

## DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....	2
LEMBAR PENGESAHAN .....	3
KATA PENGANTAR .....	4
DAFTAR ISI.....	6
DAFTAR TABEL .....	9
DAFTAR GAMBAR .....	10
DAFTAR SINGKATAN DAN SATUAN .....	12
INTISARI .....	13
ABSTRACT .....	14
BAB I LATAR BELAKANG .....	15
1.1. Latar Belakang .....	15
1.2. Rumusan dan Batasan Masalah .....	18
1.3. Keaslian Penelitian .....	18
1.4. Tujuan Penelitian .....	19
1.5. Manfaat Penelitian .....	19
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN HIPOTESIS .....	20
2.1 Tinjauan Pustaka .....	20
2.2 Landasan Teori.....	24
2.2.1 Prinsip Deteksi Neutron .....	24
2.2.2 Detektor Neutron Isian Gas .....	26
2.2.3 Detektor <i>Fission Chamber</i> .....	28
2.2.4 Mode Operasi Detektor Neutron .....	31
2.2.5 Mode Campbell .....	32
2.2.6 Diskriminator.....	33
2.2.7 Operational Amplifier.....	34
2.2.8 Aktivasi Foil Emas .....	35
2.3 Hipotesis .....	36
BAB III METODE PENELITIAN .....	37
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	37
3.2 Alat dan Bahan.....	37
3.2.1 Reaktor Kartini .....	37
3.2.2 Detektor <i>Fission Chamber</i> .....	38



3.2.3	Pre-Amplifier.....	39
3.2.4	Catu Daya Tegangan Tiggi .....	39
3.2.5	Osiloskop Tektronix TDS 2024C .....	39
3.2.6	Mikrokontroller ESP32 .....	39
3.2.7	Analog to Digital Converter ADS1115.....	40
3.2.8	Komponen-Komponen Elektronik .....	40
3.2.9	Detektor Radiasi High Purity Germanium (HPGe).....	40
3.3	Diagram Alir Penelitian .....	40
3.4	Prosedur Penelitian .....	41
3.4.1	Analisis Awal dan Uji ANOVA Keluaran Detektor Neutron.....	41
3.4.2	Rancang Bangun Diskriminator dan Campbell <i>Rectifier</i> .....	42
3.4.3	Rancang Bangun Akuisisi data Keluaran Campbell <i>Rectifier</i> dan Daya Reaktor .....	43
3.4.4	Pengujian Keluaran Campbell <i>Rectifier</i> Terhadap Daya Reaktor .....	45
3.4.5	Perhitungan Faktor Konversi Keluaran Campbell <i>Rectifier</i> Menjadi Daya Reaktor .....	46
3.4.6	Pengukuran Fluks Neutron pada Daya Rendah.....	46
3.4.7	Pengukuran Fluks Neutron pada Daya Tinggi.....	47
3.4.8	Perhitungan Faktor Konversi Daya Reaktor ke Fluks Neutron.....	47
3.5	Tuntutan Perancangan.....	47
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	48
4.1	Analisis Awal dan Uji ANOVA Keluaran Detektor Neutron .....	48
4.2	Rancang Bangun Diskriminator dan Campbell <i>Rectifier</i> .....	51
4.3	Rancang Bangun Akuisisi Data Keluaran Campbell <i>Rectifier</i> dan Daya Reaktor .....	55
4.4	Pengujian Keluaran Campbell <i>Rectifier</i> Terhadap Daya Reaktor.....	64
4.5	Perhitungan Faktor Konversi Keluaran Campbell <i>Rectifier</i> Menjadi Daya Reaktor.....	67
4.6	Pengukuran Fluks Neutron pada Daya Rendah dan Daya Tinggi .....	71
4.7	Perhitungan Faktor Konversi Daya Reaktor ke Fluks Neutron .....	74
BAB V	KESIMPULAN .....	76
5.1	Kesimpulan .....	76
5.2	Saran .....	77
DAFTAR PUSTAKA	.....	78
LAMPIRAN I PROGRAM ESP32	.....	83



LAMPIRAN II PROGRAM KOMPUTER AKUISISI .....	93
---	----



## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1. Berbagai metode pengukuran daya reaktor .....	15
Tabel 2. 1. Penelitian terkait pengukuran daya reaktor dan fluks neutron jangkauan lebar. ....	23
Tabel 2. 2. Perbandingan relatif performa detektor neutron isian gas .....	28
Tabel 3. 1. Parameter teknis reaktor Kartini .....	37
Tabel 3. 2. Spesifikasi teknis dari detektor FC yang digunakan.....	38
Tabel 3. 3. Spesifikasi teknis Mikrokontroller ESP32.....	39
Tabel 3. 4. Spesifikasi teknis detektor HPGe yang digunakan.....	40
Tabel 4. 1. Data hasil perhitungan log rata-rata tinggi pulsa yang melewati discriminator (log $x$ ).....	49
Tabel 4. 2. P-Value dari Probability Plot masing-masing set data.....	50
Tabel 4. 3. Hasil perhitungan uji ANOVA. ....	51
Tabel 4. 4. Hasil perhitungan uji fisher LSD. ....	51
Tabel 4. 5. Hasil kalibrasi sistem akuisisi data daya reaktor. ....	58
Tabel 4. 6. Kalibrasi perhitungan $\bar{x}$ oleh osiloskop dan sistem akuisisi data. ....	61
Tabel 4. 7. Rangkuman faktor konversi masing-masing Campbell <i>rectifier</i> . ....	71
Tabel 4. 8. Data foil emas yang digunakan untuk metode aktivasi foil emas. ....	72
Tabel 4. 9. Data hasil pengukuran fluks neutron pada daya tinggi dan daya rendah. ....	74



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perbandingan tampang lintang serapan neutron dari unsur $^{10}\text{B}$ , $^3\text{He}$ , dan $^6\text{Li}$	25
Gambar 2. 2. Konstruksi detektor <i>fission chamber</i> (FC).....	29
Gambar 2. 3. Ilustrasi prinsip kerja detektor FC. ....	30
Gambar 2. 4. Sinyal keluaran detektor FC pada daya rendah atau level sumber. ....	31
Gambar 2. 5. Bentuk sinyal keluaran detektor untuk berbagai mode operasi.....	32
Gambar 2. 6. Contoh rangkaian Campbell <i>rectifier</i> .....	33
Gambar 2. 7. Rangkaian diskriminator sederhana.....	33
Gambar 2. 8. Rangkaian Op-Amp <i>non-inverting</i> . ....	34
Gambar 2. 9. Rangkaian Op-Amp <i>voltage follower</i> .....	34
Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian. ....	41
Gambar 3. 2. Blok diagram rencana akuisisi data sinyal keluaran detektor. ....	42
Gambar 3. 3. Desain rangkaian diskriminator. ....	42
Gambar 3. 4. Desain Campbell <i>rectifier</i> .....	43
Gambar 3. 5. Konsep sistem akuisisi data daya dan keluaran Campbell <i>rectifier</i> .....	44
Gambar 3. 6. Diagram alir rencana pengujian keluaran Campbell <i>rectifier</i> .....	45
Gambar 3. 7. Blok diagram konsep akuisisi sinyal detektor neutron untuk pengukuran fluks neutron pada daya rendah. ....	46
Gambar 4. 1. Hasil akuisisi keluaran detektor neutron pada daya $10^{-6}$ kW sampai daya maksimal.....	48
Gambar 4. 2. Contoh Probability Plot untuk data log daya -6,0. ....	50
Gambar 4. 3. Rangkaian discriminator yang digunakan. ....	52
Gambar 4. 4. Hasil pengujian diskriminator. (a) Pengujian dengan sinyal $< 100$ mV, (b) pengujian dengan sinyal $> 100$ mV.....	53
Gambar 4. 5. Rangkaian dasar Campbell <i>rectifier</i> yang digunakan dalam penelitian. ..	54
Gambar 4. 6. Hasil pengujian Campbell <i>rectifier</i> .....	54
Gambar 4. 7. Blok diagram akuisisi data keluaran Campbell <i>rectifier</i> dan daya reaktor. ....	56
Gambar 4. 8. <i>Hardware</i> sistem akuisisi data daya reaktor. ....	57
Gambar 4. 9. Grafik hasil kalibrasi sistem akuisisi data daya reaktor.....	58



Gambar 4. 10. Diagram alir prinsip kerja dan <i>software</i> dari sistem akuisisi data daya reaktor .....	59
Gambar 4. 11. <i>Hardware</i> dari sistem akuisisi data keluaran Campbell <i>rectifier</i> .....	61
Gambar 4. 12. Grafik hasil kalibrasi sistem akuisisi data keluaran Campbell <i>rectifier</i> . 62	
Gambar 4. 13. Diagram alir prinsip kerja dan <i>software</i> dari sistem akuisisi data Campbell <i>rectifier</i> .....	63
Gambar 4. 14. Grafik hasil pengujian 3 Campbell Rectifier (CR) pada daya reaktor $10^{-6}$ kW hingga $10^{1.8}$ kW.....	64
Gambar 4. 15. Rangkaian Campbell <i>rectifier</i> 1.....	65
Gambar 4. 16. Rangkaian Campbell <i>rectifier</i> 2.....	66
Gambar 4. 17. Rangkaian Campbell <i>rectifier</i> 3.....	67
Gambar 4. 18. Plot dan regresi kuadrat dari log daya reaktor vs log keluaran CR1. ....	68
Gambar 4. 19. Plot dan regresi kuadrat dari log daya reaktor vs log keluaran CR2. ....	68
Gambar 4. 20. Plot hubungan log daya reaktor dengan log keluaran CR3. ....	69
Gambar 4. 21. Plot dan regresi kuadrat dari log daya reaktor vs log keluaran CR3A. . 70	
Gambar 4. 22. Plot dan regresi kuadrat dari log daya reaktor vs log keluaran CR3B... 70	
Gambar 4. 23. Diagram alir contoh program pengukuran daya reaktor dengan beberapa Campbell <i>rectifier</i> .....	71
Gambar 4. 24. Proses <i>counting</i> pulsa neutron. ....	72
Gambar 4. 25. Contoh sampel foil emas dan <i>holder</i> alumunium. ....	73
Gambar 4. 26. Posisi iradiasi foil emas. ....	73
Gambar 4. 27. Plot dan regresi linier dari log daya reaktor vs log fluks neutron.....	75

