. Teman-teman terdekat penulis: Nisrina Agustya Darma, Ulya Chairunnisa, Ulfa Khozanah, Andin Faradila Wijayanti, Ayu Risna, Nisa Muthmainah dan Rahmi Anisa Maulani.
8. Study Club Fisika Instrumentasi.
9. Teman-teman Fisika 2021.
10. Teman-teman kamar satu
11. Serta semua pihak yang telah memberikan bantuan.

Yogyakarta, 5 Oktober 2025



Penulis

**PEMODELAN RANGKAIAN UMPAN BALIK
PADA SISTEM RADIO FREKUENSI SIKLOTRON DECY-13
BERBASIS PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER F2424
UNTUK STABILISASI FREKUENSI**

Febi Lutfiatul Hanifah
21106020042

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk merancang model, membuat model dan menyimulasikan model rangkaian umpan balik pada sistem RF siklotron DECY-13 berbasis PLC F2424. Penelitian ini dilakukan dengan tiga tahap, yaitu perancangan model rangkaian umpan balik, pembuatan model rangkaian umpan balik, dan penyimulasian model rangkaian umpan balik. Perancangan dan pembuatan model ini berbasis PLC F2424 serta dilakukan dengan membuat program stabilisasi frekuensi pada aplikasi i-TRiLOGI dan pembuatan program antarmuka indikator stabilisasi frekuensi pada aplikasi LabVIEW. Penggabungan kedua program tersebut menggunakan NI OPC Server. Penyimulasian model meliputi penyimulasian *software* dan *hardware*. Penyimulasian *software* terdiri dari penyimulasian pengelompokan nilai frekuensi dan penyimulasian pembacaan frekuensi setelah dihitung *software*. Sementara penyimulasian *hardware* terdiri dari penyimulasian pembacaan arah motor *stepper* dan penyimulasian pembacaan langkah motor *stepper*. Persentase keberhasilan simulasi *software* sebesar 100% dan keberhasilan *hardware* sebesar 99,81% meliputi simulasi pembacaan arah motor *stepper* sebesar 100% dan simulasi pembacaan langkah motor *stepper* 99,62%.

Kata Kunci: Siklotron, PLC, umpan balik, frekuensi.

**MODELING OF FEEDBACK CIRCUIT
IN RADIO FREQUENCY SYSTEM OF CYCLOTRON DECY-13
BASED ON PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER F2424
FOR FREQUENCY STABILIZATION**

Febi Lutfiatul Hanifah
21106020042

ABSTRAK

This study aims to design a model, create a model and simulate a feedback circuit model on the DECY-13 RF cyclotron system based on the F2424 PLC. This study was conducted in three stages, namely designing a feedback circuit model, creating a feedback circuit model, and simulating a feedback circuit model. The design and creation of this model are based on the F2424 PLC and are carried out by creating a frequency stabilization program in the i-TRiLOGI application and creating a frequency stabilization indicator interface program in the LabVIEW application. The combination of the two programs uses the NI OPC Server. Model simulation includes software and hardware simulations. Software simulation consists of simulating frequency value grouping and simulating frequency readings after being calculated by the software. While hardware simulation consists of simulating stepper motor direction readings and simulating stepper motor step readings. The percentage of software simulation success was 100% and hardware success was 99.81%, including 100% stepper motor direction reading simulation and 99.62% stepper motor step reading simulation.

Keywords: *Cyclotron, PLC, feedback, frequency.*

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	ii
SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR.....	vi
INTISARI	viii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
4.1 Latar Belakang	1
4.2 Rumusan Masalah	8
4.3 Tujuan Penelitian.....	8
4.4 Batasan Penelitian	9
4.5 Manfaat Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
5.1 Studi Pustaka.....	10
5.2 Landasan Teori	17
5.2.1 Pusat Riset Teknologi Akelerator (PRTA).....	17
5.2.2 Siklotron.....	18
5.2.3 Siklotron DECY-13	21
5.2.4 Sistem RF <i>dee</i>	25
5.2.5 <i>Fine tuner</i>	27
5.2.6 <i>Programmable Logic Controller</i>	30
5.2.7 PLC F2424	32
5.2.8 Motor <i>Stepper</i>	33

5.2.9	Aplikasi i-TRiLOGI	37
5.2.10	LabVIEW	42
5.2.11	NI <i>OPC Server</i>	46
5.2.12	Simulasi Keberhasilan Sistem.....	47
5.2.13	Wawasan Islam Tentang Stabilisasi	50
BAB III	METODE PENELITIAN	52
6.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	52
6.1.1	Waktu Penelitian	52
6.1.2	Tempat Penelitian.....	52
6.2	Alat dan Bahan Penelitian.....	52
6.2.1	Alat Penelitian.....	52
6.2.2	Bahan Penelitian.....	53
6.3	Prosedur Penelitian	53
6.3.1	Perancangan Model Rangkaian Umpan Balik	55
6.3.2	Pembuatan Model Rangkaian Umpan Balik.....	56
6.3.3	Penyimulasian Model Rangkaian Umpan Balik	60
6.4	Sistematika Pembahasan Hasil Penelitian.....	63
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	66
7.1	Hasil Penelitian	66
7.1.1	Hasil Perancangan Model Rangkaian Umpan Balik.....	66
7.1.2	Hasil Pembuatan Model Rangkaian Umpan Balik.....	67
7.1.3	Hasil Penyimulasian Model Rangkaian Umpan Balik.....	68
7.2	Pembahasan.....	69
7.2.1	Pembahasan Hasil Perancangan Model Rangkaian Umpan Balik.....	69
7.2.2	Pembahasan Hasil Pembuatan Model Rangkaian Umpan Balik.....	72
7.2.3	Pembahasan Hasil Penyimulasian Model Rangkaian Umpan Balik..	75
7.2.4	Integrasi-Interkoneksi	82

BAB V KESIMPULAN.....	84
8.1 Kesimpulan	84
8.2 Saran.....	85
DAFTAR PUSTAKA.....	87
LAMPIRAN.....	90
Lampiran 1: Perancangan Model Rangkaian Umpan Balik.....	90
Lampiran 2: Pembuatan Model Rangkaian Umpan Balik.....	92
Lampiran 3: Penyimulasian Model Rangkaian Umpan Balik.....	96



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema pemercepatan partikel bermuatan di dalam siklotron	19
Gambar 2. 2 Siklotron DECY-13	22
Gambar 2. 3 Penampang kutub medan magnet	23
Gambar 2. 4 Skema pemasangan sumber ion	24
Gambar 2. 5 (a) Sistem RF secara grafis (b) Sistem RF terpasang pada siklotron DECY-13	26
Gambar 2. 6 Fine tuner pada siklotron DECY-13	28
Gambar 2. 7 Skema koneksi generator RF dengan perangkat dee	29
Gambar 2. 8 Fine tuner siklotron DECY-13 pada bagian (a) motor <i>stepper</i> (b) flap	30
Gambar 2. 9 Modul PLC F2424	32
Gambar 2. 10 Skema Modul PLC F2424	33
Gambar 2. 11 Bagian-bagian pada motor <i>stepper</i>	34
Gambar 2. 12 Tampilan halaman utama software i-TRiLOGI	38
Gambar 2. 13 Tampilan simulasi pada software i-TRiLOGI	39
Gambar 2. 14 Function pada aplikasi i-TRiLOGI	42
Gambar 2. 15 Tampilan aplikasi TL server	42
Gambar 2. 16 Halaman utama LabVIEW	43
Gambar 2. 17 Tampilan control palette	44
Gambar 2. 18 Tampilan function palette	45
Gambar 2.19 Tampilan halaman utama NI OPC server	47
Gambar 3.1 Tahapan penelitian	54
Gambar 4.1 Rancangan model rangkaian umpan balik stabilisasi frekuensi	66
Gambar 4. 2 Program stabilisasi frekuensi menggunakan aplikasi i-TRiLOGI..	67
Gambar 4. 3 Program antarmuka indikator stabilisasi frekuensi pada LabVIEW	68
Gambar 4. 4 Gabungan program stabilisasi frekuensi dan program antarmuka indikator stabilisasi frekuensi.....	68
Gambar Lampiran 1 Perancangan skema rangkaian umpan balik.....	90
Gambar Lampiran 2 Hasil rancangan skema rangkaian umpan balik	90
Gambar Lampiran 3 Perancangan <i>hardware</i> model rangkaian umpan balik.....	91
Gambar Lampiran 4 Hasil rancangan <i>hardware</i> model rangkaian umpan balik	91
Gambar Lampiran 5 Pembuatan program stabilisasi frekuensi	92
Gambar Lampiran 6 Hasil program stabilisasi frekuensi	92
Gambar Lampiran 7 Pembuatan program antarmuka indikator stabilisasi frekuensi.....	93
Gambar Lampiran 8 Hasil program antarmuka indikator stabilisasi frekuensi .	93
Gambar Lampiran 9 Penghitungan jumlah langkah pada program labVIEW setiap perubahan 1 MHz	94

Gambar Lampiran 10 Penggabungan program stabilisasi frekuensi dan program antarmuka.....	94
Gambar Lampiran 11 Tag server pada NI OPC	95
Gambar Lampiran 12 Proses penyimulasian model	96
Gambar Lampiran 13 Proses pengambilan data pada <i>software</i>	96
Gambar Lampiran 14 Tampilan layar <i>interface</i>	97
Gambar Lampiran 15 Proses pengambilan data pada <i>hardware</i>	97
Gambar Lampiran 16 Presentasi progres bulanan	106
Gambar Lampiran 17 Periset PRTA	106



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Intisari relevansi penelitian	16
Tabel 3.1 Waktu penelitian	52
Tabel 3. 2 Perangkat keras dan lunak	53
Tabel 3.3 Bahan penelitian	53
Tabel 3. 4 Langkah dan konversi derajat pada motor <i>stepper</i>	62
Tabel 3.5 Hasil pengolahan data keberhasilan.....	62
Tabel 4.1 Hasil pengolahan data keberhasilan.....	69
Tabel lampiran 1 Hasil simulasi keberhasilan pengelompokan nilai frekuensi..	98
Tabel lampiran 2 Hasil simulasi pembacaan frekuensi setelah dihitung <i>software</i>	99
Tabel lampiran 3 Hasil simulasi keberhasilan pembacaan arah motor <i>stepper</i>	100
Tabel lampiran 4 Hasil simulasi pembacaan langkah motor <i>stepper</i>	101

BAB I

PENDAHULUAN

4.1 Latar Belakang

Menjaga kesehatan adalah aspek paling penting dalam kehidupan yang mencakup keseimbangan antara fisik, mental, dan sosial. Kesehatan yang baik memungkinkan seseorang menjalani kehidupan yang produktif serta bebas dari pantangan-pantangan yang dapat mengganggu aktivitas sehari-hari. Dalam era modern ini banyak faktor yang dapat mempengaruhi kesehatan seseorang, seperti pola makan yang tidak seimbang, kurangnya aktivitas fisik, serta tingkat stres yang tinggi. Oleh karena itu penting bagi setiap individu untuk memahami dan menerapkan pola hidup sehat sebagai bentuk pencegahan terhadap berbagai risiko penyakit. Hal ini sejalan dengan Al-Qur'an surat al-A'raf ayat 31 mengenai menjaga kesehatan (Nasir dkk., 2022).

يٰۤاَيُّهَا اٰدَمُ خُذْوَا زِيْنَتَكُمْ عِنْدَ كُلِّ مَسْجِدٍ وَكُلُوْا وَاشْرَبُوْا وَلَا تُسْرِفُوْا اِنَّهٗ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِيْنَ ﴿٣١﴾

Artinya “Wahai anak cucu Adam, pakailah pakaianmu yang indah pada setiap (memasuki) masjid dan makan serta minumlah, tetapi janganlah berlebihan. Sesungguhnya dia tidak menyukai orang-orang yang berlebihan.”

Pada ayat ini menjelaskan mengenai perintah memakai pakaian baik dalam beribadah, selain itu perintah untuk makan dan minum secukupnya dan tidak berlebihan. Ayat ini mengajarkan pentingnya menjaga pola hidup sehat dengan makan dan minum sesuai dengan takaran porsi masing-masing (Adyatama dkk., 2020).

Menjaga kesehatan tidak hanya mengenai pola hidup sehat atau meningkatkan kualitas hidup secara umum, tetapi juga berperan penting dalam pencegahan dan menghindarkan diri dari penyakit serius seperti penyakit jantung, diabetes, hipertensi, dan kanker. Saat ini kanker menjadi salah satu penyakit yang menjadi perhatian global karena sifatnya yang sering kali sulit terdeteksi pada tahap awal.

Kanker merupakan salah satu penyakit yang diakibatkan oleh pertumbuhan tidak normal dari sel-sel jaringan tubuh, di mana sel-sel ini dapat membentuk massa yang disebut tumor dan memiliki potensi untuk menyebar pada bagian tubuh lainnya. Kanker dapat berkembang di hampir semua bagian tubuh dan memiliki berbagai jenis, seperti kanker paru-paru, kanker payudara, kanker prostat, dan masih banyak jenis kanker yang lainnya. Penyakit kanker memiliki beberapa faktor yang dapat meningkatkan risiko, yakni faktor genetik, faktor lingkungan seperti adanya paparan zat *karsinogenik*, faktor gaya hidup kurang sehat, dan faktor infeksi virus atau bakteri. Beberapa faktor tersebut dapat meningkatkan risiko kanker, bahkan memperparah dan menyebabkan kematian (Dwiatmaja dkk., 2016).

Data dari studi Global Burden of Disease (GDB) tahun 2019 menyatakan bahwa kanker tetap menjadi salah satu penyebab utama kematian di seluruh dunia. Sementara itu, Departemen Kesehatan RI melaporkan bahwa penderita kanker di Indonesia sekitar 6% atau 13,2 juta jiwa. Kanker merupakan penyakit yang berada pada urutan ke-6 penyebab kematian terbesar di Indonesia (Kocarnik dkk., 2022).

Melihat dampak kanker yang begitu berbahaya, perlu adanya teknologi pendeteksian kanker secara dini untuk membantu penanganan kanker yang lebih cepat sebelum sel kanker menyebar pada organ tubuh lain. Menurut Faisaluddin (2019), salah satu teknologi untuk mendeteksi kanker lebih dini adalah *PET (Positron Emission Tomography) scan*, yakni mendeteksi kanker dengan pencitraan medis. *PET scan* merupakan metode pendeteksi kanker yang memiliki kekurangan paling kecil dibanding dengan metode lainnya. Sementara itu, metode *CT scan* kurang efektif karena hanya dapat mendeteksi ketika terdapat perubahan ukuran dan bentuk saja. Adapun metode Biopsi memiliki kekurangan tidak bisa menunjukkan penyebaran kanker dan hanya fokus pada satu area.

PET scan bekerja dengan cara merekonstruksi hasil citra berupa pancaran radiasi dari radioisotop, di mana salah satu radioisotop yang digunakan adalah radioisotop *flour-18* (Shilfa dkk., 2019). Dalam rangka memproduksi radioisotop *flour-18* digunakan sebuah alat pemercepat partikel yang disebut dengan siklotron.

Siklotron ditemukan pada tahun 1929 oleh seorang fisikawan bernama Ernes O. Lawrence. Siklotron merupakan salah satu jenis akselerator siklik yang banyak digunakan sebagai penghasil radioisotop, yakni dengan bekerja mempercepat partikel bermuatan dengan medan listrik yang berubah-ubah dan bergantung pada waktu. Partikel yang dipercepat tersebut diarahkan oleh medan magnet untuk membentuk lintasan melingkar yang memungkinkan partikel dipercepat berkali-kali. Partikel yang dipercepat tersebut kemudian

ditembakkan pada material target dengan tujuan menghasilkan radioisotop yang diinginkan (Shali dkk., 2020).

Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) memiliki sebuah siklotron yang dibangun dan dikembangkan oleh Pusat Riset Teknologi Akselerator (PRTA). Saat ini PRTA sedang mengembangkan siklotron proton dengan energi 13 MeV yang diberi nama siklotron DECY-13. Siklotron DECY-13 bekerja dengan prinsip percepatan partikel bermuatan menggunakan medan listrik berfrekuensi radio kemudian membelokkannya dengan medan magnet. Pada siklotron terdapat partikel bermuatan yang ditempatkan pada ruang vakum, di mana medan magnet statis yang kuat menyebabkan partikel bergerak dalam lintasan melingkar. Spesifikasi siklotron DECY-13 menurut rancangan adalah beroperasi dengan frekuensi 77,76 MHz dan kuat medan magnet 1,275 T (Darmawan dkk., 2020). Siklotron tersebut terdiri dari beberapa bagian sistem, diantaranya terdapat sistem magnet, sistem Radio Frekuensi (RF), sistem sumber ion, sistem vakum, sistem target, sistem pendingin, dan sistem pendukung lainnya (Sidik dkk., 2021).

Sistem RF ditempatkan dalam elektroda berbentuk huruf D yang diberi nama *dee*. Ia bekerja mempercepat partikel setiap kali melewati celah antara elektroda. Setiap putaran yang dilewati, partikel memperoleh energi lebih tinggi dan radius orbit yang bertambah. Sistem RF dalam siklotron terdiri dari tiga komponen utama, yaitu komponen pertama merupakan rongga RF atau sering disebut RF *dee* yang berfungsi mempercepat partikel atau ion dalam tangki siklotron, komponen kedua ada generator RF yang berada di luar

tangki vakum siklotron dengan fungsi sebagai sumber daya RF yang diumpankan ke komponen RF *dee*, dan komponen ketiga adalah unit kontrol level rendah yang bekerja mengambil *output* dari rongga untuk mengontrol pasokan RF dari generator RF (Silakhuddin dkk., 2023).

RF *dee* terdiri dari beberapa komponen yakni pusat *dee*, *central region*, pelat *dee*, batang *dee*, *cavity*, *coupler*, *liner*, dan *fine tuner*. Sistem RF *dee* dirancang untuk diproduksi dengan daya 20 kW yang dikirimkan dari generator RF. Saat sistem RF *dee* menerima daya dari generator RF, dalam sistem RF *dee* menghasilkan panas sehingga komponen-komponennya sedikit mengembang. Proses ekspansi pada komponen RF *dee* mengubah frekuensi siklotron. Perubahan frekuensi tersebut berpengaruh terhadap rancangan operasi siklotron dengan frekuensi 77,76 MHz (Darmawan dkk., 2020). Jika frekuensi lebih rendah dari frekuensi rancangan maka partikel terlambat mencapai celah antara *dee*, akibatnya energi yang diberikan pada partikel menjadi tidak maksimal, partikel akan keluar dari jalur lintasan dan tidak dapat terus dipercepat, serta terdapat kemungkinan terjadi hilangnya partikel dari lintasan. Sementara jika frekuensi lebih tinggi dari frekuensi rancangan maka partikel terlalu cepat dalam celah antara *dee*, akibatnya partikel bisa mendapat tegangan dengan fase yang salah, bahkan berlawanan arah, serta dapat menyebabkan partikel menyimpang dari orbit lintasan. Masalah perubahan frekuensi tersebut dapat diatasi dengan salah satu komponen pada sistem RF *dee* yang bernama *fine tuner*.

Fungsi *fine tuner* adalah sebagai pengatur frekuensi secara kapasitif dan dapat disesuaikan melalui umpan balik yang terletak di luar ruang vakum yang bekerja dengan menstabilkan frekuensi pada sistem RF siklotron DECY-13 berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) F2424 (Silakhuddin dkk., 2023). Pada siklotron DECY-13 saat ini, *fine tuner* bekerja secara manual dengan bantuan input penyesuaian nilai frekuensi dari operator. Oleh karena itu, otomatisasi *fine tuner* menjadi langkah penting dalam mendukung sistem stabilisasi frekuensi secara *real-time*.

Stabilisasi frekuensi sangat diperlukan dalam siklotron karena pada sistem RF frekuensi merupakan faktor yang sangat penting dalam menjaga proses percepatan partikel (Permana, 2021). Frekuensi yang digunakan harus sesuai dengan frekuensi resonansi cavity dalam memastikan medan listrik dalam RF dee selalu berada dalam fase yang sinkron dengan gerakan partikel. Ketidaksesuaian fase akibat perubahan frekuensi dapat menyebabkan hilangnya efisiensi akselerasi, pergeseran lintasan partikel, serta potensi kerusakan sistem (Silakhuddin dkk., 2019). Oleh karena itu dibutuhkan sistem stabilisasi frekuensi untuk mempertahankan kestabilan operasional siklotron.

Penstabil frekuensi sebelumnya telah dirancang dan dibuat oleh Prajitno (2011) dalam penelitian pembuatan dan analisis *exciter* generator RF. Pada penelitian tersebut dirancang dan dibuat prototipe *exciter* generator RF siklotron DECY-13 menggunakan teknik *Direct Digital Synthesizer* (DDS) dengan IC AD9851. Keluaran DDS kemudian dilewatkan rangkaian *band*

pass filter yang digunakan untuk menghindari frekuensi yang tidak diharapkan. Frekuensi siklotron kembali dibahas pada penelitian yang dilakukan oleh Darmawan dkk (2020) mengenai optimasi posisi awal *fine tuner* pada RF *dee* siklotron DECY-13. Penelitian tersebut dilakukan untuk mengoptimalkan posisi awal *fine tuner* pada RF *dee* dengan cara mengukur frekuensi siklotron menggunakan alat *network analyzer* sembari menggeser posisi *fine tuner*, di mana cara ini tentunya memerlukan peran operator sebagai pengendali.

Saat ini ketika siklotron DECY-13 beroperasi, *fine tuner* bekerja menstabilkan frekuensi dengan bantuan penyesuaian dari operator, sehingga sistem tersebut kurang efektif dan efisien. Dari permasalahan tersebut, maka diperlukan stabilisasi frekuensi yang bekerja secara otomatis. Salah satu cara untuk menjadikan *fine tuner* bekerja menstabilkan frekuensi adalah dengan pemodelan rangkaian umpan balik (*feedback*) pada sistem RF. Rangkaian umpan balik bekerja dengan cara memonitoring keselarasan antar frekuensi kemudian melakukan koreksi menggunakan sistem kontrol.

Sistem kontrol yang digunakan pada penelitian ini berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC). PLC merupakan alat kontrol yang dapat diprogram untuk mengontrol suatu proses atau operasi pada mesin. PLC menggunakan teknologi memori yang dapat menyimpan instruksi-instruksi seperti logika, urutan, pewaktuan, dan pencacahan yang dapat diprogram untuk mengontrol suatu proses. Peran PLC dalam penelitian ini digunakan sebagai pengolah data frekuensi secara jarak jauh dengan sistem umpan balik.

Jika sistem umpan balik bekerja ketika nilai frekuensi yang dideteksi belum sesuai, maka frekuensi diumpan balik untuk dikoreksi. PLC produksi *Triangle Research Internasional* dengan tipe F2424 merupakan bagian dari keluarga super PLC seri-F (Priyono dan Saminto, 2017). Dalam pemrograman PLC ini menggunakan *software* bawaan dari *Triangle Research Internasional* yang bernama i-Trilogi, dengan bahasa pemrograman yang digunakan adalah *ladder logic* atau sering disebut diagram *ladder*.

4.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka dapat dirumuskan permasalahan yang telah diteliti pada penelitian ini. Rumusan masalah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan model rangkaian umpan balik pada sistem RF siklotron DECY-13 berbasis PLC F2424 untuk stabilisasi frekuensi?
2. Bagaimana model rangkaian umpan balik pada sistem RF siklotron DECY-13 berbasis PLC F2424 untuk stabilisasi frekuensi?
3. Bagaimana hasil simulasi model rangkaian umpan balik pada sistem RF siklotron DECY-13 berbasis PLC F2424 untuk stabilisasi frekuensi?

4.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan masalah yang telah dirumuskan, maka disusun tujuan penelitian untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang model rangkaian umpan balik pada sistem RF siklotron DECY-13 berbasis PLC F2424 untuk stabilisasi frekuensi.
2. Membuat model rangkaian umpan balik pada sistem RF siklotron DECY-13 berbasis PLC F2424 untuk stabilisasi frekuensi.
3. Menyimulasikan model rangkaian umpan balik pada sistem RF siklotron DECY-13 berbasis PLC F2424 untuk stabilisasi frekuensi.

4.4 Batasan Penelitian

Dalam merealisasikan tujuan penelitian, perlu diberi batasan agar penelitian dapat terfokus pada permasalahan yang telah dirumuskan. Batasan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan digunakan untuk mengontrol satu motor *stepper*.
2. Pengintegrasian sistem menggunakan frekuensi rekayasa yang disimulasikan sebagai input.
3. Pemodelan tidak secara langsung mempertimbangkan pengaruh kapasitansi.
4. Parameter penyimulasian meliputi kesesuaian *output* frekuensi umpan balik dan arah gerak motor *stepper*.

4.5 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat memperoleh manfaat. Manfaat yang diharapkan tersebut antara lain sebagai berikut.

1. Hasil pemodelan sebagai dasar otomatisasi untuk stabilisasi frekuensi pada Radio Frekuensi siklotron berbasis PLC F2424.

2. Hasil penyimulasian dari model dapat digunakan untuk dasar pengoperasian siklotron dan kestabilan frekuensi pada sistem Radio Frekuensi.



BAB V

KESIMPULAN

8.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan merancang model rangkaian umpan balik pada RF siklotron, membuat model rangkaian umpan balik pada RF siklotron berbasis PLC F2424 dan menyimulasikan model rangkaian umpan balik pada RF siklotron. Model yang telah dibuat disimulasikan terhadap empat parameter. Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasannya maka dapat ditarik kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan penelitian tersebut adalah sebagai berikut.

1. Perancangan model rangkaian umpan balik untuk stabilisasi frekuensi pada RF siklotron telah berhasil dibuat. Hasil dari perancangan model yaitu berupa skema perancangan model rangkaian umpan balik untuk stabilisasi frekuensi pada RF siklotron seperti pada Gambar 4.1 dan hasil perancangan perangkat kerasnya yang terdiri dari PLC F2424, *microstep driver* DM542, *power supply*, dan motor *stepper* serta kabel penghubung.
2. Model rangkaian umpan balik untuk stabilisasi frekuensi pada RF siklotron telah berhasil dibuat. Hasil ini berupa model rangkaian umpan balik yang terdiri dari program satabilisasi frekuensi pada aplikasi i-TRiLOGI dan program antarmuka indikator stabilisasi frekuensi pada aplikasi LabVIEW sebagai tampilan *interface*.
3. Model rangkaian umpan balik untuk stabilisasi frekuensi pada RF siklotron telah berhasil disimulasikan dengan persentase keberhasilan pada *software*

sebesar 100% untuk simulasi pengelompokan nilai frekuensi dan simulasi pembacaan frekuensi setelah dihitung *software*. Rata-rata persentase keberhasilan pada sistem *hardware* sebesar 99,81%, dengan simulasi pembacaan arah motor *stepper* sebesar 100% dan simulasi pembacaan langkah motor *stepper* sebesar 99,62%. Model memiliki eror sebesar 0,38% pada sistem aktuator dengan hasil yang diperoleh semakin besar selisih frekuensi input dengan frekuensi referensi yakni 77,76 MHz, eror yang didapat semakin besar. Hal tersebut karena model memiliki *delay* dalam pengiriman sinyal pulsa.

8.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa kekurangan pada model maupun dalam proses pembuatan. Dengan demikian disarankan melakukan hal-hal sebagai berikut.

1. Mengurangi *delay* dengan menyesuaikan waktu *delay* pada LabVIEW antara langkah yang terjadi pada pergerakan motor *stepper*, baik saat proses perpindahan posisi dari kondisi satu ke kondisi dua atau sebaliknya serta *delay* pada pengiriman sinyal. Hal ini disarankan karena agar pergerakan motor *stepper* lebih halus dan respon yang maksimal.
2. Memperhatikan nilai kapasitansi dalam penghitungan jumlah langkah motor *stepper*. Hal ini disarankan karena pada penelitian ini nilai kapasitansi dianggap tidak ada dalam semua kondisi, namun pada siklotron DECY-13 perubahan nilai kapasitansi juga turut berpengaruh terhadap perubahan frekuensi.

3. Model rangkaian umpan balik diintegrasikan pada siklotron DECY-13. Hal ini disarankan karena frekuensi yang dihasilkan oleh siklotron bersifat dinamis dan dapat berubah-ubah dengan cepat selama proses operasional, integrasi langsung pada siklotron DECY-13 memungkinkan model memperoleh data frekuensi secara *real-time*, sehingga respon pengendalian dapat dilakukan secara lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adyatama, M. F., Utami, A., Abubakar, A., M, M. G., Islam, U., & Alauddin, N. 2020. *Konsep Hidup Sederhana Dalam Al-Qur'an*. **Vol.3 No.3**: 124–139.
- Akhiruddin, M. 2019. Kompetensi Pendidik Dalam Islam Perspektif Al-Qur'an Surat Ar-Rahman Ayat 1 Sampai 10. *Progress in Retinal and Eye Research*, **Vol.561 No.3**, S2–S3.
- Alansanda, R., & Julian, E. S. 2018. Prototipe Sistem Keamanan Pintu Dan Gerbang Rumah Berbasis Android. *Jetri : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, **Vol.15 No.2**, 171–186. <https://doi.org/10.25105/jetri.v15i2.2367>
- Bolton, W. (2016). Programmable Logic Controllers. In *Programmable Logic Controllers, Fourth Edition*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-8112-4.X5018-9>
- Darmawan, R. S., Wibowo, K., & Diah, F. I. 2020. Initial optimization of fine tuner's position on the cyclotron DECY-13's rf dee system. *Journal of Physics: Conference Series*, **Vol.1436 No.1**, 012086. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1436/1/012086>
- Dhameliya, N. 2024. Revolutionizing PLC Systems with AI : A New Era of To cite this version : *Journal of Computing and Digital Technologies*, **Vol. 1 No.1**: 33–48.
- Diah, F. I., Permana, F. S., & Mulyani, E. 2023. *Design of Instrumentation and Control System Integration for the DECY-13 Cyclotrons Commissioning*. **Vol.12 No.2**: 71–77.
- Dwiatmaja, A., Cahyadi, A. I., & Nugroho, P. 2016. *Simulasi ADCRC (Active Disturbance Rejection Controller) dan kendali PD pada Model Cavity Siklotron DECY 13*. 146–150.
- Hudedmani, M. G., Umayal, R. M., Kabberalli, S. K., & Hittalamani, R. 2017. Programmable Logic Controller (PLC) in Automation. *Advanced Journal of Graduate Research*, **Vol.2 No.1**, 37–45. <https://doi.org/10.21467/ajgr.2.1.37-45>
- Khaafah, N. T. F. S. 2024. *Sekunder Reaktor Kartini Berbasis Programmable Logic Controller S7-1200*.
- Kocarnik, J. M., Compton, K., Dean, F. E., Fu, W., Gaw, B. L., Harvey, J. D., Henrikson, H. J., Lu, D., Pennini, A., Xu, R., Ababneh, E., Abbasi-Kangevari, M., Abbastabar, H., Abd-Elsalam, S. M., Abdoli, A., Abedi, A., Abidi, H., Abolhassani, H., Adedeji, I. A., ... Force, L. M. 2022. Cancer Incidence, Mortality, Years of Life Lost, Years Lived With Disability, and Disability-Adjusted Life Years for 29 Cancer Groups From 2010 to 2019 A

- Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *JAMA Oncology*, **Vol.8** **No.3**: 420–444. <https://doi.org/10.1001/jamaoncol.2021.6987>
- Kun, H. Y., & Song, S. X. 2016. *Design of high precision current signal source on DDS*. *Ncece* 2015.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. 2015. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, **Vol.3**:18–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Mousavinia, S. M., Afarideh, H., Mohamadian, M., & Ghergherechi, M. 2016. Design and simulation of cavity for 18 MeV cyclotrons. *CYC 2016 - Proceedings of the 21st International Conference on Cyclotrons and their Applications*, 267–269.
- Nasir, M., Samwil, S., & Subhi, M. 2022. The Basics of Child Personality Development (Study of Analysis of Surah al-A'raf Verses 31-33 in Tafsir Ash-Shawi). *International Journal of Ethno-Sciences and Education Research*, **Vol.2 No.2**: 70–74. <https://doi.org/10.46336/ijeer.v2i2.289>
- Nataz Shilfa, S., Roslan Abdul Gani, M., Apriliani Syaridatul Mu, I., Ardiansyah, F., Evan Lubis, L., & Djarwani Soeharso Soejoko. 2019. Pengukuran MTF (Modulation Transfer Function) berdasarkan LSF (Line Spread Function) dan PSF (Point Spread Function) pada pesawat PET/CT dan SPECT/CT. *Journal of Medical Physics and Biophysics*, **Vol.6 No.1**: 16–25.
- National Instruments. 2007. *LabVIEW Fundamentals*. LabVIEW. Texas
- Nise, N. S. 2021. *Control Systems Engineering 6th Ed* 2. www.wiley.com/go/global/nise
- Palupi, D., & Suharni. 2022. *Kajian Keselamatan Operasi Berkas Proton 13 MEV untuk Produksi Radioisotop PET pada Siklotron DECY-13 LANDRITA B T S, Dr. Dwi Satya Palupi, S.Si., M.Si.; Suharni, S.Si.*
- Permana, F. S. 2021. *Perancangan Kendali Sistem Sumber Ion Siklotron DECY-13*. 0–3.
- Priyono, E., & Saminto. 2017. *Rancangan perangkat sistem pancung (scram) reaktor triga-2000 bahan bakar tipe pelat psnt- batan bandung*. November, 205–212.
- Sargent, R. G. 2018. Verification and validation of simulation models. *Journal of Simulation*, **Vol.7 No.1**: 12–24. <https://doi.org/10.1057/jos.2012.20>
- Shali, A. H., Atmono, T. M., & Saminto. 2020. An analysis of the dee voltage of DECY-13 cyclotron based on a simple model. *Journal of Physics: Conference Series*, **Vol.1436 No.1**, 0–10. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1436/1/012054>
- Sidik, F. P., Effendy, N., Awang I Wardana, dan N., Teknologi Akselerator, dan,

- & Babarsari Kotak Pos, J. 2021. *Perancangan Dan Identifikasi Kendali PID Pada Aliran Hidrogen Sumber Ion Siklotron DECY 13 Design And Identification of PID Control On The Cyclo.* **Vol.13**, 59–66. <http://ganendra.batan.go.id>
- Silakhuddin, D., Pusat, M. S., Teknologi, S., & Batan, A. 2021. *Dasar Desain Siklotron DECY-13*. BATAN pres. Yogyakarta
- Silakhuddin, Darmawan, Suharni, & Kudus. 2019. Characterization on DECY-13 Cyclotron Components S. *To Physics Journal*, **Vol.3 No.1**: 75–84.
- Silakhuddin, S., Darmawan, R. S., Dwiatmaja, A., Shali, A. H., Kudus, I. A., & Taufik, T. 2023. Calculation methods of RF power requirement on an RF dee cavity of cyclotron. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, **Vol.14 No.3**: 1553–1561. <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v14.i3.pp1553-1561>
- Triangle, R. 2023. *User Manual PLC F2424 Super PLC USER ' S*. Triangle Research Internasional. Carolina Utara
- Varga, P., Blomstedt, F., Ferreira, L. L., Eliasson, J., Johansson, M., Delsing, J., & Martínez de Soria, I. 2017. Making system of systems interoperable – The core components of the arrowhead framework. *Journal of Network and Computer Applications*, **Vol.81**, 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.08.028>
- Wardhana, A. W., & Nugroho, D. T. 2018. Pengontrolan Motor Stepper Menggunakan Driver DRV 8825 Berbasis Signal Square Wave dari Timer Mikrokontroler AVR. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, **Vol.7 No.1**: 80. <https://doi.org/10.25077/jnte.v7n1.530.2018>
- Wibowo, B. C., & Nugraha, F. 2021. Kendali Kecepatan Motor Stepper Menggunakan Metode Start – Stop Berbasis PLC. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, **Vol.10 No.3**: 213. <https://doi.org/10.35793/jtek.10.3.2021.35623>