

PEMBUATAN PENGUAT LINIER DAN PENGANALISA KANAL TUNGGAL UNTUK SPEKTROMETRI GAMMA

Jumari, Setyadi, Prajitno

Puslitbang Teknologi Maju - BATAN

ABSTRAK

PENGUAT LINIER DAN PENGANALISA KANAL TUNGGAL UNTUK SPEKTROMETRI GAMMA. Telah dilakukan pembuatan Penguat Linier dan Penganalisa Kanal Tunggal (SCA) untuk Spektrometri Gamma. Penguat Linier dilengkapi dengan Penguat awal peka tegangan, Pole Zero Cancelation, Pembentuk pulsa Gaussian, dan Penguat halus. SCA yang dibuat terdiri dari Diskriminator Aras Bawah, Diskriminator Aras Atas, dan rangkaian pembentuk pulsa. Pelaksanaan kegiatan meliputi pembuatan dan pengujian rangkaian tiap sub sistem maupun seluruh sistem. Dari data hasil pengujian amplifier keluar pulsa gaussian dengan amplitudo maksimum 10V, lebar pulsa 5 μ S, tegangan ripple 20 mV, Band Width 70 kHz, dan harga Integral Non Linearity 0,3 %. Sedangkan dari data hasil pengujian SCA terlihat bahwa SCA sudah berfungsi dengan baik, mempunyai amplitudo 4V dan lebar pulsa 5 μ S. Pada pengujian seluruh sistem dengan menggunakan sumber radiasi standard didapatkan hasil untuk Cs-137 letak tenaga pada 3,2V (7141 cacah/5det), sedangkan untuk Co-60 letak tenaga ada dua yaitu pertama pada 5,8V (3692 cacah/5detik) dan yang kedua pada 6,6V (3441 cacah/5detik). Penguat Linier dan Penganalisa Kanal Tunggal yang dibuat telah berfungsi dengan baik dan memenuhi standard yang ditentukan.

ABSTRACT

LINEAR AMPLIFIER AND SINGLE CHANNEL ANALYZER FOR GAMMA SPECTROMETRY. The fabrication of Linear Amplifier and Single Channel Analyzer (SCA) for Gamma Spectrometry has been done. The Linear Amplifier is completed with Voltage Sensitive Pre Amp, Pole Zero Cancelation, Gauss Shaping and Fine Gain. The SCA consists of Lower Level Discriminator, Uper Level Discriminator, and pulse shaping circuit. The implementation of activities cover the fabrication and testing of both whole system and subsystem. From Amplifier testing done, it can be shoown that the pulse shape is Gaussian with maximum amplitude 10V, pulse width 5 μ S, riple voltage 20mV, band width 70 kHz and Integral Non Linearity value is 0.3%. Meanwhile, from the data of SCA testing it can be shown that the fabricated SCA can function well with amplitude 4V and pulse width 5 μ S. From the whole system testing by using standard radiation source, it can be shown that for Cs-137 standard the position of energy is on 3.2V (7141 count /5 sec), while for Co-60 there is two peak, the first peak is on 5.8V (3692 Count/5 Sec) and the second peak is on 6.6V (3441 Count/5 Sec). The fabricated Linear Amplifier and Single Channel Analyzer has function well and fulfill the recomanded standard.

PENDAHULUAN

Dalam sistem spektrometri energi nuklir pada garis besarnya dibagi menjadi 3 bagian pokok yaitu sistem spektrometri Alpha, Beta dan Gamma. Dari ketiga macam sistem spektrometri tersebut yang paling banyak dimanfaatkan adalah sistem spektrometri Gamma, karena radiasi yang paling banyak digunakan dalam bidang penelitian, industri, radiografi dan radiologi adalah radiasi sinar gamma⁽¹⁾. Perangkat elektronik untuk pengukur radiasi yang saat ini banyak dipakai adalah buatan "ORTEC" dan "CANBERRA" kedua merk pabrik tersebut sudah terbukti berkualitas baik tetapi permasalahannya adalah untuk pengadaan kedua merk perangkat elektronik tersebut sangat mahal, disamping itu apabila alat tersebut mengalami kerusakan maka untuk pengadaan komponen elektronik yang rusak

kadang kadang mengalami kesulitan karena komponennya sangat spesifik dan tidak ada dipasaran lokal⁽²⁾. Dengan pertimbangan tersebut maka telah dilakukan pembuatan sebagian dari Sistem Spektrometri Gamma. Bagian yang dibuat meliputi Penguat Linier (*Pre Amp* dan *Amplifier*) dan Penganalisa Kanal Tunggal. Dalam kegiatan ini meliputi pembuatan dan pengujian alat. Tujuan kegiatan ini adalah untuk melengkapi sebagian alat penelitian/praktikum elektronika nuklir khususnya sistem spektrometri gamma yang berfungsi untuk pengukuran intensitas dan tenaga radiasi gamma, serta dapat dipakai untuk mengetahui sumber radiasi yang belum diketahui jenis unsurnya. Disamping itu alat tersebut telah terbukti dapat berfungsi secara efektif dan efisien. Efektif karena dapat berdaya guna dan berhasil guna, serta efisien karena alatnya sangat sederhana dan harganya jauh lebih murah.

DASAR TEORI

Untuk membentuk pulsa cepat keluaran detektor menjadi pulsa Gaussian pada prinsipnya diperoleh dengan cara memperlambat pulsa "rise time" melalui rangkaian *Differentiator* dan mempercepat pulsa "decay time" melalui rangkaian *Integrator*⁽³⁾. Sistem instrumentasi nuklir yang dibuat terdiri dari Penguat Linier (*Pre-Amplifier Voltage Sensitive* dan *Amplifier*) serta Penganalisa Kanal Tunggal.

Pre Amplifier Voltage Sensitive

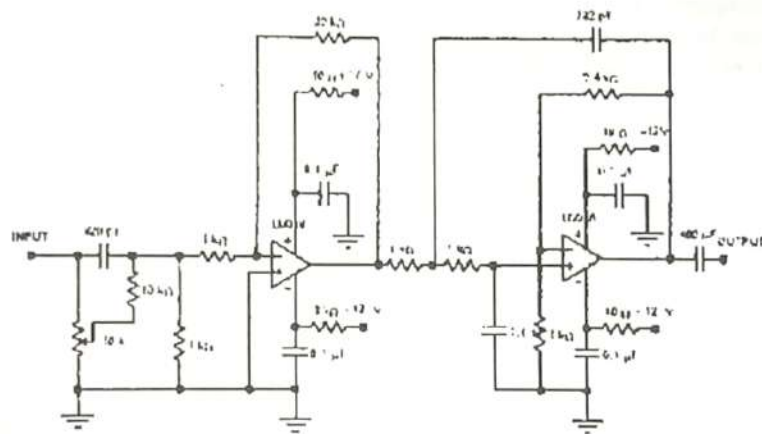
Rangkaian *Pre Amplifier Voltage Sensitive* seperti terlihat pada Gambar 1.

Rangkaian *Pre Amplifier Voltage Sensitive* tersebut diberi masukan berupa pulsa cepat

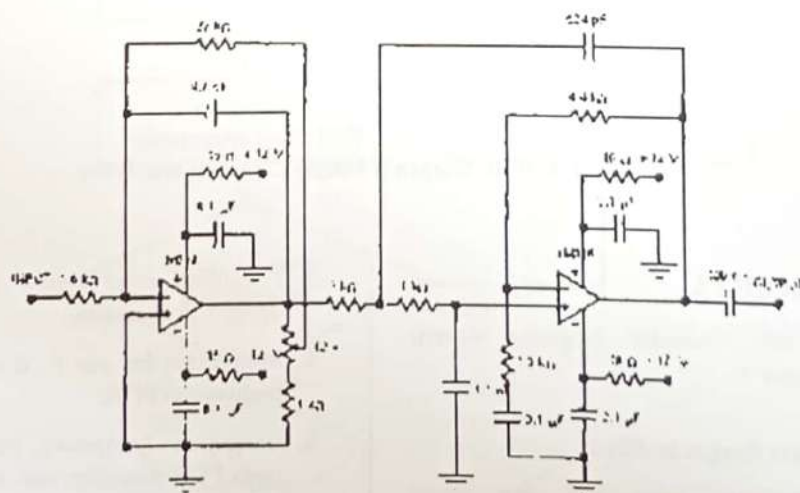
berpolaritas positif, baik pulsa yang berasal dari detektor maupun dari *pulse generator* yang biasanya dalam orde ≤ 20 mV. Pada IC LM 318 yang pertama pulsa masukan akan dikuatkan tinggi pulsanya menjadi ratusan mV (≤ 500 mV)⁽⁴⁾. *Pre Amplifier* tersebut juga dilengkapi dengan "Pole Zero Cancellation" yang digunakan untuk menghilangkan pulsa "under shoot". Pada IC yang kedua pulsa akan dibentuk menjadi *semi gaussian* melalui rangkaian *pulse shapping*.

Linear Amplifier

Rangkaian *Linear Amplifier* yang dibuat terdiri dari dua bagian, pertama bagian penguatan halus (*fine gain*) dan yang kedua rangkaian pembentuk pulsa gaussian. Rangkaian *Linear Amplifier* seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Rangkaian *Pre Amplifier Voltage Sensitive*.



Gambar 2. Rangkaian *Linear Amplifier*.

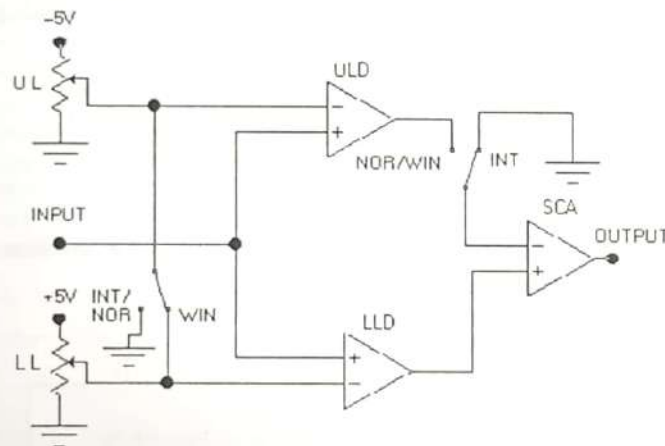
Cara kerja Linear Amplifier adalah, IC LM 318 yang pertama merupakan rangkaian penguat yang harga penguatannya dapat diatur dengan merubah harga tahanan pada potensiometer 10 k Ω . Besar penguatan merupakan hasil pembagian dari tahanan umpan balik dibagi tahanan depan (1,5 k Ω). IC LM 318 yang kedua merupakan rangkaian pembentuk pulsa *gaussian*. Keluaran Amplifier ini didesain mempunyai amplitudo maksimum 10 V sesuai spesifikasi Amplifier "ORTEC"⁽⁵⁾.

Penganalisa Kanal Tunggal (Single Channel Analyzer)

Penganalisa Kanal Tunggal (*Single Channel Analyzer/SCA*) merupakan bagian utama pada sistem Spektrometri γ , yang berfungsi untuk menganalisa /menyeleksi tinggi pulsa sesuai dengan tinggi pulsa yang diinginkan, dengan demikian hanya pulsa yang mempunyai amplitudo tertentu saja yang akan diteruskan ke pencacah. Blok diagram rangkaian *Single Channel Analyzer* dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada blok diagram terlihat bahwa tiap pulsa

input dilengkapi dua diskriminator aras bawah (*Lower Level/LL*) dan Aras atas (*Upper Level/UL*), cara operasi SCA ada 2 macam yaitu operasi *Integral* dan *Differential*⁽⁶⁾. Untuk operasi *Integral* LL berfungsi sebagai batas bawah sedangkan UL tidak digunakan, prinsipnya kalau ada pulsa yang tingginya diatas LL akan dilewatkan. Operasi *Differential* ada dua macam yaitu *Differential Jendela* dan *Differential Normal*. Pada operasi *Differential Jendela* LL berfungsi sebagai batasan bawah sedangkan UL berfungsi sebagai lebar jendela, dimana kalau ada pulsa masukan yang tingginya diatas LL sampai lebar jendela tertentu maka pulsa tersebut akan dilewatkan. Untuk operasi *Differential Normal*, LL berfungsi sebagai batasan bawah sedangkan UL berfungsi sebagai batasan atas, dimana kalau ada pulsa yang tingginya berada diatas LL sampai pada harga UL maka pulsa tersebut akan dilewatkan. Ambang LL dapat diatur dari 0 s/d +10 V, sedangkan pengaturan ambang UL ditentukan oleh penetapan operasi. Bila ditetapkan pada operasi *Integral* maka UL tidak digunakan, sedangkan bila operasi *differential Normal* ringnya dapat diatur dari 0 s/d +10V diukur terhadap ground. Bila operasi ditetapkan pada posisi *differential jendela* maka ring UL biasanya diatur dari 0 s/d 1V⁽⁷⁾.



Gambar 3. Blok Diagram Single Channel Analyzer

PROSEDUR KERJA

Diagram Alir Prosedur Kegiatan seperti terlihat pada Gambar 4.

Urutan Kerja Dari Diagram Alir :

1. Evaluasi rangkaian yang ada dan mulai mendesain rangkaian baru.
2. Melakukan percobaan pada *proto board*.

3. Pengujian *level board* apakah sudah sesuai dengan persyaratan.
4. Mendesain *lay out PCB* dan diteruskan dengan pembuatan PCB.
5. Pengujian komponen, pemasangan komponen pada PCB *Amplifier* dan *SCA*.
6. Pengujian rangkaian *Pre Amplifier* dengan *Pulse Generator*.

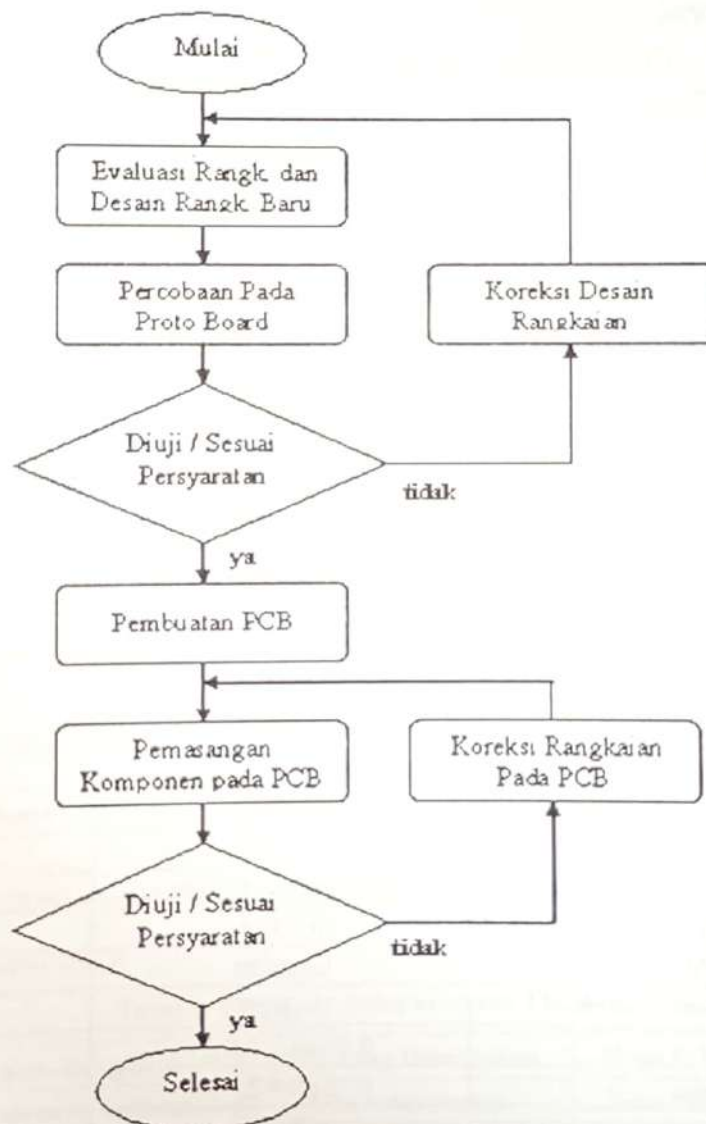
7. Pengujian *Amplifier* yang meliputi Penguatan, *band width* dan Linieritas *Amplifier*.
8. Pengujian *Single Channel Analyzer*, yang meliputi bentuk, tinggi dan lebar pulsa.
9. Pengujian sistem operasi SCA yang meliputi operasi *Integral*, *Differential Jendela*, dan *Differential Normal* dengan *Pulse Generator*.
10. Pengujian seluruh sistem spektrometri gamma dengan memakai *Amplifier* dan SCA yang telah dibuat, dalam hal ini unit peralatan dilengkapi dengan, *Detektor NaI(Tl)*, *High Voltage Power Supply "ORTEC"*, *Counter Timer ORTEC*.
11. Pengujian pencacahan dengan sumber standard *Cs-137* dan *Co-60*.

Alat Yang Digunakan :

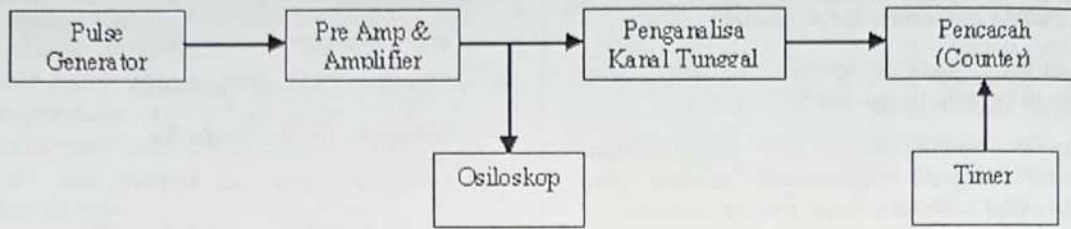
1. *Pulse Generator* Model GL-3.
2. *Frequency Counter* *Textronic*.
3. *Multimeter Digital* *Fluke-83*
4. *Oscilloscope* *Textronic* 40 MHz.
5. *DC HV Power Supply* *ORTEC* 556
6. *Counter and Timer* *ORTEC* 871

Blok Diagram Pengujian

Blok diagram pengujian dengan pulse generator seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Diagram alir prosedur kegiatan.



Gambar 5. Blok Diagram Pengujian

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

HASIL PENGUJIAN

Pengujian Pre Amplifier

Pulsa masukan dari Pulse Generator dengan frekuensi = 1 kHz (Tabel 1).

Pengujian Amplifier

Pada Pengujian Amplifier Dibagi Menjadi 3 Macam :

1. Pengujian Bentuk Pulsa dan Penguatan Amplifier.
2. Pengujian *Band Width Amplifier*.
3. Pengujian Linieritas Amplifier.

Pengujian Bentuk Pulsa dan Penguatan Amplifier

Pulsa masukan dari Pulse Generator dengan frekuensi = 1 kHz (Tabel 2).

Tabel 1. Pulsa masukan pada pengujian pre amplifier frekuensi 1 kHz.

No.	Bagian Yang Diuji	Hasil Yang Diharapkan	Hasil Pengukuran
1.	Bentuk pulsa masukan	Pulsa cepat positif	Pulsa cepat positif
2.	Tinggi pulsa masukan	1 – 20 mV	10 mV
3.	Bentuk pulsa keluaran	Pulsa semi gaussian	Pulsa semi gaussian
4.	Tinggi pulsa keluaran	100 – 500 mV	180 mV
5.	Penguatan	Secara teori 20x	18x
6.	Tegangan ripple (<i>noise</i>)	≤ 10 mV	10 mV

Tabel 2. Pulsa masukan pada pengujian bentuk pulsa dan penguatan amplifier frekuensi 1 kHz.

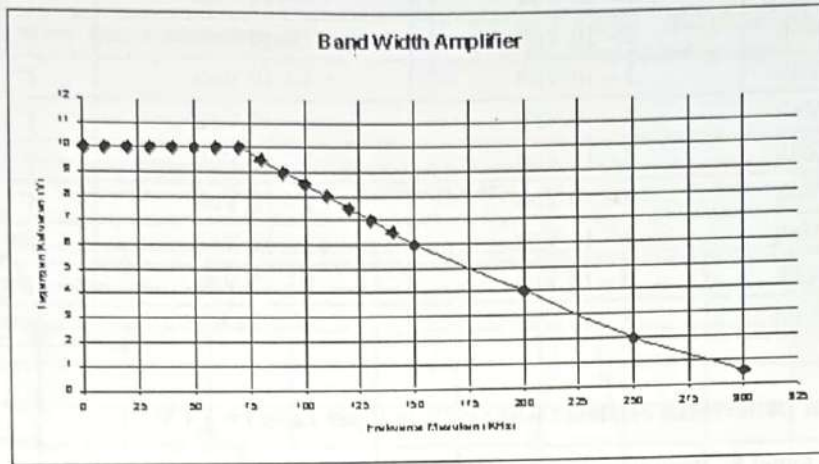
No.	Bagian Yang Diuji	Hasil Yang Diharapkan	Hasil Pengukuran
1.	Tinggi pulsa masukan	100 – 500 mV	180 mV
2.	Tinggi pulsa keluaran	Maksimum 10 Volt	10 Volt
3.	Penguatan	20 – 100x	55,5x
4.	Bentuk Pulsa keluaran	Gaussian	Gaussian
5.	Lebar pulsa keluaran	3 – 6 μS	5 μS
6.	<i>Rise time</i>	0,75 μS – 2,5 μS	2 μS
7.	<i>Decay time</i>	0,75 μS – 2,5 μS	2 μS
8.	Tegangan ripple (<i>noise</i>)	≤ 20 mV	20 mV
9.	Penguatan Pre Amp + Amplifier maksimum	2000x	2000x

Pengujian Band Width Amplifier

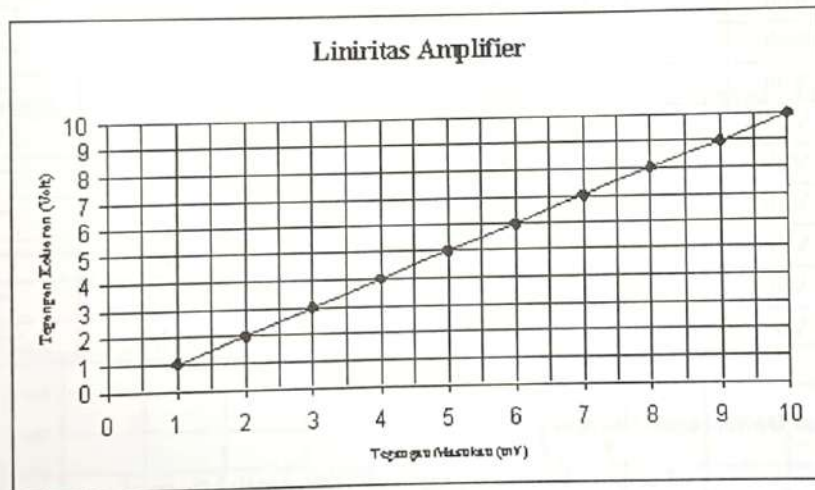
Dari data hasil pengujian Band Width Amplifier langsung disajikan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 6.

Pengujian Linieritas Amplifier

Dari data hasil pengujian Linieritas Amplifier langsung disajikan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Band Width Amplifier.



Gambar 7. Linieritas Amplifier.

Pengujian Single Channel Analyzer Dengan Pulse Generator

Pengujian Pulsa Keluaran TSCA

Tabel 3. Pengujian pulsa keluaran TSCA

No.	Bagian Yang Diuji	Hasil Yang Diharapkan	Hasil Pengukuran
1.	Bentuk pulsa keluaran	Pulsa kotak positip	Pulsa kotak positip
2.	Tinggi pulsa keluaran	4 – 5 Volt	4 Volt
3.	Lebar pulsa keluaran	5 μ S	5 μ S

Pengujian Operasi Integral

Tabel 4. Pengujian operasi integral.

NO.	Lower Level	Tinggi Pulsa Masukan SCA Yang Diharapkan	Tinggi Pulsa Masukan SCA Terukur	Pulsa Keluaran SCA
1.	1 Volt	1 – 10 Volt	1 – 10 Volt	
2.	2 Volt	2 – 10 Volt	2 – 10 Volt	
3.	3 Volt	3 – 10 Volt	3 – 10 Volt	
4.	4 Volt	4 – 10 Volt	4 – 10 Volt	
5.	5 Volt	5 – 10 Volt	5 – 10 Volt	
6.	6 Volt	6 – 10 Volt	6 – 10 Volt	
7.	7 Volt	7 – 10 Volt	7 – 10 Volt	
8.	8 Volt	8 – 10 Volt	8 – 10 Volt	
9.	9 Volt	9 – 10 Volt	8,6 – 10 Volt	

Pengujian Operasi Defferential Jendela : lebar jendela (*Uper Level*) = 0,1 V.

Tabel 5. Pengujian operasi defferential jendela (lebar jendela = 0,1 V).

NO.	Lower Level	Tinggi Pulsa Masukan SCA Yang Diharapkan	Tinggi Pulsa Masukan SCA Terukur	Pulsa Keluaran SCA
1.	1 Volt	1 s/d 1,1 Volt	1 s/d 1,1 Volt	
2.	2 Volt	2 s/d 2,1 Volt	2 s/d 2,1 Volt	
3.	3 Volt	3 s/d 3,1 Volt	3 s/d 3,1 Volt	
4.	4 Volt	4 s/d 4,1 Volt	4 s/d 4,1 Volt	
5.	5 Volt	5 s/d 5,1 Volt	5 s/d 5,1 Volt	
6.	6 Volt	6 s/d 6,1 Volt	6 s/d 6,1 Volt	
7.	7 Volt	7 s/d 7,1 Volt	7 s/d 7,1 Volt	
8.	8 Volt	8 s/d 8,1 Volt	8 s/d 8,1 Volt	
9.	9 Volt	9 s/d 9,1 Volt	8,6 s/d 8,8 Volt	

Pengujian Operasi Defferential Normal

Tabel 6. Pengujian Operasi Defferential Normal

NO.	Lower Level (LL)	Uper Level (UL)	Tinggi Pulsa Masukan SCA Yang Diharapkan	Tinggi Pulsa Masukan SCA Terukur	Pulsa Keluaran SCA
1.	1 Volt	2 Volt	1 – 2 Volt	1 s/d 2 Volt	
2.	1 Volt	3 Volt	1 – 3 Volt	1 s/d 3 Volt	
3.	1 Volt	4 Volt	1 – 4 Volt	1 s/d 4 Volt	
4.	1 Volt	5 Volt	1 – 5 Volt	1 s/d 5 Volt	
5.	1 Volt	6 Volt	1 – 6 Volt	1 s/d 6 Volt	
6.	1 Volt	7 Volt	1 – 7 Volt	1 s/d 7 Volt	
7.	1 Volt	8 Volt	1 – 8 Volt	1 s/d 8 Volt	
8.	1 Volt	9 Volt	1 – 9 Volt	1 s/d 9 Volt	
9.	1 Volt	10 Volt	1 – 10 Volt	1 s/d 10 Volt	

Pengujian SCA Untuk Pencacahan dan Analisa Tinggi Pulsa Dengan Menggunakan Sumber Radiasi

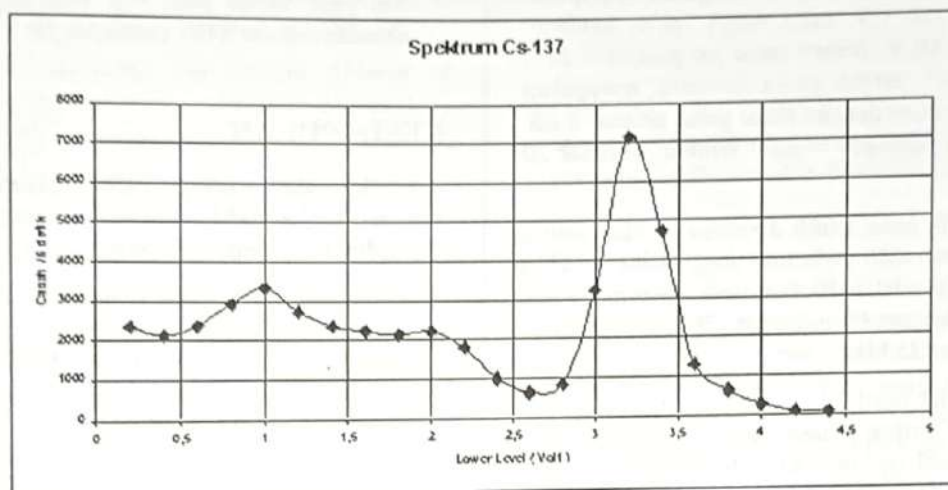
Pengujian Pencacahan Dengan Sumber Radiasi γ Cs-137

Hasil pengujian pencacahan dengan sumber

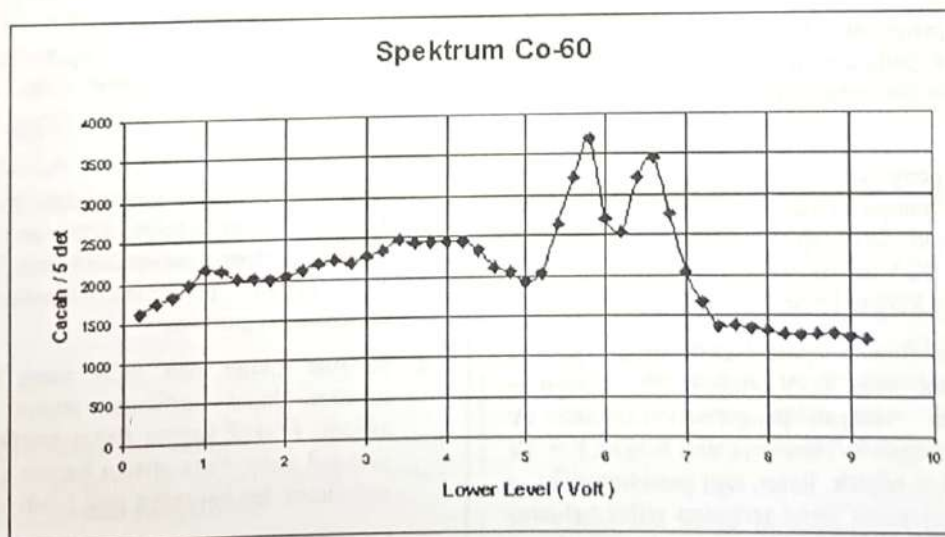
radiasi γ Cs-137 disajikan dalam bentuk spektrum seperti terlihat pada Gambar 8.

Pengujian Pencacahan Dengan Sumber Radiasi γ Co-60

Hasil pengujian pencacahan dengan sumber radiasi γ Co-60 disajikan dalam bentuk spektrum seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 8. Spektrum sumber radiasi standard Cs-137, letak tenaga radiasi γ Cs-137 pada 3,2 Volt (dengan 7141 cacah/5det).



Gambar 9. Spektrum sumber radiasi standart Co-60, letak tenaga radiasi γ sumber standart Co-60 : yang pertama pada 5,8 Volt dengan angka cacahan sebesar 3692 cacah/5det, yang kedua pada 6,6 Volt dengan angka cacahan sebesar 3441 cacah/5det.

PEMBAHASAN

- Pada pengujian *Pre Amplifier* terlihat bahwa dengan pulsa masukan 10 mV maka tinggi pulsa keluaran 180 mV, berarti penguatan = 18x, sedangkan menurut teori harusnya 20x, hal ini kemungkinan disebabkan oleh toleransi harga R *feedback* (20 kΩ) dan R depan (1kΩ). Tegangan *noise* terukur sebesar 10 mV dan harga ini merupakan harga batas yang telah ditentukan.
- Pada Pengujian *Amplifier* dengan tinggi pulsa masukan 180 mV maka tinggi pulsa keluaran *Amplifier* 10 V, berarti besar penguatan = 55x, sedangkan bentuk pulsa keluaran merupakan pulsa *gaussian* dengan lebar pulsa sebesar 5 μS, selain itu tegangan *ripple* terukur sebesar 20 mV.
- Dari grafik *band width Amplifier* terlihat bahwa lebar *band width* pada saat tinggi pulsa keluaran tetap 10 V adalah 70 kHz. sedangkan pada saat pulsa keluaran turun sampai 70 %, maka *band width* nya 125 kHz.
- Pada grafik hasil pengujian linieritas penguatan *amplifier* terlihat bahwa harga penyimpangannya sangat kecil tapi dengan melihat pada tabel data pengujian linieritas bahwa untuk tinggi pulsa masukan 6 mV maka pada output *amplifier* keluar pulsa setinggi 5,97 Volt dan seharusnya 6 Volt. Jadi harga *Integral Non Linearity (INL)* = $(\Delta V/V_{max}) \times 100\% = (0,03V/10V) \times 100\% = 0,3\%$.
- Dalam pengujian *SCA* menggunakan Pulse Generator, pada output *SCA* keluar pulsa kotak positif dengan amplitudo 4 Volt dan lebar pulsa 5 μS.
- Untuk pengujian operasi *Integral* dari harga LL=1 V sampai dengan 8V maka respon dari pulsa input terhadap munculnya pulsa kotak keluaran *SCA* adalah linier, tapi pada LL = 9 V responnya kurang linier.
- Pada pengujian operasi *Differential* jendela UL diset pada 0,1V atau 0,2V kemudian diteruskan dengan pengaturan LL dari 1V sampai dengan 9V, hasilnya dari harga LL = 1V sampai 8 V adalah linier, tapi pada harga LL = 9V respon pulsa input terhadap pulsa keluaran *SCA* tidak mulai dari 9V tapi mulai pada harga LL = 8,6V.
- Pada pengujian *SCA* untuk operasi *Differential Normal* maka hasilnya adalah *SCA* telah beroperasi secara linier.

- Dari pengujian pencacahan dengan sumber radiasi Cs-137 dari Gambar 8. Spektrum Cs-137 didapatkan bahwa letak tenaga sumber radiasi γ standard Cs-137 pada 3,2 Volt dengan angka cacahan sebesar 7141 cacah/5det.
- Untuk pengujian pencacahan dengan sumber radiasi Co-60 dari Gambar 9. Spektrum Co-60 didapatkan bahwa letak tenaga sumber radiasi γ standard Co-60 ada dua, pertama pada 5,8 Volt dengan angka cacahan sebesar 3692 cacah/5detik dan yang kedua pada 6,6 Volt dengan angka cacahan sebesar 3441 cacah/5detik.

KESIMPULAN

Dari data hasil pengujian dalam pembuatan Penguat Linier dan Penganalisa Kanal Tunggal dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada dasarnya Penguat Linier yang dibuat sudah berfungsi dengan baik yaitu sudah dapat menguatkan pulsa keluaran detektor NaI(Tl) yang mempunyai amplitudo $\leq 20\text{mV}$ menjadi pulsa keluaran *Amplifier* yang mempunyai amplitudo maksimum 10V dan mempunyai *Band Width* serta Linieritas yang baik, selain itu sudah dapat membentuk pulsa cepat keluaran detektor menjadi pulsa *gaussian* dengan lebar pulsa 5 μS, sehingga siap diproses pada Penganalisa Kanal Tunggal.
2. Dalam pembuatan *SCA* dari hasil pengujian dan pembahasan terbukti bahwa *SCA* telah berfungsi dengan baik dan telah dapat dipakai untuk menganalisa tinggi pulsa, dan membentuk menjadi pulsa kotak dengan lebar 5 μS, tinggi pulsa 4 V.
3. Dengan melakukan pembuatan, penguat linier dan *SCA* ini maka tujuan kegiatan telah tercapai yaitu telah dapat memenuhi kebutuhan sebagian dari sarana penelitian khususnya sistem spektrometri gamma.
4. Penguat Linier dan *SCA* yang dibuat telah terbukti dapat berfungsi secara efektif dan efisien. Efektif karena dapat berdaya guna dan berhasil guna, serta efisien karena alatnya sangat sederhana dan harganya jauh lebih murah.

DAFTAR PUSTAKA

1. WISNU SUSETYA, *Sistem Spektrometri Gamma*, FT. UGM, Yogyakarta, 1988.

2. WISTANINGRUM, *Pembuatan Single Channel Analyzer*, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir – BATAN, Yogyakarta, 2002.
3. TOTO TRI KASJONO, dkk., *Petunjuk Praktikum Elektronika Nuklir*, Bidang Studi Elektronika dan Instrumentasi, STTN – BATAN, Yogyakarta, 2002.
4. ORTEC, *Operating and Service Manual of Pre Amp. model 142PC*, USA, 1990.
5. ORTEC, *Operating and Service Manual of Spectroscopy Amplifier Model 570*, USA, 1990.
6. ORTEC, *Operating and Service Manual of Timing Single Channel Analyzer Model 551*, USA, 1991.
7. SUMANTO J., *Petunjuk Pemakaian Renograf, PPNR – BATAN*, Jakarta, 1997.

TANYA JAWAB

Wirjoadi

- Linieritas alat secara keseluruhan?
- Resolusi tinggi pulsa minimum pada SCA?

Jumari

- Integral non linearity (INL) secara keseluruhan pada penguat linier yang dibuat adalah 0,3%, jadi masih pada harga yang diijinkan.
- Resolusi tinggi pulsa minimum pada SCA yang dibuat adalah 20 mV, karena seting posisi operasi differential jendela (ΔV) adalah dari 0 s/d 10 V, sedangkan untuk produk ORTEC $\Delta V = 0$ s/d 1 V, dan resolusi tinggi pulsa minimum SCA ORTEC adalah 10 mV.

Sayono

- Apakah kelebihan dan kekurangan dari penguat linier dan penganalisa kanal tunggal untuk spektroskopi gamma yang dibuat.

Jumari

- Kelebihannya disain sangat sederhana, unjuk kerja sangat baik dan cukup handal, komponen

mudah didapat karena sebagian besar menggunakan komponen lokal, harga jauh lebih murah dibandingkan alat yang sama produk ORTEC.

- Kekurangannya tegangan ripple untuk keluaran penguat linier masih 20 mV dan perlu ditekan lagi, selain itu untuk ketelitian dalam analisa data pada penganalisa kanal tunggal masih dibawah produk ORTEC dan sebetulnya hal inipun masih dapat dibenahi dengan menyempurnakan sistem windownya.

Giri Slamet

- Mengapa spektrum hasil pengujian Co-60 puncaknya terlalu rendah dibandingkan Cs-137?

Jumari

- Pada pengujian pencacahan hasilnya spektrum Co-60 terlalu rendah dibandingkan Cs-137 karena walaupun dua buah sumber radiasi tersebut dibuat pada tahun yang sama (1981) tetapi umur paruhnya berbeda, yaitu $T_{1/2}$ Co-60 = 5 Th sedangkan $T_{1/2}$ Cs-137 = 30 Th, jadi Co-60 sudah mengalami peluruhan empat kali sedangkan Cs-137 belum mengalami peluruhan karena $T_{1/2}$ nya belum terlampaui, jadi aktivitas Co-60 sudah kecil sedangkan aktivitas Cs-137 masih besar spektrumnya lebih tinggi.

Basuki

- Apa alasannya pengujian menggunakan sumber radiasi standar Cs-137 dan pencacahan sumber radiasi Co-60.
- Mengapa tidak menggunakan sumber yang lain.

Jumari

- Dalam pengujian pencacahan sumber radiasi yang digunakan Cs-137 dan Co-60 karena hal ini sangat diperlukan untuk keperluan kalibrasi tenaga, misalnya kalau mau dipakai untuk mengetahui jenis sumber radiasi yang belum diketahui.
- Sebetulnya dapat menggunakan sumber radiasi lain, tetapi pertimbangannya sumber radiasi standar yang paling mudah didapat adalah Cs-137 dan Co-60, selain itu selisih letak tenaga y Cs-137 dengan Co-60 cukup jauh.