

RANCANG BANGUN LINIER AMPLIFIER UNTUK SPEKTROSKOPI NUKLIR

JOKO SUNARDI, TOTO TRIKASJONO
Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 1008, DIY 55010
Telp. 0274.489716, Faks.489715

Abstrak

RANCANG BANGUN LINIER AMPLIFIER UNTUK SPEKTROSKOPI NUKLIR.. Telah dilakukan rancang bangun linier amplifier untuk spektroskopi nuklir dengan tujuan penelitian dan untuk melengkapi fasilitas praktikum elektronika nuklir pada laboratorium elektronika instrumentasi Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir. Rancang bangun ini dilaksanakan dengan membuat perangkat spektroskopi linier amplifier yang menunjukkan pemrosesan pulsa input dari detektor yang kemudian dikuatkan oleh penguat linier dan dibentuk oleh pembentuk pulsa, sehingga dihasilkan pulsa keluaran semigaussian yang siap dicacah. Dari rancang bangun ini mempunyai kelebihan dengan menggunakan standar rangkaian dari IAEA dan diperoleh hasil berupa perangkat spektroskopi linier amplifier yang siap digunakan untuk spektroskopi nuklir yang sesuai standar untuk penelitian. Dari hasil penelitian diperoleh nilai $INL = 0,235\%$; $Rise\ time = 0,4mS$; $Fall\ time = 0,6mS$; $FWHM = 0,4mS$; $Shaping\ time = 1,2mS$; $Resolusi$ (untuk Co-60 pada energi 1332 keV = 0,030%; pada energi 1773 keV = 0,034 % dan untuk Cs-137 pada energi 662 keV = 0,09 %); $Efisiensi$ (untuk Co-60 = 0,866 % dan untuk Cs-137 = 1,405 %), $regresi$ untuk Kalibrasi energi = 0,9166 dan $Chi\ square$ tes tingkat kepercayaan 95% - 50% diperoleh nilai 14,7.

Kata kunci : linier amplifier, spektroskopi nuklir, pulsa

Abstract

DESIGN TO BUILD THE LINEAR AMPLIFIER FOR THE SPECTROSCOPY OF NUCLEAR. Have conducted design to develop the linear amplifier for the spectroscopy of nuclear with an eye to research and to equip the nuclear facility practice electronics at laboratory of Nuclear Technological College instrumentation electronics. Design to develop this executed by making linear spectroscopy peripheral of amplifier which showing of process of pulse input from later detector strengthened by linear lasing and formed by form pulse, is so that yielded by readily pulse output semigaussian is count. From designing to develop this have the excess by using network standard from IAEA and obtained by result in the form of linear spectroscopy peripheral of used readily amplifier for the spectroscopy of appropriate nuclear of standard for the research of. From research result obtained by value $INL = 0,235\%$; $Rise\ Time = 0,4mS$; $Fall\ Time = 0,6mS$; $FWHM = 0,4mS$; $Shaping\ Time = 1,2mS$; $Resolution$ (for the Co-60 of at energi 1332 keV = 0,030%; at energi 1773 keV = 0,034 % and for the Cs-137 of at energi 662 keV = 0,09 %); $Efficiency$ (for the Co-60 of = 0,866 % and for the Cs-137 of = 1,405 %), $regresi$ to Calibrate the energi = 0,9166 and $Chi\ square$ tes mount the belief 95 - 50% obtained by value 14,7.

Keywords : linear amplifier, nuclear spectroscopy, pulse.

PENDAHULUAN

Dalam bidang teknologi nuklir banyak *instrument* yang mendukung dalam berbagai keperluan penelitian, pendidikan, kedokteran, juga bidang industri dan sebagainya.

Spektroskopi nuklir berfungsi untuk analisa sumber radiasi atau radioisotop dengan mengukur distribusi energinya, sedangkan amplifier pada spektroskopi nuklir berfungsi sebagai pengolah pulsa keluaran dari detektor sehingga dapat dibaca oleh penganalisa tinggi

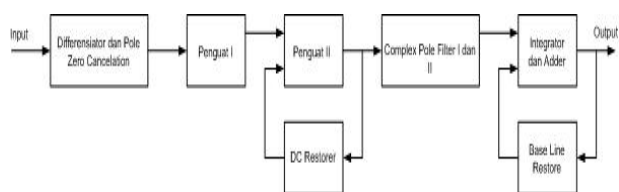
pulsa. Spektroskopi nuklir mempunyai prinsip alat untuk mengetahui energi dari suatu sumber radiasi seperti sumber alfa, beta dan gamma. Pada spektroskopi nuklir terdiri dari : detektor, HV, pre-amplifier, amplifier, SCA/TSCA, pencacah (*Counter* dan *Timer*). Dan peneliti akan meneliti dan membuat amplifier, sedangkan amplifier atau spektroskopi amplifier mempunyai prinsip alat sebagai penguatan dan pembentuk pulsa menjadi semi gaussian. Spektroskopi amplifier terdiri dari : *pull zero* (penguat awal) dan *differensiator*, penguat, *dc restorer*, *filter komplek*, *integrator* dan *base line restorer* (BLR). Dan hasil yang diharapkan pulsa keluaran pulsa unipolar dan bipolar, bila untuk pemilihan detektor apa yang akan dipakai, maka keluaran pulsa unipolar bisa menggunakan detektor semikonduktor dan pulsa bipolar biasanya menggunakan detektor NaI(Tl), sehingga pada penelitian dan pembuatan alat ini detektor yang digunakan detektor NaI(Tl). Detektor NaI(Tl) ialah salah satu jenis detektor sintilasi yang bahannya sintilator dan digunakan untuk mengukur radiasi gamma dan sinar-x. Dan detektor ini keunggulan dibandingkan dengan detektor lain adalah efisiensinya tinggi oleh karena itu detektor ini merupakan pilihan untuk digunakan dalam pengukuran radioaktivitas rendah (pengukuran radiaktivitas lingkungan) dan keunggulan lainnya ialah kecepatan memproses sebuah radiasi menjadi pulsa listrik. Sehingga dengan keunggulan-keunggulan yang ada pada detektor ini kegunaan spektroskopi nuklir dapat berfungsi lebih baik. Perancangan dan pembuatan alat ini digunakan untuk mengetahui suatu unsur: alat yang akan dibahas pada penelitian ini ialah amplifier pada spektroskopi nuklir sebagai penguat dan pembentuk pulsa dan yang ingin dicapai pada penelitian dan pembuatan amplifier yaitu keluaran pulsa unipolar dan pulsa bipolar. Peneliti bertujuan untuk membangun spektroskopi amplifier yang bermanfaat teknologi sekarang ini dan pengembangan teknologi kedepannya untuk lebih baik, meliputi : desain, kontruksi dan kualitasnya.. Dalam bidang teknologi nuklir banyak instrument yang mendukung dalam berbagai keperluan penelitian, pendidikan, kedokteran, juga bidang industri dan sebagainya. Spektroskopi nuklir berfungsi untuk analisa sumber radiasi atau radioisotop dengan mengukur distribusi energinya,

sedangkan amplifier pada spektroskopi nuklir berfungsi sebagai pengolah pulsa keluaran dari detektor sehingga dapat dibaca oleh penganalisa tinggi pulsa.

DASAR TEORI

Spektroskopi nuklir mempunyai prinsip alat untuk mengetahui energi dari suatu sumber radiasi seperti sumber alfa, beta dan gamma. Pada spektroskopi nuklir terdiri dari : detector, HV, pre-amplifier, amplifier, SCA/TSCA, pencacah (*Counter* dan *Timer*). Dan peneliti akan meneliti dan membuat amplifier, sedangkan amplifier atau spektroskopi amplifier mempunyai prinsip alat sebagai penguatan dan pembentuk pulsa. Spektroskopi amplifier terdiri dari : *pull zero* (penguat awal) dan *differensiator*, penguat, *dc restorer*, *filter komplek*, *integrator* dan *base line restorer* (BLR).

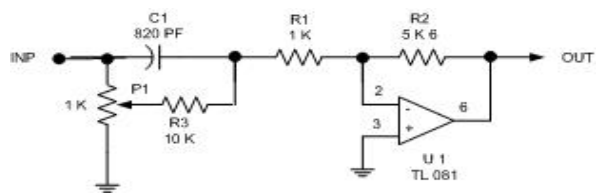
Blok Diagram Linier Amplifier



Gambar 1. Blok Diagram Spektroskopi Amplifier

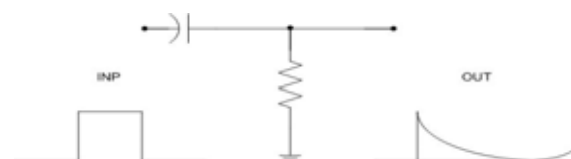
Differensiator and Pole – Zero Cancellation

Bagian awal dari Spektrokopi amplifier adalah *differensiator and pole-zero Cancellation*.



Gambar 2. Rangkaian Pole Zero

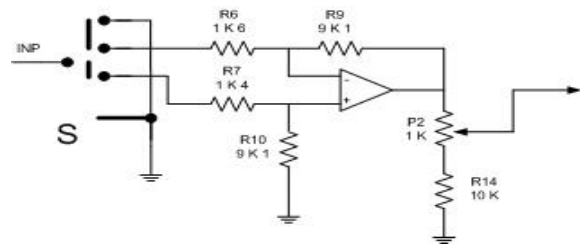
Bagian ini menunjukkan rangkaian differensiasi pasif yang disusun dari rangkaian R dan C yaitu R3 dan C1 dapat dilihat rangkaian dasar adalah sebagai berikut :



Gambar 3. Rangkaian Dasar Pole Zero

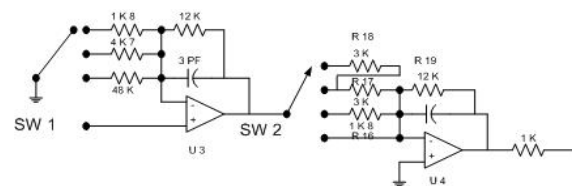
Informasi tentang energi dari radiasi tertentu adalah tinggi pulsa dari tangga tegangan mulai dari 10 mVolt atau dengan range dari - 5Volt sampai + 5Volt. Tegangan seperti ini tidak dikuatkan. Untuk itu tangga tegangan tersebut di differensiasikan, untuk mendefferensiasikan digunakan rangkaian R dan C pasif seperti Gambar 3. Karena differensiasi non eksak di tanyakan oleh RC penderferensiasi, menghasilkan pulsa eksponensial mendekati nol dengan RC time konstan, dengan pilihan RC yang sesuai, pulsa dengan lebar lembah-lembah dapat dibentuk. Tujuan differensiasi adalah untuk memperpendek "Exponential pulse tail" sehingga pulsa itu turun dengan cepat setelah didifferensiator. Hal ini adalah untuk menjaga terjadinya "Base Line Fenctuation", dengan demikian mempercepat "DC level recovery" sehingga memungkinkan untuk "Counting Rate" yang lebih tinggi. Rangkaian differensiator disini dilengkapi dengan pole zero cancellation network yang dibentuk rangkaian R1; C1; R3, untuk menghilangkan atau mengurangi terjadinya *under shot* pada pulsa setelah differensial pertama. Rangkaian C1; R1; R2 dan U1 adalah rangkaian Differensiator yang digunakan untuk membentuk pulsa bagian depan atau untuk memperbesar waktu bangkit pulsa (*rise time*). Pole zero cancellation yang dibentuk pada rangkaian P1; C1; dan R3 berfungsi untuk mencegah *under shot* akibat proses integrasi. Efek *under shot* ini dapat dikurangi dengan menambah preamplifier "Pulse delay time" seperti pada Gambar 3. Sasaran bawah eliminasi adalah exsponensial dengan time konstan λ dan pulsa masukan, tetapi kebanyakan lebih kecil dari yang menghubungkan ekor exsponensial pada input pulsa. Jika akan menambahkan *exsponensial* dari polaritas yang berlainan saling membatalkan satu sama lain dan ada perhitungannya lebih detail. Bagian selanjutnya adalah penguat I (U3) yang dilengkapi dengan *fine gain* melalui P2 dan penguat II (U4) yang dilengkapi dengan *coarse gain* melalui kombinasi R16; R17; R18 dan SW2. Keluaran penguat II yang dikendalikan oleh DC restore dimasukkan ke Complex pole filter. Pengendalian perlu dilakukan karena semua rangkaian menggunakan kopling DC sehingga sekecil apapun perubahan *offset* akan berpengaruh sangat besar pada output.

Basic Amplifier Circuits



Gambar 4. Basic Amplifier Circuits

Saklar (S) adalah memilih pulsa input, apakah pulsa positif atau pulsa negatif. Sebagai penguatannya ditentukan oleh $\frac{R9}{R6}$ untuk pulsa negatif dan $\frac{R}{R}$ untuk pulsa positif. Rangkain ini juga dilengkapi dengan *fine gain* melalui P2 (potensiometer) dipakai untuk mengatur amplitudo pulsa amplifier.

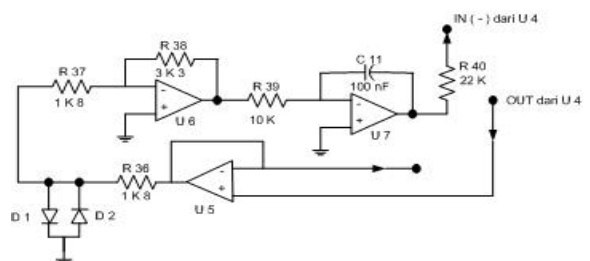


Gambar 5. Penguat

U3 dan U4 adalah sebagai *pulsa shaping* yang berfungsi sebagai pembentuk pulsa dengan merubah SW1 dan melalui konversi R16, R17 dan SW2 dapat diatur *rise time* dan *delay time* sesuai bentuk pulsa yang dikehendaki.

DC Controller

Tegangan penguat perlu dilakukan pengendalian dengan rangkaian sebagai berikut :

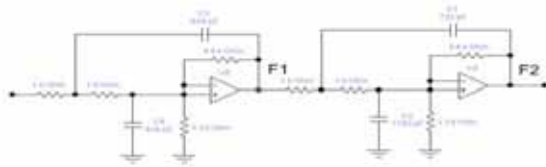


Gambar 6. DC Restorer

Tegangan penguatan dikendalikan perlu dilakukan karena semua tingkatan pada amplifier spektroskopi nuklir dari U1 sampai

dengan U4 merupakan rangkaian *DC complex* (dihubung langsung), sehingga mempunyai penguatan yang cukup besar. Oleh karena itu perubahan *offset* sekecil apapun beberapa mVolt dari input dapat diperbesar ratusan kali. Jika ada yang *breck* pada *base line* (level DC tidak nol), maka pengukuran puncak pulsanya akan tidak benar. Dengan *DC restorer* level DC akan sama dengan nol dan *DC restorer* ditangani oleh U6 dan U7 bersama dengan D1 dan D2 serta beberapa R. U5 adalah *voltage follower* sebagai *buffer*, D1 dan D2 sebagai *clipper*, U6 sebagai penguat dengan penguatannya adalah $\frac{R38}{R37}$, kemudian U7 sebagai *integrator*, inilah bagian bagian dari *DC restorer*. Rangkaian spektroskopi amplifier akan bergabung bersama dengan rangkaian *DC restorer*, seperti pada gambar di atas. Sinyal penyangga dari pengikut tegangan U5 dipotong oleh D1 dan D2 sinyal yang diperoleh adalah 2,75 kali oleh U6 (dikuatkan). Hasilnya tegangan dimasukkan ke *integrator* U7 waktu dikembalikan ke U4. sehingga secara otomatis akan mengontrol level DC-nya bila terjadi perubahan dalam *range* tertentu.

Complex Pole Filtering



Gambar 7. Complex Pole Filtering

Complex pole filter dibuat dua tingkat (U8 dan U9) dengan konstanta yang berbeda. Keluaran complex pole filter dikuatkan pada inverting untuk kemudian pulsa siap diproses pada tingkat berikutnya. Keluaran inverting dikendalikan oleh *base line restorer*. Maksud pengendalian adalah agar ekor pulsa segera kembali ke level nol tidak sedikit naik atau turun.

Rangkaian yang dibangun dua tingkat oleh U8 dan U9, pada rangkaian sebelumnya pulsa eksponensial diperkuat dari beberapa milivolt menjadi beberapa volt. Untuk memperbaiki rasio noise pada signal pulsa ini different oleh F1 yaitu U8 dan U9 oleh F2. dengan demikian pulsa masukan sebelumnya akan optimal rasio noisenya dan bentuk pulsa

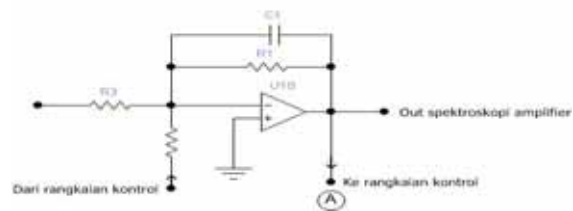
keluar setelah F1 dan F2 gaussian. Filter atau penyaring diintegrasikan dengan fungsi transfer

$$F(s) = F_1(s) \cdot F_2(s) = \frac{1}{(1 + \lambda \cdot s)^n}$$

dari 2 sampai 4 dan akhirnya fungsi transfer menjadi $\frac{\lambda \cdot s}{1 + \lambda \cdot s} \cdot \frac{1}{(1 + \lambda \cdot s)^n}$ dengan λ

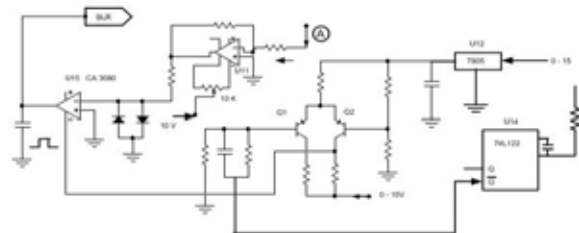
adalah R dan C dari rangkaian F1 dan F2. Rangkaian differensiator yang memiliki masukan λ yang sama dengan n sampai tak terhingga akan menghasilkan output yang gaussian. Pulsa keluaran F2 (U9) di buffer oleh U10 dengan penguatan $\frac{R29}{R28} = 1$ output U10

adalah output dari rangkaian spektroskopi amplifier yang dibuat atau dianalisa, rangkaianannya adalah sebagai berikut :



Gambar 8. Rangkaian Output Spektroskopi Amplifier Dari *Complex Pole Filtering*

Base Line Restorer



Gambar 9. Rangkaian BLR

Sebagian sinyal pulsa keluaran dari output spektroskopi amplifier di ambil (U10) difeetbackkan dan masuk kerangkaian BLR yaitu U11 dibuffer kemudian masuk ke U15 Op-Amp khusus CA 3080 yang di desain khusus dengan karakteristik transkonduktan amplifier $I = gm(x.y)$. Dengan rangkaian pendukung yaitu Q1, Q2, IC 74.122 (mano stabil multivibrator) dan U13, akan mengendalikan pulsa keluaran spektroskopi amplifier U10 akan terjaga level DC-nya dan perubahan pulsa input sebelumnya sehingga

pulsa keluaran spektroskopi amplifier akan stabil, tidak bergeser level DC-nya.

LANGKAH PENGUJIAN

Pengujian Statis

Pengujian alat secara statis bertujuan untuk mencari batas-batas kinerja alat dengan menggunakan pulse generator sebagai pengganti sumber dan detektor. Pada pengujian statis akan dilakukan beberapa pengujian, yaitu:

1. Ketidaklinieran Integral (INL)
2. Timing

Pengujian Ketidaklinieran Integral (INL)

Untuk ukuran linieritas integral merupakan deviasi maksimum kurva hasil pengukuran dari garis lurus, dan biasanya diberikan dalam persentase. Untuk perancangan analyzer yang baik, dapat diamati pada tinggi pulsa yang ekstrim, dan nilainya lebih kecil dari 1%. Sehingga secara matematis INL atau ketidaklinieran Integral dapat ditulis, sebagai berikut :

Pengujian Timing

Dalam pengujian timing yang akan diketahui ialah besar ukuran dari bagian suatu pulsa yang akan tertampil dalam monitor oscilloscop, yaitu :

1. Pengujian dinamis

Dalam pengujian dinamis bertujuan untuk mencari batas-batas kinerja alat dengan menggunakan sumber radiasi dan detektor, serta SCA sebagai penganalisa tinggi pulsa sehingga didapat bentuk spektrum dari sumber. Dan pada pengujian ini digunakan sumber radiasi standart anatara lain : Cs-137 dan Co-60. Pada pengujian dinamis akan dilakukan beberapa pengujian, yaitu resolusi detector, efisiensi detector dan kalibrasi energi

2. Pengujian resolusi detector

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan detector memisahkan puncak-puncak tenaga yang saling berdekatan. Kemampuan suatu detektor spektroskopi- γ untuk memisahkan dua puncak tenaga- γ yang berdekatan disebut sebagai *daya pisah* atau *resolusi detektor*. Resolusi suatu detektor adalah fungsi tenaga sinar- γ ,

makin tinggi tenaga- γ makin rendah resolusi detektor.

3. Pengujian Efisiensi Detektor

Efisiensi detektor dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya cacah dengan aktivitas sumber, yaitu cacah pancaran radiasi yang dihasilkan oleh sumber kesegala arah. Kemampuan detector untuk menerima pancaran radiasi dari sumber radiasi dapat dipengaruhi oleh jarak sumber radiasi dengan detector dan medium antara sumber radiasi dengan detector.

4. Pengujian Kalibrasi Energi

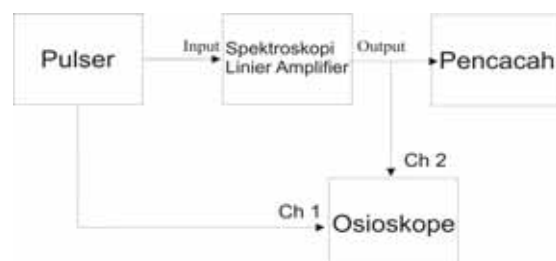
Dalam pengujian kalibrasi energi, penulis menggunakan dua sumber antara lain : Co-60 dan Cs-137. Dari kedua sumber tersebut penulis dilakukan pencacahan dan dihasilkan spektrum pada tegangan discriminator untuk puncak-puncak masing-masing spektrum pada setiap sumber.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Ketidaklinieran Integral (INL)

Untuk ukuran linieritas integral merupakan deviasi maksimum kurva hasil pengukuran dari garis lurus, dan biasanya diberikan dalam persentase. Untuk perancangan analyzer yang baik, dapat diamati pada tinggi pulsa yang ekstrim, dan nilainya lebih kecil dari 1%. Sehingga secara matematis INL atau ketidaklinieran Integral dapat ditulis, sebagai berikut :

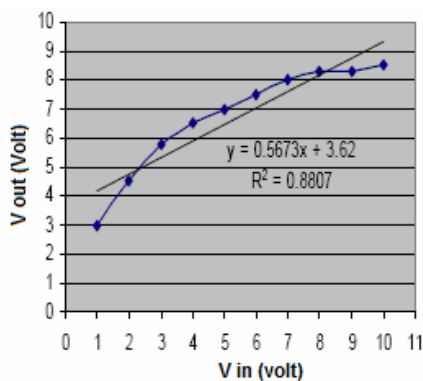
$$INL = \frac{V_d}{V_o} \times 100\% \quad (1)$$



Gambar 10. Blok Diagram Pengujian Statis

Tabel 1. Data Hasil Pengujian

No.	V in (V)	V out (V)
1	1	3
2	2	4,5
3	3	5,8
4	4	6,5
5	5	7
6	6	7,5
7	7	8
8	8	8,3
9	9	8,3
10	10	8,5



Gambar 11 Kurva Ketidaklinieran

Integral (INL)

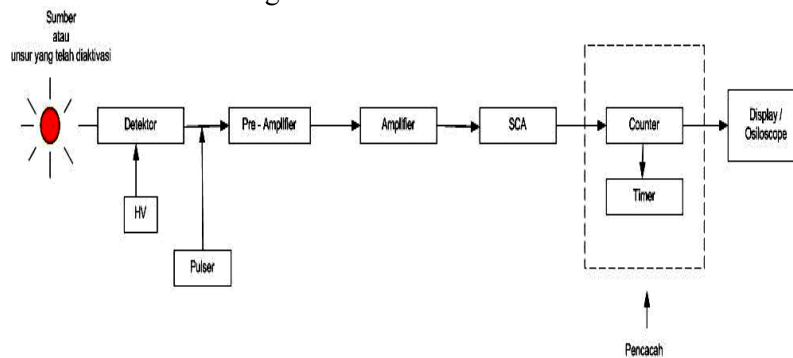
$$INL = \frac{V_d}{V_o} \times 100\%$$

Misal pada out 5,8 V yang seharusnya 6 V

$$V_d = V_{ref} - V_{out} = 6 - 5,8 = 0,2 \text{ V}$$

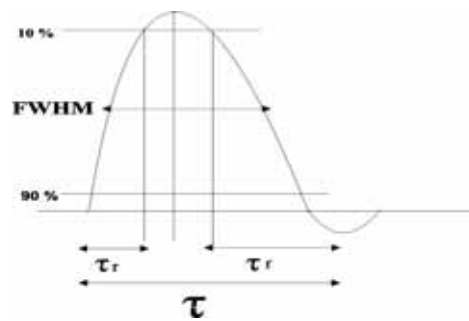
$$INL = \frac{0,2}{8,5} \times 100\% = 0,235\%$$

Dalam pengujian timing yang akan diketahui ialah besar ukuran dari bagian suatu



Gambar 13. Blok Diagram Spektroskopi- γ

pulsa yang akan tertampil dalam monitor oscilloscop, yaitu : Rise time (τ_r) = waktu bangkit pulsa, Fall time (τ_f) = waktu jatuh pulsa, FWHM = lebar pulsa dari setengah tinggi pulsa max dan Shaping time = lebar pulsa keseluruhan.



Gambar 12. Pengukuran Pulsa

Tabel 2. Data Hasil Pengujian

Parameter	Data
Rise time (τ_r)	0,4 mS
Fall time (τ_f)	0,6 mS
FWHM	0,4 mS
Shaping time	1,2 mS

Dalam pengujian dinamis bertujuan untuk mencari batas-batas kinerja alat dengan menggunakan sumber radiasi dan detektor, serta SCA sebagai penganalisa tinggi pulsa sehingga didapat bentuk spektrum dari sumber. Dan pada pengujian ini digunakan sumber radiasi standart antara lain : Cs-137 dan Co-60. Pada pengujian dinamis akan dilakukan beberapa pengujian yaitu resolusi detector, eisiensi detector dan kalibrasi energi.

Pengujian Resolusi Detektor bertujuan untuk mengetahui kemampuan detector memisahkan puncak-puncak tenaga yang saling berdekatan. Kemampuan suatu detektor spektroskopi- γ untuk memisahkan dua puncak tenaga- γ yang berdekatan disebut sebagai daya pisah atau resolusi detektor. Resolusi suatu detektor adalah fungsi tenaga sinar- γ , makin tinggi tenaga- γ makin rendah resolusi detektor. Resolusi detektor dinyatakan dalam persamaan :

$$R = \frac{FWHM}{E} \times 100 \% \quad (2)$$

Keterangan :

- R = resolusi detektor (%)
E = energi sumber atau tenaga puncak dari sumber
FWHM = lebar setengah tinggi maksimum

Dan FWHM didapat dengan cara perhitungan pada spectrum, sebagai berikut :

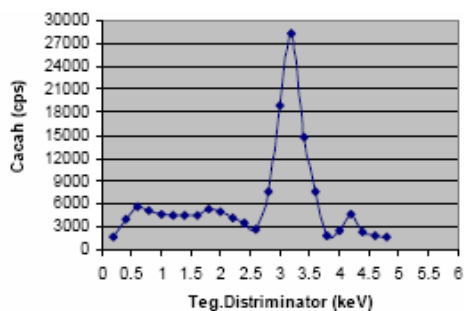
$$FWHM = T_1 - T_2 \quad (3)$$

Untuk mengetahui nilai T_1 dan T_2 diperoleh dari nilai XT. Nilai XT diperoleh dari perhitungan, sebagai berikut :

$$XT = X_2 - X_1 \quad (4)$$

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Sumber Co-60

No	TD	cacah	No	TD	cacah
1	0,2	1625	14	2,8	7692
2	0,4	3909	15	3,0	18924
3	0,6	5665	16	3,2	28341
4	0,8	5126	17	3,4	14823
5	1,0	4572	18	3,6	7588
6	1,2	4544	19	3,8	1861
7	1,4	4520	20	4,0	2409
8	1,6	4456	21	4,2	4635
9	1,8	5342	22	4,4	2274
10	2,0	4924	23	4,6	1834
11	2,2	4160	24	4,8	1705
12	2,4	3403	25	5,0	1325
13	2,6	2726			



Gambar 14. Spektrum Co-60

Keterangan : Co-60, Window = 0,2

Energi = 1773 keV

$$XT = X_2 - X_1 = 28341 - 7692 = 20649$$

$$FWHM = T_1 - T_2 = 3,4 - 3,0 = 0,4$$

$$R = \frac{FWHM}{E} \times 100 \% = \frac{0,4}{1173} \times 100 \% = 0,034 \%$$

Energi = 1332 keV

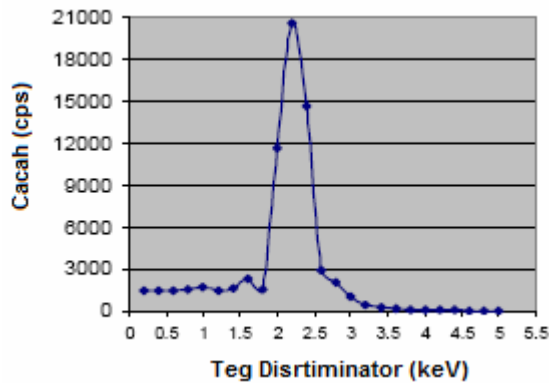
$$XT = X_2 - X_1 = 4635 - 1861 = 2774$$

$$FWHM = T_1 - T_2 = 4,4 - 4,0 = 0,4$$

$$R = \frac{FWHM}{E} \times 100 \% = \frac{0,4}{1332} \times 100 \% = 0,030 \%$$

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Sumber Cs-137

No	TD	cacah	No	TD	cacah
1	0,2	1486	14	2,8	2033
2	0,4	1473	15	3,0	1062
3	0,6	1475	16	3,2	441
4	0,8	1521	17	3,4	255
5	1,0	1715	18	3,6	160
6	1,2	1448	19	3,8	98
7	1,4	1620	20	4,0	441
8	1,6	2357	21	4,2	117
9	1,8	1548	22	4,4	68
10	2,0	11638	23	4,6	38
11	2,2	20531	24	4,8	19
12	2,4	14660	25	5,0	12
13	2,6	2914			



Gambar 15. Spektrum Cs-137

Keterangan : Cs-137, Window = 0,2

Energi = 662 keV

$$XT = X2 - X1$$

$$= 20531 - 2033 = 18498$$

$$FWHM = T1 - T2$$

$$= 2,5 - 1,9 = 0,6$$

$$R = \frac{FWHM}{E} \times 100 \%$$

$$= \frac{0,6}{662} \times 100 \% = 0,09 \%$$

Pengujian Efisiensi Detektor

Efisiensi detektor dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya cacah dengan aktivitas sumber, yaitu cacah pancaran radiasi yang dihasilkan oleh sumber kesegala arah. Kemampuan detector untuk menerima pancaran radiasi dari sumber radiasi dapat dipengaruhi oleh jarak sumber radiasi dengan detector dan medium antara sumber radiasi dengan detector. Perbandingan antara jumlah cacah radiasi yang dapat diterima oleh detector, dinyatakan dengan efisiensi detector dan dapat ditulis secara matematis sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\text{cps}}{\text{dps}} \times 100 \% \quad (5)$$

η = efisiensi (%)
cps = jumlah pancaran radiasi per detik yang diterima detektor
dps = jumlah pancaran radiasi per detik oleh sumber radiasi

Data Hasil Pengujian Sumber Co-60

$$A_0 = 9,65 \mu C$$

$$= 9,65 \mu C \times 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$= 35,705 \times 10^4 \text{ Bq}$$

$$T^{1/2} = 5,27 \text{ tahun}$$

$$t = 19 \text{ Mei } 1979 - 22 \text{ Juni } 2006$$

$$= 27,33 \text{ tahun}$$

cps = cacah rata-rata = 3095,6

$$\text{dps} = 35,705 \times 10^4 \text{ Bq} = 357050$$

$$A_t = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2} \right)_{T}^{\frac{t}{T}}$$

$$= 9,65 \mu C i . 0,5^{27,33/5,27} = 0,265 \mu C i$$

$$\eta = \frac{\text{cps}}{\text{dps}} \times 100 \% = \frac{3095,6}{357050} \times 100 \% = 0,866 \%$$

Tabel 5. Hasil Pengujian Sumber Co-60

No	Cacah	Cacah rata-rata	At	η
1	3105			
2	3055			
3	3137	3095.6	0,265 $\mu C i$	0,866 %
4	3076			
5	3105			
Jumlah	15478			

Data Hasil Pengujian Sumber Cs-137

$$A_0 = 12,9 \mu C i$$

$$= 12,9 \mu C \times 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$= 47,73 \times 10^4 \text{ Bq}$$

$$T^{1/2} = 30,2 \text{ tahun}$$

$$t = 19 \text{ Mei } 1979 - 22 \text{ Juni } 2006$$

$$= 27,33 \text{ tahun}$$

cps = cacah rata-rata = 6708.4

$$\text{dps} = 47,73 \times 10^4 \text{ Bq} = 477300$$

$$A_t = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2} \right)_{T}^{\frac{t}{T}}$$

$$= 12,9 \mu C i . 0,5^{27,33/30,2} = 6,913 \mu C i$$

$$\eta = \frac{\text{cps}}{\text{dps}} \times 100 \% = \frac{6708,4}{477300} \times 100 \% = 1,405 \%$$

Tabel 6. Hasil Pengujian Sumber Cs-137

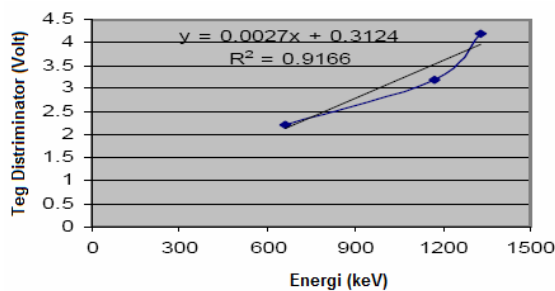
No	Cacah	Cacah rata-rata	At	η
1	6440			
2	6811			
3	6933	6708.4	6,913 μ Ci	1,405 %
4	6674			
5	6684			
Jumlah	33542			

Pengujian Kalibrasi Energi

Dalam pengujian kalibrasi energi, penulis menggunakan dua sumber antara lain : Co-60 dan Cs-137. Dari kedua sumber tersebut penulis dilakukan pencacahan dan dihasilkan spektrum pada tegangan distriminator untuk puncak-puncak masing-masing spektrum pada setiap sumber.

Tabel 7. Hasil Pengujian Kalibrasi Energi

Sumber	Energi	Tegangan Distriminator
Cs-137	662 keV	2,2
Co-60	1172 keV	3,2
	1332 keV	4,2



Gambar 16. Kalibrasi Energi

PEMBAHASAN

Pengujian Statis

Pengujian statis terdiri dari dua langkah pengujian, yaitu : Pengujian Ketidaklinieran Integral (INL) dan Pengujian Timing. Dalam melakukan pengujian ini terdapat sedikit kendala pada penggunaan peralatan pendukung seperti : osiloskope dan *spektroskopi linier amplifier* yang dibuat kurang sempurna, karena kesulitan mendapatkan komponen (IC CA3080 dan IC LT1220). Pada spektroskopi linier

amplifier yang dibuat, IC CA3080 digunakan sebagai komponen utama pada blok BLR untuk pengesetan nol DC. Sedangkan IC LT1220 digunakan sebagai komponen utama pada blok Filter Complex untuk pengaturan hasil keluaran pulsa semigaussian. Namun demikian data hasil pengujian yang diperoleh seperti tertera pada Tabel 1 dan Gambar 11 sudah cukup bagus dengan kelinieritasan (regresi = 0,8807), sehingga menunjukkan bahwa alat spektroskopi linier amplifier yang dibuat sudah mendekati kesempurnaan.

Pada pengujian timing dilakukan langkah-langkah pengujian seperti pada Tabel.2 dan Gambar 12. Dalam memperoleh data hasil pengujian sedikit terjadi kendala untuk mendapatkan bentuk pulsa keluaran semigaussian secara sempurna dari spektroskopi linier amplifier yang dibuat.

Pengujian Dinamis

Pengujian dinamis terdiri dari tiga langkah pengujian, yaitu : Pengujian Resolusi Detektor, Pengujian Efisiensi Detektor dan Pengujian Kalibrasi Energi. Pengujian resolusi detector diperoleh data dari hasil pengujian resolusi detector terdiri dari Tabel 3 dan spektrumnya seperti pada Gambar 14 dan Tabel 4 dan gambar spketrumnya pada Gambar 14. alat spektroskopi linier amplifier sudah sesuai dengan melihat hasil pada yang dihasilkan, spectrum masing-masing sumber dari hasil cacahan sesuai dengan yang diinginkan, yaitu : FWHM besar maka Resolusi rendah, sedangkan bila FWHM kecil maka Resolusi tinggi.

Pengujian efisiensi detektor dilakukan langkah-langkah seperti pada Tabel 5 dan Tabel 6, sehingga pengujian efisiensi detector yang dilakukannya termasuk efisiensi mutlak, yaitu cacah signal pulsa yang diberikan detector terhadap aktivitas mutlak sumber- γ . Untuk besar efisiensinya dinyatakan pada Persamaan 5.

Pengujian kalibrasi energi dilakukan langkah-langkah seperti Tabel 7 dan pada Gambar 15. Dari data hasil pengujian didapat kurva kalibrasi energi dengan persamaan garis $Y = aX + b = 0,0027X + 0,3124$, sehingga didapat nilai regresi liniernya $R = 0,9$

Hasil dari alat Spektroskopi Linier Amplifier mempunyai kelebihan, yaitu secara kuantitatif dan secara kualitatif. Secara

kuantitatif diperoleh hasil, yaitu : Pengujian Ketidaklinieran Integral (INL) = 0,235% ; Pengujian Timing = {Rise time (τ_r) = 0,4ms ; Fall time (τ_f) = 0,6 ms; FWHM = 0,4 ms; Shaping time = 1,2 ms; Pengujian Resolusi Detektor = (untuk Co-60 : energi 1773 keV = 0,034 %, energi 1332 keV = 0,030% dan untuk Cs-137 : energi 662 keV = 0,09 %) ; Pengujian Efisiensi Detektor = (untuk Co-60 = 0,866 %, untuk Cs-137 = 1,405 %) ; Pengujian Kalibrasi Energi = (didapat nilai regresi = 0,9166). Secara kualitatif alat Spektroskopi Linier Amplifier ini hasil outputnya berupa spektrum berbentuk semigaussian.

KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah dilakukan pembuatan alat dan pengujian spektroskopi linier amplifier, maka dapat diambil kesimpulan :

1. Hasil keluaran signalnya berbentuk unipolar dan bipolar, serta untuk input masukan dapat memilih dengan pulsa positif atau pulsa negatif, alat *Spektroskopi Linier Amplifier ini portable*.
2. Hasil dari alat Spektroskopi Linier Amplifier mempunyai kelebihan, yaitu secara kuantitatif dan secara kualitatif. Secara kuantitatif diperoleh hasil, yaitu : Pengujian Ketidaklinieran Integral (INL) sebesar 0,235% ; Pengujian Timing (τ_r) sebesar 0,4ms; Fall time (τ_f) sebesar 0,6 ms; FWHM sebesar 0,4 ms; Shaping time sebesar 1,2 ms; Pengujian Resolusi Detektor untuk Co-60 pada energi 1773 keV sebesar 0,034 % dan energi 1332 keV sebesar 0,030 % dan untuk Cs-137 pada energi 662 keV sebesar 0,09 %.
3. Pengujian Efisiensi Detektor untuk Co-60 sebesar 0,866 %, untuk Cs-137 sebesar 1,405 %; Pengujian Kalibrasi Energi didapat nilai regresi sebesar 0,9166.
4. Secara kualitatif alat Spektroskopi Linier Amplifier ini hasil keluarannya berupa spektrum berbentuk semigaussian.

SARAN

Adapun saran yang perlu disampaikan adalah untuk pengembangan selanjutnya sebaiknya pada rangkaian BLR komponen IC CA3080 bisa diperoleh dan pada rangkaian

Complek pole filter komponen IC LT1220 bisa diperoleh, karena penting untuk hasil keluaran berbentuk spektrum yang semigaussian.

DAFTAR PUSTAKA

1. BROWN, R.D., 1987, *Introduction to Instrumental Analysis*, Mc Graw-Hill, International Editions
2. CEMBER, H., 1992, *Introduction to Health Physics*, Second Edition, Revised and Enlarged, Mc Graw-Hill, Inc., New York
3. KNOLL, G.F., 1979, *Radiation Detection and Measurement*, John Wiley & Sons, Inc., New York
4. SUSETYO, WISNU., 1984, *Instrumentasi Kimia II Spektrometri Gamma*, PUSDIKLAT, Badan Tenaga Nuklir Nasional.
5. P.W. NICHOLSON, 1974, *Nuclear Electronics*, University of London, A Wiley-Interscience Publication.
6. MALVINO A. P, 1980, *Prinsip prinsip Elektronika*, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.
7. ZACHARIAS SANTOSO, 1981, "Alat-alat Deteksi Nuklir", Pusat Pendidikan dan Pelatihan, Badan Tenaga Atom Nasional.
8. WILLIAM D.C, 1985, *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran*, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.