

RANCANG BANGUN PENAMPIL PLATO DETEKTOR GEIGER MUELLER BERBASIS PERSONAL KOMPUTER

Toto Trikasjono, Djiwo Harsono, dan Catur Wulandari

Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional

Jl. Babarsari PO BOX 6101/YKBB Yogyakarta 55281

Telp : (0274)48085; Fax : (0274)489715

Homepage: www.sttn-batan.ac.id, E-mail: tototrik@batan.go.id

ABSTRAK

RANCANG BANGUN PENAMPIL PLATO DETEKTOR GEIGER MUELLER BERBASIS PERSONAL COMPUTER. Telah dilakukan rancangbangun penampil plato detektor Geiger Mueller dengan tujuan untuk membuat suatu sistem yang dapat menampilkan grafik hubungan nilai tegangan tinggi pencatu detektor dengan hasil cacahan pada sebuah komputer untuk mengetahui karakteristik suatu detektor *Geiger Mueller* (GM) yaitu plato. Sistem ini terdiri atas penyedia daya tegangan tinggi DC, GM *inverter*, pembentuk pulsa, *counter/timer*, keypad matriks 3x4, penampil LCD, dan seperangkat komputer. Mikrokontroler ATmega8535 digunakan sebagai sistem pencacah dan sebagai penampil hasil cacahan serta nilai HV. Pengujian kestabilan dan linieritas tegangan tinggi diperoleh $R^2 = 0.982$, linieritas pencacahan dengan *function generator* $R^2 = 1$ dengan variasi frekuensi. Pengujian sistem pencacah dengan pengambilan data sebanyak $N = 30$, nilai *Chi Square Test* (X^2) = 15,77. Batasan X^2 yang diijinkan harus berada pada kisaran $14,3 \leq 15,77 \leq 49,6$. seluruh sistem diuji dengan i detektor GM Model *set window* dan diperoleh tegangan kerja detektor tersebut adalah 566 V, *slope* 0,000134% dan panjang plato 386 V. Hasil pengujian dan analisis menunjukkan alat dapat bekerja dengan baik.

Kata kunci : *Geiger Mueller*, ATmega8535, plato, HV, cacah, komputer

ABSTRACT

DESIGN AND CONSTRUCTION OF GEIGER MUELLER PLATEU DISPLAY BASED ON PERSONAL COMPUTER. Have been designed and constructed which aims to create a system that can display graphic relationship of the high voltage that supply the detector and the value of count on the personal computer to know the characteristics of a Geiger Mueller detector that is the plateau. The system consists of DC high voltage power supply, GM Inverter, Pulse Shaping, counter/timer, matriks keypad 3x4, LCD display, and personal computer. ATmega8535 microcontroller is used to counting process for a certain time and as a viewer of result count and the high voltage DC. Testing of high voltage stability and linearity obtained $R^2 = 0.982$, count linearity with the function generator $R^2 = 1$, with frequency variation. The counter system is tested using Sr-90 source, with the value of Chi Square Test (X^2) = 15,77 for $N = 30$, permitted X^2 limits must be in the range $14,3 \leq 15,77 \leq 49,6$. X^2 values has beeb entered in the specified range. The test of entire system is done by testing the model set window GM detector and obtained a detector working voltage is 566 V, slope is 0.000134% and plateau length is 386 V. The result and analysis show that these tools can work very well.

Keywords : *Geiger Mueller*, ATmega8535, plateau, HV, count, computer

PENDAHULUAN

Penggunaan detektor *Geiger Mueller* sebagai alat proteksi radiasi sudah sangat meluas, karena pengoperasiannya mudah (*user friendly*). Detektor yang tidak dapat membedakan energi

ini mempunyai karakteristik yang mempengaruhi unjuk kerjanya yaitu *slope* dan daerah plato. Penentuan nilai tegangan tinggi yang sesuai akan menghasilkan cacahan yang semakin baik.

Kebanyakan penggunaan detektor GM dalam memilih nilai tegangan tingginya kurang tepat yang akan berpengaruh pada proses ionisasi dalam tabung detektor. Oleh karena itu, perlu diadakan penelitian yang dapat mengetahui karakteristik suatu detektor *Geiger Mueller* secara mudah dan pengaturan tegangan tinggi yang tepat agar didapatkan hasil cacahan yang akurat.

Dengan adanya penelitian ini diharapkan pengaturan tegangan yang digunakan untuk mencatu detektor *Geiger Mueller* akan lebih mudah dan mencacah pulsa radiasi lebih cepat serta dapat mengetahui karakteristik dari suatu detektor *Geiger Mueller* yaitu daerah plato secara cepat.

TEORI

Detektor merupakan bagian yang sangat penting dari suatu sistem pencacah radiasi karena dialah yang berfungsi untuk menangkap radiasi dan mengubahnya menjadi sinyal atau pulsa listrik. Salah satu jenis detektor radiasi yang pertama kali diperkenalkan dan sampai saat ini masih digunakan adalah detektor ionisasi gas. Detektor ini memanfaatkan hasil interaksi antara radiasi pengion dengan gas yang dipakai sebagai detektor^[1].

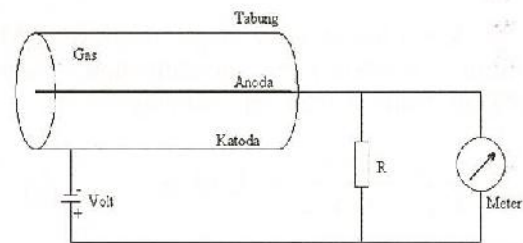
Detektor ionisasi gas terdiri atas dua elektroda, yaitu positif dan negatif, serta berisi gas di antara kedua elektrodanya. Kebanyakan detektor ini berbentuk silinder dengan sumbu yang berfungsi sebagai anoda dan dinding silindernya sebagai katoda. Anoda diberi tegangan +V (positif) terhadap dinding tabung (katoda). Terdapat tiga jenis detektor isian gas yang bekerja pada daerah yang berbeda yaitu detektor kamar ionisasi yang bekerja di daerah ionisasi, detektor proporsional yang bekerja di daerah proporsional serta detektor *Geiger Mueller* (GM) yang bekerja di daerah *Geiger Mueller*^[2].

Detektor *Geiger Mueller*

Detektor *Geiger Mueller* (GM) merupakan salah satu detektor radiasi nuklir tipe isian gas. Detektor GM beroperasi pada tegangan di atas detektor proporsional, dengan

mempertinggi tegangan akan mengakibatkan proses ionisasi yang terjadi dalam detektor menjadi jenuh. Pulsa yang dihasilkan tidak lagi bergantung pada ionisasi mula-mula maupun jenis radiasi. Jadi, radiasi jenis apapun akan menghasilkan keluaran sama. Skema detektor *Geiger Mueller* (GM) ditunjukkan pada Gambar 1^[1]

Radiasi yang memasuki detektor akan mengionisasi gas dan menghasilkan ion-ion positif dan ion-ion negatif (elektron). Jumlah ion yang akan dihasilkan tersebut sebanding dengan energi radiasi dan berbanding terbalik dengan daya ionisasi gas. Dalam perjalanan menuju anoda, elektron mendapat tambahan energi kinetik, maka elektron mampu mengionisasi atom sekitarnya sehingga terjadi ionisasi sekunder menghasilkan pasangan elektron ion sekunder. Pasangan elektron ion sekunder ini masih mempunyai energi yang besar mampu menghasilkan pasangan elektron ion-tercier dan seterusnya. Peristiwa ini disebut ionisasi berantai (*avalanche*)^[3].



Gambar 1. Detektor GM^[2]

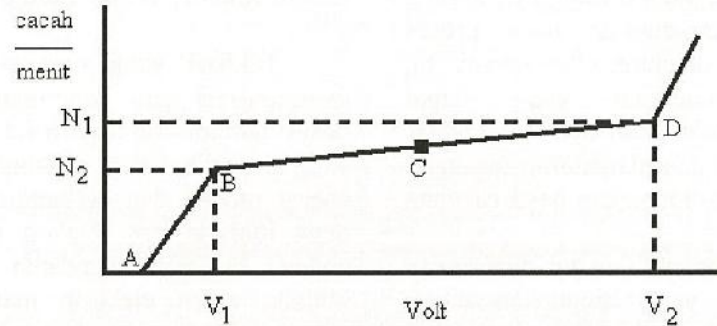
Jika tegangan catu daya pada GM dinaikkan, maka peristiwa pelucutan elektron sekunder makin besar dan elektron sekunder yang terbentuk banyak sekali. Akibatnya anoda diselubungi serta terlindung oleh muatan negatif elektron sekunder, sehingga peristiwa ionisasi akan terhenti. Karena gerak ion positif kedinding tabung katoda lambat. Maka ion-ion ini dapat membentuk semacam lapisan pelindung positif pada permukaan dinding tabung. Keadaan yang demikian ini disebut efek muatan ruang atau *space range effect*. Skema detektor *Geiger Mueller* (GM) ditunjukkan pada Gambar 2^[2].

Karakteristik Detektor GM

Untuk mengetahui tegangan kerja detektor GM, terlebih dahulu diketahui bentuk platonya. Bentuk plato suatu detektor GM merupakan salah satu karakteristik detektor GM. Detektor GM yang baik bentuk platonya mendatar tidak boleh terlalu terjal. Daerah

tegangan kerja detektor GM yang menghasilkan keadaan ini disebut daerah GM atau lebih sering disebut daerah plato. Untuk penentuan daerah plato dilihat pada Gambar 2^[4]. Penampilan baik buruknya suatu detektor GM, ditentukan oleh panjang plato, kemiringan plato dan *resolving*

time. Detektor yang baik biasanya mempunyai panjang plato sekitar 200 volt, kemiringan dapat dicari lewat perhitungan seperti rumus kemiringan hasil yang baik adalah sekitar 3% dan *resolving time* dalam orde mikrodetik^[2].



Gambar 2. Daerah Tegangan Kerja GM^[2]

Keterangan:

- A = *starting voltage* (tegangan awal)
- B = *threshold voltage* (tegangan ambang)
- C = tegangan kerja Geiger Mueller
- D = tegangan batas mulai timbul kerusakan
- BD = daerah plato

Kemiringan atau *slope* detektor GM dihitung berdasarkan penambahan laju pencacah dalam persen per 100 volt^[2].

$$Slope = \frac{(N_2 - N_1) / N_1}{(V_2 - V_1) \times 100} \times 100\% \quad (1)$$

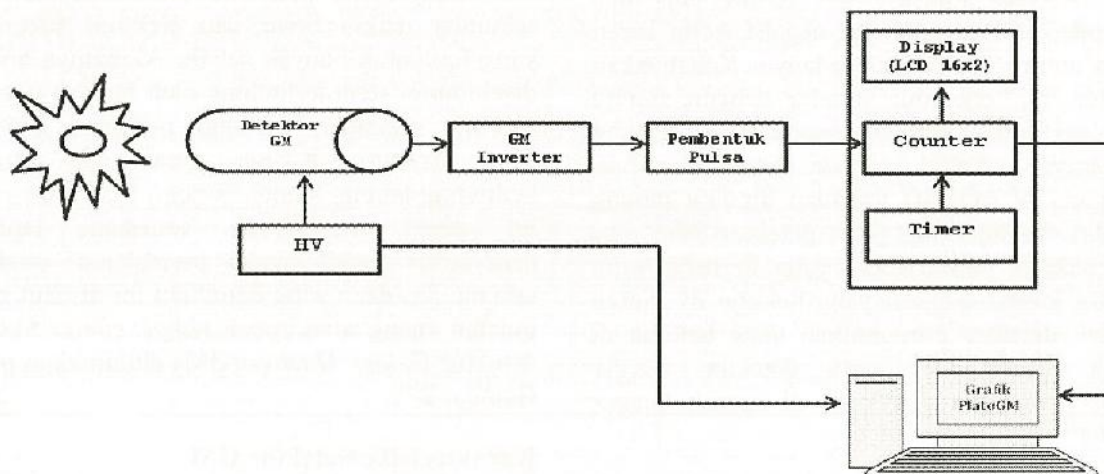
dengan :

- N1 : Cacah mula – mula (cps)
- N2 : Cacah akhir (cps)
- V1 : Tegangan mula – mula (Volt)

V2 : Tegangan akhir (Volt)

Perancangan Perangkat Keras

Pembuatan Penampil Plato Detektor Geiger Mueller Berbasis Personal Computer terdiri dari bagian-bagian yang ditunjukkan pada blok diagram seperti pada Gambar 3. Sistem ini terdiri dari dua sub sistem yaitu sub pencacah nuklir dan sub penampil grafik hubungan nilai tegangan dengan hasil cacahan.



Gambar 3. Blok Diagram Sistem

Sistem ini berfungsi untuk mengetahui daerah plato suatu detektor *Geiger Mueller* dengan cara cepat dan mudah. Prinsip kerja sistem ini mikrokontroler sebagai pembaca tegangan tinggi dan pencacah pulsa detektor, yang kemudian data tersebut dikirim ke komputer untuk ditampilkan sebagai grafik plato detektor *Geiger Mueller*.

Rangkaian catu daya Rendah DC

Rangkaian catu daya ditunjukkan pada Gambar 4 yang terdiri atas trafo *step-down* 2 A, diode *bridge*, dan IC regulator 7805 dan 7812 sehingga dihasilkan nilai tegangan DC stabil sesuai yang diinginkan, yaitu +12 V dan +5 V.



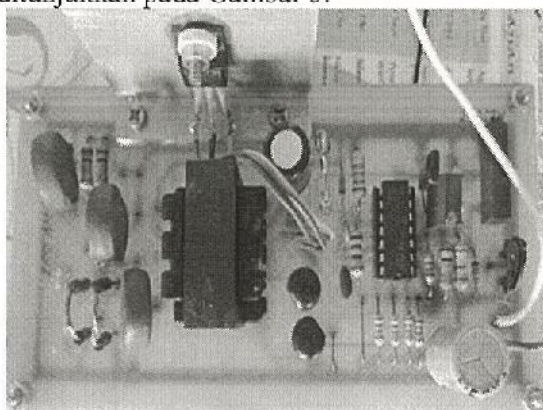
Gambar 4. Catu Daya Rendah DC

Rangkaian HV DC

Penyedia Daya Tegangan Tinggi DC ini berfungsi untuk mencatu daya detektor nuklir agar dapat beroperasi sesuai fungsinya, sehingga dibutuhkan tegangan yang stabil.^[5]

Rangkaian catu daya tegangan tinggi DC dibuat dari rangkaian *DC to DC converter*, yang terdiri dari sebuah osilator, untai flip-flop, rangkaian penguat daya, pengali dan penyearah tegangan^[6].

Rangkaian *DC to DC Converter* ditunjukkan pada Gambar 5.

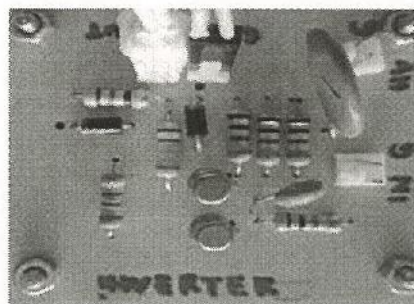


Gambar 5. Rangkaian HV DC

Rangkaian GM Inverter

Rangkaian ini terdiri dari dua buah transistor BC109. Berfungsi sebagai pembalik pulsa negatif keluaran detektor GM^[4].

Rangkaian *GM Inverter* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. GM Inverter

Rangkaian Pembentuk Pulsa

Rangkaian ini menggunakan IC tipe HEF 4001 BP yang digunakan untuk membentuk pulsa yang dirangkai bersama *variable resistor* 50k Ω yang dapat diatur untuk mendapatkan lebar pulsa yang diinginkan. Gambar 7. menunjukkan rangkaian pembentuk pulsa^[7].



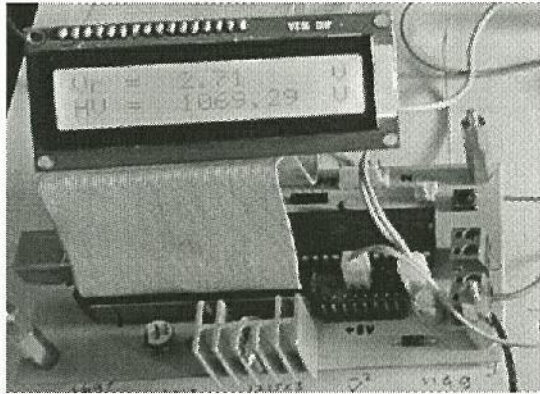
Gambar 7. Rangkaian Pembentuk Pulsa

Rangkaian *Minimum System*

Pada penelitian ini digunakan mikrokontroler ATmega8535 yang digunakan sebagai pencacah/pewaktu dan pembaca nilai tegangan tinggi yang nantinya data tersebut dikirimkan ke komputer untuk ditampilkan sebagai grafik plato GM. Rangkaian *minimum system* ditunjukkan pada Gambar 7.

Mikrokontroler ATmega8535 adalah mikrokontroler 8 bit buatan ATMEL dengan kapabilitas *flash memory* 8 kB, SRAM sebesar 512 *byte*, dan EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) sebesar 512 *byte* dan ADC internal dengan fidelitas 10

bit sebanyak 8 *channel* serta sistem mikroprosesor 8 bit berbasis RISC dengan kecepatan maksimal 16 Mhz. Konfigurasi pin dapat dilihat pada Gambar 8^[8].



Gambar 8. Minimum System ATmega8535

Minimum system ini dilengkapi dengan IC TTL to USB converter. Port yang digunakan adalah PA.0-PA.6 untuk keypad 3x4, PC.0-PC.7 untuk LCD 16x2, PD.0-PD.1 untuk komunikasi serial, PB.1 untuk masukan pulsa radiasi, PD.2-PD.3 untuk tombol *start* dan *stop*.

Perancangan Perangkat Lunak

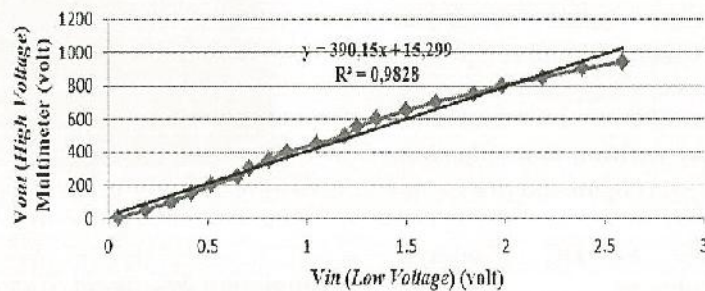
Pembuatan perangkat lunak ini dibagi menjadi dua tahap yaitu program pada mikrokontroler dan program tampilan pada komputer. Program pada mikrokontroler dibuat menggunakan bahasa C dengan *Code Vision AVR* sebagai *compiler*-nya, dan untuk program tampilan dengan menggunakan *software Borland Delphi 7.0*.

Pengujian HV DC

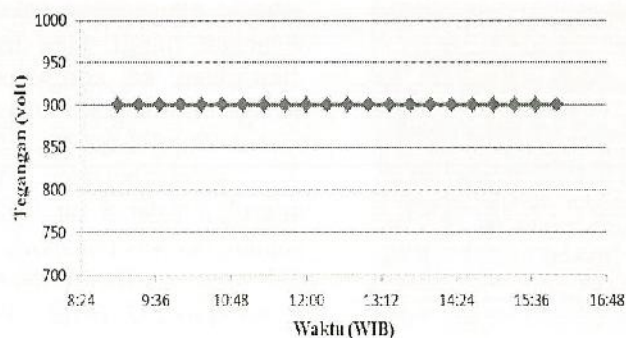
Pengujian rangkaian tegangan tinggi DC dilakukan dengan beban detektor dan tanpa beban. Pengujian rangkaian tegangan tinggi DC meliputi pengujian linieritas dan pengujian kestabilan keluaran tegangan tinggi.

Pengujian tanpa Beban

Pengujian linieritas dengan mengukur variasi tegangan referensi dan keluaran tegangan tinggi, sedangkan pengujian kestabilan ini bertujuan mengetahui tingkat kestabilan tegangan tinggi jika digunakan selama beberapa waktu. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 9, Tabel 1, Tabel 2, dan Gambar 10. Pada Gambar 9. dapat diketahui bahwa hubungan antara tegangan referensi dan keluaran tegangan tinggi adalah linier dengan nilai $R^2 = 0,983$.



Gambar 9. Grafik Linieritas V_{in} Vs V_{out}

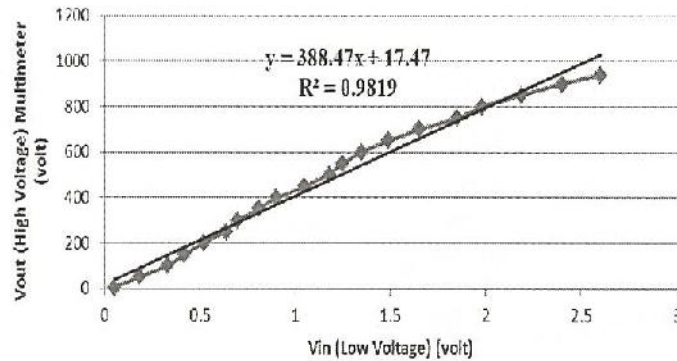


Gambar 10. Grafik Kestabilan Keluaran HV DC

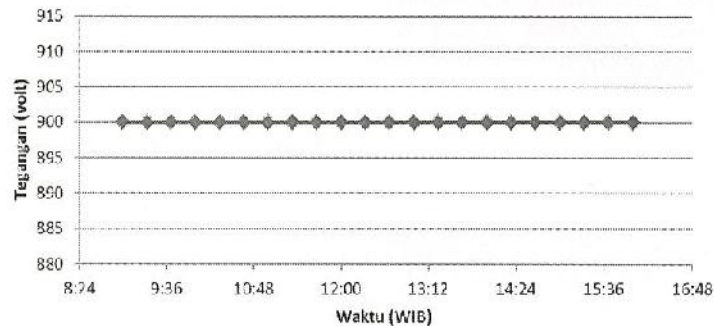
Pengujian dengan Beban Detektor

Pengujian yang dilakukan dengan membebani keluaran tegangan tinggi dengan detektor *Geiger Mueller*. Hasil pengujian dengan beban ditunjukkan pada Tabel 3. Gambar 11, Gambar 12 dan Tabel 4.

Pada Gambar 11 dapat diketahui bahwa hubungan antara tegangan referensi dan keluaran tegangan tinggi adalah linier dengan nilai $R^2 = 0,982$.



Gambar 11 Grafik Linieritas V_{in} Vs V_{out} dengan Beban



Gambar 12. Grafik Kestabilan HV DC dengan beban

Tabel 4. Pengujian Kestabilan dengan Beban

No.	Waktu (WIB)	Tegangan (volt)	No.	Waktu (WIB)	Tegangan (volt)
1	9:00	900	12	12:40	900
2	9:20	900	13	13:00	900
3	9:40	900	14	13:20	900
4	10:00	900	15	13:40	900
5	10:20	900	16	14:00	900
6	10:40	900	17	14:20	900
7	11:00	900	18	14:40	900
8	11:20	900	19	15:00	900
9	11:40	900	20	15:20	900
10	12:00	900	21	15:40	900
11	12:20	900	22	16:00	900

Pengujian GM Inverter

Pengujian rangkaian dilakukan dengan memberikan masukan rangkaian dari pulser dan mengamati bentuk pulsa keluaran dan masukannya Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengujian GM Inverter

No.	Bagian yang Diuji	Hasil Pengujian
1	Bentuk pulsa masukan	Pulsa negatif
2	Frekuensi pulsa masukan	50 Hz
3	Tinggi pulsa masukan	2,18 V
4	Bentuk pulsa keluaran	Pulsa positif
5	Tinggi pulsa keluaran	3,6 V
6	Lebar pulsa keluaran	52 μ s

Pengujian Pembentuk Pulsa

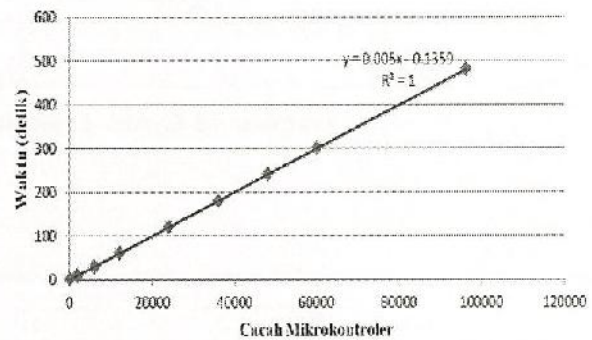
Pengujian dengan memberikan masukan dari *output* GM inverter dan mengamati bentuk pulsa keluarannya pada osiloskop. Tabel 6. menunjukkan hasil pengujiannya.

Tabel 6. Pengujian Pembentuk Pulsa

No.	Bagian yang Diuji	Hasil Pengujian
1	Bentuk pulsa masukan	Pulsa positif
2	Frekuensi pulsa masukan	50 Hz
3	Tinggi pulsa masukan	3,6 V
4	Bentuk pulsa keluaran	Pulsa kotak
5	Tinggi pulsa keluaran	5,04 V
6	Lebar pulsa keluaran	56 μ s

Pengujian Pencacah/Pewaktu

Pengujian ini bertujuan mengetahui linieritas pencacah dengan variasi waktu dan frekuensi pencacahan. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 13 dan Tabel 7.



Gambar 13. Grafik Linieritas Pencacahan

Tabel 7. Pengujian Linieritas Pencacahan

No	T (s)	Frekuensi Counter (Hz)				Mikrokontroler			
		F1	F2	F3	R2	C1	C2	C3	R2
1	1	200	200	200	200	201	201	201	201
2	10	200	200	200	200	2019	2019	2019	2019
3	30	200	200	200	200	6059	6059	6059	6059
4	60	200	200	200	200	12120	12120	12120	12120
5	120	200	200	200	200	24072	24072	24072	24072
6	240	200	200	200	200	36108	36108	36108	36108
7	300	200	200	200	200	48144	48144	48144	48144
8	360	200	200	200	200	60181	60181	60181	60181
9	480	200	200	200	200	96289	96288	96288	96288

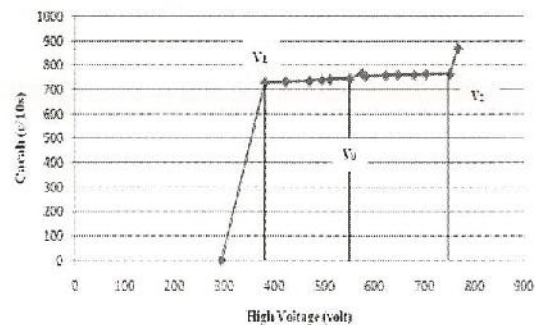
Uji stabilitas *Chi Square Test* dilakukan pada sistem pencacah nuklir ini. Hasil pengujian *Chi Square* ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Chi Square Test (X^2)

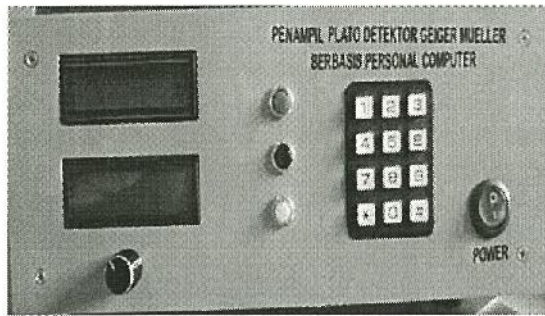
No	Cacah Rata-rata (c/10s)	X_i	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	1213	1213	-6.37	40.53
2	1191	1191	-28.37	804.67
3	1230	1230	10.63	113.07
4	1276	1276	56.63	3207.33
5	1205	1205	-14.37	206.40
6	1203	1203	-16.37	267.87
7	1215	1215	-4.37	19.068
8	1235	1235	15.63	244.40
9	1238	1238	18.63	347.20
10	1207	1207	-12.37	152.93
11	1255	1255	35.63	1269.73
12	1193	1193	-26.37	695.21
13	1212	1212	-7.37	54.268
14	1201	1201	-18.37	337.33
15	1191	1191	-28.37	804.67
16	1244	1244	24.63	606.81
17	1239	1239	19.63	385.47
18	1206	1206	-13.37	178.67
19	1185	1185	-34.37	1181.07
20	1192	1192	-27.37	748.93
21	1219	1219	-0.37	0.13
22	1181	1181	-38.37	1472.00
23	1286	1286	66.63	4440.00
24	1206	1206	-13.37	178.67
25	1235	1235	15.63	244.40
26	1228	1228	8.63	74.53
27	1216	1216	-3.37	11.33
28	1201	1201	-18.37	337.33
29	1235	1235	15.63	244.40
30	1243	1243	23.63	558.53
N= 30	$\sum X_i = 36581$	$\bar{X} = 1219,38$	$\sum (X_i - \bar{X})^2 = 19226,97$	

Pengujian Plato GM

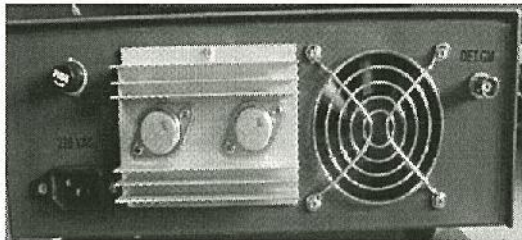
Pengujian seluruh sistem dilakukan dengan menghubungkan sistem pencacah ke komputer untuk mendapatkan tampilan grafik plato *Geiger Mueller*. Hasil dari pengujian ditunjukkan pada Gambar 13. Grafik tersebut diperoleh dari *data base* program penampil yang tersimpan dalam *Ms. Excel*. Gambar 14a, 14b dan 14c, menunjukkan alat Penampil Plato Detektor *Geiger Mueller* Berbasis *Personal Computer* yang dibuat.



Gambar 14. Grafik Plato GM



Gambar 14a. Foto Alat Tampak Depan



Gambar 14b. Tampak Belakang



Gambar 14c. Tampak Samping

PEMBAHASAN

Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada rangkaian tegangan tinggi DC tanpa beban dan dengan beban detektor, rangkaian ini memiliki linieritas (R^2) yang mendekati 1, jadi rangkaian ini layak digunakan sebagai pencatu detektor.

Kestabilan rangkaian tegangan tinggi tanpa beban dari Tabel 4 didapatkan angka kestabilan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{maks}} &= 900 \text{ V} & V_{\text{min}} &= 899 \text{ V} \\
 \Delta V &= 1 \text{ V} \\
 \text{Angka Ketidakstabilan } (\Delta X) &= \frac{1}{899,9167} \times 100\% \\
 &= 0,11\% \\
 \text{Angka Kestabilan} &= 100\% - 0,11\% \\
 \text{Angka Kestabilan} &= 99,88\%
 \end{aligned}$$

Kestabilan keluaran tegangan tinggi dengan beban menggunakan cara yang sama dari Tabel 4.4 didapatkan angka kestabilan = 100%.

Pengujian GM *inverter* didapatkan keluaran berupa pulsa positif dengan masukan pulsa negatif. Keluaran sudah sesuai dengan yang diharapkan dan sesuai fungsi dari rangkaian pembalik pulsa.

Rangkaian pembentuk pulsa berfungsi menguatkan dan membentuk pulsa kotak standar TTL agar pulsa radiasi dapat diolah oleh pencacah. Hasil dari pengujian didapatkan dari Tabel 6. keluaran rangkaian berupa pulsa kotak dengan tinggi 5,04 V dan lebar pulsa 56 μ s.

Pencacah yang digunakan berdasarkan hasil pengujian memiliki nilai linieritas (R^2) 1. Kestabilan sistem pencacah juga diuji dengan *Chi Square Test* (X^2) didapatkan hasil dengan $N=30$ dan $v = 29$ dan tingkat kepercayaan 0,99 maka nilai X^2 adalah $14,3 \leq 15,77 \leq 49,6$.

Pengujian plato GM dilakukan dengan detektor GM tipe *end window* dan dari Gambar 12. didapatkan panjang plato = 386 V, tegangan kerja = 566 V dan *slope* = 0,000134 %. Semua nilai tersebut diperoleh dari perhitungan dalam program penampil plato GM.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian yang telah diuraikan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah dibuat dan diuji Sistem Penampil Plato Detektor *Geiger Mueller* (GM) Berbasis *Personal Computer* yang terdiri dari rangkaian catu daya tegangan tinggi DC, GM *inverter*, pembentuk pulsa, *counter/timer* dengan ATMega8535 berikut ADC, *keypad* 3x4, dan rangkaian LCD sebagai penampil data serta komputer sebagai penampil grafik plato GM.
2. Tegangan tinggi DC yang dapat diatur dari 86 V – 1023 V dengan beban detektor. Didapatkan persamaan $y = 1,0206x - 29,145$ dan nilai $R^2 = 0,9688$ dengan nilai stabilitas tegangan tinggi sebesar 100% dan Faktor Regulasi sebesar 0,10%.
3. Kestabilan sistem pencacah untuk $N = 30$ dengan tingkat kepercayaan 0,99 adalah X^2

(*Chi Square Test*) = 15,77 dan masih berada dalam batas $14,3 \leq 15,77 \leq 49,6$.

4. Sistem ini diuji untuk menampilkkan dan menentukan tegangan kerja dari detektor GM ORTEC model NO-903 nomor seri 72 tipe *end window* dengan *range* tegangan 400 V – 650 V. Dari hasil pengujian didapatkan tegangan kerja sebesar 545 V, dengan panjang plato 386 V, dan *slope* 0,000134 % dengan kesalahan terhadap tampilan pada komputer 3,56 %.

Saran

1. Untuk penyempurnaan penelitian ini sebaiknya dibuat pengaturan tegangan tinggi dengan *range* yang dapat diatur secara otomatis dan menghasilkan keluaran tegangan tinggi yang lebih dari 940 volt.
2. Agar didapatkan hasil pembacaan tegangan tinggi yang mendekati nilai sebenarnya, keluaran tegangan tinggi DC dihubungkan dengan rangkaian pembagi tegangan (resistor yang dirangkai seri), dan kemudian salah satu titik dengan nilai tegangan sebesar 5 volt dihubungkan dengan ADC pada mikrokontroler.

DAFTAR PUSTAKA

1. Suliswanto, *Tugas Akhir: Rancang Bangun Perangkat Pengiriman Data Analog Menggunakan AVR ATmega 16*. Yogyakarta: STTN-BATAN, (2011)

2. Wardhana, W. A., *Teknologi Nuklir: Proteksi Radiasi dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Andi offset, (2007)
3. Trikasjono, T, Nila, S., Surakhman., *Rancang Bangun Penampil Cacah untuk Penentuan Plato Detektor Geiger Muller Berbasis Personal Computer*, Seminar Nasional SDM V Teknologi Nuklir Yogyakarta (2009)
4. Trisanyoto, N. dan Sunardi, J., *Rancang Bangun Simulasi Sistem Pencacah Radiasi*. Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta, (2008)
5. Sudiono dan Trikasjono T., *Rancang Bangun Penyedia Tegangan tinggi DC Berbasis Mikrokontroler AT89C51*. Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta, (2008).
6. Jumari, Djuningran, Mursiti, Surakhman., *Rancang Bangun Pengatur Catu Daya Tegangan Tinggi DC Berbasis Mikrokontroler AT89C52*, Seminar Nasional III SDM Teknologi, Yogyakarta, (2007).
7. Jihadi, I., *Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Pencacah Nuklir Berstandar Nuclear Instrumentation Module*, STTN-BATAN, Yogyakarta, (2010)
8. Heryanto, M. Ary, *Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroler ATmega8535*.: Andi offset, Yogyakarta, (2008)