

## **RANCANG BANGUN MODUL PENGKONDISI SINYAL DENGAN PENGANALISA KANAL TUNGGAL PADA SISTEM SPEKTROSKOPI GAMMA**

Joko Sumanto<sup>1</sup>, Toto Trikasjono<sup>2</sup>, Sigit Bachtiar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>PRPN BATAN  
Kawasan Puspiptek gd.71 Serpong 15310  
<sup>2</sup>STTN BATAN,  
Jl. Babarsari, Yogyakarta 55010

### **Abstrak**

**RANCANG BANGUN MODUL PENGKONDISI SINYAL DENGAN PENGANALISA KANAL TUNGGAL PADA SISTEM SPEKTROSKOPI GAMMA.** Telah dilakukan rancang bangun modul pengkondisi sinyal dengan penganalisa kanal tunggal (Single Channel Analyzer-SCA) pada sistem spektroskopi gamma. Modul ini digunakan untuk mensupport sistem spektroskopi gamma yang banyak digunakan sebagai komponen utama pencacah gamma pada instrumentasi nuklir bidang kedokteran maupun industri. Modul dirancang secara kompak dan praktis yang dibentuk dari rangkaian amplifier dengan pole Zero Cancellation-P/Z dan pole complex, rangkaian diskriminator dan antikoincidense. Spesifikasi modul yang diharapkan adalah masukan amplifier sinyal positif dengan ekor panjang dan keluaran amplifier sinyal positif semigaussian, masukan analog untuk jendela energi  $E$  &  $\Delta E$ , dengan keluaran SCA standar TTL 5 volt. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa modul yang dibuat dapat digunakan untuk memilih isotop yang dikehendaki melalui SCA. Dari uji spectrum Cs-137 diperoleh resolusi detector NaI(Tl) 7,1%, stabilitas pencacahan Chi test 18,486 untuk 20 data dengan tingkat kepercayaan 95 %. Hasil ini telah sesuai dengan Tecdoc IAEA 602 tentang uji kualitas peralatan kedokteran nuklir.

*Kata kunci: Rancang bangun, Penganalisa kanal Tunggal-SCA*

### **Abstract**

**SIGNAL CONDITIONER DESIGN MODULE WITH SINGLE CHANNEL ANALYZER SYSTEM ON GAMMA SPECTROSCOPY.** It has been designed a signal conditioning module with Single Channel Analyzer - SCA on gamma spectroscopy system. This module is used to support the gamma spectroscopy system which is widely used as a main component of gamma counter in nuclear medicine instrumentation and industrial. This module is designed compact and practical using amplifier circuit to form the pole Zero Cancellation - P/Z and pole complex, as well as anti coincidence discriminator circuit. Specification of input module is expected a positive signal amplifier with a long tail and the output amplifier semi gaussian positive signal, an analog input for the energy window  $E$  &  $\Delta E$ , with single channel analyzer output standard 5 volt TTL. The results show that the module can be applied to select the desired isotope via a single channel analyzer channel. From the test spectrum obtained by Cs-137 detector resolution NaI(Tl) 7.1%, Chi test the stability of enumeration 18,486 for 20 data with 95% confidence level. These results are in accordance with the IAEA Tecdoc 602 Quality Control of Nuclear Medicine Instruments.

*Keywords: engineering, Single channel analyzer – SCA*

## PENDAHULUAN

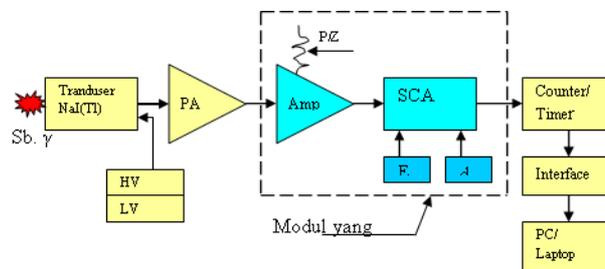
Sistem spektroskopi gamma berfungsi untuk menganalisis sumber radiasi gamma atau isotop dengan mengukur distribusi energinya dan aktivitasnya. Dimana energinya sebanding dengan tinggi pulsa dan aktivitasnya sebanding dengan intensitas pulsa jika dilihat dengan osiloskop. <sup>[1,2,3]</sup>. Sedangkan jika dilihat spektrumnya dengan SCA maupun MCA, maka energinya sebanding dengan nomor kanal dan aktivitasnya sebanding dengan jumlah laju cacahnya. <sup>[2,3]</sup>. Sistem ini banyak digunakan sebagai komponen utama untuk memilih isotop dan mengetahui distribusinya dalam organ tubuh tertentu pada instrumentasi nuklir bidang kedokteran. Sedangkan di industri digunakan untuk otomatisasi dan quality control dalam suatu proses produksi. <sup>[3]</sup>. Di dalam sistem tersebut, sinyal keluaran dari detektor masih sangat rendah yang bercampur noise sehingga diperlukan rangkaian pengkondisi sinyal agar dapat diproses dengan penganalisis kanal tunggal-SCA maupun penganalisis multi kanal-MCA.

Tujuan penelitian ini adalah membuat modul pengkondisi sinyal dengan SCA yang sederhana kompak dan praktis yang memenuhi syarat sistem spektroskopi pada instrumentasi peralatan kedokteran seperti renograf, thyroid uptake, Radio Immuno Assay-RIA. Di bidang industri, sistem ini digunakan pada perangkat spectral core gamma logger untuk menentukan potensi kandungan minyak. Diharapkan modul ini dapat berfungsi baik, sehingga dapat digunakan untuk mensupport sistem spektroskopi pada peralatan kedokteran maupun industri. Modul ini dirancang menggunakan rangkaian amplifier dengan *Pole Zero Cancellation-P/Z* dengan keluaran pulsa berbentuk semi Gaussian, rangkaian SCA yang dibentuk dari dua buah diskriminator dan rangkaian antikoincidence.

## METODE

Sistem spektroskopi gamma berfungsi untuk menganalisis sumber radiasi gamma atau isotop dengan mengukur distribusi energinya dan aktivitasnya. Sistem ini banyak digunakan sebagai komponen utama pencacah nuklir pada instrumentasi nuklir bidang kedokteran maupun industri. <sup>[2,5]</sup>. Di dalam sistem tersebut diperlukan rangkaian pengkondisi sinyal agar dapat diproses dengan penganalisis kanal tunggal-SCA. Blok diagram sistem spektroskopi gamma tersebut diperlihatkan pada Gambar 1.

Fungsi dari setiap blok pada Gambar 1 adalah sebagai berikut: 1).Catu daya tegangan tinggi-HV berfungsi untuk mensupply tegangan kerja detector NaI(Tl). Sedangkan Catu daya rendah-LV berfungsi untuk mensupply daya seluruh sistem. 2).Detektor NaI(Tl) berfungsi sebagai transduser yang mengubah radiasi sinar gamma yang mengenainya menjadi pulsa listrik dimana tinggi pulsa sebanding dengan energi gamma dan intensitasnya sebanding dengan aktivitasnya. 3).Penguat Awal-PA berfungsi sebagai peredam noise dan penyesuai impedansi rangkaian selanjutnya. 4).modul pengkondisi sinyal berfungsi membentuk pulsa masukan menjadi pulsa analog semigaussian dengan lebar tertentu. Selanjutnya pulsa tersebut dapat diproses untuk diseleksi berdasarkan tingginya melalui pengatur jendela energi  $E$  dan  $\Delta E$ . Keluara SCA berupa pulsa TTL 5 volt yang dapat dihitung. 5).Counter/timer berfungsi untuk menghitung banyaknya pulsa keluaran SCA dalam selang waktu tertentu yang telah diprogram. 6).Interface USB berfungsi sebagai sarana antarmuka untuk berkomunikasi data secara hardware dan software antara peralatan luar dengan komputer. 7).Komputer berfungsi sebagai unit akuisisi data dan pengolahan data yang berupa grafik maupun numerik sehingga diperoleh informasi yang telah diprogramkan.



Gambar 1. Blok diagram sistem spektroskopi Gamma dengan SCA

### Pengkondisi Sinyal

Rangkaian pengkondisi sinyal dimaksudkan untuk

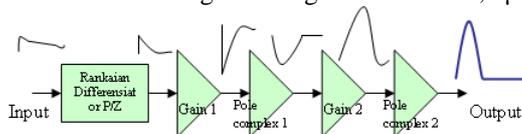
mengkondisikan sinyal keluaran penguat awal-PA menjadi pulsa analog yang berbentuk semigaussian dengan lebar pulsa antara 5  $\mu$ s sampai 8  $\mu$ s tanpa

*undershoot* maupun *overshoot*.<sup>[4]</sup> Dengan bentuk pulsa yang standar tersebut selanjutnya dapat diproses untuk diseleksi berdasarkan tingginya yang sebanding dengan energi gamma. Pengkondisi sinyal ini dirancang sangat sederhana karena hanya menggunakan detektor NaI(Tl) dengan resolusi yang cukup untuk peralatan kedokteran seperti renograf, thyroid uptake, perangkat RIA, dan spectral core gamma logger yang mengutamakan efisiensi.

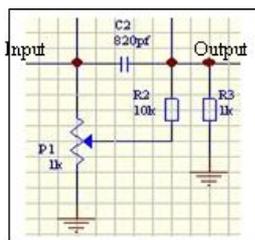
Pengkondisi sinyal tersebut terdiri dari sub rangkaian pole zero cancellation – P/Z, dua buah sub rangkaian penguat linear (fix gain dan variable gain), dua buah sub rangkaian pole complex. Blok diagram pengkondisi sinyal diperlihatkan pada Gambar 2. Rangkaian tersebut dibangun menggunakan komponen utama dari LM318.

Rangkaian differensiator *pole zero cancellation* digunakan untuk menurunkan pulsa ekor panjang dengan falltime yang sempit serta membentuk sinyal keluaran akhir agar tidak terjadi *undershoot* maupun *overshoot*. Rangkaian penguat pertama (gain1) digunakan untuk memperkuat sinyal agar optimal sehingga tidak terjadi pulsa terpotong. Rangkaian pole complex 1 digunakan untuk memperbaiki rise time dengan *integrator* R/C dan *fall time* dengan *differensiator* R/C. Pada tingkat ini bentuk pulsa belum simetris dan pulsanya negatif untuk menghindari osilasi. Pada rangkaian penguat kedua, dibuat variable gain agar bisa disesuaikan dengan keperluannya. Sedangkan pole complex 2 digunakan untuk membentuk pulsa semi gaussian yang lebih simetris menggunakan rangkaian *integrator* dan *differensiator* dari LM318 dengan lebar pulsa antara 5  $\mu$ s sampai 8  $\mu$ s tanpa *undershoot* maupun *overshoot*.

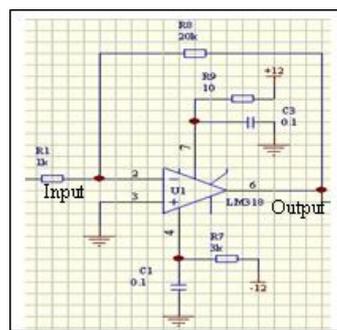
Setiap komponen utama diberi filter untuk menekan noise pada sistem catu dayanya dengan filter R dan C masing – masing 10 Ohm dan 0,1  $\mu$ F.



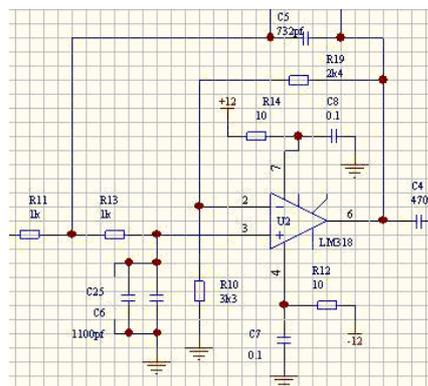
Gambar 2. Blok Diagram Pengkondisi Sinyal



Gambar 3. Rangkaian Differensiator P/Z



Gambar 4. Rangkaian Penguat Inverting



Gambar 5. Rangkaian Polecomplex

### Penganalisa Kanal Tunggal

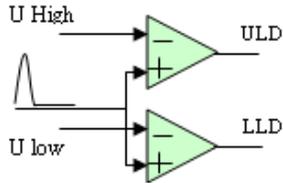
Pada dasarnya *Single Channel Analyzer* -SCA merupakan filter dimana akan memblokir pulsa yang puncak pulsanya diluar area jendela energi -  $\Delta E$  dan meneruskan pulsa yang puncak pulsanya masuk dalam area jendela energi -  $\Delta E$  menjadi pulsa TTL standar 5 volt.<sup>[5]</sup>

Penganalisa kanal tunggal ini terdiri dari rangkaian diskriminator dan rangkaian anti koinsiden. Rangkaian diskriminator dibentuk dari dua buah komparator untuk memberi batas bawah dan batas atas yang disebut jendela energi. Blok diagramnya diperlihatkan pada Gambar 6.

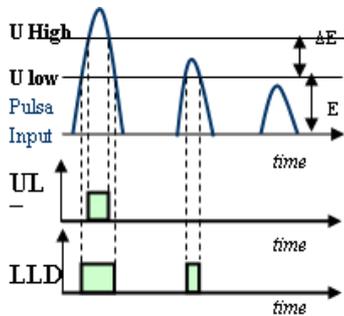
Pada rangkaian antikoinsiden dimaksudkan untuk mengatasi keadaan bila puncak pulsa berada di atas jendela energi, maka keluaran SCA harus 0. Hal ini dapat dilakukan dengan rangkaian tunda satu tembakan 0,5  $\mu$ s dari IC multifibrator 74123 dan rangkaian flip-flop yang dibentuk dari IC74HC02.<sup>[5]</sup>

Blok diagram SCA dan timing diagramnya diperlihatkan pada Gambar 8 dan Gambar 9. Pada gambar tersebut ada tiga keadaan pulsa yaitu: puncak pulsa berada di bawah jendela energi AE, puncak pulsa berada di dalam jendela energi, dan

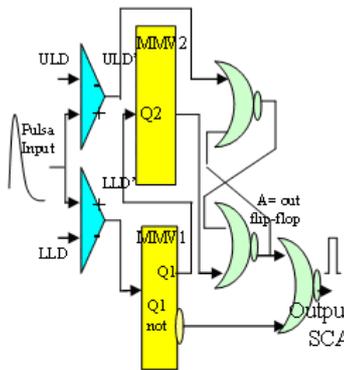
puncak pulsa berada di atas jendela energi. Keadaan ketiga pulsa tersebut akan dianalisis sehingga hanya pulsa yang puncaknya berada di dalam area jendela energi saja yang diteruskan ke output SCA dengan ditandai pulsa TTL berlogika 1 (high) dengan lebar  $0,5 \mu\text{s}$ .



Gambar 6. Rangkaian Diskriminator



Gambar 7. Timing Diagram Diskriminator



Gambar 8. Blok Diagram SCA

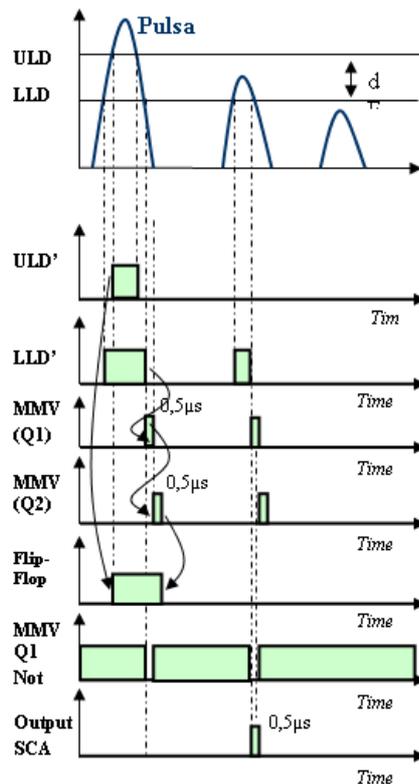
Analisis cara kerja SCA sebagai berikut (lihat Gambar 8 dan Gambar 9):

1. ULD' adalah output dari komparator yang membandingkan antara input sinyal dengan ULD. Jika sinyal input lebih besar dari ULD, maka output ULD' berlogika 1. Sebaliknya jika sinyal input lebih kecil dari ULD, maka output ULD' berlogika 0.
2. LLD' adalah output dari komparator yang membandingkan antara input sinyal dengan

LLD. Jika sinyal input lebih besar dari LLD, maka output ULD' berlogika 1. Sebaliknya jika sinyal input lebih kecil dari ULD, maka output ULD' berlogika 0.

3. Q1 adalah output MMV 1, berupa pulsa selebar  $0,5 \mu\text{s}$  yang dibentuk dari LLD' dan time constan RC.
4. Q1 not adalah pulsa inverting dari Q1.
5. Q2 adalah output MMV 2, berupa pulsa selebar  $0,5 \mu\text{s}$  yang dibentuk dari Q1 dan time constan RC..
6. Kondisi puncak pulsa input berada dibawah LLD, maka LLD' = 0, dan ULD' = 0, Q1 not = 1 sehingga output SCA = 0 (kondisi Flip-flop A=0 tidak berpengaruh pada output SCA).

Kondisi puncak pulsa input berada diantara LLD dan ULD (dalam jendela  $\Delta E$ ), maka LLD'=1, ULD' = 0, dengan waktu tunda satu tembakan  $0,5 \mu\text{s}$  Q1not = 0, dan flip-flop A = 0. sehingga output SCA = 1 (pulsa TTL dengan lebar  $0,5 \mu\text{s}$ ).



Gambar 9. Timing Diagram SCA

7. Kondisi puncak pulsa input berada di atas ULD, maka ULD' =1, flip-flop A = 1 dan akan berubah menjadi 0 ketika ada perubahan pada Q2 dari 1 ke 0 ( $\downarrow$ ). Kondisi inilah yang digunakan untuk mereset output SCA selama

kondisi flip-flop  $A = 1$ , sehingga output  $SCA=0$ .

8. Dengan cara ini maka SCA hanya akan mengeluarkan pulsa TTL=1 selebar  $0,5 \mu s$  jika puncak pulsa berada di jendela energi  $\Delta E$ .

### Pengujian

Pengujian dimaksudkan untuk mengetahui bahwa modul yang dibuat telah bekerja dengan baik sesuai spesifikasi yang ditetapkan. Pengujian dilakukan dengan cara mengamati setiap terminal bagian pengkondisi sinyal dan bagian SCA dengan osiloskop atau secara terintegrasi dengan sistem spektroskopi. Pengujian tersebut meliputi pengamatan pengkondisi sinyal input dan output amplifier, dan pengamatan sinyal pada SCA. Sedangkan uji kualitas sistem dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak RenoXp dimana modul pengkondisi sinyal dengan SCA yang dibuat digunakan pada perangkat renograf. Uji kualitas menggunakan prosedur kualitas kontrol QC dari perangkat renograf. Uji kualitas tersebut meliputi spektrum energi, Resolusi detektor, dan uji stabilitas pencacahan dengan statistik Chi Test. Uji ini berdasarkan IAEA TecDoc. 602 tentang uji kualitas peralatan kedokteran nuklir tahun 1991. [6].

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh berupa sebuah prototip modul pengkondisi sinyal dengan SCA yang sederhana kompak dan praktis dengan ukuran  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ . Modul tersebut terdiri dari rangkaian amplifier dengan Pole Zero Cancelation-P/Z dengan keluaran pulsa berbentuk semi Gaussian, serta rangkaian SCA yang dibentuk dari dua buah diskriminator dan rangkaian antikoincidense. Foto modul tersebut diperlihatkan pada Gambar 10.

Hasil pengamatan pulsa keluaran pengkondisi sinyal dari amplifier berupa pulsa positif semigaussian dengan rise time  $1 \mu s$ , fall time  $1,5 \mu s$  dan lebar pulsa  $5 \mu s$ . Sedangkan tinggi pulsa dapat diatur maksimum 8 volt agar tidak terpotong. Pulsa tersebut diperlihatkan pada Gambar 11.

Dari Gambar 11. tersebut terlihat bahwa noise telah ditekan sekecil mungkin dan pulsa tidak mengalami undershoot maupun overshoot. Pulsa keluaran amplifier ini telah sesuai standar spektroskopi nuklir.

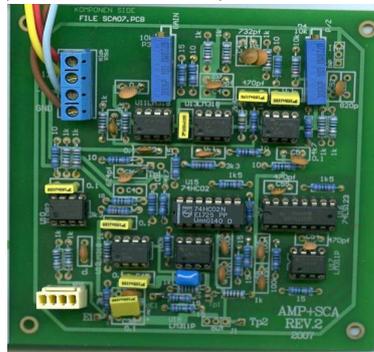
Dari hasil pengamatan pada rangkaian SCA, diperoleh data yang sesuai dengan rancangan timing diagram SCA pada Gambar 9. Dalam rancangan tersebut perlu menggunakan komparator cepat seperti LM311P. IC tersebut mudah didapat dan harganya murah. Waktu proses satu pulsa

maksimum adalah  $6 \mu s$ . Sehingga frekuensi maksimum dari SCA ini adalah  $(1/6 \mu s) = 166,67 \text{ kHz}$ . Hasil akhir pengamatan fungsi SCA diperlihatkan pada Tabel 1.

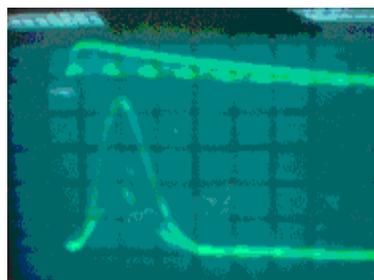
Dari Tabel 1 tersebut menunjukkan bahwa modul SCA telah berfungsi sesuai spesifikasi yang diharapkan dimana SCA hanya akan mengeluarkan pulsa selebar  $0,5 \mu s$  jika puncak pulsa berada di jendela energi  $\Delta E$ .

Hasil Spektrum Cs-137 secara manual dengan lebar jendela  $0,1 \text{ volt}$  ditunjukkan pada Tabel 2. Dari Tabel 2. tersebut dapat ditentukan peaknya Cs-137 adalah  $4,4$  dan FWHM sebesar:  $4,55-4,24 = 0,31$ , sehingga dapat dihitung resolusi detektornya:  $(0,31/4,4) \times 100\% = 7\%$ .

Uji kualitas sistem secara langsung ditayangkan pada layar komputer menggunakan program RenoXp. Hasil uji spektrum dan setting jendela energi diperlihatkan pada Gambar 14. Dari uji spektrum tersebut dapat diketahui resolusi detektor yang digunakan yaitu  $7,1\%$ . Hasil ini telah mendekati yang tertulis pada sertifikat saat pembelian detektor, resolusinya yaitu  $6,9\%$  untuk sumber standar Cs-137. Hasil uji stabilitas Chi test adalah  $18,486$  dan  $17,641$  untuk  $20$  data pengukuran dengan tingkat kepercayaan  $95\%$ . Hasil tersebut telah memenuhi persyaratan standar IAEA TecDoc. 602 tentang uji kualitas peralatan kedokteran nuklir yaitu  $10,117 < \text{Chi test} < 30,144$ .



Gambar 10. Modul Pengkondisi Sinyal Dengan SCA Yang Dibuat.



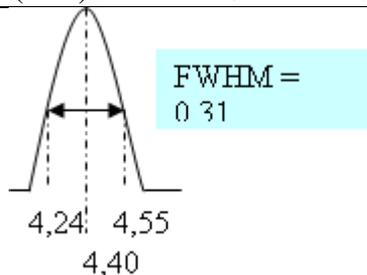
Gambar 11. Hasil Pengamatan Pulsa Masukan Dan Keluaran Amplifier

**Tabel 1. Hasil Pengamatan Fungsi SCA.**

NO.	Input SCA (posisi Puncak pulsa)	Output SCA (TTL)
1	Puncak pulsa berada dibawah jendela energi ( $\Delta E$ )	0
2	Puncak pulsa berada di dalam jendela energi ( $\Delta E$ )	1
3	Puncak pulsa berada di atas jendela energi ( $\Delta E$ )	0

**Tabel 2. Data Peak spektrum Cs-137**

LLD (volt)	Cacah/ 6s	LLD (volt)	Cacah/ 6s
3.6	0	4.3	1002
3.7	63	<b>4.4</b>	<b>(Peak) 1200</b>
3.8	45	4.5	1070
3.9	59	<b>4,55</b>	<b>(ULD) 610</b>
4.0	110	4.6	587
4.1	248	4.7	227
4.2	583	4.8	42
<b>4,24</b>	<b>(LLD) 608</b>	4.9	10



**Gambar 12. Peak Spektrum Cs-137**

## KESIMPULAN

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa modul pengkondisi sinyal dengan penganalisa kanal tunggal-SCA telah dibuat dengan kompak dan praktis dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Keluaran amplifier berupa pulsa unipolar positif, semi gaussian tanpa *undershoot* maupun *overshoot*. Waktu bangkit (rise time) = 1  $\mu$ s, waktu turun (fall time) = 1,5  $\mu$ s, dan lebar pulsa 5  $\mu$ s. Resolusi detektor NaI(Tl) 7,1 % untuk Cs-137. Nilai kestabilan pencacahan Chi test 18,486 dan 17,64. Hasil tersebut telah memenuhi persyaratan standar IAEA TecDoc. 602 tentang uji kualitas peralatan kedokteran nuklir yaitu  $10,117 < \text{Chi test} < 30,144$  untuk 20 data pengukuran. Hasil pengujian tersebut menunjukkan pula bahwa modul telah berfungsi untuk memilih isotop yang dikehendaki sesuai

standar instrumentasi nuklir sehingga dapat digunakan untuk mensupport sistem spektroskopi gamma pada instrumentasi peralatan kedokteran nuklir maupun industri yang menggunakan detektor NaI(Tl).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Bp. Drs Rukmono Pribadi dan Bp. Drs. Wiranto Budi Santoso, MSc. yang telah membantu penyempurnaan desain pengkondisi sinyal simigaussian sehingga tidak terjadi osilasi pada keluarannya. Kepada Efrinia Sundari yang telah membantu dalam pengujian modul ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. ARYA WARDANA, WISNU. "Aplikasi Teknologi Nuklir", Andi offset, Yogyakarta (2004).
2. BAIRI. B.R. etc., "*Handbook of Nuclear Medical Instruments*", Tata McGraw Hill Co., New Delhi (1994).
3. SUMANTO, JOKO., "Rancang Bangun AntarMuka Komputer mikro IBMPc/XT dan Pencacah Gamma", Tugas Akhir PATN, Yogyakarta (1989).
4. INTERNATIONAL STANDARD-IEC1304, "*Nuclear Instrumentation Liquid Scintillation Counting System Performance Verification*", IEC (1994).
5. J.PAHOR, "*Nuclear Electronics Laboratory Manual, Analog Electronic Part*", University of Ljubljana, Slovenia (1997).
6. IAEA TECDOC 602, "*Quality Control of Nuclear Medicine Instrumen*", IAEA, Vienna, Austria (1991).

## TANYA JAWAB

Pertanyaan:

1. Respon Q1 terhadap Q2 sebesar 0,5  $\mu$ s, apa alasannya? (Penanya: Toni Subianto, ST.)
2. Pengaturan window energi pada SCA dengan sistem manual atau otomatis?(Nugroho T.S.)

Jawaban:

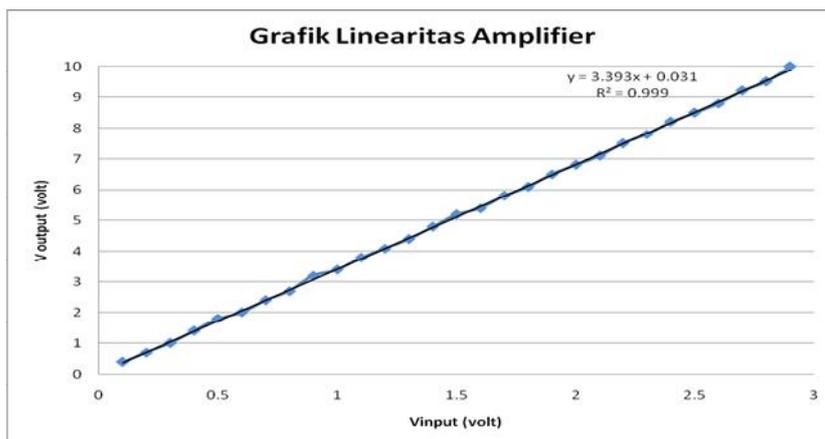
1. Respon Q1 terhadap Q2 sebesar 0,5  $\mu$ s merupakan rancangan delay satu tembakan menggunakan MMV, untuk mengoptimalkan kecepatan sistem reset RS flipflop.
2. Pengaturan window energi pada SCA dapat dilakukan secara manual atau otomatis dengan perangkat lunak.

Lampiran 1. Data Hasil Pengujian

**A. DATA HASIL PENGUJIAN AMPLIFIER**

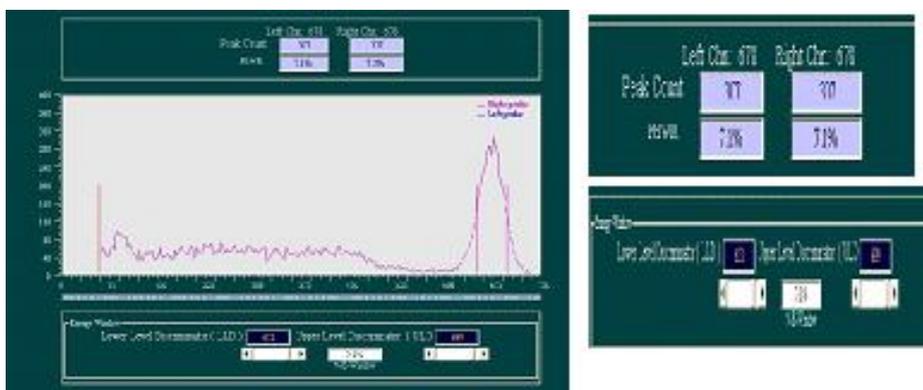
**Tabel 3. Data Hasil Pengujian Linearitas Amplifier**

V in (volt)	V out (volt)	Gain	V in (volt)	V out (volt)	Gain	V in (volt)	V out (volt)	Gain
0.1	0.4	4.0x	1.1	3.8	3.5x	2.1	7.1	3.4x
0.2	0.7	3.5x	1.2	4.1	3.4x	2.2	7.5	3.4x
0.3	1.0	3.3x	1.3	4.4	3.4x	2.3	7.8	3.4x
0.4	1.4	3.5x	1.4	4.8	3.4x	2.4	8.2	3.4x
0.5	1.8	3.6x	1.5	5.2	3.5x	2.5	8.5	3.4x
0.6	2.0	3.3x	1.6	5.4	3.4x	2.6	8.8	3.4x
0.7	2.4	3.4x	1.7	5.8	3.4x	2.7	9.2	3.4x
0.8	2.7	3.4x	1.8	6.1	3.4x	2.8	9.5	3.4x
0.9	3.2	3.6x	1.9	6.5	3.4x	2.9	10	3.4x
1.0	3.4	3.4x	2.0	6.8	3.4x			



**Gambar 13. Grafik Linearitas Amplifier**

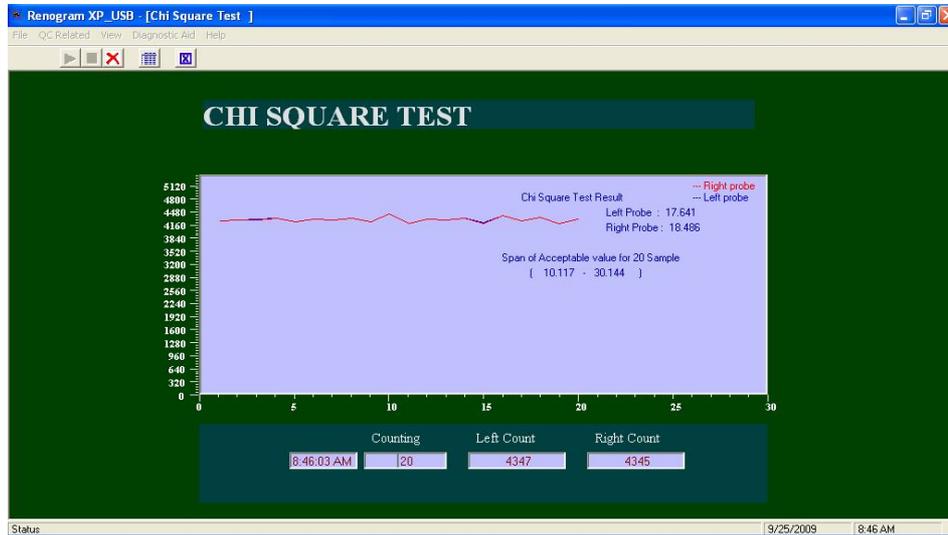
**B. Hasil Pengujian Spektrum Energi**



**Gambar 14. Tampilan Hasil Uji Spektrum Energi Cs-137**

Lampiran 2. Data Hasil Pengujian (lanjutan)

C. Hasil Stabilitas Pencacahan *Chi Square Test*



Gambar 15. Tampilan Akuisisi Data Chi Test

**Chi Test Result**

Uji Kuwalitas Renograf IRS  
PRPN- BATAN Kawasan Puspipstek Gd.71 Serpong

**Chi Square Test Result**  
Test Date : Friday 09/25/09  
Tested By : Joko Sumanto

i	C (i) Left	(Ci-AvCi)left	Sqr(Ci-AvCi)	C (i) Right	(Ci-AvCi)Right	Sqr(Ci-AvCi)
01	4296	-33.5	1.12E+03	4293	-32.31	1.04E+03
02	4327	-2.5	6.25E+00	4325	-.31	9.61E-02
03	4332	2.5	6.25E+00	4327	1.69	2.86E+00
04	4359	29.5	8.70E+02	4353	27.69	7.67E+02
05	4284	-45.5	2.07E+03	4271	-54.31	2.95E+03
06	4350	20.5	4.20E+02	4344	18.69	3.49E+02
07	4318	-11.5	1.32E+02	4316	-9.31	8.67E+01
08	4371	41.5	1.72E+03	4370	44.69	2.00E+03
09	4280	-49.5	2.45E+03	4275	-50.31	2.53E+03
10	4474	144.5	2.09E+04	4471	145.69	2.12E+04
11	4227	-102.5	1.05E+04	4224	-101.31	1.03E+04
12	4345	15.5	2.40E+02	4341	15.69	2.46E+02
13	4321	-8.5	7.23E+01	4313	-12.31	1.52E+02
14	4373	43.5	1.89E+03	4371	45.69	2.09E+03
15	4243	-86.5	7.48E+03	4236	-89.31	7.98E+03
16	4432	102.5	1.05E+04	4431	105.69	1.12E+04
17	4291	-38.5	1.48E+03	4289	-36.31	1.32E+03
18	4392	62.5	3.91E+03	4391	65.69	4.32E+03
19	4228	-101.5	1.03E+04	4220	-105.31	1.11E+04
20	4347	17.5	3.06E+02	4345	19.69	3.88E+02

C (i) Avg. left = 4329.5      C (i) Avg. right = 4325.3  
Sum {Sqr(Ci-AvCi)} Left = 7.64E+04      Sum {Sqr(Ci-AvCi)} Right = 8.00E+04

Test Result

Span of Acceptable Value :  
10.117 - 30.144

Left Chi Square Result  
17.641

Right Chi Square Result  
18.486

Print  
Close

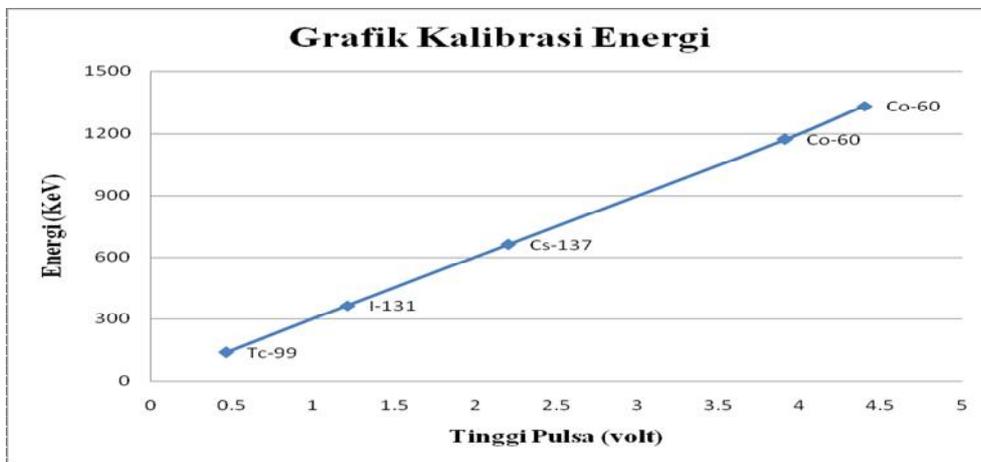
Gambar 16. Tampilan Pengolahan Data Chi test

Lampiran 3: Data Hasil Pengujian (lanjutan)

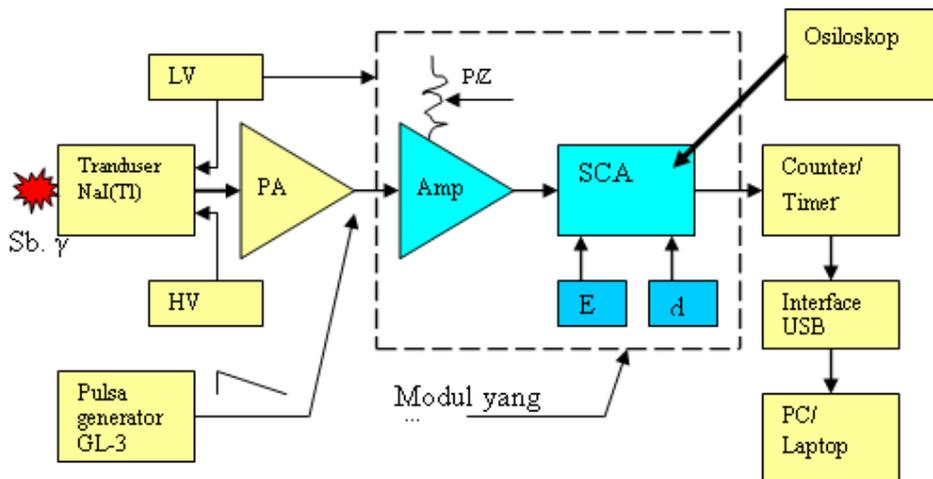
D. Kalibrasi Energi

Tabel 4. Hasil Pengujian Kalibrasi Energi Dan Pengamatan Tinggi Pulsa

Sumber standard (materi)	Energi (keV)	Tinggi pulsa (volt)		Error (%)
		Teori	Praktek	
99Tc	140	0.46	0.49	6.5
131 I	364	1.21	1.21	0
137 Cs	662	2.2	2.25	2.3
60 Co	1173	3.91	4.1	4.9
	1332	4.4	4.5	2.3

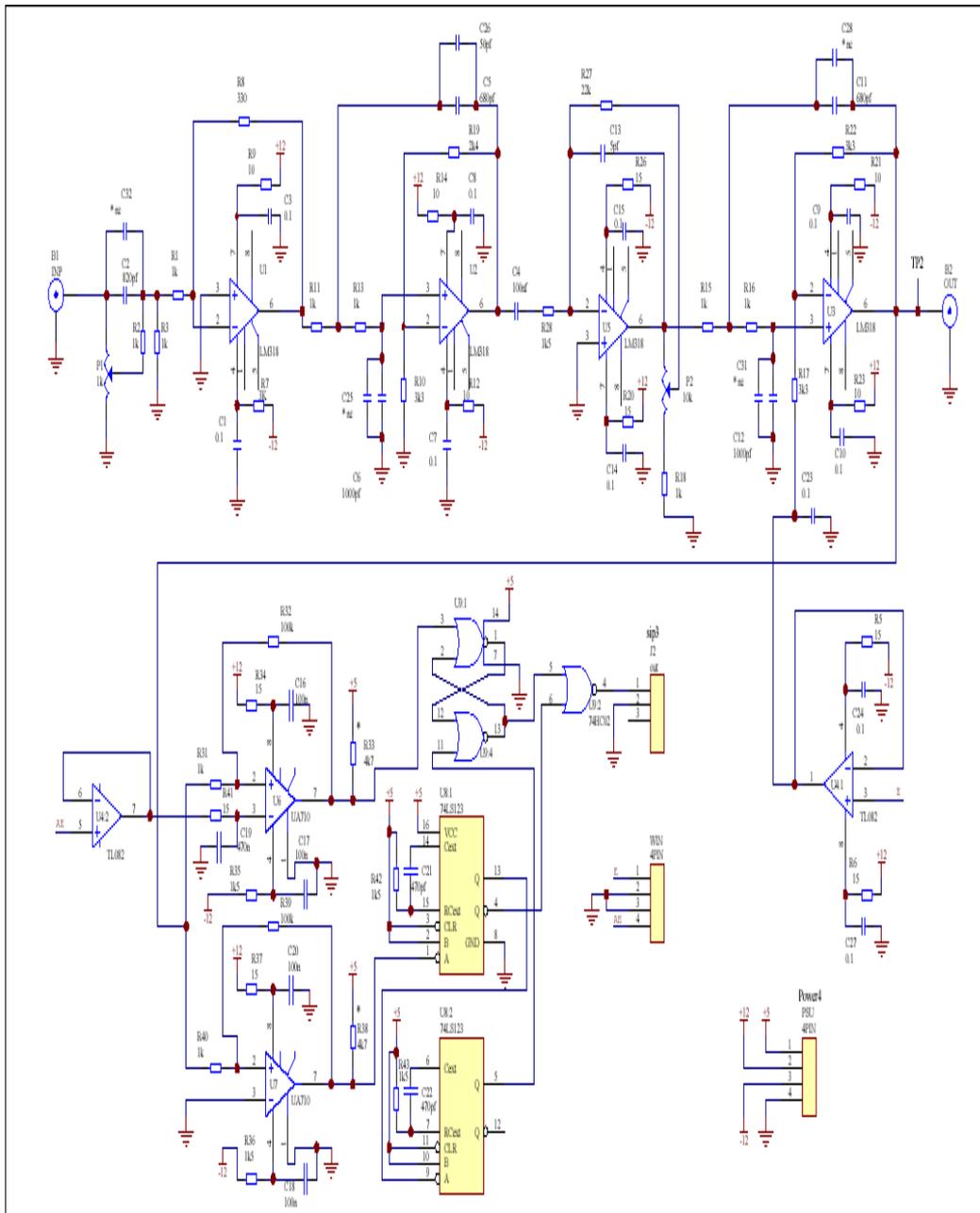


Gambar 17. Grafik Kalibrasi Energi



Gambar 18. Tatalaksana Pengujian

Lampiran 4. Skematik Pengkondisi Sinyal Dengan SCA



Gambar 19. Skematik Modul Pengkondisi Sinyal dengan SCA