

PEMBUATAN SISTEM MONITOR RADIASI TIPE : SMR-PI 1101

Jumari, Sayono, Adi Abimanyu, Nurhidayat S

PSTA - BATAN

Email : jumari@batan.go.id

ABSTRAK

PEMBUATAN SISTEM MONITOR RADIASI TIPE SMR-PI 1101. Telah dilakukan pembuatan sistem monitor radiasi tipe SMR-PI 1101. Sistem ini digunakan untuk memonitor paparan radiasi beta dan gamma di lingkungan fasilitas nuklir seperti reaktor nuklir, rumah sakit dan industri yang menggunakan zat radioaktif. Sistem ini terdiri dari detektor GM, preamp, mikrokontroler AT89S53 sebagai pencacah dan audio alarm menggunakan buzzer. Sistem ini dirancang agar mampu menampilkan laju paparan radiasi dalam satuan mR/jam, dan dapat dikalibrasi serta dapat memberikan peringatan ketika laju paparan radiasi telah melebihi batas yang ditentukan. Hasil pengujian stabilitas pencacahan dengan sumber radiasi Sr-90 didapatkan nilai chi square test (X^2) = 11,77 maka harga tersebut sudah memenuhi syarat sesuai dengan ketentuan dimana X^2 harus berada diantara $7.66 \leq X^2 \leq 36.191$ sedangkan linieritas pencacahan $R^2 = 0,9998$. Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa sistem monitor radiasi tipe SMR-PI 1101 telah berfungsi dengan baik dan layak digunakan sebagai alat monitor radiasi.

Kata kunci : mikrokontroler, monitor radiasi, chi square test

ABSTRACTS

MANUFACTURE OF RADIATION MONITORING SYSTEMS TYPE SMR-PI 1101 TYPE. It has been fabricated radiation monitoring system SMR-PI 1101 type. This system is used to monitor exposure of beta and gamma radiation in the environment of nuclear facilities such as nuclear reactors, hospitals and industries that use radioactive substances. This system consists of a GM detector, pre-amplifier, microcontroller AT89S53 as a counter and use the audio alarm buzzer. The system is designed to be able to show the rate of exposure of radiation in units of mR/h, can be calibrated and can give a warning when the rate of radiation exposure has exceeded the rescribed limit. The test result of count stability /chi square test (X^2) with radiation source Sr-90 is 11,77 so this value is acceptable for normally conditional there are X^2 must be residing in $7.66 \leq X^2 \leq 36.191$ while the counting linearity R^2 is 0,9998. Based on the test results it can be concluded that the radiation monitor system type SMR-PI 1101 has been functioning well and feasible to use as a radiation monitor.

Key words : microcontroller, radiation monitor, chi square test

PENDAHULUAN

Monitoring terhadap sumber pencemaran lingkungan dari bahan berbahaya termasuk bahan radioaktif, khususnya dari buangan limbah industri dan rumah sakit harus dapat dilakukan secara periodik. Selain dilakukan secara eksternal oleh Institusi pengawas, juga dapat dilakukan sendiri secara internal oleh institusi pengguna bahan yang mengandung radioaktif. Untuk itu diperlukan peralatan Sistem Monitor Radiasi yang sederhana, kompak dan tetap memperhatikan jaminan kualitas, ketepatan dan kestabilan sistem tersebut. Tujuan dibuatnya Sistem Monitor Radiasi tipe : SMR-PI.1101 ini adalah untuk dapat digunakan sebagai alat ukur laju paparan radiasi khususnya radiasi sinar beta dan gamma di lingkungan fasilitas nuklir demi keselamatan para pekerja radiasi, masyarakat umum dan lingkungannya. Dalam sistem monitor radiasi digital

mikrokontroler AT89S53 digunakan sebagai pencacah dan pewaktu (*counter/timer*)^[1]. Pulsa radiasi yang dicacah adalah pulsa keluaran dari detektor GM (*Geiger Muller*) setelah dilewatkan penguat awal dan pembentuk pulsa. Hasil cacahan pulsa radiasi tersebut selanjutnya ditampilkan pada penampil *seven segment* dan lampu indikator serta *buzzer* sebagai indikator suara (*alarm*). Sistem ini dirancang agar mampu menampilkan laju paparan radiasi dalam mR/jam, dapat dikalibrasi sesuai dengan ketentuan yang berlaku, serta dapat memberikan peringatan ketika laju paparan radiasi melebihi batas yang ditentukan.

Cara kerja alat ini adalah apabila ada paparan radiasi gamma yang besarnya $0 < 2$ mR/h maka indikator lampu hijau akan menyala yang berarti paparan radiasi dalam keadaan aman, apabila ada paparan radiasi gamma yang besarnya $2 < 2,5$ mR/h maka indikator lampu kuning akan menyala yang berarti waspada paparan radiasi berada pada keadaan

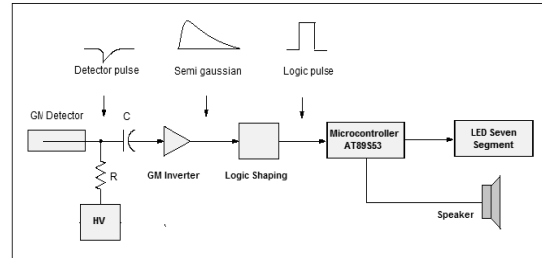
mendekati bahaya, sedangkan apabila paparan radiasi mencapai $\geq 2,5$ mR/h maka dalam keadaan bahaya dan indikator lampu merah akan menyala dan *alarm* bahaya akan berbunyi. Kegiatan yang dilakukan meliputi perancangan, pembuatan dan pengujian. Pembuatan *hardware* (perangkat keras) meliputi : Catu daya tegangan rendah/tinggi DC, GM *inverter* dan *logic shaping*, *Counter/timer* (mikrokontroler + penampil). Sedangkan untuk pembuatan *software* (perangkat lunak) yaitu pembuatan program untuk pencacahan pada mikrokontroler. Pengujian dilakukan dengan skala laboratorium menggunakan generator pulsa dan sumber radiasi. Pada pengujian dengan menggunakan generator pulsa diperoleh hasil lini-eritas pencacahan $R^2 = 0,9998$ harga ini cukup baik^[2], dan untuk pengujian *chi square test* dengan sumber radiasi Sr-90 menunjukkan bahwa alat yang dibuat mempunyai stabilitas pencacahan yang cukup baik.

DASAR TEORI

Susunan Sistem Monitor Radiasi digital terdiri dari detektor GM, *High Voltage Power Supply (HVPS)*, GM *inverter* dan *logic shaping*, Mikrokontroler, LED *seven segment* sebagai penampil (mR/h), dan *Low Voltage Power Supply* untuk catu daya semua sistem elektronik. Diagram Sistem Monitor Radiasi yang dibuat disajikan pada Gambar 1.

Cara kerja blok diagram gambar 1 adalah : penyedia daya tegangan tinggi DC (*DC high voltage power supply*) berfungsi sebagai catu daya detektor. Sinar radiasi yang mengenai/masuk ke tabung GM akan menumbuk gas isian di dalam detektor dan terjadilah ionisasi dan dari hasil ionisasi akan timbul elektron bermuatan negatif (-) dan ion bermuatan positif (+), karena terdapat beda potensial tegangan antara anoda dan katoda maka muatan positif akan

bergerak ke arah dinding tabung (katoda) dengan kecepatan yang relatif lebih kecil bila

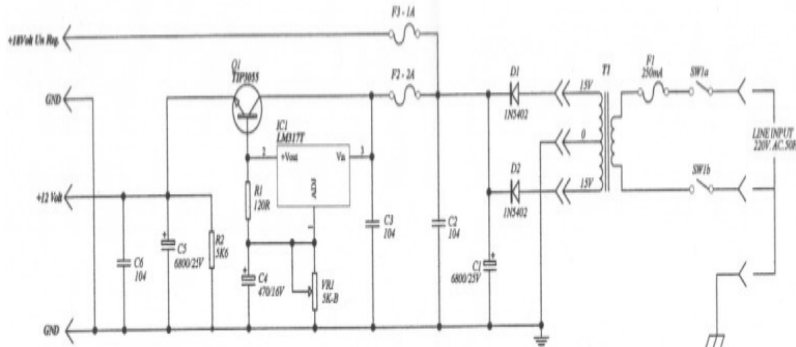


Gambar 1. Blok diagram sistem monitor radiasi model : SMR-PI.1101

dibandingkan dengan elektron yang bergerak menuju ke arah anoda dengan cepat. Kecepatan gerak elektron-ion bergantung pada besarnya tegangan tinggi DC terpasang, sedangkan besarnya tenaga yang diperlukan untuk pembentukan elektron-ion tergantung pada macam gas isian yang digunakan. Pada output anoda detektor GM akan keluar pulsa listrik dan selanjutnya pulsa tersebut dikuatkan dan dibalik pulsanya menggunakan rangkaian GM *inverter*, kemudian pada rangkaian *logic shaping* pulsanya akan diubah menjadi pulsa kotak dengan polaritas positif, pulsa kotak tersebut dimasukkan ke rangkaian pencacah mikrokontroler AT89S53 dan hasil cacahan radiasi akan ditampilkan pada *display LED seven segment* 4 digit dalam satuan mR/h. Pada pencacah mikrokontroler pulsa yang ditangkap oleh detektor tersebut akan dicacah berapa jumlah pulsa radiasinya persatuan waktu dan pada mikrokontroler satuan cacah radiasi sudah dikonversikan dalam mR/h.

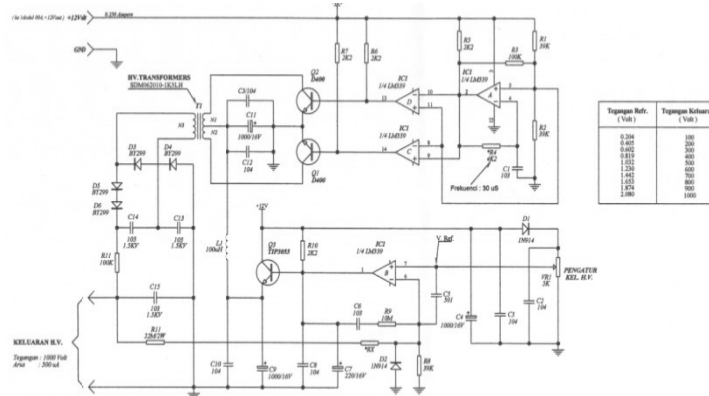
Rangkaian Elektronik Yang Digunakan :

1. Rangkaian penyedia daya tegangan rendah +12V DC disajikan pada Gambar 2.



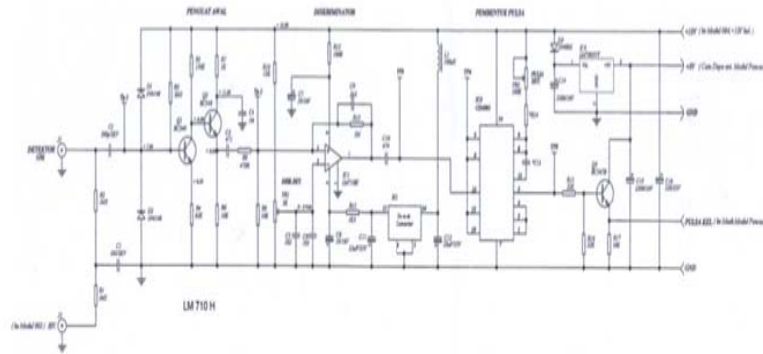
Gambar 2. Penyedia daya tegangan rendah +12V DC

2. Rangkaian penyedia daya tegangan tinggi 1000V DC disajikan pada Gambar 3.



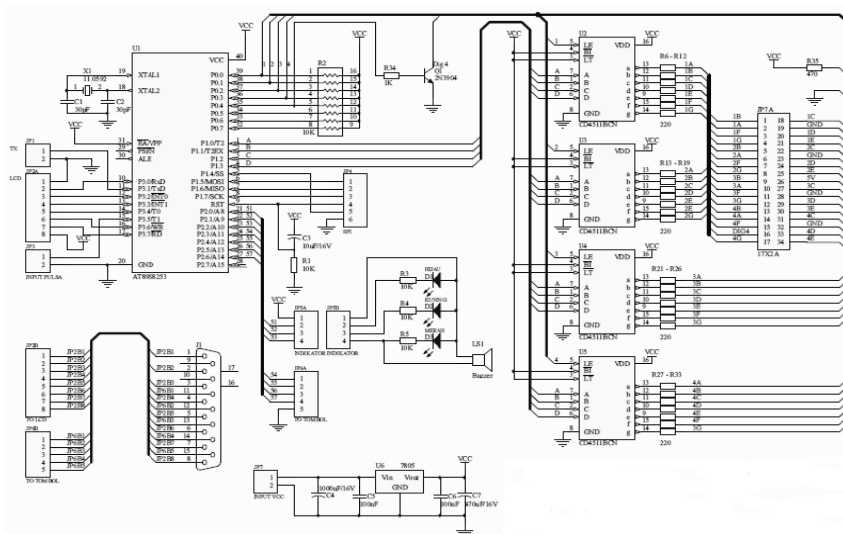
Gambar 3. Penyedia daya tegangan tinggi 1000 V DC [3]

Rangkaian penguat awal, diskriminator dan pembentuk pulsa disajikan pada Gambar 4.



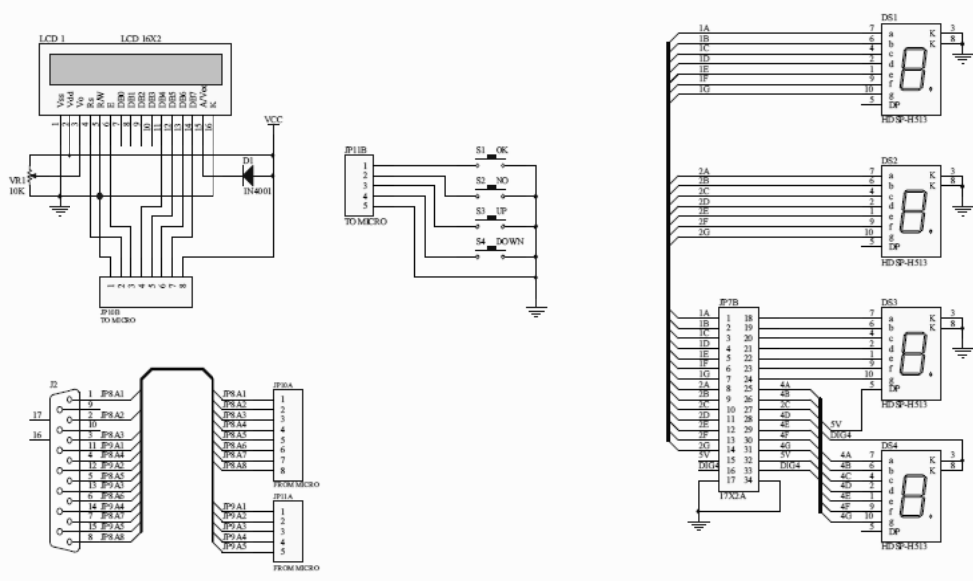
Gambar 4. Penguat awal dan pembentuk pulsa [5]

Rangkaian counter sistem monitor radiasi digital disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Counter sistem monitor radiasi digital

Rangkaian *display* sistem monitor radiasi digital disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. *Display* sistem monitor radiasi digital

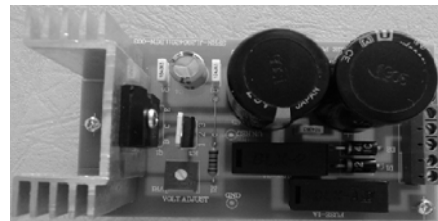
TATA KERJA

Kegiatan yang dilakukan meliputi pembuatan dan pengujian perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras meliputi sub sistem elektronik dan chasis alat, sedangkan pembuatan perangkat lunak berupa program pencacahan. kemudian diteruskan dengan instalasi/ integrasi seluruh sistem elektronik. Pembuatan program pencacahan menggunakan paket program *BASCOM (Basic Compiler)*. Pada pengujian seluruh sistem dilakukan uji linieritas pencacahan dan uji stabilitas pencacahan dengan metode *chi square test* menggunakan sumber radiasi standar Sr-90.

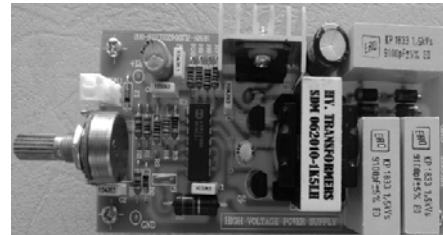
Alat / Bahan Yang Digunakan :

1. Pulse Generator Model GL-3
2. Oscilloscope Textronic 2221A,100 MHz .
3. Digital Multimeter Sanwa PC-510
4. Multimeter Sanwa Cx-506a
5. Digital Storage Oscilloscopes TDS-2000C.
6. Tes beban High Voltage.
7. Soldering/Desoldering Iron Weller
8. Sumber radiasi standar Sr-90

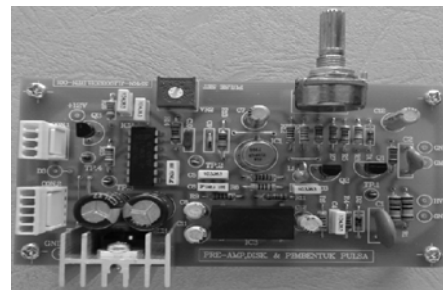
Card Modul sistem elektronik yang dibuat disajikan pada Gambar 7 – 15



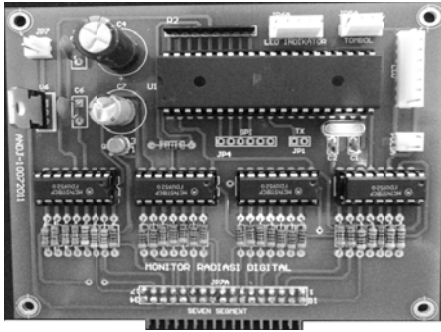
Gambar 7. Penyedia daya tegangan rendah +12V



Gambar 8. Penyedia daya tegangan tinggi 1000 V/ 1mA



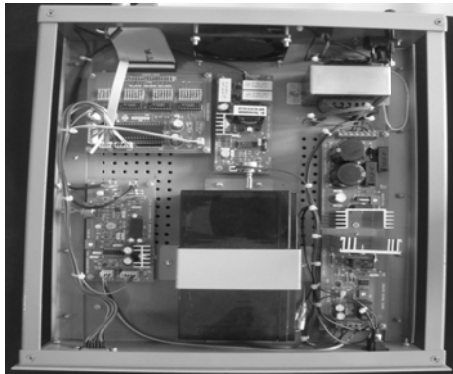
Gambar 9. Penguat awal dan pembentuk pulsa



Gambar 10. Counter/timer berbasis mikrokontroler



Gambar 11. Display LED 7 segment 4 digit



Gambar 12. Tata letak card PCB sistem monitor radiasi



Gambar 13. Sistem elektronik SMR tampak depan



Gambar 14. Sistem elektronik SMR tampak belakang



Gambar 15. Display penampil Sistem Monitor Radiasi

HASIL PENGUJIAN

1. Pengujian Catu Daya Tegangan Rendah

Tabel 1. Data hasil pengujian tegangan tanpa beban

No	Catu daya yang diukur	Catu daya terukur	Tegangan ripple tanpa beban
1	+12V(±0,25V)	+12,06V	5mV
2	+5V(±0,25V)	+ 4,95V	5mV

Tabel 2. Hasil pengujian tegangan dengan beban

No	Teg. Tanpa beban	Arus beban	Teg. beban	Teg. ripple	Faktor regulasi
1	+12,06V	200 mA	+12,0V	15mV	0,5%
2	+ 4,95V	150 mA	+4,9V	15mV	1,0%

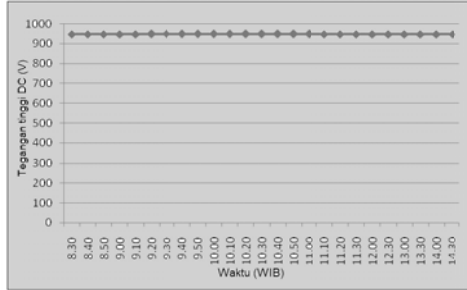
2. Pengujian Catu Daya Tegangan Tinggi 1000 V

Tabel 3. Data hasil pengujian tegangan tinggi DC

No	Bagian yang diuji	Diharapkan	Terukur
1	Frekuensi osilator	3 – 35 kHz	27,77 kHz
2	Rentang tegangan keluaran	0 – 1000V	0 – 1000V
3	Teg. keluaran tanpa beban	950V	950V
4	Teg. keluaran dengan beban	940V - 950V	948V
5	Faktor regulasi	≤ 0,5 %	0,2%
6	Kemampuan arus beban maksimum	300 μA	300 μA
7	Tegangan ripple	≤ 50mV	40mV
8	Stabilitas tegangan	95 – 100 %	99,8 %

Uji Stabilitas Catu Daya Tegangan Tinggi

Keluaran tegangan tinggi diset pada 950 V selanjutnya diuji stabilitas tegangannya mulai pukul 08.00 sampai pukul 14.30 secara terus menerus. Hasil pengujian langsung disajikan bentuk grafik Gambar 16.



Gambar 16. Grafik stabilitas tegangan tinggi DC

3. Pengujian Penguat Awal dan Pembentuk Pulsa

Tabel 4. Data hasil pengujian pembentuk pulsa

No	Bagian yang diuji	Hasil yang diharapkan	Hasil pengukuran
1	Bentuk pulsa masukan	Pulsa negatif	Pulsa negatif
2	Bentuk pulsa keluaran	Pulsa kotak positif	Pulsa kotak positif
3	Lebar pulsa keluaran	≤ 100 μS	25 μS
4	Tinggi pulsa keluaran	2,8–5,0 V	4,0 V
5	Tegangan noise	≤ 20 mV	20 mV
6	Respon frekuensi	≥ 12 kHz	14 kHz

4. Pengujian Pencacahan

Uji stabilitas pencacahan (chi square test = χ^2)^[2]

Sumber radiasi Sr-90 ; Jarak dari sumber 5 cm
Aktivitas sumber 1 mRad/h ; Waktu cacah 5 detik

Data hasil pencacahan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data hasil pengujian stabilitas pencacahan

No.	Cacah (x_i)	$(\bar{x}_i - x_i)^2$
1	1206	48.30
2	1219	36.60
3	1147	4,349.40
4	1188	622.50
5	1233	402.00
6	1222	81.90
7	1208	24.50
8	1239	678.60
9	1208	24.50
10	1176	1,365.30
11	1182	957.90
12	1233	402.00
13	1182	957.90
14	1201	142.80
15	1254	1,685.10
16	1247	1,159.40
17	1245	1,027.20
18	1225	145.20
19	1223	101.00
20	1221	64.80

$$\sum x_i = 24259$$

$$\bar{x} = 211.95$$

$$\sum (x_i - \bar{x})^2 / \bar{x} = 14276.95 / 211.95 = 67.39$$

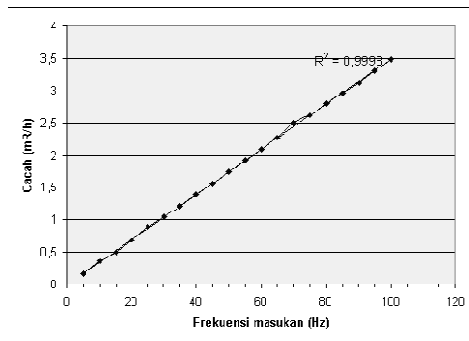
$$\chi^2 = 67.39$$

$$7.66 \leq \chi^2 \leq 36.191$$

Tabel 6. Data hasil pengujian linieritas pencacahan

No	Pulsa input (Hz)	Cacah (mR/h)	No	Pulsa input (Hz)	Cacah (mR/h)
1	5	0,162	11	55	1,920
2	10	0,363	12	60	2,097
3	15	0,508	13	65	2,275
4	20	0,682	14	70	2,499
5	25	0,889	15	75	2,614
6	30	1,044	16	80	2,796
7	35	1,219	17	85	2,957
8	40	1,392	18	90	3,125
9	45	1,566	19	95	3,300
10	50	1,738	20	100	3,483

Dari hasil pengujian Tabel 6 kemudian disajikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 17.



Gambar 17. Grafik linieritas pencacahan

5. Pengujian sistem indikator/warning.

Tabel 7. Data hasil pengujian sistem indikator

No	Frekuensi masukan	Cacah mR/h	Lampu Indikator	Keterangan
1	0 – 59,5 Hz	0 - < 2mR/h	hijau nyala	Daerah aman
2	60,5 – 70,5 Hz	2 - < 2,5mR/h	kuning nyala	Waspada
3	≥ 70,55 Hz	≥ 2,5mR/h	merah nyala	Bahaya

PEMBAHASAN

Dari Tabel 2 data hasil pengujian penyedia daya tegangan rendah DC dengan beban sistem elektronik yang akan dipakai didapatkan faktor regulasi 0,5% dan 1%, harga ini masih < 5% jadi kemampuan arus beban cukup baik. Penyedia daya tegangan tinggi DC telah diuji stabilitasnya, keluarannya diset pada tegangan 950 Volt. Pengujian dimulai pada jam. 08.00 dan berakhir sampai jam 14.30 secara terus menerus. Dari hasil pengujian (Gambar 16) terukur tegangan terendah 948 V, maka faktor regulasi (FR) adalah : $FR = (V_{nL} - V_L) / V_{nL} \times 100\%$
 $= (950 V - 948 V) / 950 V \times 100\% = 0,2\%$.

Harga tersebut sudah masuk dalam rentang harga FR yang ditentukan yaitu $FR \leq 0,5\%$ [4]. Untuk pengujian arus beban maksimum dilakukan dengan memberi beban berupa tahanan murni dengan nilai $1000 V / 300 \mu A = 3,333 M\Omega$ dan ternyata pada harga beban tersebut tegangan tinggi belum drop, masih stabil 1000 V dan apabila arus beban dinaikkan maka tegangan tinggi mulai drop, berarti kemampuan arus beban maksimum 300 μA .

Pada Tabel 4 data hasil pengujian rangkaian pembentuk pulsa dilakukan dengan menggunakan masukan dari *Pulse Generator*, dan hasilnya keluar pulsa kotak dengan tinggi pulsa 4 V, lebar pulsa 25 μS , tegangan *noise* 20 mV, di samping itu rangkaian pembentuk pulsa tersebut juga mempunyai jangkauan frekuensi masukan yang cukup baik 14 kHz.

Dari Tabel 5 pengujian stabilitas pencacahan didapatkan nilai *chi square test* 11,77, dengan demikian nilai chi square memenuhi syarat sesuai dengan ketentuan, yaitu berada diantara $7,66 \leq \chi^2 \leq 36,191$ sehingga dapat disimpulkan bahwa alat yang dibuat memiliki tingkat kestabilan yang baik.

Dari Gambar 17 grafik hasil pengujian linieritas pencacahan diperoleh harga linieritas pencacahan $R^2 = 0,9998$ harga ini cukup baik karena harga R^2 mendekati 1.

Dari Tabel 6 hasil pengujian sistem indikator *warning* diperoleh data, lampu hijau akan menyala apabila paparan radiasi gamma pada harga $0 - < 2mR/h$ berarti paparan radiasi berada pada keadaan aman, sedangkan indikator lampu kuning akan menyala apabila paparan radiasi pada harga $2 - < 2,5mR/h$ berarti paparan radiasi berada pada keadaan waspada, sedangkan indikator lampu merah akan menyala apabila paparan radiasi pada harga $\geq 2,5mR/h$ yang berarti paparan radiasi dalam kondisi bahaya dan tanda suara *alarm* akan berbunyi sehingga perlu diadakan penanganan lebih lanjut.

KESIMPULAN

Dari data hasil pengujian dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penyedia daya tegangan tinggi DC yang dibuat sudah berfungsi dengan baik yaitu mempunyai harga stabilitas tegangan tinggi 99 %, regulasi tegangan 0,2 %, tegangan *ripple* 40 mV dan kemampuan arus beban maksimum 300 μA .
2. Keluaran rangkaian pembentuk pulsa berupa pulsa kotak dengan tinggi pulsa 4V, lebar pulsa 25 μS , tegangan *noise* 20 mV, dan mempunyai jangkauan frekuensi masukan cukup lebar sampai 14 kHz.
3. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa bahwa alat sistem monitor radiasi tipe : SMR-PI.1101 yang dibuat mempunyai linieritas pencacahan dan stabilitas pencacahan cukup baik dan telah memenuhi syarat untuk digunakan sebagai alat monitor radiasi beta dan gamma.

DAFTAR PUSTAKA :

1. WIRANTO, DKK (2004), Diktat Aplikasi Mikrokontroler dalam Instrumentasi Nuklir”, Pusdiklat –BATAN, Jakarta
2. IAEA – TECDOC 317 (1984), Quality Control of Nuclear Medicine Instruments, VIENNA, AUSTRIA.
3. TECHNICAL ASSOCIATEDS (1988), DC High Voltage Power Supply Model A4-600, USA.
4. ORTEC (1991), Operating and Service Manual of High Voltage DC Power Supply, USA.

5. **TECHNICAL ASSOCIATEDS** (1988), Gamma Counter Circuit Model A4-602, USA.
6. **JUMARI, DKK** (2012) "Pembuatan Beta Gamma Monitor Radiasi MR-11 menggunakan detektor GM LND-714" Prosiding PPI – PDIPTN, PTAPB – BATAN, Yogyakarta.

Syarip

- Apakah bisa dikembangkan menjadi surveymeter portable?
- Sebaiknya pada daftar pustaka dilengkapi dengan pustaka yang terkait dengan hasil litbang sejenis yang pernah dilakukan di PSTA

Jumari

- *Sistem monitor radiasi tersebut bisa dikembangkan menjadi surveymeter yang portable dan*

*sebetulnya saat ini sudah mulai dikembangkan pembuatan rancangbangun surveymeter small size dengan teknologi SMD dan detektor GM small size*Type equation here.

- *Terima kasih masukannya daftar pustaka akan dilengkapi dengan pustaka yang terkait dengan hasil litbang tersebut.*

M. Subekti

- Apakah sistem monitoring radiasi sudah pernah diuji dalam waktu yang panjang, mengingat potensi penggunaan sampai orde tahunan

Jumari

- *Sistem monitoring radiasi yang dibuat belum pernah diuji dalam waktu yang lama, baru diuji stabilitasnya selama 3 hari (24 jam). Memang sebaiknya harus diuji secara terus menerus untuk mengetahui tingkat keandalannya*