

## RANCANGAN CATU DAYA TEGANGAN TINGGI PADA ALAT RENOGRAF

Joko Sumanto, ST.

Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir - BATAN  
Kawasan Puspiptek Gd. 71 Serpong

### ABSTRAK

Rancangan catu daya tegangan tinggi pada alat renograf telah dibuat. Renograf ini mempunyai dua unit detektor NaI(Tl). Kedua detektor tersebut memerlukan catu daya tegangan tinggi sekitar 800 Vdc sampai 1000 Vdc. Catu daya tegangan tinggi yang ada sekarang rangkaiannya rumit dan dimensinya besar, sedangkan catu daya tegangan tinggi yang berbentuk chip harganya mahal. Untuk itu akan dirancang sebuah catu daya tegangan tinggi yang rangkaiannya sederhana berbentuk modul sehingga praktis serta dilengkapi dengan proteksi hubung singkat. Catu daya ini terdiri dari sub bagian antara lain: osilator, penguat transkonduktan, penguat push-pull, penaik tegangan dengan trafo inti ferrit, pelipat tegangan, devider, pengatur tegangan dengan umpan balik agar tetap stabil. Setiap sub bagian dirancang dan dihitung secara rinci dalam makalah ini. Hasil yang diharapkan berupa rancangan modul catu daya tegangan tinggi yang praktis.

Kata kunci: Catu daya, High voltage - HV.

### ABSTRACT

A Design of high voltage power supply for renograph has been made. A Renograph has two NaI(Tl) detector unit. The detectors need to be supplied of high voltage about 800 Vdc until 1000 Vdc. Existing high voltage power supply is complicated and the dimension is big, while high voltage power supply in the chip form is expensive. For that reason, we design a high voltage power supply which is simple, in form of practical module and also provided with short circuit protection. This power supply is consisted of: oscillator, transconductance amplifier, push-pull amplifier, core ferrit transformer, voltage multiplier, divider and voltage regulator with feed back in order to remain to stabilize. Each sub units designed and calculated in detail in this paper. Result is in the form of module design of practical high voltage power supply.

Keyword: Power Supply, High Voltage - HV.

### PENDAHULUAN

Penggunaan catu daya tegangan tinggi pada sistem pencacah gama seperti pada alat renograf sangat menentukan kualitas pulsa yang dihasilkan oleh detektor. Penggunaan bahan sintilasi menjadi populer dengan ditemukannya bahan sodium yodida yang diaktivasi oleh thalium-NaI(Tl) yang sensitif terhadap partikel beta dan sinar gama serta tabung pengganda foton (Photo multiplier tube- PMT). PMT ini dimaksudkan untuk mengubah

cahaya yang dihasilkan detektor NaI(Tl) menjadi pulsa listrik yang dapat dihitung dan dianalisa dengan peralatan elektronik. Dengan detektor tersebut dapat dibuat pencacah gama atau spektrometer gama yang dapat mengukur intensitas dan energi gama dengan ketelitian tinggi. Agar detektor bersama PMT dapat bekerja, diperlukan catu daya tegangan tinggi hingga ratusan volt dc. Tegangan tinggi tersebut mempunyai spesifikasi antara lain: stabilitas tegangan yang baik

terhadap perubahan beban dan bebas derau.

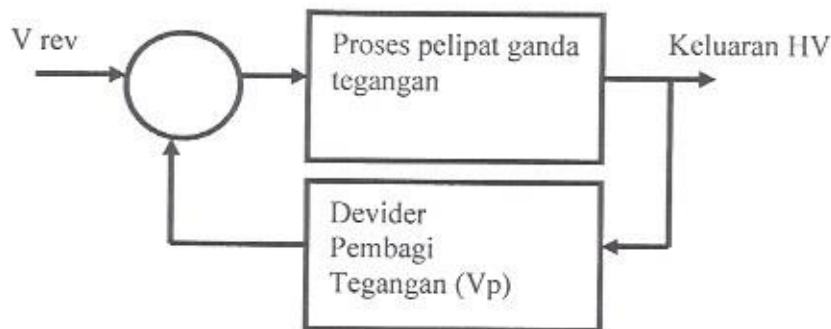
Pada alat Renograf mempunyai dua unit detektor NaI(Tl). Kedua detektor tersebut memerlukan catu daya tegangan tinggi sekitar 800 Vdc sampai 1000 Vdc. Catu daya tegangan tinggi yang ada sekarang rangkaiannya rumit dan dimensinya besar, sedangkan catu daya tegangan tinggi yang berbentuk chip harganya mahal.

Untuk itu akan dirancang sebuah catu daya tegangan tinggi yang rangkaiannya sederhana berbentuk modul sehingga praktis serta dilengkapi dengan proteksi hubung singkat. Catu daya ini terdiri dari sub bagian antara lain: osilator, penguat transkonduktan, penguat push-pull, penaik tegangan dengan trafo inti ferrit, pelipat tegangan, devider, pengatur tegangan dengan

umpan balik agar tetap stabil. Setiap sub bagian dirancang dan dihitung secara rinci dalam makalah ini. Hasil yang diharapkan berupa rancangan modul catu daya tegangan tinggi yang praktis untuk alat renograf.

## TEORI

Sistem pencacah gama dapat digunakan dalam berbagai alat untuk keperluan yang berhubungan dengan radiasi gama. Tegangan tinggi memegang peranan penting pada suatu sistem pencacah gama. Pada alat renograf memerlukan catu daya tegangan tinggi hingga 1000 Vdc untuk mensupply detektor NaI(Tl). Blok diagram prinsip kerja Catu daya HV secara umum diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1: Blok Prinsip kerja sistem catu daya tegangan tinggi [1]

Secara umum prinsip kerja sistem tegangan tinggi sebagai berikut: masukan tegangan rendah sebagai reverensi disingkat  $V_{ref}$ , dinaikkan melalui proses pelipat tegangan menjadi keluaran tegangan tinggi HV. Dari keluaran tegangan tinggi HV diturunkan melalui devider pembagi tegangan menjadi tegangan pembanding  $V_p$  sebagai umpan balik untuk dibandingkan dengan tegangan masukan  $V_{ref}$ . Jika  $V_{ref} > V_p$ , maka proses pelipat tegangan terus berlangsung sehingga keluaran tegangan tinggi HV menjadi naik. Dengan naiknya HV, maka  $V_p$  menjadi naik pula. Suatu saat  $V_{ref} \leq V_p$  yang

mengakibatkan proses pelipat tegangan akan berhenti. Dengan berhentinya proses pelipat tegangan maka HV akan berangsur-angsur turun. Dan bila HV turun maka  $V_p$  juga ikut turun. Akibatnya  $V_{ref} > V_p$ , maka proses pelipat tegangan kembali berlangsung. Dengan berlangsungnya proses yang berulang-ulang ini mengakibatkan keluaran HV menjadi stabil bergantung dari masukan  $V_{ref}$  walaupun diberi beban.

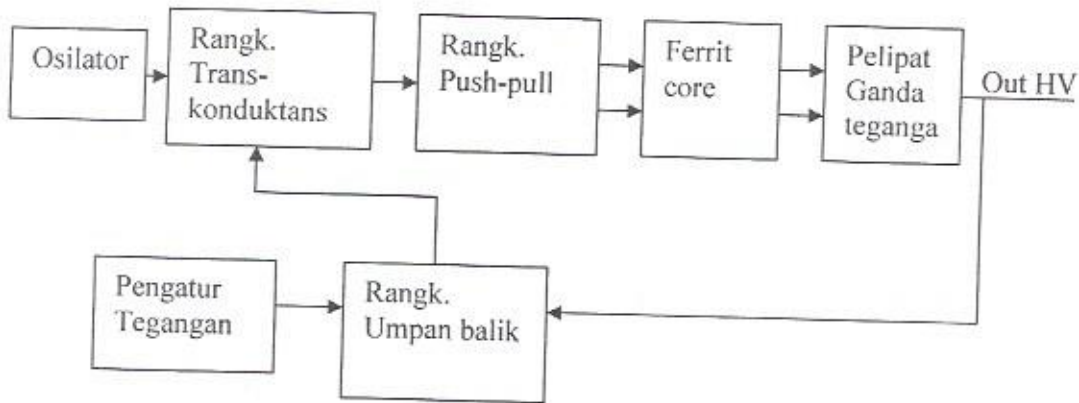
## RANCANGAN CATU DAYA HV

Catu daya HV ini terdiri dari sub bagian: Osilator, Penguat



transkonduktansi, Penguat push-pull dengan power amplifier, Penaik tegangan dengan trafo ferrit core, Pelipat tegangan dengan dioda dan kapasitor, devider, pengatur tegangan

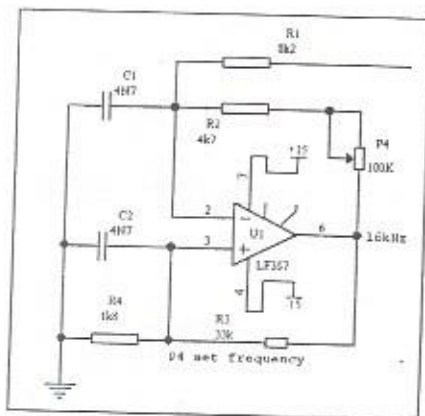
dengan umpan balik. Blok diagram rancangan catu daya HV diperlihatkan pada Gambar2.



Gambar2: Blok diagram rancangan catu daya tegangan tinggi

**Osilator**

Osilator digunakan untuk membangkitkan gelombang sinus dengan frekuensi sekitar 5 kHz sampai 40 kHz. Osilator ini dirancang menggunakan rangkaian dasar LF357. Rangkaian tersebut dirancang sedemikian rupa sehingga frekuensi keluarannya bergantung pada nilai R dan C. Osilator yang direncanakan diperlihatkan pada Gambar3.



Gambar3: Rancangan osilator[1]

Dari rangkaian Gambar3 tersebut didapat persamaan sbb:

$$t = 0,7 R C \dots\dots\dots(1)$$

$$f = 1/t \dots\dots\dots (2)$$

sehingga

$$f = 1 / (0,7 \times R \times C) \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

t = Waktu satu siklus ( detik)

R = nilai resistor (ohm)

C = nilai capasitor (Farad)

0,7 = nilai constanta

Dari persamaan (1) dapat dihitung:

$$\begin{aligned} t_{\text{mak}} &= 0,7 R C \\ &= 0,7 \times 100 \times 10^3 \times 4,7 \times 10^{-9} \\ &= 329 \times 10^{-6} \text{ detik} \end{aligned}$$

sehingga,

$$\begin{aligned} f_{\text{min}} &= 1 / t_{\text{mak}} \\ &= 1 / ( 329 \times 10^{-6} ) \\ &= 3039 \text{ Hz} \\ &= 3 \text{ kHz} \end{aligned}$$

dan

$$\begin{aligned} t_{\text{min}} &= 0,7 R C \\ &= 0,7 \times 4,7 \times 10^3 \times 4,7 \times 10^{-9} \\ &= 15,463 \times 10^{-6} \text{ detik} \end{aligned}$$

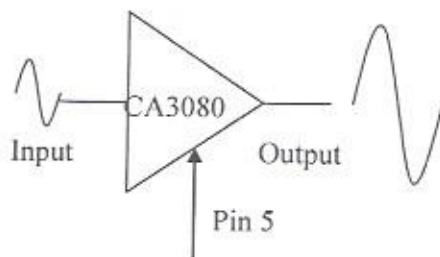
sehingga,

$$\begin{aligned} f_{\text{mak}} &= 1 / t_{\text{min}} \\ &= 1 / (15,463 \times 10^{-6} ) \\ &= 64670,5 \text{ Hz} \\ &= 65 \text{ kHz} \end{aligned}$$

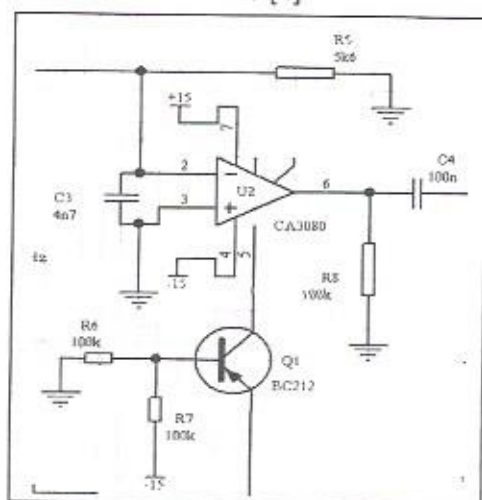
Jadi frekuensi keluarannya dapat diatur dari 3 kHz sampai 65 kHz. Hal ini telah sesuai dengan frekuensi yang diperlukan sekitar 15 kHz sampai 40 kHz.

### Rangkaian Transkonduktan

Rangkaian transkonduktan dirangkai dari IC CA3080 yang digunakan sebagai regulator tegangan keluaran HV. Rangkaian ini akan bekerja apabila ada arus yang mengalir pada pin 5. Jika arus yang mengalir melalui pin 5 semakin besar maka amplitudo keluaran transkonduktan akan semakin besar pula. Sebaliknya jika arus yang mengalir pada pin 5 semakin kecil, maka amplitudo sinus keluaran transkonduktan semakin kecil pula. Proses ini akan digunakan untuk mengontrol keluaran HV agar tetap stabil. Rangkaian skematiknya diperlihatkan pada Gambar4.



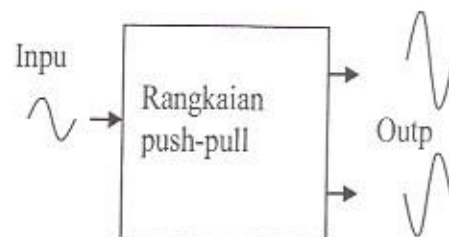
Gambar 4a: Blok Rangkaian regulator dari transkonduktor CA3080.[4]



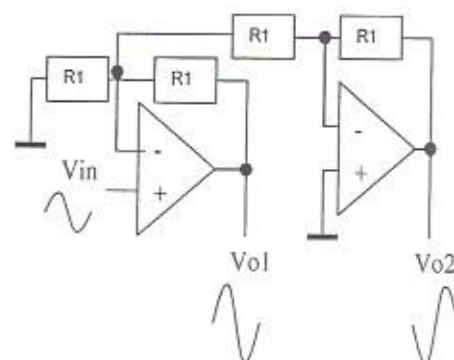
Gambar 4 b: Rangkaian detail regulator dengan CA3080

### Penguat push-pull

Penguat push-pull dirangkai menggunakan power amplifier TDA 2004 yang biasa digunakan pada penguat sound system. Kelebihan IC TDA2004 ini mudah didapat di pasaran, harganya murah, daya output maksimal 20 watt, cukup untuk catu daya HV, mempunyai proteksi hubung singkat yang baik, rentang frekuensi yang lebar. IC ini juga dapat menekan derau yang baik, dimana input maksimalnya hanya 0,5 volt. Menggunakan catu daya tunggal. Dalam rancangan digunakan tegangan Vcc 5 volt dan keluaran push-pull yang diinginkan maksimal 2 Vpp dengan input 0,2 Vpp, sehingga faktor penguatannya  $G = 2 \text{ Vpp} / 0,2 \text{ Vpp} = 10$  kali. Rangkaian dasar push-pull diperlihatkan pada Gambar5.



Gambar 5: Blok Rangkaian dasar push pull



Gambar 6: Rancangan push-pull dalam TDA 2004 [2]

Dari gambar 5 dan Gambar 6 diperoleh persamaan:

$$Vo1 = \{(R10 / R12) + 1\} \times Vinp \dots\dots\dots (4)$$

$$Vo2 = - \{ R16 / (R12 + R13)\} \times Vinp \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

Vo1 = Keluaran push-pull 1 non inverting dalam satuan Volt

Vo2 = keluaran push-pull 2 inverting dalam satuan Volt

R10,R12, R13 = Resistor dalam satuan ohm

Vinp = Tegangan input dalam satuan Volt

Tanda negatif ini menunjukkan sinyal Vo2 berbeda 180 derajat dari Vo1, sehingga membentuk push-pull.

Dari persamaan (4) dapat dihitung:

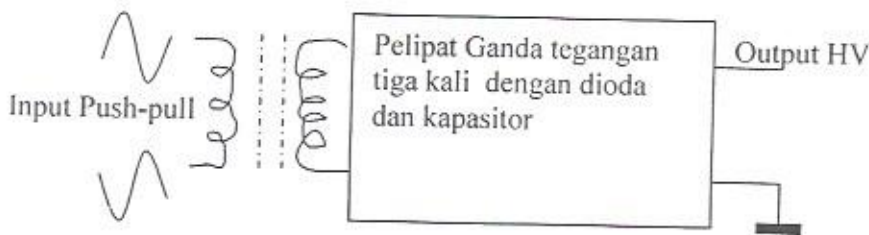
$$\begin{aligned} ((R10 / R12) + 1) &= (Vo1 / Vinp) \\ (R10 / R12) &= (Vo1 / Vinp) - 1 \\ (R10 / R12) &= 10 - 1 = 9 \end{aligned}$$

Maka dipilih R10 = 100 ohm dan R12 = 10 ohm hal ini masih dalam toleransi.

Dari persamaan (5) dapat dihitung:  
 $(R16 / (R12 + R13)) = Vo2 / Vinp$   
 $(R16 / (10 + R13)) = 10$   
 Maka dipilih R13 = 10 ohm dan R16 = 200 ohm.

### Menghitung lilitan Trafo Ferrit

Tegangan Output HV maksimum yang direncanakan adalah 1000 Vdc. Sedangkan tegangan input primer adalah push-pull 2 Vpp. Pelipat tegangan dengan dioda dan kapasitor sebanyak 3 tingkat. Jadi Vdc satu tingkat =  $1000 / 3 = 333$  volt dc. Blok diagram pelipat tegangan dengan diode dan Kapasitor diperlihatkan pada Gambar7.



Gambar 7: Blok diagram pelipat tegangan tiga tingkat dengan diode dan Kapasitor

Tegangan AC Skunder dapat dihitung dengan persamaan:

$$Vdc = 0,7 Vac \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

Vdc = Tegangan skunder DC satu tingkat = 333 volt dc

Vac = Tegangan Skunder AC dalam satuan Vpp

Dengan persamaan (6), Tegangan skunder AC dapat dihitung:

$$Vac = Vdc / 0,7$$

$$Vac = 333 / 0,7 = 475,7 Vpp.$$

Jadi Vac skunder dibulatkan menjadi 500 Vpp

Sehingga perbandingan lilitan primer: lilitan skunder = 2 :500.

Karena rangkaian primernya adalah push-pull, maka perbandingan lilitan primer: lilitan skunder menjadi = 2 : 250. Kemampuan koker yang digunakan untuk menggulung kabel diameter 0,15 mm sebanyak 1000 lilit, maka jumlah lilitan per volt =  $1000 / 250 = 4$  lilit per volt.

Sehingga jumlah lilitan primer dan sekunder dengan diameter kawat email



0,15 mm dapat dihitung sebagai berikut:

Jumlah lilitan primer =  $(4 \text{ llt/ volt}) \times 2 \text{ volt} = 8 \text{ lilit}$

Jumlah lilitan sekunder =  $(4 \text{ llt/ volt}) \times 250 \text{ volt} = 1000 \text{ lilit}$ .

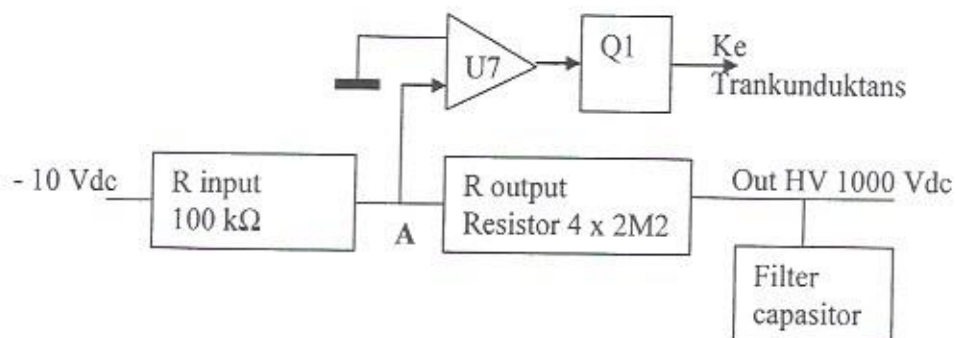
### Rangkaian Filter dan umpan balik

Rangkaian filter HV dirangkai dari beberapa kapasitor yang disusun seri paralel disesuaikan dengan kemampuan komponennya. Dalam rancangan digunakan 4 buah kapasitor 10 nF / 630 Vdc. Rangkaian umpan balik dirangkai dari resistor yang dibuat divider dan integrator. Blok Rangkaian filter dan umpan balik diperlihatkan pada gambar 8.

Titik A merupakan titik kesetimbangan ground semu. Sehingga dalam keadaan maksimum input = - 10 Vdc dan output HV = 1000 Vdc. R input

ditentukan sebesar 100 Kilo ohm, maka  $R_{out} = (1000 / 10) \times 100 \text{ K} = 10.000 \text{ Kilo ohm} = 10 \text{ mega ohm}$ . Disini dipilih rangkaian divider  $100 \text{ K} + (4 \times 2\text{M}2)$  divider ini disesuaikan dengan kemampuan resistor.

Selama input titik A = negatif, maka output U7 = bernilai maksimum, sehingga mengakibatkan transistor Q1 akan mengalirkan arus menuju rangkaian transkonduktan. Sebaliknya jika input titik A = bernilai positif, maka output U7 bernilai minimum, sehingga mengakibatkan transistor Q1 tidak mengalirkan arus menuju rangkaian transkonduktan. Proses ini digunakan sebagai kontrol regulasi.

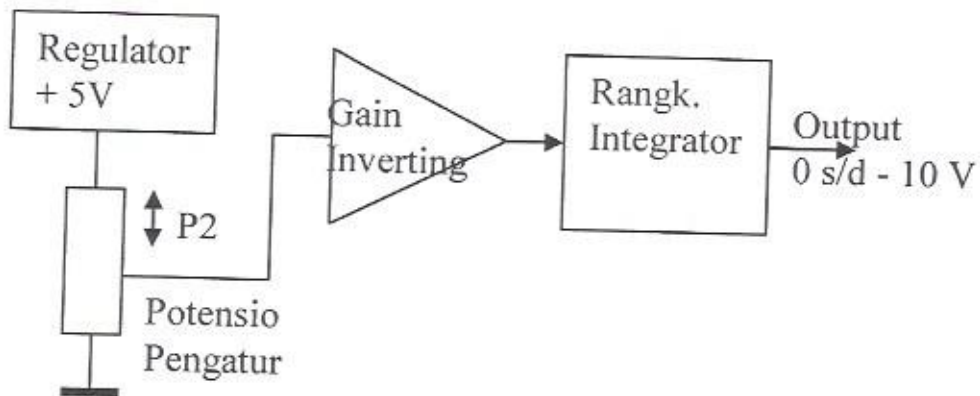


Gambar 8: Blok Rangkaian filter HV dan umpan balik.

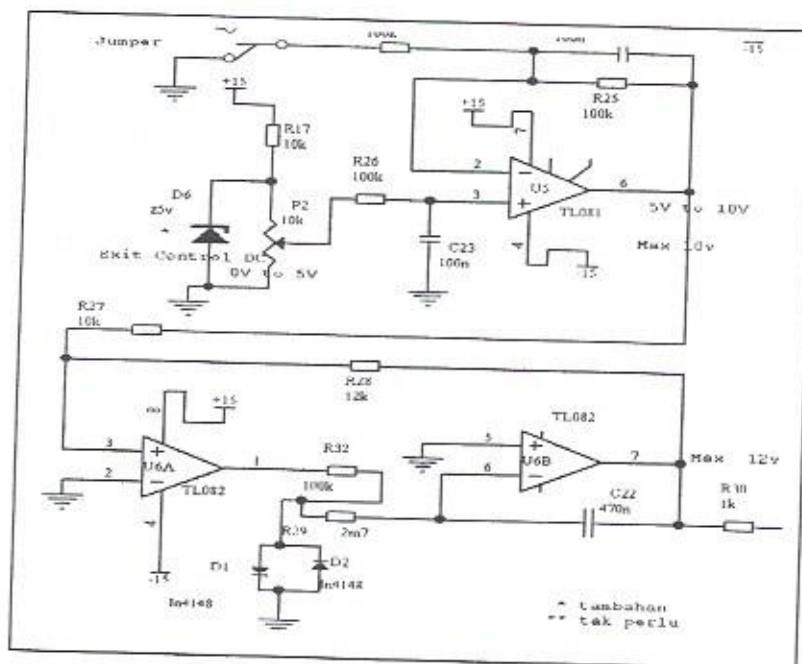
### Rangkaian pengatur HV

Pada rangkaian ini dilengkapi dengan integrator yang berguna untuk memperlambat keluaran HV dari 0 menuju setting stabil yang diinginkan. Hal ini untuk menjaga agar detektor tidak terkena tegangan kejut yang sangat tingi yang dapat mengakibatkan kerusakan detektor. Rangkaian ini perlu input sebesar 0 Vdc sampai 5 Vdc dengan cara memutar potensio P2. Keluaran pengatur ini setelah melewati

bagian integrator sebesar 0 Vdc sampai negatif 10 Vdc. Blok Rangkaian pengatur ini diperlihatkan pada Gambar 9a dan Gambar 9b..



Gambar 9a: Blok Rangkaian pengatur keluaran HV



Gambar 9b: Rangkaian Detail pengatur keluaran HV

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh berupa gambar skematik rancangan Catu Daya Tegangan Tinggi yang dapat diatur dari 0 Vdc sampai 1000 Vdc. Catu daya tersebut digunakan untuk mensuply tegangan tinggi yang diperlukan oleh kedua detektor NaI(Tl)

pada alat renograf. Catu daya tersebut dirancang menggunakan komponen lokal, tetapi mempunyai kualitas yang baik. Mempunyai proteksi hubung singkat yang baik dari sifat TDA 2004. Keluaran TDA 2004 berupa sinyal sinus sehingga dapat menekan nois. Output HV dapat disetting dari 0 sampai 1000 Vdc melalui input 0 sampai 5 Vdc. Dari

perhitungan diperoleh Frekuensi osilator yang dapat diatur dari 3 kHz sampai 65 kHz. Frekuensi ini disesuaikan dengan impedansi trafo inti ferrit. Daya power push-pull maksimal dapat mencapai 20 watt.[2]. Gain power amplifier dari TDA 2004 adalah 10 kali. Lilitan per volt pada trafo ferrit adalah 4 lilit per volt. Lilitan primer 8 lilit dan lilitan skunder 1000 lilit dengan diameter kawat email 0,15 mm. Menggunakan tiga pelipat tegangan dengan diode dan kapasitor. Pada rangkaian setting pengatur tegangan tinggi dilengkapi rangkaian integrator untuk memperlambat laju kenaikan tegangan tinggi yang cepat, sehingga dapat mencegah kerusakan detektor akibat tegangan kejut maksimal sesaat. Menggunakan catu daya  $\pm 12$  Vdc untuk mensupply komponen analog op-amp dan + 5 Vdc untuk mensupply TDA 2004.

#### KESIMPULAN

Telah dirancang Catu daya HV yang dapat diatur 0 Vdc sampai 1000 Vdc melalui input 0 sampai 5 Vdc. Catu daya HV tersebut untuk mensupply tegangan tinggi detektor NaI(Tl) pada alat renograf. Menggunakan komponen yang mudah didapat dipasaran. Dilengkapi dengan proteksi hubung singkat dari TDA 2004 serta kontrol regulasi dari transkonduktan CA3080. Rangkaian ini memerlukan catu daya rendah  $\pm 12$  Vdc untuk mensupply komponen opamp dan + 5 Vdc untuk mensupply IC TDA 2004.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Drs. Rukmono Pribadi yang telah memberi inspirasi dan ide penggunaan power amplifier TDA 2004 dalam perancangan catu daya tegangan tinggi ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. BR. BAIRI, etc. "Handbook of Nuclear Medical Instrument", Tata Mc GrawHill Co. New Dehli, 1994.
2. Data Sheet, "SGS-Thomson microelectronics", 1995.
3. Data Sheet, "STMicroelectronics", 1998. <http://www.st.com>
4. CATALOG, "National Semiconductor", edisi June 1999, [www.National.com](http://www.National.com).
5. CATALOG, "Fairchild Semiconductor", Harris co, 1999, [www.Fairchildsemi.com](http://www.Fairchildsemi.com).
6. CATALOG, "Harris Semiconductor", Harris co, 1996, [www.Harris.com](http://www.Harris.com).