

## PENGEMBANGAN MODUL PENGUAT PENJUMLAH SINYAL PADA PERANGKAT SCINTIGRAFI UNTUK TIROID SC-12

Wiranto Budi Santoso, Leli Yuniarsari, Sukandar

Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir-BATAN  
Email: wiranto@batan.go.id

### ABSTRAK

**PENGEMBANGAN MODUL PENGUAT PENJUMLAH SINYAL PADA PERANGKAT SCINTIGRAFI UNTUK TIROID SC-12.** Telah dilakukan pembuatan modul penguat penjumlah sinyal pada perangkat scintigrafi untuk tiroid SC-12. Perangkat scintigrafi untuk tiroid SC-12 menghasilkan citra tiroid pasien berdasarkan radiasi yang dipancarkan dari organ pasien. Lokasi dari radiasi yang keluar direpresentasikan oleh sistem deteksi perangkat scintigrafi dalam 4 bagian, yaitu: X+, X-, Y+, dan Y-. Modul penguat penjumlah sinyal berfungsi untuk mendapatkan posisi titik X dan Y dari radiasi yang datang dari tiroid pasien. Titik X merupakan jumlah dari sinyal X+ dan X-. Sedangkan titik Y merupakan jumlah dari sinyal Y+ dan Y- yang dideteksi oleh sistem deteksi. Modul penguat penjumlah sinyal pada perangkat scintigrafi untuk tiroid SC-12 menggunakan IC penguat operasi (operasional amplifier – opamp) HA 2525 yang mempunyai kecepatan slew rate tinggi sebagai komponen utama. Pengujian dilakukan menggunakan pembangkit pulsa yang dihubungkan ke masukan untuk X+, X-, Y+, dan Y-. Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul penguat penjumlah sinyal dapat menghasilkan sinyal X yang didapat dari penjumlahan sinyal X+ dan X-. Sedangkan sinyal Y didapat dari penjumlahan sinyal Y+ dan Y-. Sinyal X dan Y selanjutnya akan diproses untuk menghasilkan citra titik pada posisi X dan Y.

Kata kunci: penguat operasi, penguat penjumlah, sinyal, titik citra, scintigrafi

### ABSTRACT

**DEVELOPMENT OF SIGNAL SUMMING AMPLIFIER MODULE FOR SC-12 THYROID EXAMINATION SCINTIGRAPHY EQUIPMENT.** The signal summing amplifier module for SC-12 Scintigraphy for thyroid examination equipment has been built. The SC-12 Scintigraphy for thyroid examination equipment produces images of patient's thyroid based on radiation emitted from patients' organ. The location of outcoming radiation is represented by scintigraphy's detection system in four regions, i.e. X+, X-, Y+, and Y-. The signal summing amplifier module is used to get X and Y position of incoming radiation from patient's thyroid. The X position is sum of X+ and X- signals, while Y position is sum of Y+ and Y- detected by scintigraphy's detection system. Summing amplifier modules in the SC-12 scintigraphy for thyroid examination equipment utilize HA2525 operational amplifiers which have high slew rate as its main component. The test is conducted using a pulse generator which its output is connected to X+, X-, Y+, and Y- inputs of signal summing amplifier module. The results show that signal summing amplifier module can get X signal from summing X+ and X- signals. Meanwhile Y signal is produced from summing Y+ and Y- signals. Furthermore, these X and Y signals are going to process producing a point of image in (X, Y) location.

Keywords: operational amplifier, summing amplifier, signal, point image, scintigraphy

## 1. PENDAHULUAN

Perangkat scintigrafi untuk tiroid SC-12 berfungsi untuk mendiagnosis fungsi metabolisme organ tiroid di dalam tubuh pasien [1]. Diagnosis dilakukan dengan

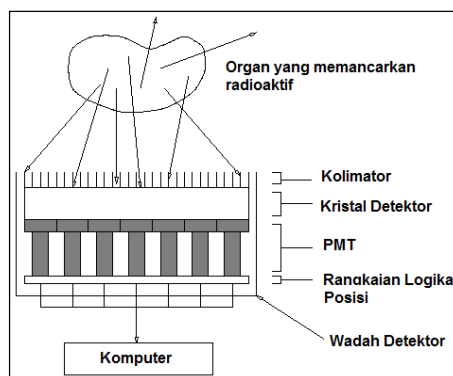
mendeteksi sinar gamma yang dipancarkan oleh radionuklida dalam organ tiroid sesuai dengan proses metabolisme yang terjadi pada organ tiroid tersebut.

Proses pendeteksian menggunakan perangkat scintigrafi pada umumnya dilakukan dengan memasukkan radionuklida ke dalam tubuh pasien dengan cara disuntik atau diminum. Sistem deteksi perangkat scintigrafi diposisikan di depan leher pasien yang akan didiagnosis kelenjar tiroidnya. Radionuklida yang berada pada organ tiroid akan memancarkan sinar gamma ke luar tubuh. Proses pendeteksian menggunakan perangkat scintigrafi untuk tiroid SC-12 dapat dilihat pada gambar 1.



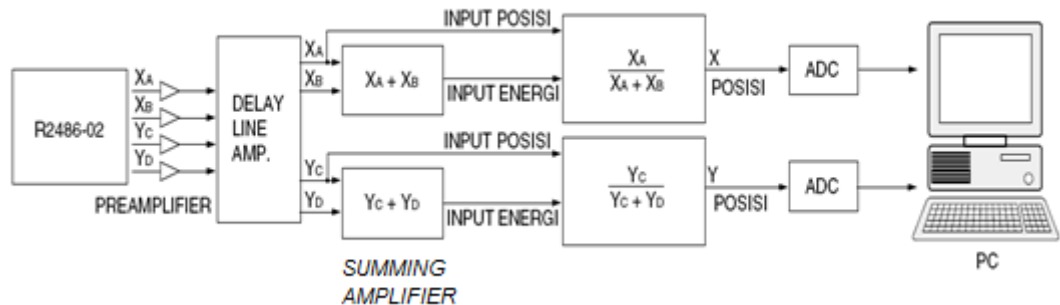
Gambar 1. Proses pendeteksian menggunakan perangkat scintigrafi untuk tiroid SC-12 <sup>[1]</sup>

Sinar gamma yang dipancarkan dari kelenjar tiroid akan dideteksi oleh sistem deteksi perangkat scintigrafi untuk tiroid SC-12. Kristal scintilasi yang ada pada bagian depan sistem deteksi akan mengubah sinar gamma yang datang menjadi foton dan digandakan oleh tabung pengganda foton (*Photo Multiplier Tube - PMT*) dan diubah menjadi sinyal listrik. Sinyal listrik keluaran dari PMT akan diberikan ke rangkaian logika posisi untuk menentukan posisi datang sinar gamma. Keluaran dari rangkaian logika posisi diteruskan ke komputer untuk olah lebih lanjut. Proses pencitraan menggunakan perangkat scintigrafi dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Pencitraan menggunakan perangkat scintigraphy <sup>[2]</sup>

Pada perangkat scintigrafi untuk tiroid SC-12 tabung pengganda foton yang digunakan merupakan PMT yang sensitif terhadap posisi (*Position Sensitive Photo Multiplier Tube - PSPMT*). Keluaran dari PSPMT ini berupa koordinat titik  $X_A$  ( $X_+$ ) dan  $X_B$  ( $X_-$ ) yang merepresentasikan titik X. Sedangkan  $Y_C$  ( $Y_+$ ) dan  $Y_D$  ( $Y_-$ ) merupakan keluaran yang merepresentasikan titik Y dari posisi sinar gamma yang datang terhadap sistem deteksi. Koordinat titik keluaran dari PSPMT. Blok diagram penentuan titik X dan Y dari lokasi datangnya sinar gamma pada sistem deteksi perangkat scintigrafi untuk tiroid SC-12 dapat dilihat pada gambar 3.



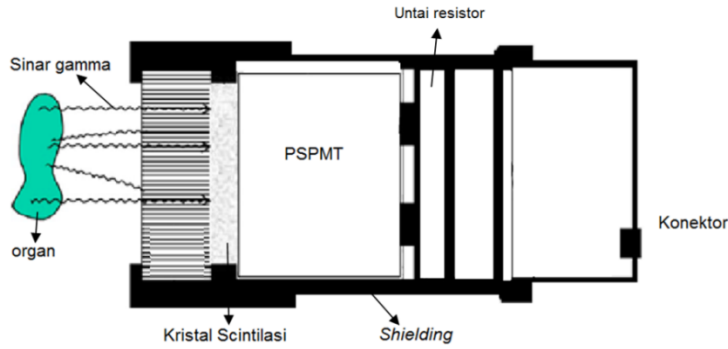
Gambar 3. Blok diagram perangkat scintigrafi untuk tiroid [3]

Sinyal keluaran  $X_+$  dan  $X_-$  harus dijumlahkan sehingga menghasilkan sinyal yang merepresentasikan titik X. Sedangkan sinyal keluaran  $Y_+$  dan  $Y_-$  harus dijumlahkan sehingga menghasilkan sinyal yang merepresentasikan titik Y. Penjumlah kedua sinyal keluaran ini dilakukan dengan menggunakan penguat penjumlah (*summing amplifier*).

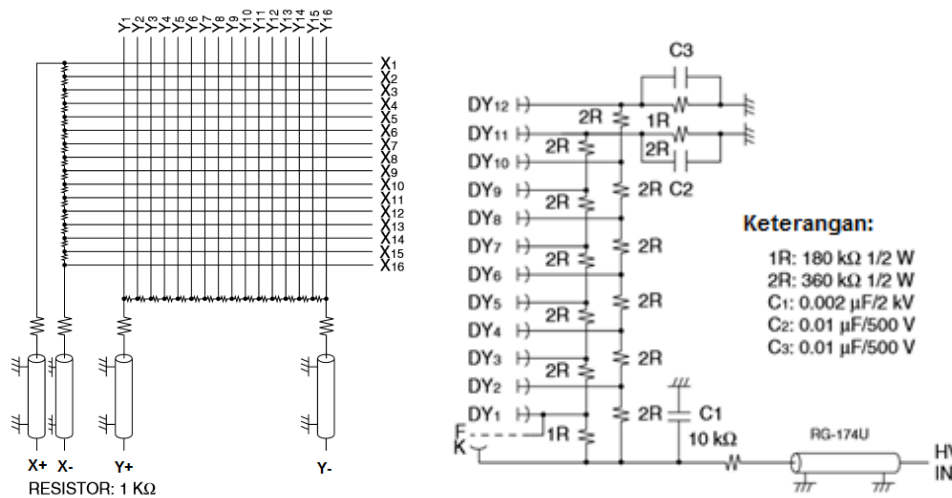
## 2. DASAR TEORI

### 2.1. *Position Sensitive Photomultiplier Tube (PSPMT)*

Sistem deteksi perangkat scintigrafi untuk tiroid SC-12 berdimensi kecil karena ditujukan untuk melakukan diagnosis kelenjar tiroid. Sistem deteksi perangkat ini menggunakan tabung pengganda foton (PMT) berdiameter 3 inci. Namun PMT yang digunakan merupakan PMT yang sensitif terhadap posisi (*Position Sensitive Photo Multiplier Tube - PSPMT*) sehingga dapat mengenali datangnya posisi sinar gamma yang datang. Identifikasi posisi datangnya sinar gamma dibantu oleh untai resistor (*resistor chain*) pada keluaran PSPMT. Blok diagram sistem deteksi menggunakan PSPMT dapat dilihat pada gambar 4. Untaian resistor pada keluaran PSPMT yang menentukan nilai posisi  $X_+$ ,  $X_-$ ,  $Y_+$ , dan  $Y_-$  dapat dilihat pada gambar 5.



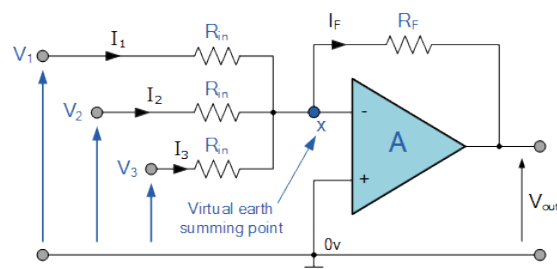
Gambar 4. Blok diagram sistem deteksi menggunakan PSPMT [3]



Gambar 5. Untaian resistor pada keluaran PSPMT [4]

## 2.2. Penguat Penjumlah (Summing Amplifier)

Penguat penjumlah merupakan salah satu jenis dari rangkaian penguat operasi (*operational amplifier - opamp*) yang berfungsi untuk menjumlahkan tegangan pada dua atau lebih masukan menjadi satu tegangan keluaran tunggal [5]. Tegangan-tegangan masukan ( $V_{in}$ ) ini dihubungkan ke masukan *inverting* dari *opamp* dengan masing-masing  $V_{in}$  mempunyai nilai resistor masukan berharga sama



Gambar 6. Blok diagram penguat penjumlah [5]

Dari gambar 6, diperoleh persamaan untuk arus listrik yang mengalir pada *opamp* adalah sebagai berikut:

$$I_F = I_1 + I_2 + I_3 = - \left[ \frac{V_1}{R_{in}} + \frac{V_2}{R_{in}} + \frac{V_3}{R_{in}} \right] \quad (1)$$

dengan:  $I_F$  = arus listrik yang mengalir pada *opamp*  
 $I_1, I_2, I_3$  = arus listrik masukan 1, 2, dan 3  
 $V_1, V_2, V_3$  = tegangan listrik masukan 1, 2, dan 3  
 $R_{in}$  = tahanan input

Persamaan untuk tegangan keluaran *Vout inverting opamp* adalah sebagai berikut:

$$V_{out} = - \frac{R_f}{R_{in}} \times V_{in} \quad (2)$$

dengan:  $V_{out}$  = tegangan keluaran *opamp*  
 $R_f$  = tahanan umpan balik (*feedback*)  
 $R_{in}$  = tahanan input  
 $V_{in}$  = tegangan input

Dari persamaan (1) dan (2) didapat tegangan keluaran *Vout inverting opamp* adalah sebagai berikut:

$$- V_{out} = \left[ \frac{R_f}{R_{in}} V_1 + \frac{R_f}{R_{in}} V_2 + \frac{R_f}{R_{in}} V_3 \right] \quad (3)$$

dengan:  $V_{out}$  = tegangan keluaran *opamp*  
 $R_f$  = tahanan umpan balik (*feedback*)  
 $R_{in}$  = tahanan input  
 $V_1, V_2, V_3$  = tegangan listrik masukan 1, 2, dan 3

### 3. METODOLOGI

Kegiatan pengembangan modul penguat penjumlah sinyal merupakan bagian dari perancangan perangkat scintigrafi untuk tiroid SC-12. Tahapan dari kegiatan ini adalah sebagai berikut:

1. Pada tahap pertama dilakukan inventarisasi spesifikasi teknis dari bagian-bagian sistem deteksi perangkat scintigrafi untuk tiroid SC-12 terutama bagian keluaran dari PSPMT yang akan menjadi masukan untuk modul penguat penjumlah sinyal. Hasil inventarisasi dituangkan dalam desain dasar dari modul yang akan dibuat. Dalam desain dasar ini juga memuat komponen-komponen yang diperlukan untuk membuat modul penguat penjumlah sinyal, serta blok diagram yang menggambarkan hubungan antar komponen.
2. Selanjutnya dilakukan pembuatan gambar skematik rangkaian dan tata letak komponen pada lembar PCB (*Printed Circuit Board*).
3. Setelah PCB dibuat dilakukan pemasangan komponen pada PCB sehingga terbentuklah modul penguat penjumlah sinyal.
4. Kemudian dilakukan uji fungsi dari modul penguat penjumlah sinyal.

5. Tahapan terakhir adalah analisis data hasil pengujian untuk mengevaluasi unjuk kerja modul yang dibuat.

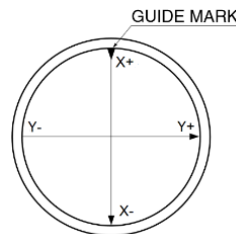
#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem deteksi pada perangkat scintigrafi untuk tiroid SC-12 menggunakan tabung pengganda foton yang sensitif terhadap posisi (*Position Sensitive Photo Multiplier Tube - PSPMT*) buatan Hamamatsu tipe R2486 [1]. PSPMT yang digunakan ini berdiameter 3 inci [4]. Bentuk fisik PSPMT Hamamatsu tipe R2486 dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. PSPMT Hamamatsu tipe R2486 [4]

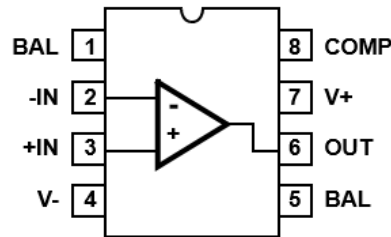
Sistem deteksi ini jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan perangkat scintigrafi konvensional namun masih dapat meliputi kelenjar tiroid manusia pada umumnya. PSPMT Hamamatsu ini bekerja pada tegangan tinggi -1000 Vdc. Lokasi datangnya sinar gamma direpresentasikan dengan 4 kuadran dengan titik nol koordinat terletak di tengah titik pusat lingkaran bidang muka PSPMT. Acuan posisi titik koordinat pada PSPMT dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Acuan posisi titik pada PSPMT [4]

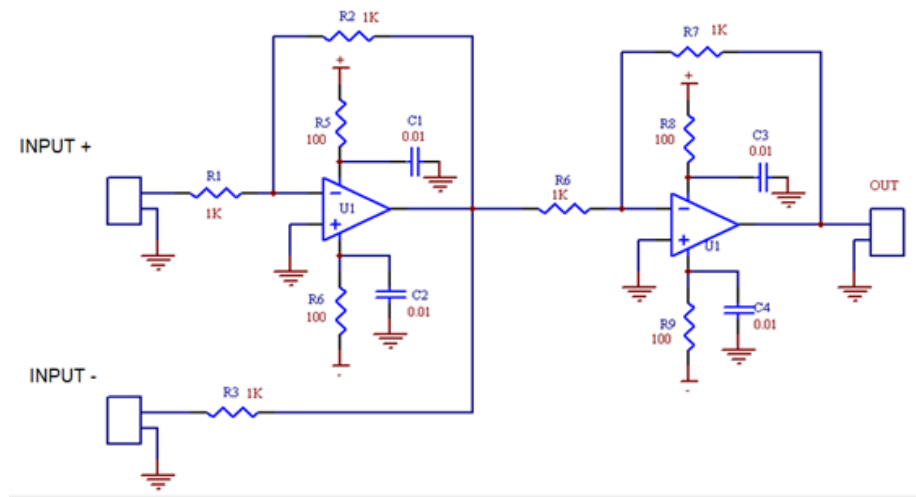
Modul penguat penjumlah sinyal menjumlahkan sinyal keluaran positif dan negatif baik untuk sumbu X maupun sumbu Y. Dengan demikian diperlukan 2 buah modul penguat penjumlah, yaitu untuk menjumlahkan sinyal X+ dan sinyal X- menjadi sinyal X serta untuk menjumlahkan sinyal Y+ dan sinyal Y- menjadi sinyal Y.

Komponen utama modul penguat penjumlah adalah IC opamp HA-2525. Dengan *slew rate* yang tinggi (120 V/ $\mu$ s) dan *settling time* yang cepat (200 ns - 0,2 %) penguat ini cocok untuk penguatan pulsa dan data akuisisi [6]. Komponen ini juga sesuai untuk desain pengkondisi yang akurat karena mempunyai 20 MHz *gain bandwidth*, 2 MHz *power bandwidth*, 10nA *offset current*, dan 100 MOhm *input impedance*. Blok diagram IC opamp HA-2525 dapat dilihat pada gambar 9.



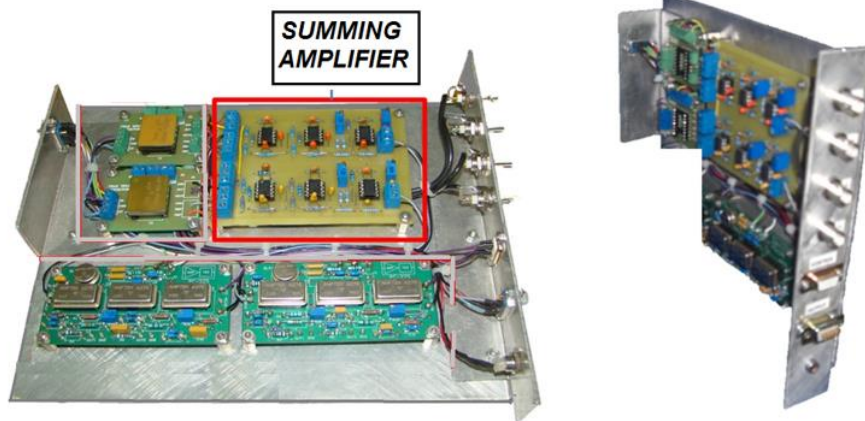
Gambar 9. Blok diagram IC opamp HA-2525 [6]

Modul penguat penjumlah untuk sumbu X dan sumbu Y berfungsi sama. Dengan demikian kedua modul penguat penjumlah tersebut identik. Rangkaian skematik kedua modul penguat ini juga sama dengan perbedaan pada sisi sinyal masukan saja. Modul penguat penjumlah untuk sumbu X mendapat masukan sinyal X+ dan X-. Sedangkan untuk modul penguat penjumlah untuk sumbu Y mendapat masukan sinyal Y+ dan Y-. Rangkaian skematik modul penguat penjumlah sinyal dapat dilihat pada gambar 10.



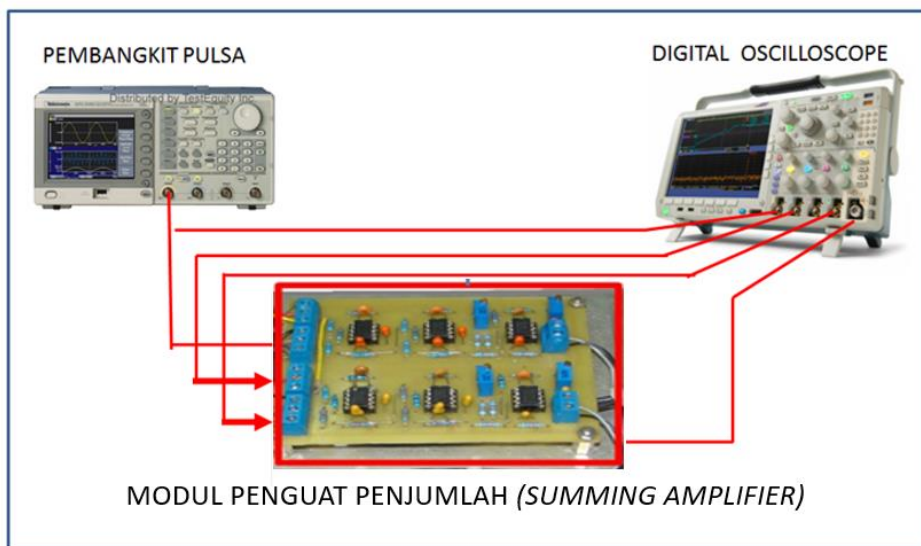
Gambar 10. Rangkaian skematik modul penguat penjumlah.

Modul penguat penjumlah sinyal pada perangkat scintigrafi untuk tiroid SC-12 merupakan bagian dari sistem pengolah sinyal elektronik. Modul penguat penjumlah sinyal yang dibuat dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Modul penguat penjumlah (*summing amplifier*).

Pengujian dilakukan dengan memberi masukan modul penguat penjumlah sinyal dengan sinyal dari pembangkit pulsa (*pulse generator*). Sedangkan keluaran modul penguat penjumlah sinyal diamati menggunakan oscilloskop digital. Konfigurasi pengujian modul penguat penjumlah sinyal dapat dilihat pada gambar 12.

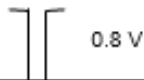
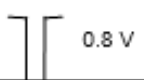

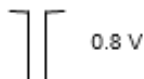
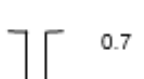

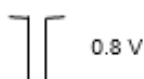
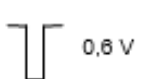

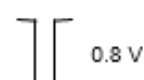
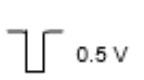

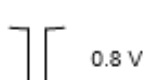
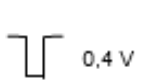

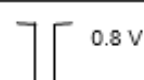
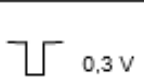

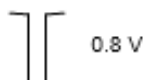
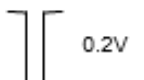

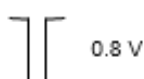
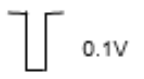



Gambar 12. Konfigurasi pengujian modul penguat penjumlah

Hasil pengujian dicatat dalam bentuk tabel. Tabel hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul penguat penjumlah dapat menjumlahkan tegangan yang masuk dari X+ dan X- menjadi tegangan keluaran yang merepresentasikan koordinat X. Demikian juga dengan tegangan masukan Y+ dan Y-, yang dijumlahkan menjadi tegangan keluaran yang merepresentasikan koordinat Y.



Tabel 1. Hasil pengujian penguat penjumlah sinyal.

(X+)	(X-)	X
 0.8 V	 0.8 V	 0
 0.8 V	 0.7 V	 0.1V
 0.8 V	 0.6 V	 0.2V
 0.8 V	 0.5 V	 0.3V
 0.8 V	 0.4 V	 0.4V
 0.8 V	 0.3 V	 0.5V
 0.8 V	 0.2V	 0.6 V
 0.8 V	 0.1V	 0.7V

## 5. KESIMPULAN

Telah dihasilkan modul penguat penjumlah sinyal untuk perangkat scintigrafi untuk tiroid SC-12. Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul penguat penjumlah sinyal dapat menjumlahkan sinyal masukan X+ dan X- menjadi sinyal yang merepresentasikan koordinat pada sumbu X. Demikian juga dengan sinyal masukan Y+ dan Y- dapat dijumlahkan menjadi sinyal yang merepresentasikan koordinat pada sumbu Y. Dengan demikian keluaran dari modul penguat penjumlah dapat mengubah sinyal keluaran dari PSPMT berupa sinyal X+, X-, Y+, dan Y- menjadi sinyal yang merepresentasikan titik X dan Y. Sinyal X dan Y ini selanjutnya dapat diolah sistem pengolah citra pada perangkat scintigrafi untuk tiroid SC-12 untuk menghasilkan citra sesuai sinar gamma yang datang.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Wiranto Budi Santoso, 2014, Laporan Teknis Perencanaan Perangkat *Scintigraphy* untuk Tiroid, PRFN, Jakarta
- [2]. Wiranto Budi Santoso, 2010, Desain Dasar Perangkat *Scintigraphy*, Jurnal Perangkat Nuklir Volume 04 Nomor 07, PRPN, Jakarta

- [3]. Wiranto Budi Santoso dan Leli Yuniarsari, 2011, “Perekayasaan Sistem Deteksi Perangkat Scintigraphy Menggunakan PSPMT”, Majalah Prima Volume 08 Nomor 02, PRPN, Jakarta
- [4]. Hamamatsu, 2001, “Position Sensitive Photomultiplier Tube with Crossed Wire Anodes R2486 Series”, Hamamatsu, Japan
- [5]. “The Summing Amplifier”, [http://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp\\_4.html](http://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp_4.html), diakses 4 Februari 2017
- [6]. Intersil, “HA-2520, HA-2522 , HA-2525 Datasheet – Intersil”, <http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/ha-2/ha-2520-22-25.pdf> diakses 14 Februari 2017
- [7]. IAEA, 1991, “Quality Control of Nuclear Medicine Instruments 1991” (IAEA-TECDOC 317), IAEA, Vienna