

Catu Daya Menggunakan Diode Tabung Hampa Tipe 5AR4 dan 6CA4

Gading Cassandra¹, Matias H. W Budhiantho², F. Dalu Setiaji³

Program Studi Teknik Elektro,
Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer
Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga
¹gadingc88@gmail.com, ²matias@staff.uksw.edu, ³fdsetiaji@gmail.com

Ringkasan

Catu daya untuk penguat tabung hampa terdiri atas dua bagian yaitu catu daya aras tinggi dan aras rendah. Dioda tabung hampa jenis 6CA4 dan 5AR4 digunakan sebagai penyearah catu daya aras tinggi. Catu daya yang dirancang mampu menghasilkan 280V/41mA, 443V/194mA, tegangan negatif -15V, 2 keluaran 6,3V/3A dan satu keluaran 6,3V/0,9A. Catu daya yang dirancang memiliki sistem *soft-start* dengan waktu bangkit 5 detik untuk catu daya aras tinggi dan 3 detik aras rendah. Efisiensi dari catu daya aras tinggi 54,2%. Catu daya aras tinggi tegangan 280V memiliki regulasi beban 28,8% dengan riak keluaran 0,052% dan catu daya 430V memiliki regulasi beban 19,2% dengan riak keluaran 0,002%. Pengujian penguat audio tabung 12AU7 dan EL34 dengan menggunakan catu daya yang dirancang menghasilkan tanggapan frekuensi rata 100Hz~ 4kHz dan THD 4,8-5,1% yang cukup stabil dengan waktu pengujian dua jam terus menerus.

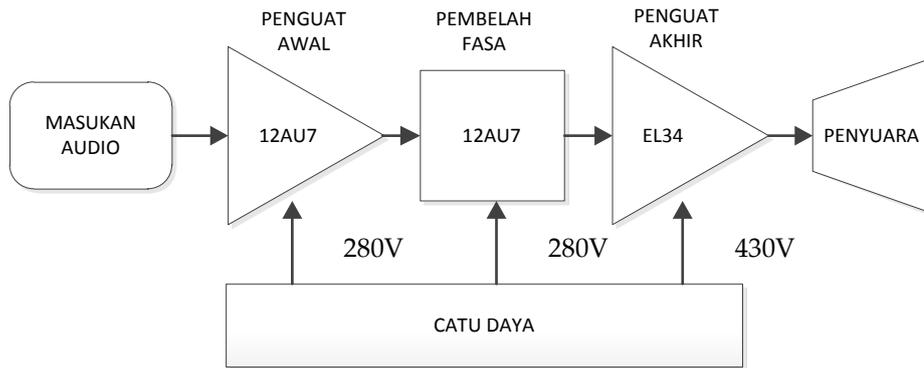
Kata kunci: Catu daya, tabung hampa, dioda, *slow start*

1. Pendahuluan

Meskipun teknologi tabung dianggap sudah kuno, penguat audio berbasis tabung hampa masih digemari hingga saat ini. Penguat tabung hampa memerlukan catu daya yang tepat. Dioda tabung hampa memiliki sifat *slow-start* yaitu dioda tabung hampa menghasilkan tegangan keluaran yang nilainya meningkat secara bertahap seiring dengan waktu pemanasan. Sifat *slow-start* sangat penting untuk menghindari pemberian tegangan tinggi secara mendadak pada penguat tabung hampa yang berpotensi merusaknya[1].

Perancangan catu daya tabung hampa sangat tergantung oleh tiga faktor utama yaitu beban catu daya, serta tegangan dan arus yang dihasilkan. Catu daya untuk penguat audio tabung dirancang setelah perancangan penguat audio dilakukan, agar dapat menyesuaikan dengan besarnya tegangan dan arus yang dibutuhkan penguat tersebut [2]. Dalam makalah ini perancangan catu daya tabung hampa dikhususkan untuk memenuhi kebutuhan penguat audio tabung hampa yang telah ada [3].

Penguat audio tersebut terbagi atas tiga bagian yaitu penguat awal, pembelah fasa dan penguat akhir. Bagian penguat awal dan pembelah fasa dirancang menggunakan tabung penguat triode 12AU7. Penguat akhir dirancang menggunakan tabung pentoda EL34. Diagram fungsional penguat tabung dengan catu dayanya ditunjukkan oleh Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Diagram kotak penguat audio tabung 12AU7 dan EL34[3]

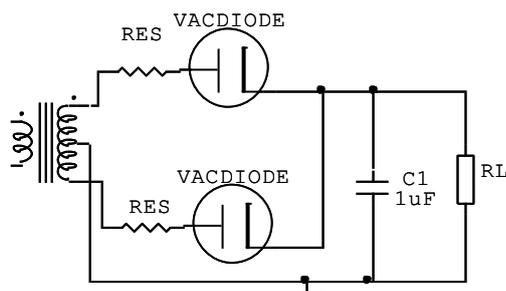
Penguat audio menggunakan tabung 12AU7 dan EL34 memerlukan catu daya bertegangan tinggi yang terpisah untuk penguat awal, pembelah fasa dan penguat akhir. Bagian penguat awal dan pembelah fasa memerlukan catu 280V/50mA. Bagian penguat akhir memerlukan catu 430V/200mA. Selain catu daya bertegangan tinggi, penguat audio tabung 12AU7 dan EL34 memerlukan catu daya tegangan rendah untuk mencatu pemanas tabung penguat yaitu 6,3V/300mA untuk pemanas tabung 12AU7 dan 6,3V /1,5A untuk pemanas tabung EL34, kemudian diperlukan tegangan negatif -15V untuk mencatu regulator arus pada bagian pembelah fasa.

Penguat audio dengan tabung 12AU7 dan EL34 tersebut pada mulanya menggunakan catu daya berbasis penyearah dioda semi-penghantar[3]. Namun tanpa adanya perancangan sistem *soft-start*, lonjakan tegangan keluaran dari nol menuju tegangan tinggi puncak dalam waktu singkat dapat memperpendek usia tabung penguat. Oleh sebab itu pada makalah ini akan dirancang catu daya berbasis tabung hampa yang lebih tepat untuk memenuhi kebutuhan penguat tabung tersebut.

2. Perancangan

Fungsi utama catu daya adalah memenuhi kebutuhan daya seluruh bagian penguat audio. Catu daya untuk penguat audio tabung hampa terdiri atas dua bagian yaitu catu daya aras tinggi dan catu daya aras rendah. Catu daya aras tinggi berfungsi memenuhi kebutuhan tegangan dan arus piringan tabung hampa. Sedangkan catu daya aras rendah berfungsi memenuhi kebutuhan daya pemanas tabung penguat.

Catu daya aras tinggi dirancang dengan topologi catu daya linear menggunakan dioda tabung sebagai penyearah. Dioda tabung hampa digunakan untuk menghasilkan catu daya dengan sistem *soft-start*. Perancangan untai catu daya tabung hampa mengacu pada untai dasar catu daya tabung hampa yang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Untai dasar catu daya dioda tabung hampa[4]

Tahap awal untuk mewujudkan catu daya tabung hampa adalah perancangan trafo penaik. Perancangan trafo penaik meliputi penentuan tegangan sekunder dari trafo penaik dan perhitungan nilai efektif hambatan lilitan sekunder trafo penaik R_{ES} .

Besarnya R_{ES} trafo penaik dihitung berdasarkan Persamaan (1) dan (2).

$$R_{ES} = R_S + N^2 R_P + R_A \quad (1)$$

$$N = V_S / V_P \quad (2)$$

Dimana R_P adalah hambatan lilitan primer dan R_S adalah hambatan lilitan sekunder dari trafo penaik, sedangkan N adalah nisbah tegangan sekunder terhadap tegangan primer dari trafo penaik. Nilai R_A merupakan hambatan tambahan yang diberikan di antara sambungan trafo dengan kaki anoda dari dioda tabung.

Langkah selanjutnya menentukan jenis dioda tabung hampa yang digunakan. Untuk memenuhi kebutuhan penguat yaitu 280V/50mA dan 430V/200mA digunakan dua dioda tabung hampa yaitu 6CA4 yang mampu menghasilkan tegangan 290V dengan arus maksimal 150mA dan tabung 5AR4 yang mampu menghasilkan tegangan 480V dengan arus 250mA.

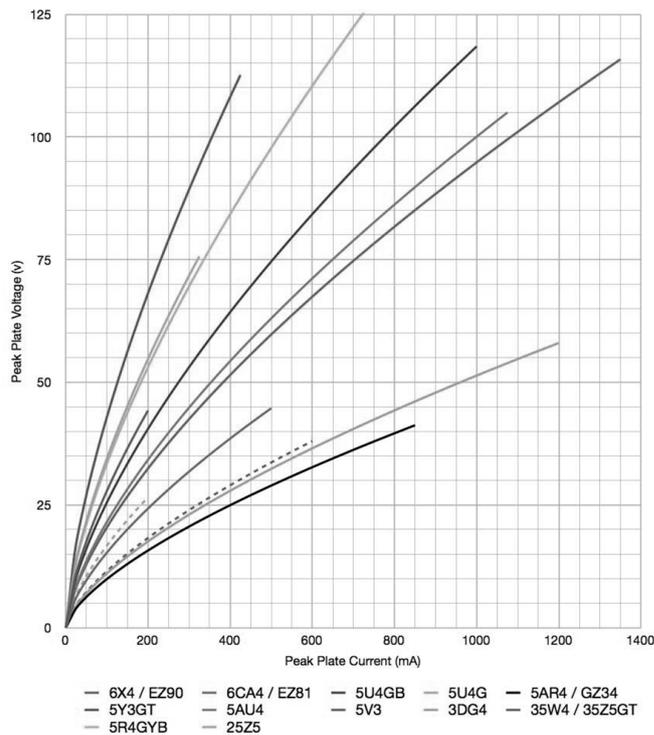
Arus piringan dan hambatan piringan merupakan dua komponen penting dari dioda tabung. Arus piringan dioda tabung dibedakan menjadi dua yaitu arus puncak piringan (\hat{I}_p) dan arus rata-rata piringan (\bar{I}_p). Dalam perancangan catu daya dengan dioda tabung hampa *duplex* sebagai penyearah gelombang penuh, besarnya arus rata-rata tiap piringan adalah setengah dari arus beban catu daya (I_L):

$$\bar{I}_p = \frac{I_L}{2} \quad (3)$$

Besarnya hambatan piringan ditentukan oleh besarnya arus puncak piringan dioda tabung hampa. Karena hambatan piringan merupakan fungsi arus menyebabkan tegangan jatuh, sedangkan amplitudo puncak isyarat yang dihasilkan dioda tabung hampa tidak diketahui maka arus puncak tidak dapat dihitung. Oleh karena itu digunakan asumsi awal untuk mendapatkan besarnya arus puncak piringan yaitu empat kali arus rata-rata piringan[4].

$$\hat{I}_p = 4 \times \bar{I}_p \quad (4)$$

Hambatan piringan dioda tabung hampa didapat dengan membagi besarnya tegangan jatuh pada piringan saat pada arus puncak. Besarnya tegangan jatuh pada piringan berdasarkan besarnya arus puncak piringan didapat menggunakan grafik pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik tegangan jatuh piringan terhadap arus puncak piringan pada beberapa jenis dioda tabung hampa[5]

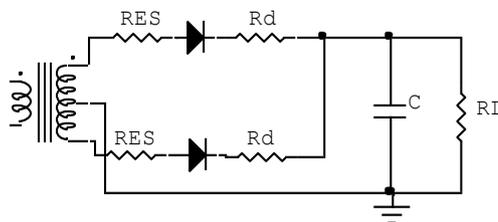
Besarnya hambatan piringan pada arus puncak dihitung menggunakan Persamaan:

$$\hat{R}_d = \frac{V_d}{I_d} \quad (5)$$

Besarnya hambatan piringan pada arus rata-rata adalah sebesar 1,14 dari hambatan puncak piringan:

$$\bar{R}_d = 1,14 \times \hat{R}_d \quad (5)$$

Karena adanya hambatan piringan pada arus rata-rata maka untai setara dari untai catu daya dengan tabung hampa ditunjukkan Gambar 4 berikut ini.



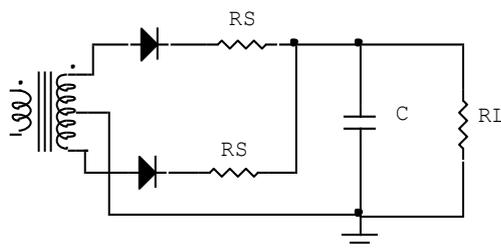
Gambar 4. Untai setara catu daya dengan dioda tabung hampa

Hambatan seri catu daya adalah penjumlahan antara hambatan piringan dioda tabung hampa dengan hambatan efektif lilitan sekunder trafo penaik. Hambatan seri catu daya terdiri atas hambatan seri pada arus puncak dan hambatan seri pada arus rata-rata. Hambatan seri catu daya dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\hat{R}_S = R_{ES} + \hat{R}_d \quad (6)$$

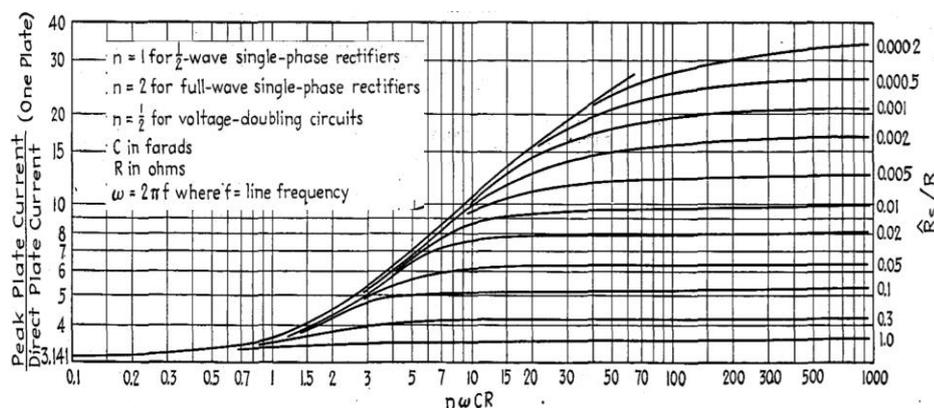
$$\bar{R}_S = R_{ES} + \bar{R}_d \quad (7)$$

Dengan adanya hambatan seri catu daya maka untai catu daya pada gambar dapat disederhanakan lagi, ditunjukkan oleh Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Hambatan seri pada catu daya dioda tabung hampa

Untuk mendapatkan besarnya arus puncak piringan yang lebih tepat digunakan grafik arus puncak piringan dioda tabung hampa yang dibuat oleh Schade [4], seperti ditunjukkan Gambar 6.



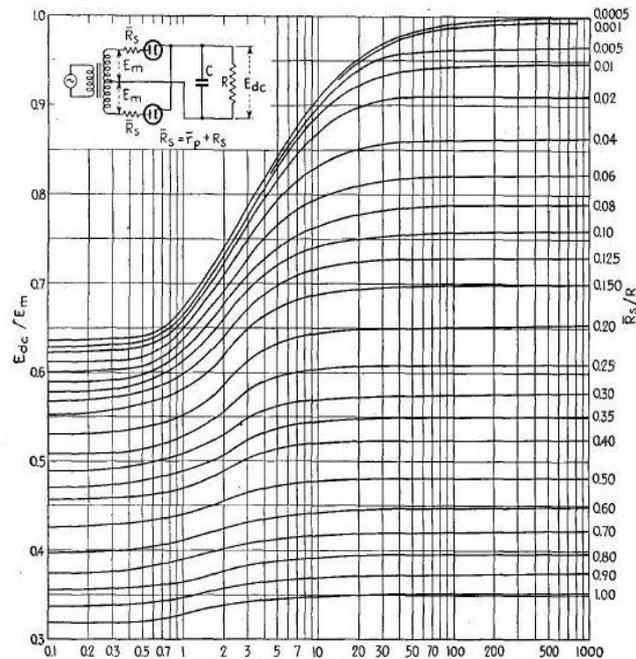
Gambar 6. Grafik arus piringan dioda tabung hampa[4]

Grafik pada Gambar 6 menunjukkan besarnya nisbah arus puncak piringan dengan arus rata-rata piringan dipengaruhi oleh hambatan seri catu daya pada arus puncak \hat{R}_S , beban catu daya R_L , jumlah fasa n , frekuensi jala-jala dalam radian ω , dan kapasitansi kapasitor tapis masukan C . Beban catu daya adalah nisbah dari tegangan dan arus keluaran catu daya, dihitung dengan persamaan berikut:

$$R_L = \frac{V_L}{I_L} \quad (8)$$

Arus puncak piringan yang didapat berdasarkan grafik Gambar 6 digunakan untuk menghitung ulang Persamaan (3) sampai (7) untuk mendapatkan besarnya hambatan piringan dioda tabung hampa dan hambatan seri catu daya yang lebih tepat.

Efisiensi penyearah adalah nisbah antara tegangan puncak dari keluaran trafo penaik tegangan (E_m) dengan tegangan DC keluaran dari penyearah (E_{dc}). Berikut adalah grafik efisiensi dari dioda tabung hampa sebagai penyearah gelombang penuh.



Gambar 7. Grafik efisiensi dioda tabung hampa penyearah gelombang penuh[4]

Berdasarkan grafik pada Gambar 7, efisiensi penyearah pada sumbu tegak sebelah kiri ditentukan oleh nisbah antara hambatan seri rata-rata catu daya \bar{R}_S dan beban catu daya pada sumbu tegak sebelah kanan dan nilai, ωRC , pada sumbu mendatar.

2.1. Perancangan Catu Daya 280V

Pada perancangan catu daya 280V digunakan trafo penaik 700V RMS memiliki $R_F=3,4\Omega$, $R_S=116\Omega$ sehingga nilai R_{ES} berdasarkan Persamaan (1) adalah 124,7 Ω . Berdasarkan lembar data dioda tabung hampa 6CA4 besarnya kapasitor maksimal yang digunakan sebagai tapis masukan adalah 60 μF , maka pada perancangan ini dipilih 50 μF . Dengan tegangan keluaran $V_L=280V$ dan arus keluaran $I_L=50mA$, beban setara dari catu daya 280V berdasarkan Persamaan (8) besarnya adalah 5600 Ω . Sehingga besarnya nilai ωCR_L adalah 87,9.

Arus beban catu daya 280V adalah $I_L=50mA$, sehingga arus rata-rata piringan berdasarkan Persamaan (10) adalah 25mA dan arus puncak piringan berdasarkan Persamaan (11) diasumsikan 100mA. Berdasarkan lengkungan tabung hampa 6CA4 pada Gambar 3 dan Persamaan (4) didapat hambatan piringan pada arus puncak \hat{R}_d adalah 150 Ω . Hambatan piringan pada arus rata-rata \bar{R}_d berdasarkan Persamaan (5) adalah 171 Ω .

Hambatan seri pada arus puncak dan arus rata-rata dari catu daya didapat berdasarkan Persamaan (6) dan (7) adalah $\hat{R}_S=274,7\Omega$ dan $\bar{R}_S=295,7\Omega$. Digunakan resistor anoda R_A sebesar 1k Ω untuk memperkecil efisiensi penyearah dan mendapatkan tegangan keluaran yang diinginkan. Didapat nilai $\hat{R}_S/R_L=0,22$ dan $\bar{R}_S/R_L=0,23$. Dari grafik arus puncak piringan pada Gambar 6 didapat arus puncak piringan sebesar 4,6 kali dari arus piringan rata-rata. Dengan nilai arus puncak ini digunakan untuk melakukan perhitungan ulang hambatan piringan pada arus puncak dan pada arus rata-rata dan didapat $\hat{R}_d=147,8\Omega$ dan $\bar{R}_d=168,5\Omega$. Hasil akhir nisbah hambatan seri catu daya dengan beban catu daya adalah $\hat{R}_S/R_L=0,227$ dan $\bar{R}_S/R_L=0,23$.

Berdasarkan grafik efisiensi penyearah pada Gambar 7 dengan nilai \bar{R}_s/R_L 0,23, didapat efisiensi penyearah sebesar 0,63 sehingga tegangan keluaran penyearah:

$$\frac{E_{dc}}{E_m} = 0,63 \quad (9)$$

$$E_{dc} = 0,63 \times E_m = 0,63 \times 1,414 \times 350 = 311,8V \quad (10)$$

2.2. Perancangan Catu Daya 430V

Pada perancangan catu daya 280V digunakan trafo penaik 900V RMS memiliki $R_P = 3,4\Omega$, $R_S = 44\Omega$ sehingga nilai R_{ES} berdasarkan Persamaan (1) adalah $58,2\Omega$. Dengan kapasitor masukan sebesar $50\mu F$. Tegangan keluaran V_L adalah 430V dan arus keluaran I_L adalah 200mA sehingga beban setara dari catu daya 430V berdasarkan Persamaan (8) besarnya adalah 2150Ω . Besarnya nilai ωCR_L adalah 33,76.

Arus beban catu daya 430V adalah 200mA sehingga arus rata-rata piringan berdasarkan Persamaan (10) adalah 100mA dan arus puncak piringan berdasarkan Persamaan (11) diasumsikan 400mA. Berdasarkan lengkungan tabung hampa 5AR4 pada Gambar 3 dan Persamaan (4) didapat hambatan piringan pada arus puncak \hat{R}_d adalah $62,5\Omega$. Hambatan piringan pada arus rata-rata \bar{R}_d berdasarkan Persamaan (5) adalah $71,25\Omega$.

Hambatan seri pada arus puncak dan arus rata-rata dari catu daya didapat berdasarkan Persamaan (6) dan (7) adalah $\hat{R}_s = 120,7\Omega$ dan $\bar{R}_s = 129,5\Omega$. Digunakan resistor anoda R_A sebesar 100Ω untuk memperkecil efisiensi penyearah dan mendapatkan tegangan keluaran yang diinginkan. Didapat nilai $\hat{R}_s/R_L = 0,103$ dan $\bar{R}_s/R_L = 0,106$. Dari grafik arus puncak piringan pada Gambar 6 didapat arus puncak piringan sebesar 5 kali dari arus piringan rata-rata. Dengan nilai arus puncak ini digunakan untuk melakukan perhitungan ulang hambatan piringan pada arus puncak dan pada arus rata-rata dan didapat $\hat{R}_d = 56\Omega$ dan $\bar{R}_d = 63,84\Omega$. Hasil akhir nisbah hambatan seri catu daya dengan beban catu daya adalah $\hat{R}_s/R_L = 0,1$ dan $\bar{R}_s/R_L = 0,103$.

Berdasarkan grafik efisiensi penyearah pada Gambar 7 dengan nilai \bar{R}_s/R_L 0,103, didapat efisiensi penyearah sebesar 0,76 sehingga tegangan keluaran penyearah:

$$\frac{E_{dc}}{E_m} = 0,76 \quad (9)$$

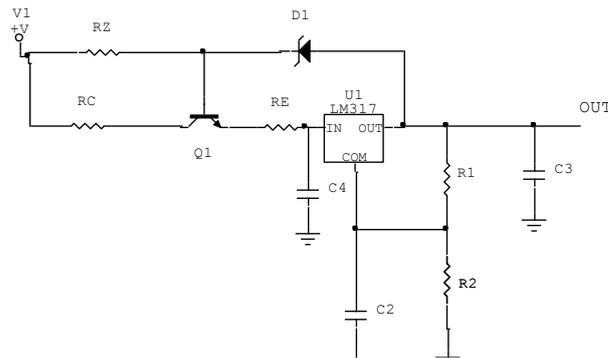
$$E_{dc} = 0,76 \times E_m = 0,76 \times 1,414 \times 450 = 483,6V \quad (10)$$

2.3. Perancangan Regulator Tegangan Tinggi

Regulator LM317 di sini berfungsi menstabilkan tegangan keluaran penyearah menjadi nilai tegangan yang diharapkan dari keluaran catu daya. Berdasarkan lembar data tegangan masukan IC LM317 dibatasi minimal 2,5V dan maksimal 37V di atas tegangan keluaran. Untuk menjaga agar tegangan masukan-keluaran berada dalam batas kemampuan LM317 digunakan dioda zener 1N7044 30V.

Berdasarkan Gambar 8 keluaran regulator ditentukan oleh R_1 dan R_2 . Penulis menggunakan dioda zener, transistor NPN dan resistor R_E untuk membatasi masukan LM317. Beda tegangan antara masukan dan keluaran LM317 dapat dihitung berdasarkan Persamaan berikut.

$$V_{in_{LM317}} - V_{o_{LM317}} = V_{zener} - V_{be} - V_{R_E} \quad (11)$$



Gambar 8. Untai regulator tegangan tinggi dengan IC LM317

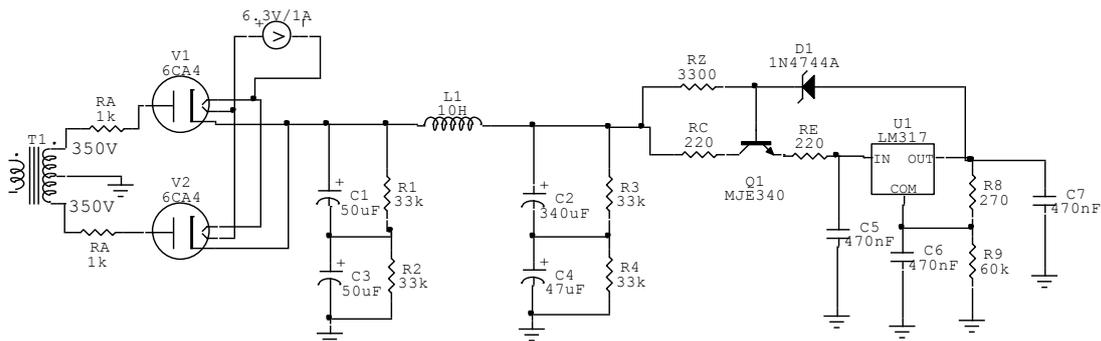
Berdasarkan Persamaan beda tegangan dibatasi oleh tegangan dioda zener yang digunakan. Resistor R_1 berfungsi untuk menurunkan tegangan V_{CE} transistor NPN dan resistor R_z menentukan besarnya arus dioda zener. Arus kerja minimal dioda zener adalah 5mA sehingga besarnya R_z dihitung berdasarkan Persamaan berikut.

$$R_z = \frac{(V_{in} - V_o)_{regulator} - V_{zener}}{5 \times 10^{-3}} \quad (12)$$

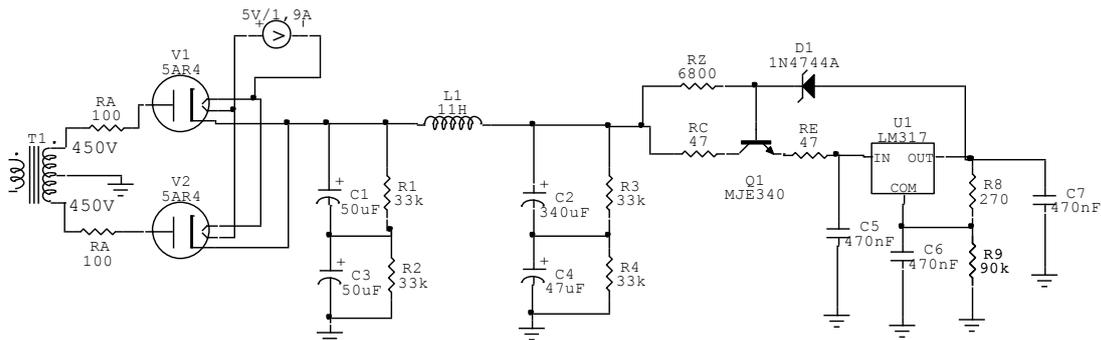
Selain membatasi tegangan masukan LM317, resistor emitor R_E juga berfungsi membatasi arus keluaran regulator. Besarnya arus keluaran maksimal regulator dihitung berdasarkan Persamaan berikut.

$$I_o = \frac{V_{zener} - V_{be} - [V_{in_{LM317}} - V_{out_{LM317}}]_{(min)}}{R_E} \quad (13)$$

Berikut adalah untai catu daya 280V dan 430V secara keseluruhan:



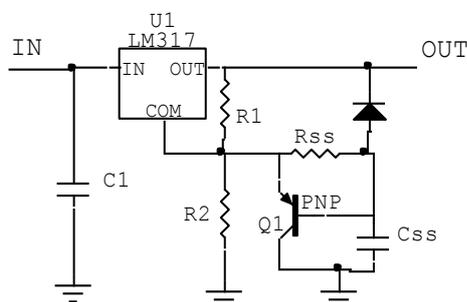
Gambar 9. Untai catu daya 280V



Gambar 10. Untai catu daya 430V

2.4 Perancangan Catu Daya Pemanas

Catu daya pemanas dirancang menghasilkan tegangan DC. Komponen yang akan digunakan adalah IC regulator LM317. Sistem *soft-start* dirancang dengan menambahkan komponen transistor PNP, R_{ss} dan C_{ss} seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Untai LM317 dengan sistem *soft-start*

Pada keadaan awal, sebelum dimuati kapasitor C_{ss} akan bersifat hubung singkat yang menyebabkan kaki *adjust* (COM) LM317 terhubung dengan tanah (*ground*) karena adanya transistor PNP. Kondisi demikian menyebabkan keluaran LM317 sama dengan tegangan referensi LM317 yaitu 1,25V. Kemudian kapasitor C_{ss} akan dimuati oleh arus yang melewati R_{ss} sehingga tegangan kapasitor C_{ss} naikan menyebabkan tegangan keluaran LM317 ikut naik. Lamanya waktu naik dipengaruhi oleh konstanta waktu yang menentukan lamanya pengisian kapasitor.

$$V_C = V_{R_2} \left(1 - e^{-t/\tau} \right) \quad (14)$$

Dimana V_C adalah tegangan kapasitor, V_{R_2} adalah tegangan R_2 , t adalah lamanya waktu naik catu daya dan τ adalah konstanta waktu. Konstanta waktu didapat berdasarkan perkalian R_{ss} dan C_{ss} .

$$\tau = R_{ss} \times C_{ss} \quad (15)$$

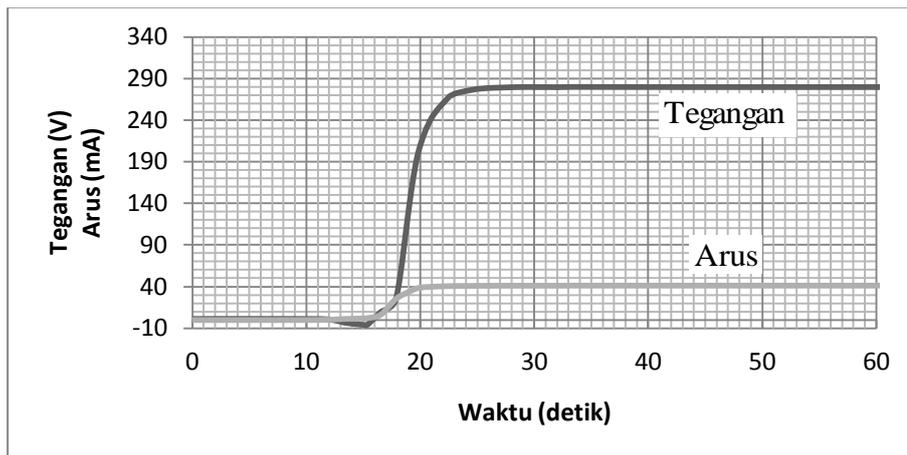
3. Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian catu daya dilakukan berdasarkan acuan *Power Supply Testing*[6] yang diterbitkan oleh Agilent Technologies Incorporated. Untuk pengujian penguat audio tabung 12AU7 dan EL34 mengacu pada *Guidelines for Measuring Audio Power Amplifier*[7] yang diterbitkan oleh Texas Instrument Incorporated.

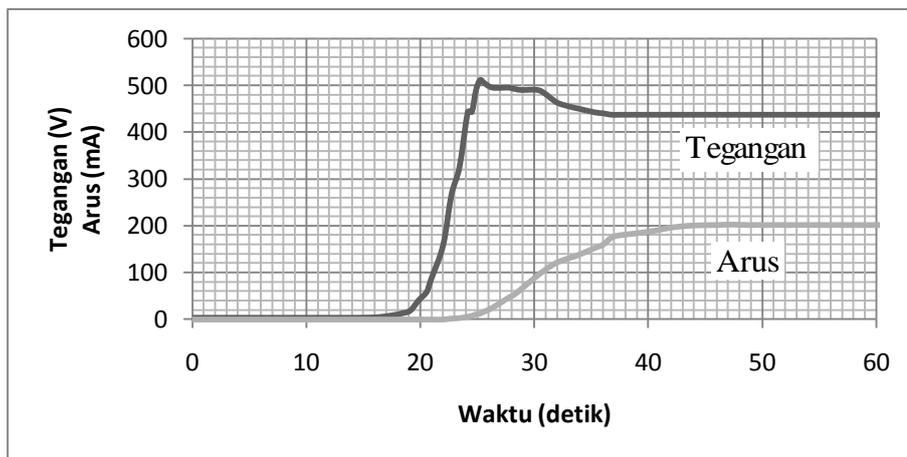
Pengujian pertama dilakukan pada catu daya aras tinggi untuk mengetahui tegangan dan arus keluaran serta waktu naik dari catu daya aras tinggi pada keadaan penguat tanpa isyarat masukan. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 12 dan 13.

Berdasarkan Gambar 12 dan 13, catu daya aras tinggi mampu menghasilkan tegangan 280V dengan arus 41mA dengan waktu naik tegangan 6 detik dan tegangan 443V dengan arus 194mA dengan waktu naik tegangan 5 detik.

Selanjutnya dilakukan pengujian regulasi catu daya aras tinggi untuk mengetahui tegangan catu daya aras tinggi pada keadaan tanpa beban, dengan beban penguat audio tabung tanpa diberi isyarat masukan dan dengan beban penguat audio tabung saat menghasilkan daya maksimal. Hasil pengujiannya ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 14 dan 15 berikut.



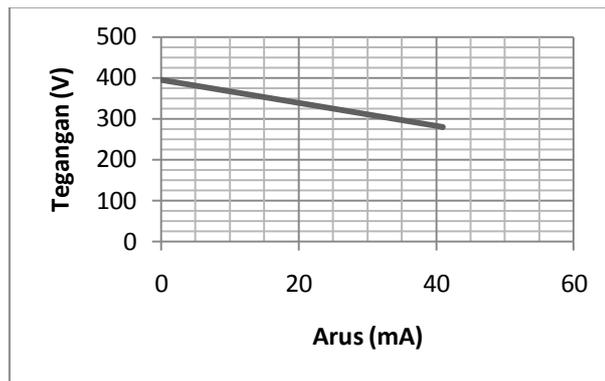
Gambar 12. Grafik tegangan dan arus keluaran catu daya 280V



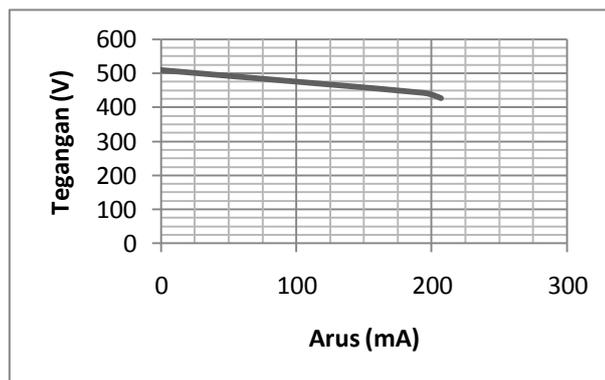
Gambar 13. Grafik tegangan dan arus keluaran catu daya 430V

Dengan hasil yang didapat berdasarkan Gambar 14 dan 15, besarnya tegangan jatuh catu daya aras tinggi saat penguat menghasilkan daya maksimal terhadap tegangan catu daya saat penguat tanpa isyarat masukan, untuk catu daya 280V adalah 0,071% dan catu daya 430V adalah 3,45%.

Selanjutnya untuk mengetahui efisiensi catu daya aras tinggi dilakukan pengukuran tegangan dan arus masukan catu daya dimana didapat tegangan masukan adalah dan arus masukan adalah sehingga daya masukan catu daya aras tinggi :184,3 Watt *rms*. Daya keluaran catu daya 280V adalah 11,5 Watt dan catu daya 430V adalah 88,5 Watt sehingga efisiensi catu daya aras tinggi adalah 54,2%. Efisiensi daya yang didapat tidak memenuhi spesifikasi yaitu >70%. Hal ini dikarenakan tegangan jatuh dioda tabung yang besar dan penggunaan resistor anoda R_A sehingga menambah hambatan seri dan tegangan jatuh catu daya.



Gambar 14. Grafik regulasi beban catu daya 280V

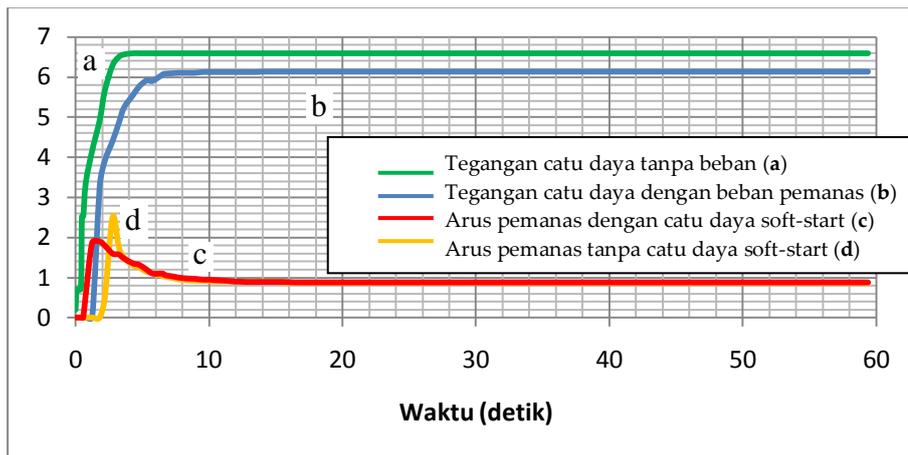


Gambar 15 Grafik regulasi beban catu daya 430V

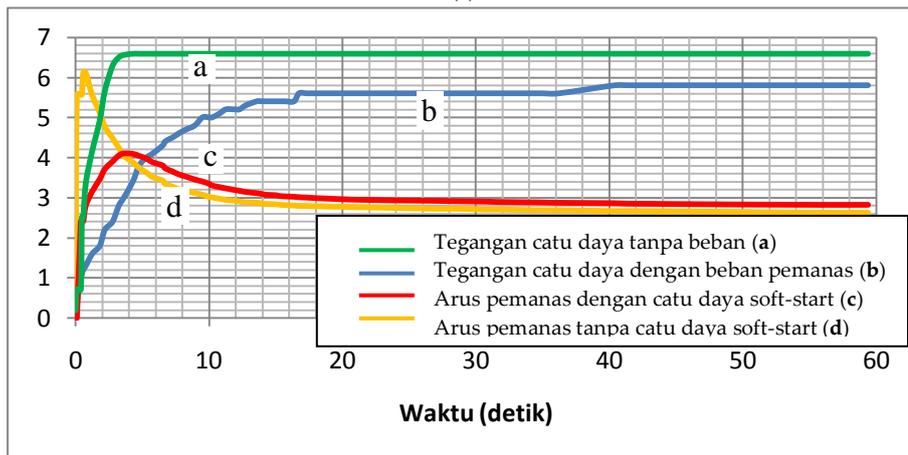
Untuk pengujian catu daya aras rendah dilakukan dengan mengukur tegangan dan waktu naik dari tegangan keluaran dari catu daya pemanas tabung 12AU7 dan catu daya pemanas tabung EL34 sebagai catu daya aras rendah. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 16.

Berdasarkan Gambar 16, waktu naik tegangan catu daya pemanas saat tanpa beban adalah 3 detik. Setelah catu daya dihubungkan dengan pemanas tabung hampa waktu naik tegangan catu daya pemanas adalah 6,7 detik untuk pemanas tabung 12AU7 dan 16 detik untuk pemanas tabung EL34. Perbedaan lamanya waktu naik dari catu daya pemanas tabung hampa 12AU7 dan EL34 kemungkinan karena perbedaan kebutuhan daya dimana pemanas tabung hampa 12AU7 membutuhkan catu daya 6,3V/0,3A sementara pemanas tabung hampa EL34 membutuhkan catu daya 6,3V/1,5A. Arus puncak pemanas tabung hampa 12AU7 adalah 2,5A dengan catu daya tanpa sistem *soft-start* dan 1,9A dengan catu daya sistem *soft-start*. Arus puncak pemanas tabung hampa EL34 adalah 6,13A dengan catu daya tanpa sistem *soft-start* dan 4A dengan catu daya sistem *soft-start*.

Pengujian terakhir dilakukan pada penguat audio tabung 12AU7 dan EL34 yang diaktifkan menggunakan catu daya yang sudah direalisasikan tersebut. Dalam pengujian ini diukur kemantapan tanggapan frekuensi dan THD (*total harmonic distortion*) dari penguat yang bekerja selama dua jam. Pengujian dilakukan dengan membangkitkan isyarat derau putih dan isyarat sinus 1kHz dengan menggunakan perangkat lunak SpectraLab untuk mengetahui tanggapan frekuensi dan THD penguat. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 17 dan 18.

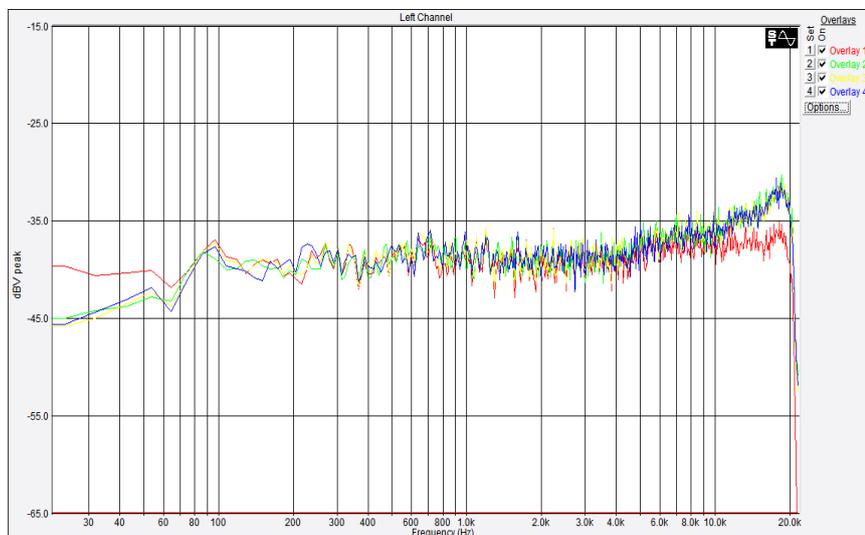


(a)

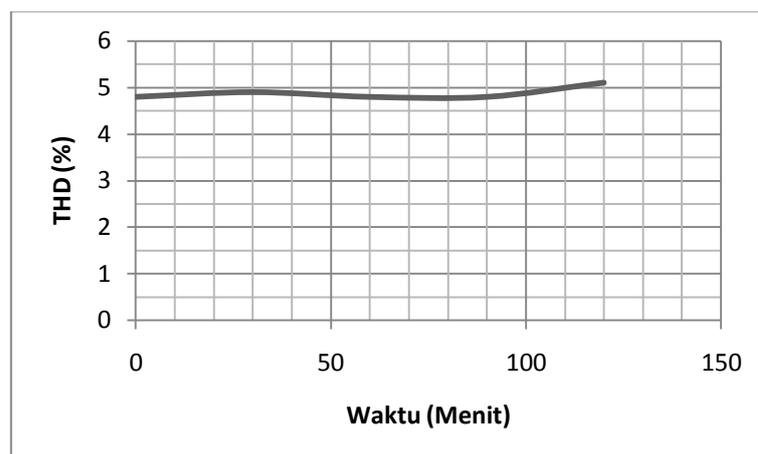


(b)

Gambar 16. Grafik tegangan dan arus catu daya pemanas (a) tabung 12AU7 (b) tabung EL34



Gambar 17 Tanggapan frekuensi penguat audio tabung 12AU7 dan EL34



Gambar 18. Hasil pengukuran THD penguat dengan isyarat uji 1kHz

4. Kesimpulan

Catu daya untuk penguat audio tabung 12AU7 dan EL34 yang telah dirancang terdiri atas dua bagian yaitu catu daya aras tinggi dan catu daya aras rendah. Catu daya aras tinggi berfungsi untuk menyediakan kebutuhan daya piringan tabung hampa, direalisasikan menggunakan dioda tabung hampa jensi 6CA4 dan 5AR4. Penggunaan dioda tabung hampa memberikan efek *soft-start* pada tegangan keluaran sehingga tepat untuk mencegah kerusakan tabung hampa akibat pemberian tegangan tinggi mendadak. Catu daya aras rendah berfungsi untuk memenuhi kebutuhan pemanas tabung hampa, dirancang dengan sistem *soft-start* dan menghasilkan tegangan DC. Catu daya aras rendah terbukti dapat menurunkan arus puncak yang ditarik oleh pemanas seperti yang ditunjukkan pada pengujian catu daya aras rendah.

Berdasarkan hasil pengujian, berikut adalah spesifikasi akhir dari catu daya yang telah dibuat :

1. Mampu menyediakan tegangan DC 443V/194mA dan 280V/41mA sebagai keluaran catu daya aras tinggi saat penguat tanpa isyarat masukan.
2. Tegangan jatuh 0,071% untuk catu daya 280V dan 3,45% untuk catu daya 430V saat volume maksimal penguat.
3. Efisiensi catu daya aras tinggi 54,2%.
4. Mampu menyediakan tegangan DC $2 \times 6,3V/3A$, 6,3V/ 900mA sebagai keluaran aras rendah.
5. Waktu naik (*rise time*) catu daya 280V 6 detik, 430V 5 detik dan catu daya tingkat rendah 3 detik.
6. Regulasi beban catu daya aras tinggi sebesar 28,8% untuk catu daya 280V dan 19,2% untuk catu daya 430V.
7. Riak keluaran catu daya aras tinggi 7,07 mV rms untuk catu daya 280V dan 70.7 mV rms untuk catu daya 430V pada keadaan beban catu daya maksimal.
8. Pengujian penguat audio tabung 12AU7 dan EL34 sebagai target perancangan catu daya menghasilkan tanggapan frekuensi rata 100 Hz~4 kHz dengan isyarat uji derau putih dan THD yang mantap dengan nilai 4,8~5,1% pada pengujian selama 2 jam.

5. Daftar Pustaka

- [1] L. Olsion, *The Amity, Raven, and Aurora*, [Online], <http://www.nutshellhifi.com/triode1.html>, diakses tanggal 13 Oktober 2013.
- [2] M. Jones, *Valve Amplifier*", 3rd Ed, Newness, 2003
- [3] Y.A. Yudiarwan, M.H.W. Budhiantho, F.D. Setiaji, *Perancangan Penguat Awal dan Akhir Menggunakan Tabung 12AU7 (GL-5814) dan EL34*, Salatiga: Skripsi FTEK-UKSW, 2008
- [4] H.J. Reich, *Theory and Applications of Elektron Tubes*, 2nd Ed, New York, McGraw-Hill, 1944.
- [5] M. Renaud, *Power Supply Design for Vacuum Tube Amplifiers*, [Online], <http://diyaudioprojects.com/Technical/Tube-Power-Supplies/>, diakses tanggal 13 Oktober 2013.
- [6] Agilent Technologies, Inc., *Agilent AN 372-1 Power Supply Testing*, <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5952-4190.pdf>, [Online], diakses tanggal 13 Oktober 2013.
- [7] Texas Instruments, *Guidelines for Measuring Audio Power Amplifier Performance*", <http://www.ti.com.cn/cn/lit/an/sloa068/sloa068.pdf>, [Online], diakses tanggal 13 Oktober 2013.