

DIGITAL RATEMETER UNTUK PENGUKURAN PAPARAN GAMMA DENGAN TEKNIK DISKRIMINATOR BIAS MODULATION

Setyadi WS, Dewita

Puslitbang Teknologi Maju --BATAN

ABSTRAK

DIGITAL RATEMETER UNTUK PENGUKURAN PAPARAN GAMMA DENGAN TEKNIK DISKRIMINATOR BIAS MODULATION. Salah satu prasyarat beroperasinya fasilitas akselerator adalah dipenuhinya aspek keselamatan, yaitu dengan pemantauan dosis paparan radiasi pada daerah kerja khususnya radiasi γ . Salah satu teknik pengukuran laju dosis radiasi gamma yaitu metode Discriminator Bias Modulation (DBM). Metode DBM adalah suatu cara untuk mengkonversi spektrum tinggi pulsa keluaran detektor NaI(Tl) menjadi laju dosis. Pada makalah ini dibahas pembuatan rate meter digital berbasis IC mikrokontroler untuk pengukuran laju dosis radiasi gamma dengan metode DBM. Perangkat keras menggunakan mikrokontroler AT89C51 ditampilkan pada LCD (Liquid Crystal Display) dua larik dalam satuan mRontgen/Jam. Dari hasil pengujian, didapatkan faktor kalibrasi DBM sebesar 0,01 mR/Jam/detik. Pada uji linieritas untuk pengujian statis dengan masukan dari Pulse Generator, didapat linieritas alat = r^2 sebesar 0,9998 dan 0,9995. Pada uji linieritas untuk pengujian dinamis dengan memakai sumber radiasi Cs-137 dan Eu-152 sebagai masukan, didapat r^2 sebesar 0,9975, 0,997 dan 0,9999. Hasil pengujian analisa Chi-square menunjukkan bahwa χ^2 hitung < χ^2 tabel untuk setiap tabel yang diuji. Nilai χ^2 hitung yang diperoleh adalah 4,126, 0,097, 0,041, dan 0,111. Hasil ini membuktikan bahwa rate meter digital yang dibuat mampu bekerja dengan baik.

ABSTRACT

DIGITAL RATEMETER FOR GAMMA DOSE RATE MEASUREMENT USING DISCRIMINATOR BIAS MODULATION (DBM). One of condition in accelerator operation is safety as first considering, such as expose dose rate in working area, especially gamma radiation. Discriminator Bias Modulation (DBM) convert spectrum to dose rate of gamma ray using NaI(Tl) detector. This paper describes construction of digital rate meter using micro controller AT89C51 displayed on Liquid Crystal Display (LCD) in mRontgen/Hour unit. Test result showed, 0.01 mR/H/Sec as calibration factor of DBM, and static linearity in order of r^2 0.9998 and 0.9995, where r^2 is linearity. Dynamic test using Cs-137 and Eu-152 radioactive standards source result showed r^2 = 0.9975, 0.997 and 0.9999. Chi-square analysis showed that χ^2 experiment < χ^2 table and χ^2 experiment result were 4.126, 0.097, 0.041, and 0.111. This result showed that the digital rate meter working properly.

PENDAHULUAN

Filosofi keselamatan radiasi adalah usaha melindungi seseorang, keturunan dan anggota masyarakat terhadap kemungkinan terjadinya akibat biologi yang merugikan dari radiasi, hal ini dikuatkan secara legal dengan peraturan pemerintah yaitu SK Kepala Bapeten No. 01/Ka-Bapeten/V/99. Upaya nyata terhadap aspek keselamatan ini dilakukan dengan pembatasan dosis, yang ber-dasarkan pada asas justifikasi, yaitu beranggapan bahwa manfaat lebih besar dari resiko. Asas limitasi, dilakukan dengan menetapkan nilai batas dosis tertentu. Asas optimisasi, diterapkan dengan menitik beratkan kegiatan pemanfaatan

harus dirancang & dioperasikan secara aman (as low as reasonable/ ALARA)^[1].

Penerapan asas optimisasi pada akselerator harus memperhatikan beberapa hal antara lain; disain fasilitas akselerator, studi tapak maupun persyaratan ruangan. Pemantauan daerah kerja yaitu adanya prosedur kerja, sistim interlock, sistim peringatan, pemantauan radiasi dan kontaminasi, serta keselamatan umum. Pemantauan personil : pemantauan radiasi dan kontaminasi^[2].

Pada makalah ini dibahas konstruksi dan pengujian *rate meter digital* berbasis mikrokontroler pada sistem ukur laju dosis radiasi sinar- γ dengan metode *Discriminator Bias Modulation*

(DBM)^[3,4,5,6]. Digunakan mikrokontroler AT89C51 buatan Atmel. Hasil pengukuran paparan sinar- γ akan ditampilkan pada LCD 2 larik Hasil penelitian ini diharapkan akan memberikan inovasi terhadap sistem ukur laju dosis radiasi paparan radiasi sinar- γ yang telah ada khususnya di fasilitas akselerator. Diharapkan pula dapat memberi informasi tentang identifikasi besarnya paparan radiasi sinar- γ yang meliputi besaran kualitas laju dosis paparan dan mampu membedakan sumber paparan radiasi sinar- γ .

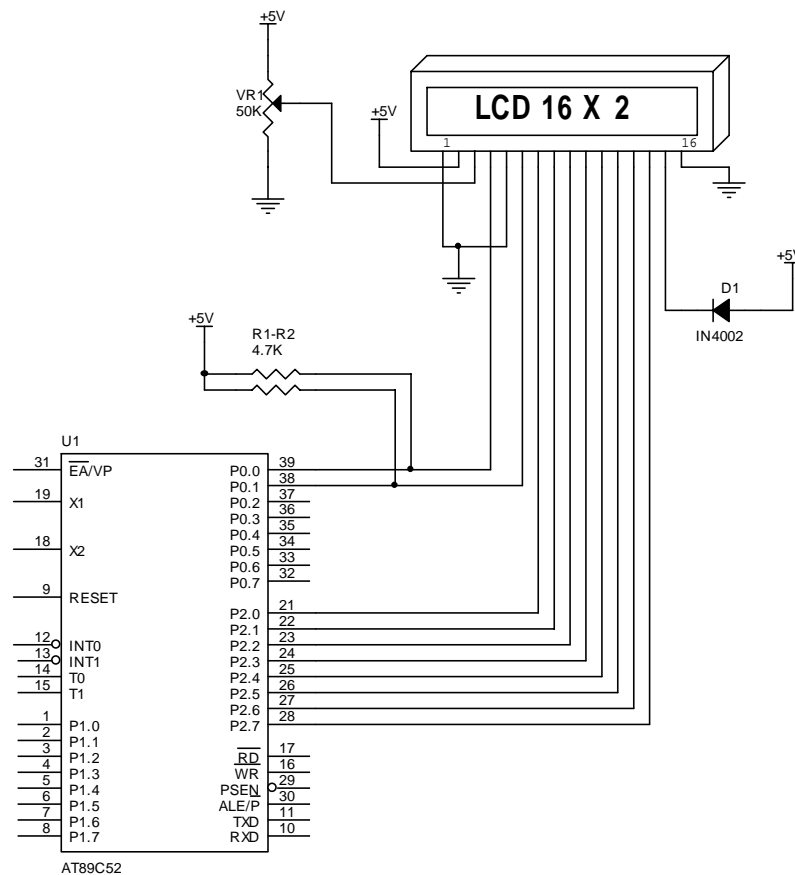
TATA KERJA

Prinsip kerja dari sistem adalah sebagai berikut; detektor NaI(Tl) mencacah radiasi kemudian mengirimkan pulsa yang diperkuat oleh pre-Amp dan Amp. Pulsa keluaran amplifier akan masuk pada modul DBM (*Discriminator Bias Modulation*) yang kemudian mengolah informasi

pulsa cacah per detik (cps) dan mengkonversinya menjadi besaran dosis^[7]. Pulsa yang dikeluarkan oleh DBM telah berbentuk pulsa digital dan mengandung informasi besarnya dosis radiasi. Pulsa tersebut masuk pada pin 12 (IE0) IC mikrokontroler AT89C51 kemudian akan dihitung dan diolah. Hasil dari pengolahan data ini ditampilkan dalam bentuk *display* LCD yang menyatakan besarnya dosis radiasi yang diukur. Selain itu IC mikrokontroler AT89C51 juga akan menyimpan hasil pengukuran sebanyak lima data pada RAM IC mikrokontroler AT89C51, setelah pengukuran yang kelima, data-data tersebut akan ditampilkan kembali pada LCD dua larik, kemudian dihapus.

Rancangan Perangkat Keras

Modul LCD berfungsi sebagai penampil informasi hasil *counting* sinyal keluaran DBM dan data hasil *counting* yang disimpan pada RAM (*Random Access Memory*) mikrokontroler.



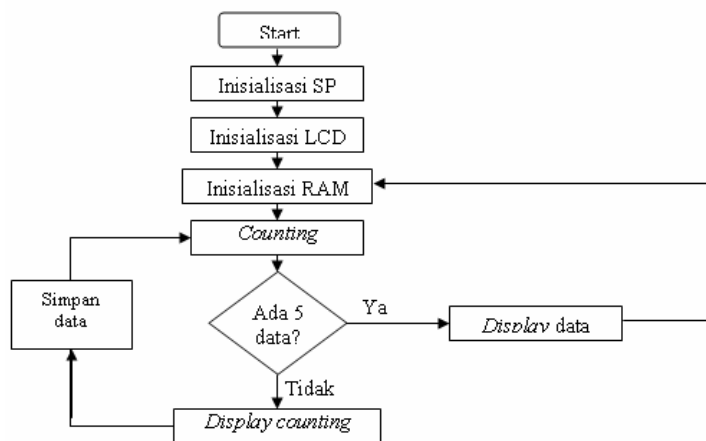
Gambar 1. Rangkaian digital ratemeter dengan penampil LCD.

Komunikasi mikrokontroler dengan LCD dilakukan melalui pin DB0-DB7 (port 2.0-2.7) dimulai dengan perintah untuk mengatur tata kerja LCD yang ditandai dengan pengiriman sinyal oleh mikrokontroler seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Pin RS mendapat sinyal rendah dari port 0.0, kemudian ketika pin LCDEN mendapat sinyal transisi tinggi ke rendah dari port 0.1 maka terjadi perintah untuk inialisasi LCD. Lalu data dikirim melalui pin DB0-DB7 menuju LCD. Proses pengiriman data tersebut dapat dilakukan dengan menghubungkan pin R/W ke ground yang menandakan bahwa LCD siap untuk menerima data. Pin RS mendapat sinyal tinggi dari port 0.0 dan pin LCDEN mendapat sinyal transisi rendah ke tinggi dari port 0.1 sehingga terjadi pengiriman data pada LCD^[8,9].

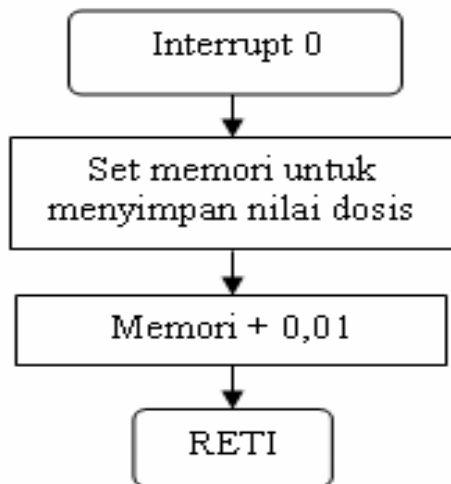
Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang dirancang pada penelitian ini merupakan salah satu faktor penting agar instrumen yang dibuat berfungsi dengan baik. Pembuatan perangkat lunak menggunakan HB2000 plus produksi Haline. Kode sumber ditulis menggunakan bahasa *assembly* yang kemudian disimpan pada *file* dengan ekstensi .h51 yang pada akhirnya akan diproses menjadi *file* biner dengan ekstensi .bin. *File* biner ini yang siap ditulis ke EPROM IC mikrokontroler dengan menggunakan *uploader*.

Diagram alir program yang dirancang disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Diagram alir Perangkat Lunak.



Gambar 3. Rutin layanan interupsi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui unjuk kerja sistem pengukur yang telah dibuat, dilakukan pengukuran dan pengujian pada rangkaian-rangkaian perangkat keras penyusun sistem. Pengujian dilakukan dengan beberapa cara, yaitu pengujian alat untuk mendapatkan faktor konversi, pengujian statis, pengujian dinamis dan pengujian penyimpanan data pada RAM IC mikrokontroler AT89C51.

Analisa data yang dilakukan yaitu uji linieritas pada hasil pengujian statis dan pengujian dinamis.

Pengujian Faktor Konversi

Pengujian ini dilakukan dengan cara memasukkan variasi frekuensi pulsa dari *pulse generator* PM5705 buatan Philips pada *log count meter* model

339 buatan JAERI. Kemudian hasilnya dilihat pada *frequency counter* yang berupa jumlah pulsa yang masuk. Data yang didapat disajikan pada Tabel 1.

Dari data pada Tabel 1, didapat faktor konversi yaitu rata-rata dari hasil bagi *display log*

count meter dengan data rata-rata, yang hasilnya sebesar $0,01 \pm 0,00008 \text{ mR/h/detik}$. Faktor konversi sebesar 0,01 ini kemudian dijadikan acuan dalam pembuatan perangkat lunak yang kemudian akan *dicompile* dan *didownload* ke mikrokontroler.

Tabel 1. Data perbandingan *display log count meter* dengan *frequency counter*.

<i>Display log count meter (mR/h)</i>	<i>Data frequency counter rata-rata</i>	<i>Display log count meter / data rata-rata</i>
0,1	10	0,01
0,5	49,6	0,010081
1	100,8	0,009921
5	498	0,01004
10	1001,2	0,009988
50	5004	0,009992
100	10002,2	0,009998

Pengujian Statis

Pengujian Ratemeter

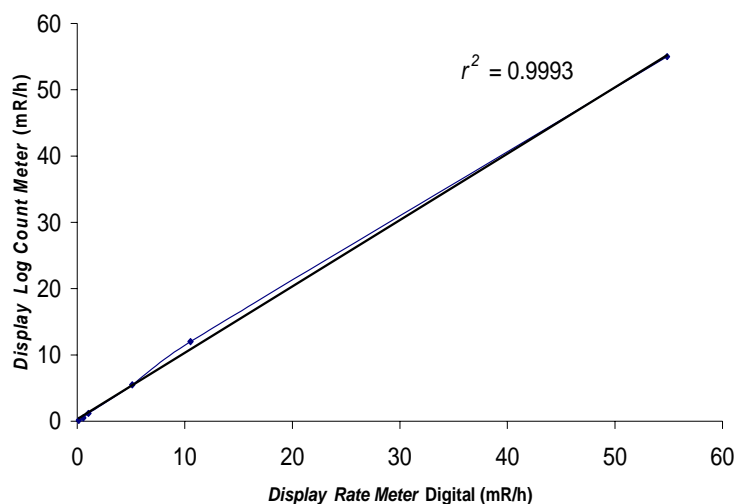
Pengujian ini dilaksanakan beberapa kali; pertama, pengujian pada *rate meter* digital IC mikrokontroler AT89C51 yang telah dibuat. Masukan frekuensi dari *pulser* divariasikan antara 10 – 9000 *Hz*. Hasil pengukuran dibandingkan dengan perhitungan teoritis. Data teoritis didapat dari

perkalian faktor konversi dikalikan frekuensi pulser disajikan pada persamaan (1)

Data teoritis:

$$0,01 \text{ mR/h/detik} \times \text{frekuensi pulser (Hz)} \quad (1)$$

Hasil pengujian seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil pengujian rate meter digital.

Gambar 4 menunjukkan bahwa terjadi perbedaan data *rate meter* digital dengan data teoritis. Selisih terbesar terjadi pada frekuensi 7000 Hz, sedangkan yang terkecil terjadi pada frekuensi 20 Hz. Hal ini disebabkan oleh adanya *ralat* pada besar pulsa masukan dari *pulse generator*. *Ralat* ini muncul akibat kurang presisinya penentuan besar frekuensi pulsa keluaran dari *pulse generator*.

Pengujian Sistim

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan modul DBM tipe 355c buatan JAERI, keluaran modul ini sebagai masukan digital rate meter yang dibuat dan Log Count Rate meter Modul tipe 339 buatan JAERI^[10,11]. Sedang masukan modul DBM Model 359 ini disimulasi

menggunakan sumber pulsa khusus instrumentasi nuklir Pulser BNC tipe BNC. Data-data berikut adalah komparasi hasil pengukuran *display rate meter* digital IC mikrokontroler AT89C51 dengan modul DBM model 355C buatan JAERI atas masukan pulsa dari *pulser* dengan variasi frekuensi 10-5000 Hz.

Tabel 2 menunjukkan bahwa ada perbedaan data *rate meter* digital dengan data *log count meter*. Jika dibandingkan dengan nilai teoritis, terlihat bahwa pada frekuensi 10 – 5000 Hz selisih data *rate meter* digital dengan nilai teoritis lebih kecil dibandingkan dengan selisih data *log count meter* dengan nilai teoritis. Hal ini membuktikan bahwa *rate meter* digital yang dirancang lebih akurat dibandingkan dengan *log count meter*.

Tabel 2. Data *display rate meter* digital, *display log count meter* dan perhitungan data empiris menggunakan *pulse generator*.

Frekuensi (Hz)	Display rate meter digital (mR/h)	Display log count meter (mR/h)	Data empiris (mR/h)
10	0,13	0,15	0,1
50	0,55	0,5	0,5
100	1,04	1,2	1
500	5,12	5,5	5
1000	10,53	12	10
5000	54,85	55	50

Pengujian Dinamis

Pengujian dilakukan pada keseluruhan sistem yaitu menggunakan detektor NaI(Tl) tipe S-88-I, modul DBM model 355C buatan JAERI dan *rate meter* digital IC mikrokontroler AT89C51. Pengujian dilakukan menggunakan sumber radiasi- γ , Cs-137 dan Eu-152, dengan memvariasikan jarak 5 – 25 cm. Selain itu dihitung data empiris untuk dibandingkan dengan data yang didapat. Nilai data empiris didapat dengan menggunakan rumus^[12]

$$Dosis = \Gamma \frac{A}{r^2} \tag{2}$$

dengan :

Γ = emisi jenis sinar gamma (faktor gamma);
 $Rm^2/Ci.h$

Cs-137 = 0,57572 $Rm^2/Ci.h$; Eu-152 = 0,74444 $Rm^2/Ci.h$; (www.iem-inc.com, 1999)

A = aktivitas saat pengukuran (Ci)

r = jarak pengukuran (m)

Data hasil pengukuran :

Sumber : Cs-137

Aktivitas : 30 μCi (1 Januari 1981) = 17,5 μCi (Juli 2004)

Tabel 3. Data display rate meter digital dengan data empiris menggunakan sumber Cs-137.

Jarak (cm)	Data empiris rata-rata (mR/h)	Nilai ralat empiris	Data rate meter digital rata-rata (mR/h)	Nilai ralat data
5	4,15053	2,07224	3,746	0,064
10	1,01005	0,21914	1,092	0,108
15	0,44680	0,06119	0,478	0,102
20	0,25091	0,02489	0,356	0,024
25	0,16047	0,01239	0,12	0,01

Dari Tabel 3 didapat bahwa data *rate meter* digital rata-rata masuk ke dalam rentang data empiris rata-rata \pm nilai ralatnya kecuali pada jarak pengukuran 20 cm dan 25 cm. Hal ini disebabkan oleh semakin jauh jarak sumber radiasi, maka

kemungkinan adanya sinyal *noise* atau cacah *background* yang muncul.

Sumber : Eu-152

Aktivitas : 370 kBq (1 Januari 1981) = 6,36 μ Ci (Juli 2004)

Tabel 4. Data display rate meter digital dengan data empiris menggunakan sumber Eu-152.

Jarak (cm)	Data empiris rata-rata (mR/h)	Nilai ralat empiris	Data rate meter digital rata-rata (mR/h)	Nilai ralat Data
5	1,79727	0,46948	2,036	0,024
10	0,44134	0,03217	0,41	0,06
15	0,19574	0,01470	0,244	0,136
20	0,11007	0,00831	0,12	0,07
25	0,07044	0,00532	0,066	0,014

Dari Tabel 4 didapat bahwa data *rate meter* digital rata-rata masuk ke dalam rentang data empiris rata-rata \pm nilai ralatnya kecuali pada jarak pengukuran 15 cm dan 20 cm. Hal ini disebabkan oleh adanya ralat ketika pengukuran, yaitu penempatan sumber yang tidak tepat dan adanya sinyal *noise* atau cacah *background* yang muncul.

Dari Tabel 5 didapat bahwa data *rate meter* digital rata-rata masuk ke dalam rentang data empiris rata-rata \pm nilai ralatnya kecuali pada jarak pengukuran 20 cm. Hal ini disebabkan oleh adanya ralat ketika pengukuran, yaitu penempatan sumber yang tidak tepat dan adanya sinyal *noise* atau cacah *background* yang muncul.

Menggunakan dua sumber Cs-137 dan Eu-152.

Tabel 5. Data display rate meter digital dengan data empiris menggunakan dua sumber, Cs-137 dan Eu-152.

Jarak (cm)	Data empiris rata-rata (mR/h)	Nilai ralat empiris	Data rate meter digital rata-rata (mR/h)	Nilai ralat data
5	5,94780	2,54172	5,238	0,182
10	1,45139	0,22556	1,348	0,162
15	0,64254	0,05049	0,606	0,084
20	0,36098	0,01529	0,402	0,028

25	0,23091	0,00599	0,224	0,026
----	---------	---------	-------	-------

Pengujian Penyimpanan Data Pada RAM IC Mikrokontroler AT89C51

Perangkat Lunak yang dibuat mempunyai kemampuan untuk menyimpan data hasil *counting*

pulsa yang telah ditampilkan di LCD sebanyak lima buah data. Uji yang dilakukan adalah membandingkan apakah data hasil *counting* sama dengan data yang disimpan. Data yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Tabel 6. Data perbandingan *display counting* dan *display penyimpanan data pada LCD*.

Counting ke-	Display counting	Display data
1	0,12	0,12
2	0,13	0,13
3	0,13	0,13
4	0,12	0,12
5	0,13	0,13

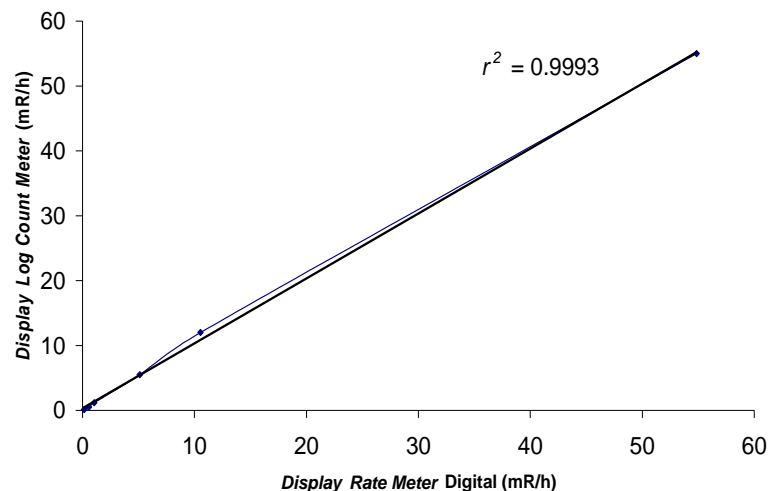
Data pada Tabel 6 menunjukkan bahwa *display data* yang disimpan pada RAM IC mikrokontroler AT89C51 sama dengan *display hasil counting rate meter digital*.

Dari Gambar 5 didapat r^2 sebesar 0,9998. Hasil tersebut menunjukkan bahwa r^2 grafik nilainya mendekati 1 ($r^2 \approx 1$). Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa sistem yang dibuat dapat bekerja dengan baik pada pengujian statis.

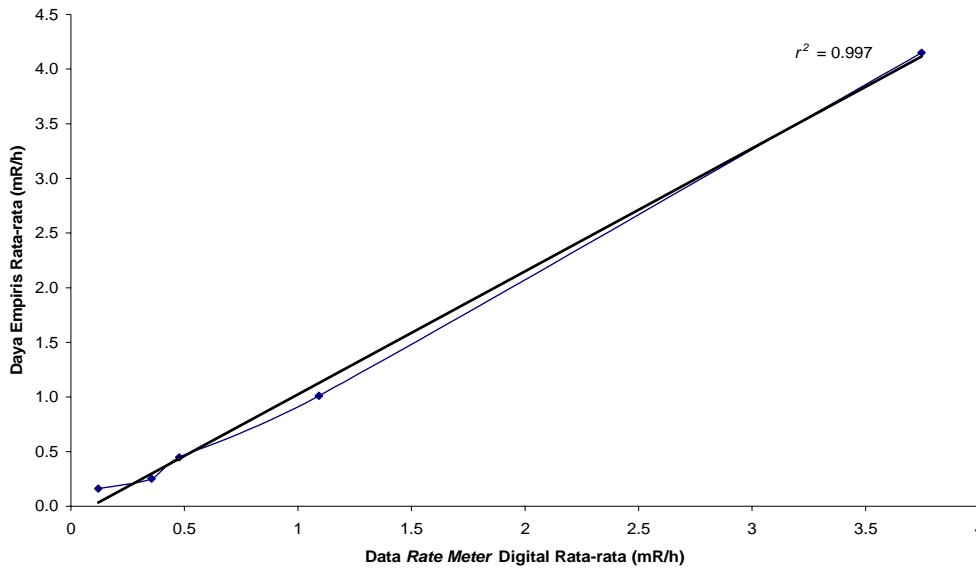
PEMBAHASAN

Data-data yang diperoleh pada pengujian statis diolah menggunakan uji linieritas berdasarkan data yang diperoleh pada Tabel 2. Grafik linieritas tabel tersebut ditunjukkan oleh Gambar 5.

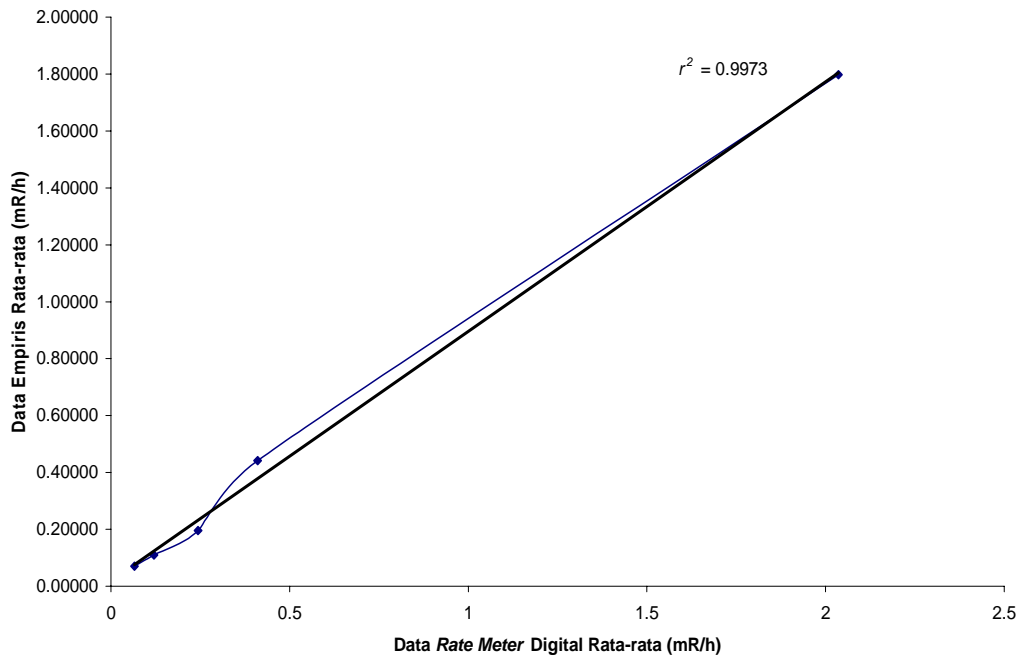
Sedangkan untuk data-data yang diperoleh pada pengujian dinamis diolah menggunakan uji linieritas berdasarkan data yang diperoleh pada Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5. Grafik linieritas tabel-tabel tersebut ditunjukkan oleh Gambar 6., Gambar 7 dan Gambar 8.



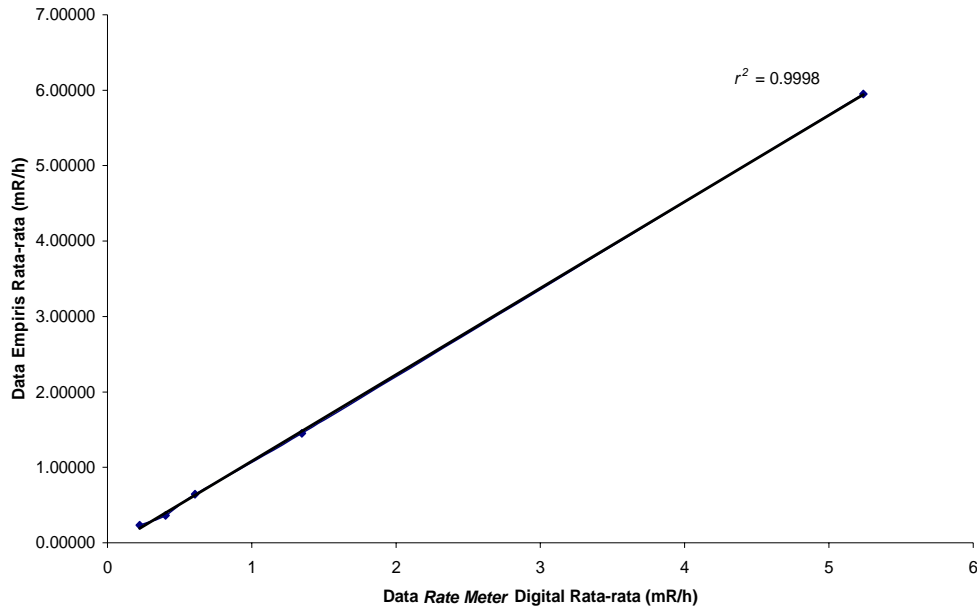
Gambar 5. Grafik linieritas rancangan alat vs. log count meter model 339 berdasarkan data pada Tabel 2.



Gambar 6. Grafik linieritas nilai rata-rata rate meter digital vs. data empiris menggunakan sumber Cs-137 berdasarkan data pada Tabel 3.



Gambar 7. Grafik linieritas nilai rata-rata rate meter digital vs. data empiris menggunakan sumber Eu-152 berdasarkan data pada Tabel 4.



Gambar 8. Grafik inieritas nilai rata-rata rate meter digital vs. data empiris menggunakan dua sumber, Cs-137 dan Eu-152 berdasarkan data pada Tabel 5.

Dari Gambar 6 didapat r^2 sebesar 0,997 sedangkan pada Gambar 7 didapat r^2 sebesar 0,9973, dan pada Gambar 8 didapat r^2 sebesar 0,9998. Hasil tersebut menunjukkan bahwa r^2 dari kedua grafik nilainya mendekati 1 ($r^2 \approx 1$). Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa sistem yang dibuat dapat bekerja dengan baik pada pengujian dinamis.

Selain uji linieritas, juga dilakukan pengujian *Chi-square*. Asumsi yang dipakai adalah^[13] :

H_0 : data mengikuti distribusi data empiris

H_1 : data tidak mengikuti distribusi data empiris

H_0 ditolak jika χ^2 hitung > χ^2 tabel. Tabel 7 menunjukkan hasil pengujian *Chi-square*.

Tabel 7. Perhitungan χ^2 berdasarkan hasil pengujian statis dan pengujian dinamis.

Sumber Data	χ^2 hitung	χ^2 tabel
Tabel 2	4,126	43,775
Tabel 4	0,097	9,488

Tabel 5	0,041	9,488
Tabel 6	0,111	9,488

Hasil yang didapat menunjukkan bahwa χ^2 hitung < χ^2 tabel untuk setiap tabel yang diuji. Hal ini berarti data-data hasil pengujian berada di range nilai χ^2 yang telah ditentukan, artinya data-data tersebut dapat dianggap telah memenuhi kriteria/asumsi (H_0 diterima). Sehingga dapat disimpulkan sistem yang dibuat dapat bekerja dengan baik.

KESIMPULAN

1. *Rate Meter Digital* dapat dibuat dengan menggunakan IC mikrokontroler sebagai pengatur dan LCD sebagai penampil data. Perangkat lunak yang dirancang pada IC mikrokontroler AT89C51, selain berfungsi sebagai *timer/counter* juga berfungsi sebagai penyimpanan data sementara. Faktor konversi pulsa DBM sebagai masukan pada *rate meter digital* sebesar 0,01.

2. Pengujian dinamis sebagian besar menunjukkan bahwa hasil rata-rata pengukuran *rate meter digital* berada pada rentang hitung nilai teoritis, hal ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang dapat bekerja dengan baik.
3. Nilai uji linearitas pada pengujian statis diperoleh nilai r^2 sebesar 0,9996 dan 0,9998. Nilai uji linearitas pada pengujian dinamis diperoleh nilai r^2 sebesar 0,997, 0,9973 dan 0,9998. Dapat disimpulkan bahwa sistem yang dibuat dapat bekerja dengan baik.
4. Hasil pengujian analisa *Chi-square* menunjukkan bahwa χ^2 hitung $<$ χ^2 tabel untuk setiap tabel yang diuji. Nilai χ^2 hitung yang diperoleh adalah 4,126, 0,097, 0,041, dan 0,111.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] CEMBER, HERMAN, *Pengantar Fisika Kesehatan*, Pergamon Press Inc., USA, 1983.
- [2] MARTIN, A. dan HARBINSON, S.A., *An Introduction to Radiation Protection*, Chapman and Hall, New York, 1972.
- [3] MORIUCHI, S., IMAI, K., MIYANAGA, I., *New Technical Approach of Low Level Environment Gamma Radiation Using NaI(Tl)*, Journal of Nuclear Science and Technology Vol. 17, Atomic Energy Society of Japan, 1980.
- [4] MORIUCHI, S., MIYANAGA, I., *A Method of Pulse Height Weighting Using The Discriminator Bias Modulation*, Health Physics Vol. 12, Pergamon Press. 1966.
- [5] MORIUCHI, S., NAGAOKA, T., SAITO, K., *Measurement, Theoretical Analysis and Dose Evaluation of Low Level External Radiation in The Environmental, Proceeding of Japan-USSR Seminar on Radiation Effects Research*, Tokyo, 1990.
- [6] NAGAOKA, T., *Intercomparison Between EML Method and JAERI Method for Measurement of Environmental Gamma Ray Exposure Rates*, Radiation Protection Dosimetry Vol. 18 No. 2, Nuclear Technology Publishing, 1987.
- [7] SETYADI, W.S., *Metoda Spectrum to Dose Conversion Pada Radiasi Lingkungan*, Makalah Presentasi Ilmiah, BATAN-PPNY, Yogyakarta, 1998.
- [8] *ATMEL Data Sheet*, www.atmel.com, 1997.
- [9] PUTRA, A.E., *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55*, Gava Media, Yogyakarta, 2002.
- [10] TSOULFANIDIS, N., *Measurement and Detection of Radiation*, Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1983.
- [11] TSUTSUMI, M., SAITO, K., MORIUCHI, S., *Spectrum-Dose Conversion Operator, G(E) Function of NaI(Tl) Scintillators Adapted for Effective Dose Equivalent Quantities*, JAERI-M 91-204, 1991.
- [12] TSOULFANIDIS, N., *Measurement and Detection of Radiation*, Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1983.
- [13] KNOLL, G. F., *Radiation Detection and Measurement*, 2nd ed., John Wiley and Sons, New York, 1989.

TANYA JAWAB

Yunanto

- Mengapa menggunakan DBM.
- Apa ada cara lain yang lebih baik.

Setyadi WS

- Teknik DBM akan mengukur dosis paparan (gamma) secara langsung. DBM mengkonversi tinggi pulsa menjadi dosis secara *Hardware* menggunakan detektor NaI(Tl).
- Cara lain dengan detektor Ionization chamber (IC), dengan sensitivitas yang sama dengan detektor NaI(Tl) 2" dibanding dengan detektor Ionization chamber berbentuk bola diameter \pm 20 cm.