

Pengujian Modul Monitor Radiasi Pada Sistem Pemantauan Pengangkutan Zat Radioaktif

Adi Abimanyu¹

Abstract— Radiation monitor system or widely known as surveymeter has been widely used to monitor the rate of radiation exposure by utilizing detector to detect radiation pulses generated by radioactive substances. This study focused on testing the radiation monitor module used in the system of monitoring the transport of radioactive substances. The stability of the module was tested by chi square test with a standard source of Cs-137 performed a total of 20 data measurement range test instrument is done by providing a standard pulse from the pulse generator with a frequency of 1 to 327 kHz frequency as a substitute source of radiation and cps conversion factor to mR / h is done by comparing the results of measurements with standard tools. From the results of this study, the value of testing the stability of the background count 15.54 and the count value with 19.76 sources and within the range of $11,7 \leq x^2 \leq 27,2$ So this system is acceptable and has been functioning properly. While the conversion factor cps to mR / hr is 0.058 mR / jam.cps so the range radiation module is 0.058 mR / hr up to 18.98960 R / hour.

Keywords— Radiation, monitor, conversion factors, chi square test

Intisari— Sistem monitor radiasi atau yang banyak dikenal sebagai surveymeter telah banyak digunakan untuk memonitor laju paparan radiasi dengan memanfaatkan detektor untuk mendeteksi pulsa radiasi yang dihasilkan oleh zat radioaktif. Penelitian ini difokuskan pada pengujian modul monitor radiasi yang digunakan pada sistem pemantau pengangkutan zat radioaktif. Kestabilan modul diuji dengan chi square test dengan sumber standar Cs-137 dilakukan sebanyak 20 data, pengujian jangkauan pengukuran alat dilakukan dengan cara memberikan pulsa standar dari pembangkit pulsa dengan frekuensi dari 1 sampai dengan frekuensi 327 kHz sebagai pengganti sumber radiasi dan faktor konversi cps ke mR/jam dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dengan alat standar. Dari hasil pengujian penelitian ini didapatkan harga stabilitas cacah latar 15,54 dan cacah dengan sumber 19,76 serta berada dalam rentang $11,7 \leq x^2 \leq 27,2$ Sehingga sistem ini dapat diterima dan telah berfungsi dengan baik. Sedangkan faktor konversi cps ke mR/jam adalah 0,058 mR/jam.cps sehingga jangkauan pengukuran radiasi modul monitor radiasi ini adalah 0,058 mR/jam sampai dengan 18,98960 R/jam.

Kata Kunci— Radiasi, monitor, faktor konversi, chi square test.

I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan zat radioaktif saat ini telah meliputi berbagai macam bidang seperti bidang kedokteran (radiologi), pertanian (mutasi genetik pengembangan bibit unggul), industri (pengujian kualitas las) dan lain sebagainya. Hal ini

mengakibatkan permintaan akan zat radioaktif semakin bertambah sehingga produksi zat tersebut juga semakin meningkat. Zat radioaktif didefinisikan sebagai zat yang mengandung inti atom tidak stabil, atau setiap zat yang memancarkan radiasi dengan aktivitas jenis lebih besar dari 70kBq/kg [1].

Oleh karena lokasi penggunaan zat radioaktif secara geografis sangat bervariasi maka dibutuhkan transportasi zat dari lokasi produksi sampai dengan lokasi pemanfaatannya. Aspek keselamatan dan keamanan zat radioaktif dari pengirim sampai dengan penerima merupakan hal yang harus dijamin supaya tidak membahayakan manusia, karena radiasi dari zat radioaktif tidak dapat dirasakan secara langsung oleh indera manusia maka diperlukan suatu detektor untuk memonitor laju paparan radiasi. pada kendaraan pengangkut saat zat radioaktif tersebut dipindahkan.

Penelitian dalam bidang sistem monitor radiasi sudah cukup banyak dilakukan, baik dalam bidang rancang bangun maupun pengembangan sistem monitor radiasi. Nugroho, et al. telah melakukan rancang bangun sistem pencacah radiasi menggunakan mikrokontroler jenis AT89C52[2]. Namun informasi yang ditampilkan dalam sistem pencacah tersebut masih dalam satuan cacah tiap detik. Adi Abimanyu, et al. telah melakukan rancang bangun pencacah pada sistem GPS Surveymeter menggunakan mikrokontroler AT89S8253 dimana data disimpan dalam EEPROM internal dan informasi laju paparan radiasi sudah dalam satuan milliRongent/ jam [3]. Jumari, et al. juga melakukan pembuatan sistem pemantau radiasi menggunakan mikrokontroler AT89S52, memiliki kemampuan berkomunikasi dengan komputer secara serial melalui port standar RS-232 [4].

Sistem monitor laju paparan radiasi yang telah dibuat oleh Nugroho, Jumari dan Adi Abimanyu tidak dapat langsung diaplikasikan pada pemantauan pengangkutan zat radioaktif yang membutuhkan jangkauan pengukuran cukup besar dan kemampuan mengirimkan informasi laju paparan radiasi secara realtime ke ruang kendali serta pengkalibrasian sistem secara langsung tanpa merubah program. Beberapa modifikasi dilakukan pada bagian jangkauan pengukuran, sistem komunikasi dan kalibrasi. Jadi selain memiliki kemampuan mengukur laju paparan radiasi dengan jangkauan pengukuran yang cukup besar, dapat dikalibrasi tanpa merubah program, modul monitor radiasi dalam penelitian ini juga mendukung pengiriman informasi laju paparan radiasi secara real-time ke supervisor di ruang kendali melalui media SMS dengan menggunakan modem GSM.

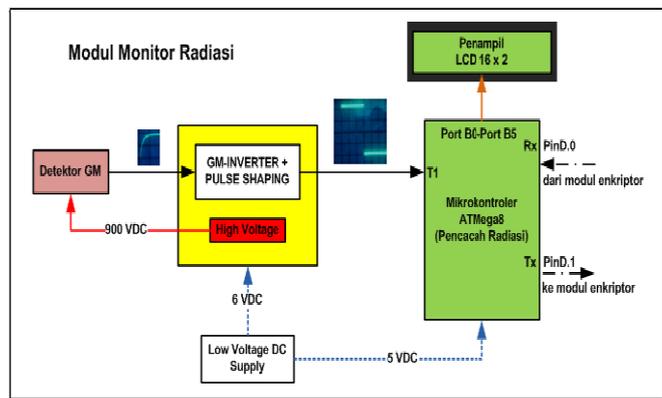
II. SISTEM MONITOR RADIASI

Sistem monitor radiasi adalah suatu sistem yang digunakan untuk memonitor laju paparan radiasi [5] atau biasa dikenal dengan nama surveymeter. Seorang pekerja radiasi dapat memperkirakan jumlah dosis radiasi yang diterima jika akan

¹Peneliti, PTAPB-BATAN Jl.Babarsari Kotak Pos 6101 Ykbb, Yogyakarta 55281 Telp. (62)(0274) 488435, 484436 Fax: 0274-489762; e-mail: abimanyu.adi@batan.go.id

bekerja di suatu lokasi selama waktu tertentu dengan menggunakan surveymeter. Pada umumnya survey-meter terdiri atas detektor dan peralatan pemroses. Hasil pengukuran surveymeter dinyatakan dalam satuan misalnya mR/jam.

Modul monitor radiasi yang akan diuji terdiri dari detektor Geiger Muller (GM), modul tegangan tinggi dan pengkondisi sinyal, mikrokontroler sebagai pengolah sinyal, LCD sebagai penampil dan pin Tx-Rx mikrokontroler untuk berkomunikasi. Blok diagram sistem monitor radiasi ditunjukkan pada Gbr. 1.



Gbr. 1 Blok diagram modul monitor radiasi

Detektor GM berfungsi sebagai sensor radiasi β dan γ . Untuk dapat bekerja detektor GM yang digunakan bekerja pada tegangan 900VDC dari catu daya tegangan tinggi. Output detektor GM berupa pulsa negatif kemudian masuk ke bagian GM-Inverter dan pulse shaping untuk diolah menjadi pulsa kotak sebagai input mikrokontroler. Oleh mikrokontroler pulsa tersebut dihitung setiap satu detik kemudian hasilnya dikonversi dalam satuan mR/jam dan ditampilkan pada penampil LCD.

III. MIKROKONTROLER

Mikrokontroler merupakan suatu alat elektronika digital yang seluruh atau sebagian besar elemennya dikemas dalam satu chip IC. Mikrokontroler biasa digunakan untuk mengendalikan peralatan elektronik, yang menekankan efisiensi. Secara harfiahnya dapat disebut "pengendali kecil" dimana sebuah sistem elektronik yang sebelumnya banyak memerlukan komponen-komponen pendukung seperti IC, TTL dan CMOS dapat direduksi/diperkecil dan akhirnya terpusat serta dikendalikan oleh mikro-kontroler [6].

Pada penelitian ini digunakan mikrokontroler ATmega8 yang merupakan keluarga AVR dengan kemampuan sebagai berikut[7]:

- a. Program memori internal 8 kbytes
- b. 23 Programmable I/O lines
- c. Sebuah port serial
- d. Sumber Interupsi Eksternal dan Internal
- e. Tiga buah timer/counter
- f. Tegangan operasi 4 sampai 5,5 Volt.

IV. CHI SQUARE TEST

Pengukuran besaran fisis yang bersifat acak secara berulang akan menghasilkan nilai yang berubah-ubah, contohnya pengukuran besaran intensitas radiasi. Hal ini menimbulkan kesulitan untuk mengetahui bahwa perbuahan hasil pengukuran tersebut dikarenakan sifat acak dari sumber radiasi yang diukur, bukan karena "anomali" alat ukur.

Chi Square Test adalah metode yang lazim digunakan untuk menguji apakah sekumpulan data mengikuti distribusi Gauss atau tidak [8]. Nilai Chi Square ditentukan dengan persamaan berikut:

Pengukuran besaran fisis yang bersifat acak secara berulang akan menghasilkan nilai yang berubah-ubah, contohnya pengukuran besaran intensitas radiasi. Hal ini menimbulkan kesulitan untuk mengetahui bahwa perbuahan hasil pengukuran tersebut dikarenakan sifat acak dari sumber radiasi yang diukur, bukan karena "anomali" alat ukur.

Chi Square Test adalah metode yang lazim digunakan untuk menguji apakah sekumpulan data mengikuti distribusi Gauss atau tidak [8]. Nilai Chi Square ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\chi^2 = \frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{\bar{X}} \tag{1}$$

Nilai χ^2 (Chi Square) dari hasil perhitungan kemudian dicocokkan dengan tabel Chi Square. Seberapa besar toleransi tidak ideal harus ditentukan oleh masing-masing keperluan atau laboratoriumnya, tetapi walaupun begitu, nilai yang banyak digunakan adalah nilai di dalam rentang χ^2 0,90 dan χ^2 0,10. Apabila data hasil pengukuran intensitas radiasi tidak memenuhi kriteria di atas maka kumpulan data tersebut tidak mengikuti distribusi Gauss, atau dengan kata lain terdapat kesalahan, mungkin di alat ukurnya atau di sumbernya sendiri. Tabel chi square ditunjukkan pada Gbr. 2.

Degrees of Freedom	Probability of a larger value of χ^2								
	0.99	0.95	0.90	0.75	0.50	0.25	0.10	0.05	0.01
1	0.000	0.004	0.016	0.102	0.455	1.32	2.71	3.84	6.63
2	0.020	0.103	0.211	0.575	1.386	2.77	4.61	5.99	9.21
3	0.115	0.352	0.584	1.212	2.366	4.11	6.25	7.81	11.34
4	0.297	0.711	1.064	1.923	3.357	5.39	7.78	9.49	13.28
5	0.554	1.145	1.610	2.675	4.351	6.63	9.24	11.07	15.09
6	0.872	1.635	2.204	3.455	5.348	7.84	10.64	12.59	16.81
7	1.239	2.167	2.833	4.255	6.346	9.04	12.02	14.07	18.48
8	1.647	2.733	3.490	5.071	7.344	10.22	13.36	15.51	20.09
9	2.088	3.325	4.168	5.899	8.343	11.39	14.68	16.92	21.67
10	2.558	3.940	4.865	6.737	9.342	12.55	15.99	18.31	23.21
11	3.053	4.575	5.578	7.584	10.341	13.70	17.28	19.68	24.72
12	3.571	5.226	6.304	8.438	11.340	14.85	18.55	21.03	26.22
13	4.107	5.892	7.042	9.299	12.340	15.98	19.81	22.36	27.69
14	4.660	6.571	7.790	10.165	13.339	17.12	21.06	23.68	29.14
15	5.229	7.261	8.547	11.037	14.339	18.25	22.31	25.00	30.58
16	5.812	7.962	9.312	11.912	15.338	19.37	23.54	26.30	32.00
17	6.408	8.672	10.085	12.792	16.338	20.49	24.77	27.59	33.41
18	7.015	9.390	10.865	13.675	17.338	21.60	25.99	28.87	34.80
19	7.633	10.117	11.651	14.562	18.338	22.72	27.20	30.14	36.19
20	8.260	10.851	12.443	15.452	19.337	23.83	28.41	31.41	37.57
22	9.542	12.338	14.041	17.240	21.337	26.04	30.81	33.92	40.29
24	10.856	13.848	15.659	19.037	23.337	28.24	33.20	36.42	42.98
26	12.198	15.379	17.292	20.843	25.336	30.43	35.56	38.89	45.64
28	13.565	16.928	18.939	22.657	27.336	32.62	37.92	41.34	48.28
30	14.953	18.493	20.599	24.478	29.336	34.80	40.26	43.77	50.89
40	22.164	26.509	29.051	33.660	39.335	45.62	51.80	55.76	63.69
50	27.707	34.764	37.689	42.942	49.335	56.33	63.17	67.50	76.15
60	37.485	43.188	46.459	52.294	59.335	66.98	74.40	79.08	88.38

Gbr. 2 Tabel Chi Square [9]

V. METODOLOGI

Penelitian ini bertujuan untuk menguji jangkauan pengukuran, kestabilan hasil rancang bangun modul monitor radiasi pada sistem pemantau pengangkutan zat radioaktif

menggunakan mikrokontroler ATmega8, menentukan faktor konversi untuk mengkalibrasi alat.

A. Pengujian kestabilan

Pengujian kestabilan modul dilakukan menggunakan input dari pulsa radiasi dari sumber standar Cs-137 yang dibaca detektor GM kemudian dihubungkan pada pin timer1 mikrokontroler. Pengambilan data dilakukan sebanyak 20 data kemudian dilakukan perhitungan chi square test. Alat ukur radiasi dikatakan baik apabila nilai chi square test berada dalam rentang nilai probabilitas 0,1 sampai 0,9 yang dapat dilihat pada Gbr. 2. Tabel chi square, yaitu 11,651 sampai dengan 27,20.

TABEL I
PENGUJIAN KESTABILAN PENCACAHAN

Cacah Latar			Cacah dengan Sumber Cs-137		
No.	Cacah (Xi)	(Xi - X) ²	No.	Cacah (Xi)	(Xi - X) ²
1	1	0,09	1	900	3.987,92
2	2	0,49	2	929	1.166,22
3	1	0,09	3	933	909,02
4	2	0,49	4	975	140,42
5	2	0,49	5	981	318,62
6	4	7,29	6	974	117,72
7	2	0,49	7	984	434,72
8	0	1,69	8	974	117,72
9	2	0,49	9	998	1.214,52
10	1	0,09	10	901	3.862,62
11	2	0,49	11	989	668,22
12	0	1,69	12	980	283,92
13	1	0,09	13	987	568,82
14	0	1,69	14	984	434,72
15	1	0,09	15	984	434,72
16	2	0,49	16	972	78,32
17	1	0,09	17	994	951,72
18	2	0,49	18	977	191,82
19	0	1,69	19	925	1.455,42
20	0	1,69	20	922	1.693,32

B. Pengujian jangkauan pengukuran

Sedangkan pengujian jangkauan pengukuran dilakukan dengan menggantikan pulsa radiasi dari detektor dengan pembangkit pulsa yang dihubungkan secara langsung pada pin timer1 mikrokontroler. Hal ini dilakukan dengan alasan pulsa radiasi keluaran modul pembentuk pulsa yang diterima oleh modul monitor radiasi identik dengan pulsa dari pembangkit

pulsa selain itu alasan keselamatan karena jika menggunakan sumber radiasi akan menimbulkan potensi terpapar radiasi yang cukup besar.

C. Penentuan faktor konversi cps ke mR/jam

Penentuan faktor konversi dilakukan dengan membandingkan nilai hasil pengukuran dari modul monitor radiasi (cps) dengan alat ukur radiasi standar (mR/jam) pada penelitian ini digunakan surveymeter inspector 11306. Pengukuran dilakukan dengan jarak sumber terhadap detektor sejauh 2,5 cm menggunakan sumber Sr-90. Nilai hasil perbandingan inilah yang nantinya digunakan untuk mengkonversi dari satuan cps menjadi mR/jam sehingga alat siap dikalibrasi dengan alat standar.

D. Hasil dan Analisis

Dari hasil pengujian kestabilan yang dilakukan dengan *Chi Square Test* untuk 20 data didapatkan data seperti yang disajikan pada Tabel I. Untuk cacah latar

$$\sum x_i = 26; \bar{x} = 1,3; \sum (x_i - \bar{x})^2 = 20,2 \quad (2)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{\bar{x}} = \frac{20,2}{1,3} = 15,54 \quad (3)$$

Dan untuk cacah dengan sumber Cs-137

$$\sum x_i = 19263; \bar{x} = 963,15; \sum (x_i - \bar{x})^2 = 19030,55 \quad (4)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{\bar{x}} = \frac{19030,55}{963,15} = 19,76 \quad (5)$$

Nilai chi square (χ^2) untuk cacah latar dan cacah dengan sumber CS-137 adalah 15,54 dan 19,76 yang berada pada rentang $11,7 \leq \chi^2 \leq 27,2$.

Pada pengujian jangkauan pengukuran didapatkan hasil yang disajikan pada Tabel II

Pada Tabel II terlihat bahwasanya modul monitor radiasi ini mampu membaca pulsa radiasi yang disimulasikan menggunakan pembangkit pulsa standar dari frekuensi 1 Hz sampai dengan 327 kHz.

Penentuan faktor konversi cacah per sekon (cps) menjadi mR/jam disajikan pada Tabel III

Dari Tabel III kemudian dihitung faktor konversi dari cps ke mR/jam dengan cara sebagai berikut:

$$fk = \frac{a}{b} \quad (6)$$

dimana:

a = rata-rata laju paparan radiasi *surveymeter inspector 1106* (mR/jam)

b = rata-rata laju paparan radiasi modul monitor radiasi (cps)

Sehingga nilai fk didapatkan sebagai berikut:

$$fk = \frac{5,85 \frac{mR}{jam}}{100,7 (cps)} = 0,058 \frac{mR}{jam.cps} \quad (7)$$

TABEL II
PENGUJIAN JANGKAUAN PENGUKURAN

No	Frekuensi pembangkit pulsa (Hz)	Rata-rata frekuensi pembacaan modul monitor radiasi (Hz)
1	1	1
2	10	10
3	100	100
4	1k	1000
5	10k	10008
6	100k	100711
7	200k	200955
8	300k	300633
9	301k	301971
10	310k	307805
11	320k	321250
12	321k	321278
13	322k	322732
14	323k	323152
15	324k	324871
16	325k	325512
17	326k	326511
18	327k	327407

TABEL III
PENENTUAN FAKTOR KONVERSI

No	Modul monitor radiasi	Surveymeter inspector 11306
	laju paparan(cps)	laju paparan(mR/jam)
1	107	5,85
2	101	5,85
3	105	5,85
4	106	5,85
5	101	5,85
6	96	5,85
7	99	5,85
8	97	5,85
9	105	5,85
10	90	5,85
Rata-rata	100,7	5,85

Dari nilai fk tersebut dapat diketahui jangkauan pengukuran yaitu:

$$\begin{aligned} \text{minimal} &= 1 \text{ cps} \times 0,058 \frac{\text{mR}}{\text{jam.cps}} \\ &= 0,058 \text{ mR/jam} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{maksimal} &= 327407 \text{ cps} \times 0,058 \frac{\text{mR}}{\text{jam.cps}} \\ &= 18989,60 \text{ mR/jam} \end{aligned} \quad (9)$$

VI. KESIMPULAN

Modul monitor laju paparan radiasi yang dirancangkan untuk sistem pemantau pengangkutan zat radioaktif memiliki nilai chi square (χ^2) untuk cacah latar dan cacah dengan sumber Cs-137 adalah 15,54 dan 19,76 serta masih berada dalam rentang $11,7 \leq x^2 \leq 27,2$ Sehingga sistem ini dapat diterima dan telah berfungsi dengan baik karena berdasarkan Gbr. 2 tabel chi square nilai tersebut berada pada rentang probabilitas 0,1 sampai dengan 0,9. Ini berarti sistem layak digunakan untuk mengukur intensitas radiasi yang bersifat acak.

Modul monitor radiasi ini memiliki faktor konversi cps ke mR/jam sebesar 0,058. Jangkauan maksimal frekuensi pencacahan modul ini adalah 327kHz dengan jangkauan pengukuran dari 0,058 mR/jam sampai dengan 18,98960 R/jam.

REFERENSI

- [1] Undang Undang Ketenaganukliran No 10/1997 Tentang Ketenaganukliran Pasal 1 Ayat 9, 10, 1997.
- [2] N. Trisanyoto and J. Sunardi, "Rancang Bangun Simulasi Sistem Pencacah Radiasi," Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, 2008, pp. 149-156.
- [3] A. Abimanyu, "Rancang Bangun Pencacah Untuk GPS Survey Meter Menggunakan Mikrokontroler AT89S8253," Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir, Yogyakarta, 2009, pp. 1-9.
- [4] Jumari, Djuningran, Nurhidayat, and A. Abimanyu, "Pembuatan Sistem Pemantau Radiasi Ruang Tipe SMR - 08.," Seminar Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir, Yogyakarta, 2009.
- [5] A. Abimanyu and N. Supriyanto, "Sistem Monitor Laju Paparan Radiasi Pada Simulator PLTN," Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, Yogyakarta 2011.
- [6] A. Bejo, C & AVR Rahasia Kemudahan Bahasa C dalam Mikrokontroler ATMega8535, 1 ed. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2008.
- [7] Atmel. (2005, 25 April 2012). 8-Bit With 8K Bytes In-System Programmable Flash ATMega8, ATMega8L. Available: <http://www.atmel.com/images/doc2486.pdf>
- [8] H. Haditjahyono. (2006, 5 Maret 2013). Statistik Pencacahan radiasi. Available: http://www.batan.go.id/pusdiklat/elearning/Pengukuran_Radiasi/Statistik_05.htm
- [9] D. M. N. Covert. (1999, 2 Juli). Chi-Square Test for Goodness of Fit in a Plant Breeding Example. Available: <http://passel.unl.edu/Image/Namuth-CovertDeana956176274/chi-sqaure%20distribution%20table.PNG>.