

2. DASAR TEORI

Penggemar audio banyak yang mulai kembali menggunakan *vacuum tube* untuk penguatan sinyal karena dianggap menghasilkan suara yang lebih alami. Salah satu penguat sinyal yang dipelajari adalah *power amplifier*.

Pada dasarnya *vacuum tube* bekerja berdasarkan adanya emisi elektron yang terjadi apabila sebuah katoda dipanaskan. Sebuah anoda akan menangkap elektron-elektron tersebut, sehingga menimbulkan arus dan tegangan anoda (yang akan digunakan sebagai penguat sinyal). Sebuah *grid* dimungkinkan terdapat dalam tabung sebagai variabel pengatur jalannya elektron-elektron tersebut (sehingga sinyal dapat dikuatkan), karena sinyal inilah yang dicatu kepada *grid* sehingga setiap sinyal mendapat penguatan yang linear.

Sebagai penguat audio *vacuum tube* dapat disusun dengan bermacam-macam konfigurasi. Tetapi pada dasarnya tujuan utama adalah untuk mendapatkan daya *output* lebih besar.

2.1. Penguat Daya

Fungsi utama dari penguat daya adalah untuk menguatkan tegangan maupun arus *input* sedemikian rupa hingga pada *output* diperoleh daya yang beberapa kali lebih besar. Di dalam penguat daya, biasanya penguat tegangan ini diletakkan dibagian depan dan penguat arus diletakkan dibagian akhir. Di dalam penguatan tegangan, perubahan arus sinyal pada rangkaian anoda hanya dimaksudkan untuk menghasilkan tegangan yang cukup besar untuk diberikan pada kisi dari tingkat berikutnya. Arus anoda ini terkadang relatif kecil.

Sebaliknya sebuah penguat arus harus mencatu suatu arus sinyal yang besar ke dalam impedansi beban, yang besarnya terletak antara 2.000 sampai 20.000 Ω . Dalam penguat tegangan *output*-nya dihubungkan dengan kisi dari tingkat berikutnya dimana dalam rangkaian kisi ini tidak ada arus yang mengalir, sehingga tidak terjadi pemakaian daya. Bila pada rangkaian kisi mengalir arus, maka pemakaian daya dalam rangkaian ini akan dicatu oleh tingkat yang

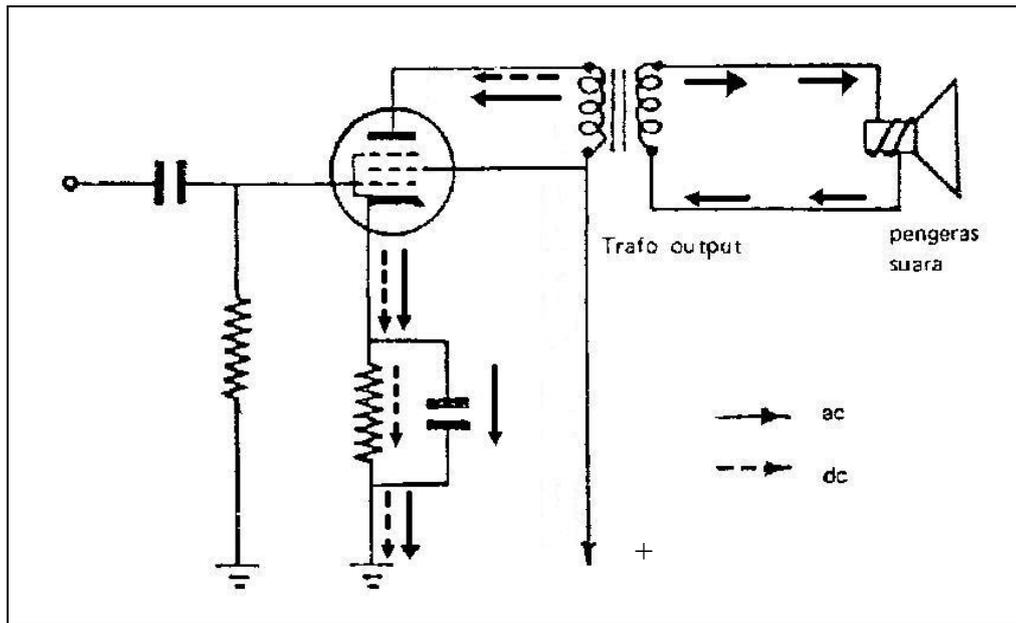
mendahuluinya. Pengeras suara memerlukan sejumlah besar arus agar dapat menggetarkan membrannya. Mengalirnya arus berarti ada pemakaian daya, oleh karena itu penguat arus yang terletak di belakang pengeras suara mencatu kebutuhan daya tersebut.

Tabung-tabung yang diperlukan dalam penguat tegangan umumnya bekerja dalam kelas A, sedangkan tabung-tabung yang diperlukan dalam penguat arus dapat bekerja dalam kelas A, kelas AB, kelas B dan kelas C. Tabung trioda, pentoda dan *beam power* tetroda dapat bekerja secara tunggal, *cascade*, *parallel* atau *push-pull* dimana tergantung pada jumlah daya yang harus dihasilkan oleh penguat tersebut. Penguat tegangan biasanya bekerja dengan tahanan beban anoda yang besar agar mendapatkan tegangan *output* yang maksimum.

Penguat arus bekerja dengan impedansi beban yang lebih rendah agar mendapatkan perubahan arus dan tenaga *output* yang besar. Di dalam penguat daya yang lebih dipentingkan adalah besarnya daya *output*, sedangkan besar tegangan *output* kurang dipentingkan.

Arus yang mengalir dalam rangkaian anoda penguat daya terdiri dari dua sinyal, yaitu sinyal DC dan sinyal AC. Dalam hal ini sinyal AC merupakan komponen yang penting, karena hanya arus yang berubah-ubah sajalah yang dapat menimbulkan suara pada pengeras suara. Bersama-sama dengan sinyal DC, sinyal AC dari arus anoda ini mengalir di dalam kumparan primer dari transformator *output*. Sinyal DC hanya akan membangkitkan fluksi magnet yang tetap sehingga tidak menginduksikan tegangan pada kumparan sekunder. Sedangkan sinyal AC memungkinkan terjadinya aksi trafo, sehingga pada kumparan sekunder akan terinduksi sinyal AC. Selanjutnya tegangan induksi ini akan masuk ke kumparan bicara (*voice coil*) dari pengeras suara yang dapat didengar.

Dengan demikian jelas bahwa sinyal DC tidak mempunyai pengaruh langsung terhadap *output* suara yang dihasilkan oleh penguat daya, sebaliknya sinyal ini akan merupakan kerugian daya berupa panas yang terjadi di dalam tabung dan transformator outputnya.



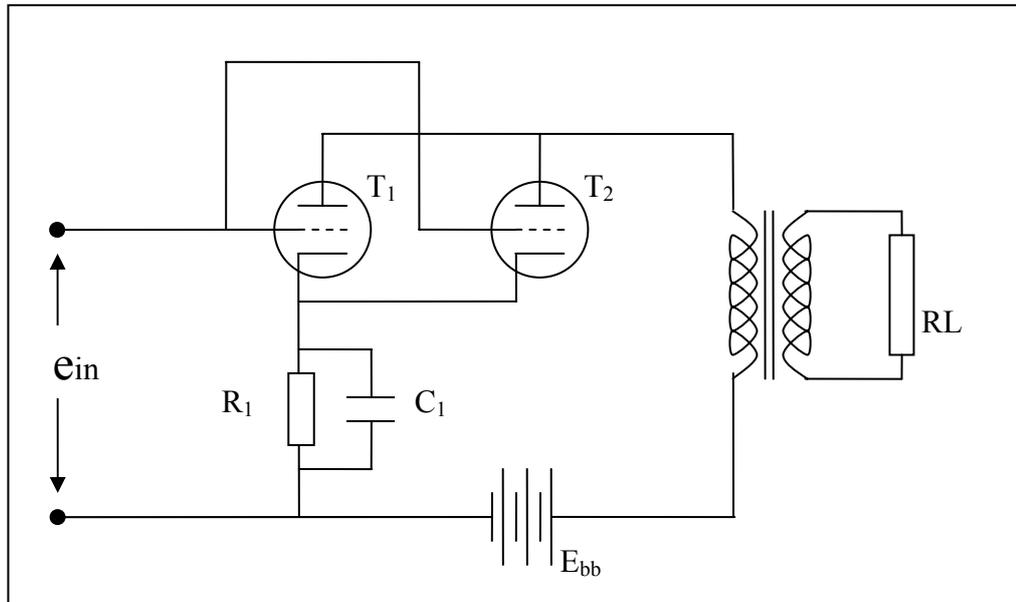
Gambar 2.1. Sinyal AC dan DC di dalam sebuah penguat daya

Sumber: *Ilmu Elektronika*, hal 113-114

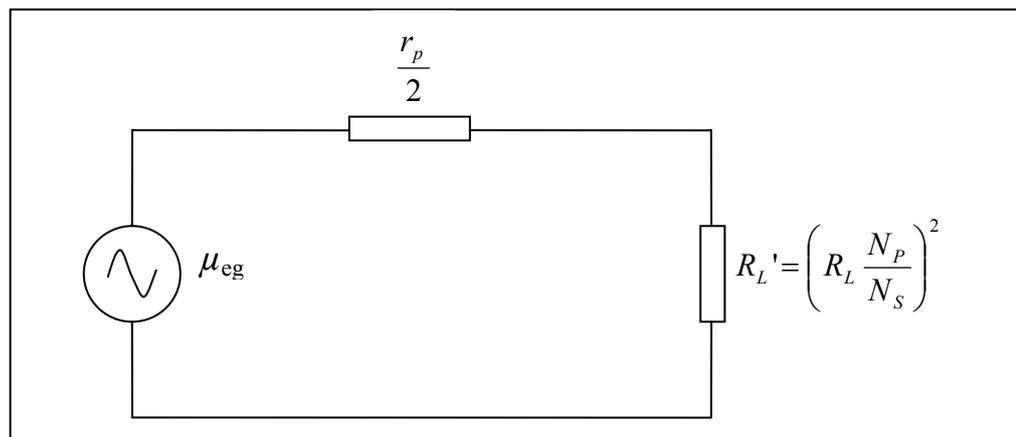
2.2. Kerja Paralel Dari Tabung-Tabung Penguat Daya

Apabila tenaga *output* dari sebuah tabung terlalu kecil untuk mencapai *volume* yang diinginkan, maka dua atau lebih tabung-tabung di dalam penguat daya dapat dihubungkan secara paralel. Mengoperasikan tabung secara paralel akan memperbesar daya *output*, tetapi persentase distorsi tetap sama seperti pada saat tabung dioperasikan secara tunggal.

Dua tabung identik yang dihubungkan secara paralel akan menghasilkan dua kali daya *output* dari yang dihasilkan tabung yang dioperasikan secara tunggal untuk sinyal *input* yang sama. Arus yang digunakan dalam penguat daya yang dihubungkan secara paralel ini dua kali lebih besar dari penguat daya yang dihubungkan secara tunggal dengan tegangan *input* yang digunakan sama besarnya. Besarnya distorsi juga menjadi dua kali lipat, tetapi karena *output* juga menjadi dua kali lipat maka persentasenya tetap sama.



Gambar 2.2. Rangkaian Penguat Daya Paralel



Gambar 2.3. Rangkaian Ekuivalen Penguat Daya Paralel

Gambar 2.2 menunjukkan cara menghubungkan dua trioda secara paralel, dan cara yang dapat juga dilakukan untuk tabung pentoda. Karena kedua anodanya dihubungkan secara paralel, tahanan anoda ekuivalennya akan sama dengan setengah dari tahanan anoda satu tabung. Tegangan yang dibangkitkan oleh tiap-tiap tabung sama dengan μe_{in} . Oleh karena itu rangkaian ekuivalen dari dua trioda yang dihubungkan secara paralel dapat digambarkan seperti pada gambar 2.3.

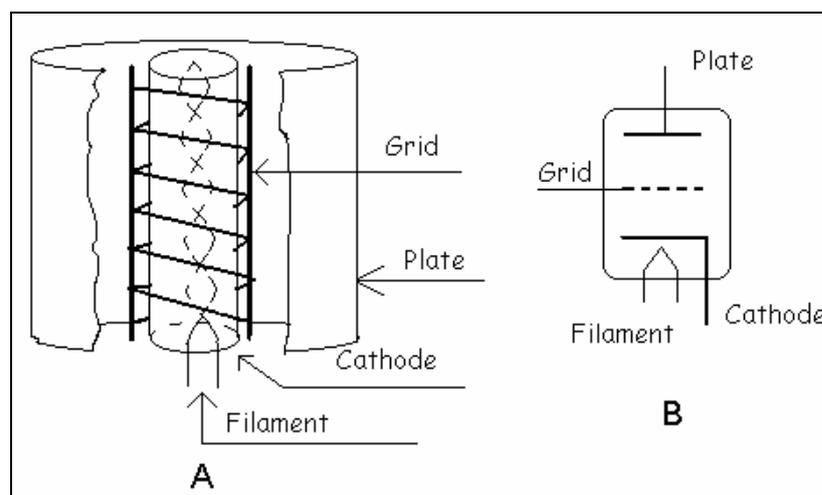
2.3. Pengenalan Jenis Vacuum Tube

Yang dimaksud dengan *vacuum tube* adalah peralatan elektronik dimana aliran elektron terjadi pada ruang hampa. Ada beberapa jenis *vacuum tube* yang umum digunakan yaitu:

- Trioda
- Tetroda
- Pentoda

2.3.1. Trioda

Trioda adalah tabung electron yang mempunyai tiga elektroda yaitu katoda, *grid* dan *plate*. *Grid* berbentuk spiral yang terbuat dari kawat tipis yang ditempatkan di dalam tabung yaitu antara katoda dan *plate* dimana jarak *grid* lebih dekat ke katoda dibandingkang terhadap *plate*-nya. Dimana katoda berada pada pusat dari trioda dan dikelilingi oleh *grid* yang berbentuk anyaman kawat melingkar. Di antara setiap lapisan anyaman *grid* terdapat celah yang cukup besar (yang memungkinkan mengalirnya elektron menuju *plate*). Sedangkan *plate* melingkupi katoda, *grid*, dan juga *filament*. Struktur dan simbol dari trioda dapat dilihat pada gambar 2.4.

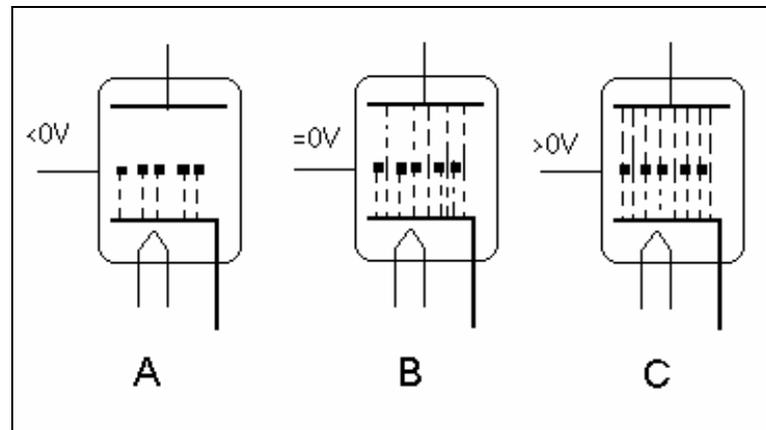


Gambar 2.4. Struktur dan Simbol dari Trioda

Sumber: Ganti Depari, *Pokok-Pokok Elektronika*, hal 48

Pada tabung jenis trioda ini, *grid* berperan dalam mengatur aliran elektron yang menuju *plate* dengan memanfaatkan perubahan kondisi tegangan

yang terjadi di dalamnya. Untuk dapat memahami peranan *grid* dalam mengatur aliran elektron, dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut ini.



Gambar 2.5. Peranan Grid Dalam Mengatur Aliran Elektron

Sumber: Samuel Seely, *Electron Tube Circuits*, hal 107-108

Pada saat *grid* berada pada tegangan di bawah 0 V (atau negatif), maka muatan negatif yang ada pada *grid* akan menolak elektron untuk beremisi menuju *plate*. Sehingga tidak ada ataupun hanya sedikit sekali elektron yang dapat beremisi menuju *plate*. Pada situasi ini ada nilai tegangan negatif tertentu (yang jika diberikan pada katoda maka tidak ada sama sekali elektron yang dapat mengalir dari katoda menuju *plate*). Tegangan ini dinamakan “*grid cut of voltage*”.

Ketika *grid* berada pada tegangan 0 V maka elektron mulai dapat beremisi menuju *plate*. Hal ini disebabkan karena pada tegangan 0 V (yang relatif lebih positif terhadap muatan elektron yang negatif), maka tidak ada daya tolak dari muatan di *grid* terhadap elektron di katoda (yang akan beremisi menuju *plate*). Ketika *grid* berada pada tegangan positif, maka muatan positif yang ada pada *grid* akan menarik elektron pada katoda untuk kemudian beremisi melewati celah-celah yang ada pada anyaman *grid* menuju *plate*. Semakin positif tegangan *grid*, maka akan semakin besar pula elektron yang mengalir dari *plate*.

2.3.1.1. Karakteristik Trioda

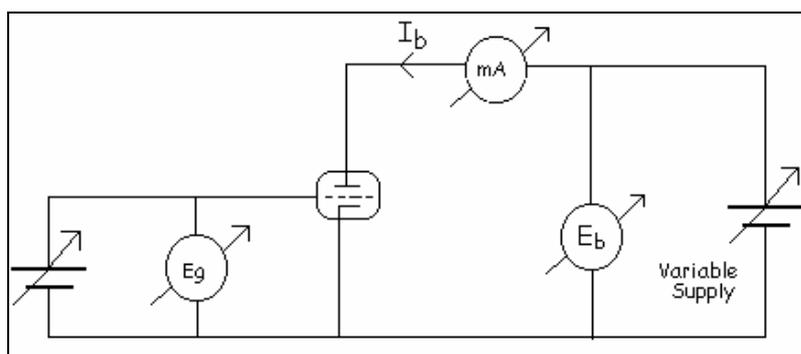
Ada tiga variabel yang digunakan untuk menentukan karakteristik trioda, yaitu:

- Tegangan *plate* (E_b)
- Tegangan *grid* (E_g)
- Arus *plate* (I_b)

Ketiga karakteristik trioda tersebut adalah

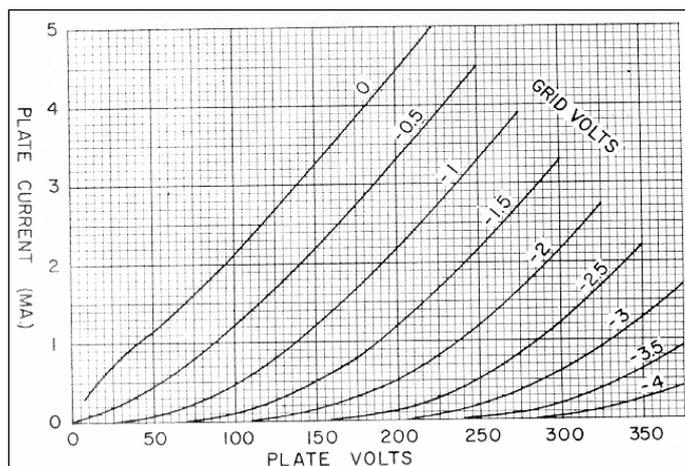
- Karakteristik *plate*, yaitu karakteristik arus *plate* dengan tegangan *plate*, dimana tegangan *grid* adalah konstan
- Karakteristik mutual, yaitu karakteristik arus *plate* dengan tegangan *grid*, dimana tegangan *plate* konstan
- Karakteristik arus konstan, yaitu karakteristik tegangan *plate* dengan tegangan *grid*, dimana arus *plate* adalah konstan

Berikut ini adalah rangkaian untuk mendapatkan ketiga karakteristik tersebut.



Gambar 2.6. Rangkaian Uji Trioda

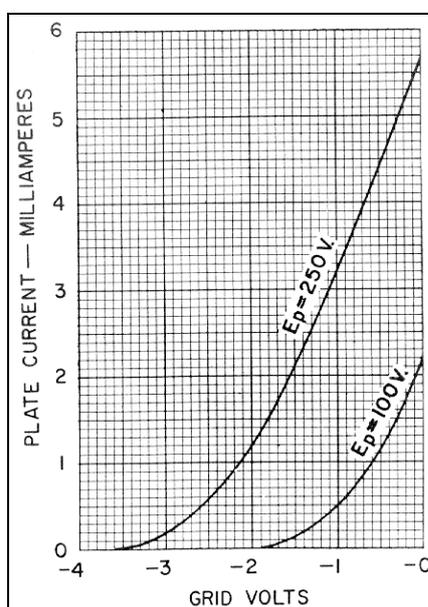
Untuk mendapatkan kurva karakteristik *plate* tabung trioda, maka *grid* diberi tegangan konstan. Sedangkan tegangan *plate* diubah-ubah dengan cara mengubah tegangan *supply*. Berikut ini adalah kurva karakteristik *plate* dari trioda.



Gambar 2.7. Karakteristik Plate

Sumber: Data Sheet ECC83 merk Philips tahun 1957

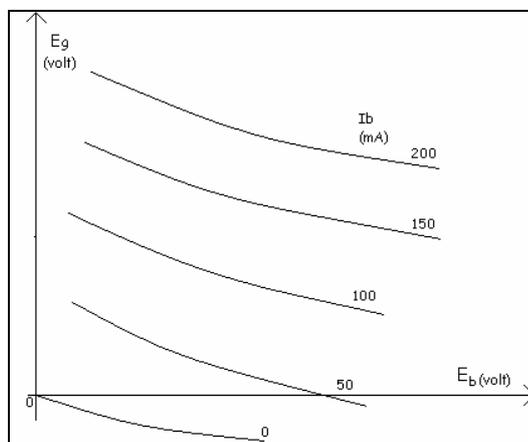
Untuk menggambarkan kurva karakteristik mutual, maka *plate* diberi tegangan yang konstan. Sedangkan tegangan *grid* diubah-ubah dan perubahan arus *plate* (I_b) diamati pada amper meter yang terpasang. Pada saat tertentu (ketika tegangan *grid* diubah) akan menyebabkan arus *plate* (I_b) = 0 mA, maka tegangan *grid* tersebut disebut *cut-off voltage*. Berikut ini adalah kurva karakteristik mutual dari trioda.



Gambar 2.8. Karakteristik Mutual

Sumber: Data Sheet ECC83 merk Philip tahun 1957

Karakteristik arus konstan dapat diperoleh dengan mengubah-ubah tegangan *grid* dan tegangan *plate* tetapi arus *plate* dijaga supaya tetap konstan. Adapun kurva karakteristik arus konstan adalah sebagai berikut.



Gambar 2.9. Karakteristik Arus Konstan

Sumber: Ganti Depari, *Pokok-Pokok Elektronika*, hal 50-58

2.3.1.2. Parameter-Parameter Trioda

Trioda memiliki beberapa konstanta yang sering kali perlu digunakan dalam proses perancangan rangkaian, konstanta tersebut adalah:

- Parameter penguatan (μ)

Parameter μ (*mu*) menunjukkan sejauh mana tegangan pada *grid* dapat menentukan terjadinya perubahan pada tegangan *plate*. Berdasarkan definisinya, μ adalah rasio perubahan tegangan *plate* terhadap tegangan *grid* pada arus *plate* yang konstan.

$$\text{Dalam bentuk formula: } \mu = \frac{d(E_b)}{d(E_g)} \rightarrow \text{untuk } d(I_b) = 0 \quad (2.1)$$

- Transkonduktansi (gm)

Parameter gm menunjukkan sejauh mana tegangan *grid* dapat mempengaruhi terjadinya perubahan arus *plate*. Berdasarkan definisinya, gm adalah rasio perubahan arus *plate* terhadap perubahan pada tegangan *grid* pada tegangan *plate* yang konstan.

$$\text{Dalam bentuk formula: } gm = \frac{d(I_b)}{d(E_g)} \rightarrow \text{untuk } d(E_b) = 0. \quad (2.2)$$

- *Plate resistance (rp)*

Plate Resistance ini menunjukkan berapa besarnya pengaruh tegangan *plate* (E_b) terhadap arus *plate* (I_b) dan didefinisikan sebagai perbandingan perubahan antara arus *plate* terhadap perubahan tegangan *plate* pada tegangan *grid* yang konstan.

Dalam bentuk formula: $rp = \frac{d(E_b)}{d(I_b)} \rightarrow$ untuk $d(E_g) = 0$. (2.3)

- Hubungan antara μ , g_m dan r_p

$$\mu = \frac{d(E_b)}{d(E_g)} \quad (2.4)$$

Pada persamaan 2.1 tersebut kemudian dikalikan dengan 1 atau $\frac{d(I_b)}{d(I_b)}$

sehingga persamaan 2.1 menjadi

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{d(E_b)}{d(E_g)} \times \frac{d(I_b)}{d(I_b)} \\ \mu &= \frac{d(I_b)}{d(E_g)} \times \frac{d(E_b)}{d(I_b)} \end{aligned} \quad (2.5)$$

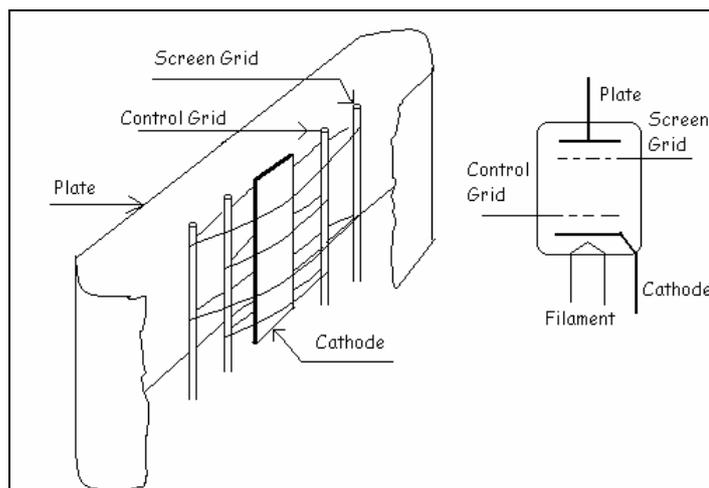
dimana $\frac{d(I_b)}{d(E_g)} = g_m$ dan $\frac{d(E_b)}{d(I_b)} = r_p$

maka

$$\mu = g_m \times r_p \quad (2.6)$$

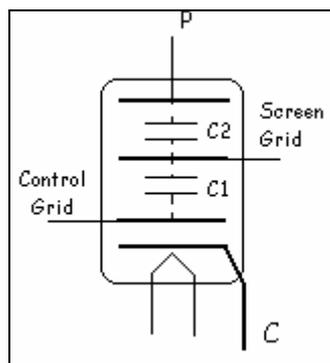
2.3.2. Tetroda

Struktur dan simbol dari tetroda dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.10. Struktur dan Simbol dari Tetroda

Tetroda adalah tabung yang memiliki 4 buah elektroda yaitu katoda, *control grid*, *plate* dan *screen grid* (sebagai tambahan yang tidak dimiliki oleh trioda). Tujuan dibuatnya tetroda adalah untuk mengatasi kelemahan pada trioda (dalam hal *interelectrode capacitance*), terutama pada C_{gp} (kapasitansi antara *grid* dan *plate*) yang mengakibatkan terjadinya *negative feedback* pada frekuensi tinggi dan mengakibatkan trioda tidak dapat bekerja dengan baik pada frekuensi tinggi. Cara yang digunakan pada tetroda untuk mengurangi C_{gp} adalah dengan menyisipkan elektroda tambahan diantara *control grid (grid)* dan *plate*. Elektroda ini dinamakan *screen grid* atau sering juga disebut *grid no 2*. Pada gambar 2.13 dapat dilihat bahwa penambahan *screen grid* mengakibatkan C_{gp} (yang pada trioda adalah kapasitansi langsung antara *grid* dan *plate*) menjadi dua buah kapasitansi seri antara *control grid* dengan *screen grid* (C_1) dan *screen grid* dengan *plate* (C_2), dimana nilai total antara C_1 dan C_2 secara seri adalah lebih kecil dari pada nilai C_{gp} . Pengecilan ini terjadi karena jika dua buah kapasitor di seri maka nilai totalnya akan menjadi lebih kecil.

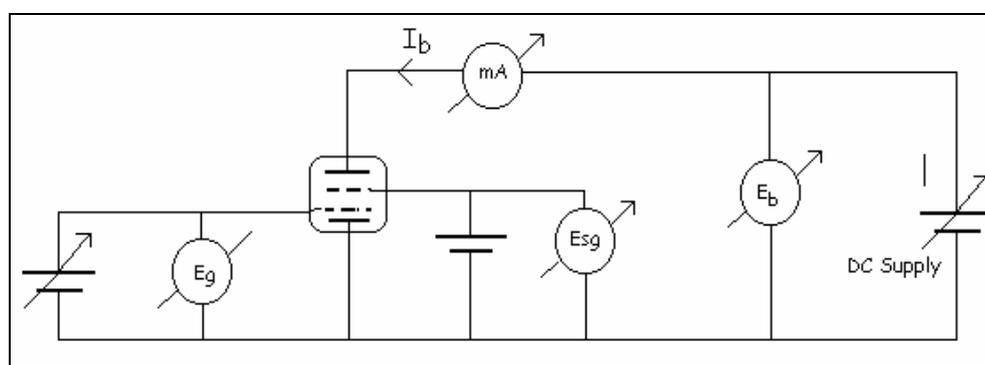


Gambar 2.11. Interelectrode Capacitance

Screen grid pada tetroda selain berperan dalam mengurangi *interelectrode capacitance* juga berperan dalam melindungi *control grid* terhadap pengaruh medan listrik *plate* sehingga pada tetroda perubahan tegangan *plate* tidak terlalu mempengaruhi arus *plate*. Hal ini dapat dilihat pada grafik karakteristik *plate* yang tidak terlalu menanjak. Ketika tetroda beroperasi, elektron dari katoda mengalir melewati celah yang ada pada anyaman *control grid* menuju *plate*. Akan tetapi karena *screen grid* juga memiliki tegangan yang cukup positif (lebih kecil daripada tegangan *plate*), maka akan ada pula sebagian elektron dari katoda yang tertarik oleh *screen grid*, tetapi arus *screen grid* ini tidak terlampau besar dan tidak berpengaruh dalam mengurangi arus *plate* secara keseluruhan.

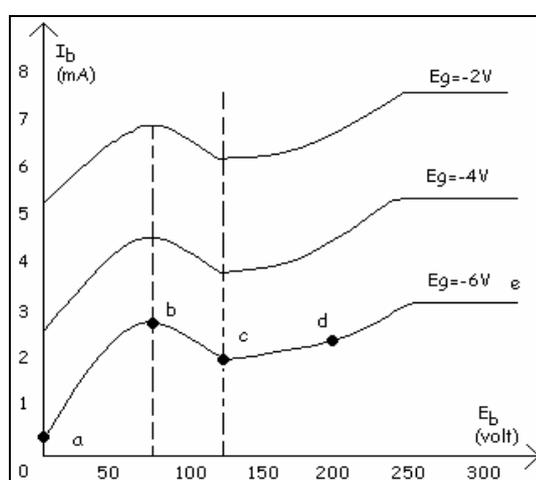
2.3.2.1. Karakteristik Plate Tetroda

Berikut ini adalah rangkaian uji untuk mendapatkan karakteristik *plate* dari tetroda.



Gambar 2.12. Rangkaian Uji Tetroda

Pada gambar tersebut terlihat ada tiga buah sumber tegangan yang berbeda yaitu tegangan *control grid* (E_g), tegangan *screen grid* (E_{sg}), dan tegangan *plate* (E_b) beserta alat ukurnya untuk mengukur ketiga tegangan tersebut dan juga arus *plate*. Untuk mendapatkan karakteristik *plate* dari tetroda, maka pada *screen grid* diberi tegangan yang tetap, sedangkan tegangan *control grid* diubah-ubah nilainya. Pada setiap tegangan *control grid* yang tertentu tegangan *plate* dinaikkan secara bertahap dari 0 V sampai pada suatu nilai tertentu yang diperbolehkan bagi tetroda yang bersangkutan.



Gambar 2.13. Karakteristik dari Tetroda

Sumber: Moris Slurzberg and William Osterheld, *Essential of Communication Electronic*, hal 114

Karakteristik tersebut dapat dijelaskan berdasarkan potongan kurva sebagai berikut:

- Kurva a-b
Pada bagian ini terlihat bahwa terjadi kenaikan arus *plate* bersamaan dengan kenaikan tegangan *plate*
- Kurva b-c
Pada bagian ini terjadi penurunan arus walaupun tegangan *plate* dinaikkan. Terjadinya hal ini dikarenakan adanya emisi sekunder pada *plate*. Ketika elektron dari katoda beremisi melewati *control grid* menuju *plate*, maka setelah sampai di *plate* elektron tersebut akan menumbuk elektron yang ada pada permukaan *plate* sehingga elektron pada permukaan *plate* terpental keluar. Oleh adanya *screen grid* yang memiliki tegangan yang

lebih tinggi dari *plate* maka elektron hasil emisi sekunder lebih cenderung ditarik oleh *screen grid* yang memiliki tegangan lebih tinggi dari *plate*. Akibat mengalirnya elektron dari katoda ke *screen grid* maka arus *plate* juga menurun

- Kurva c-d

Pada bagian ini tegangan *plate* sudah melampaui tegangan *screen grid* sehingga elektron yang dihasilkan pada proses emisi sekunder di *plate* cenderung tertarik ke *plate* yang tegangannya sudah lebih tinggi daripada tegangan *screen grid*, akibatnya arus *plate* naik bersamaan dengan naiknya tegangan *plate*

- Kurva d-e

Pada bagian ini kurva sudah mendatar hal ini disebabkan karena kenaikan tegangan *plate* sudah tidak lagi berpengaruh pada arus *plate* (untuk tegangan *control grid* yang sama). Arus *plate* yang stabil disebabkan karena *screen grid* saat ini berperan sebagai *electrostatic shield* (pelindung elektrostatik) bagi *control grid* terhadap medan listrik dari *plate*.

2.3.2.2. Parameter Tetroda

- Parameter penguatan (μ)

Tetroda memiliki μ (μ) yang lebih besar daripada trioda yaitu melebihi 100. Hal ini disebabkan karena tegangan *plate* tidak berpengaruh banyak terhadap perubahan arus *plate*

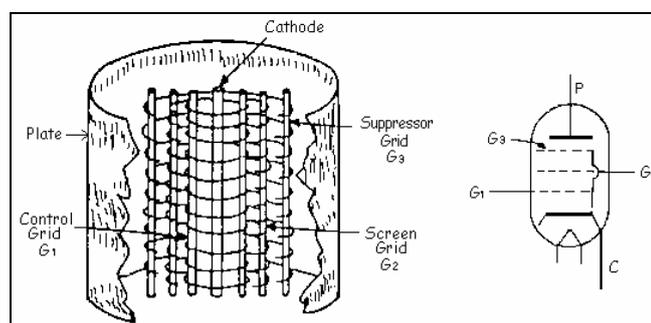
- *Plate resistance* (r_p)

Tetroda memiliki *plate resistance* yang lebih tinggi ini juga merupakan efek dari *electrostatic shield* yang diberikan oleh *screen grid*

- Transkonduktansi (g_m)

Dari persamaan 2.4 dapat dilihat hubungan antara μ , g_m , dan r_p sehingga didapatkan persamaan $g_m = \frac{\mu}{r_p}$, karena μ dan r_p dari tetroda juga tinggi maka g_m dari tetroda kurang lebih adalah sama dengan g_m trioda secara umum.

2.3.3. Pentoda

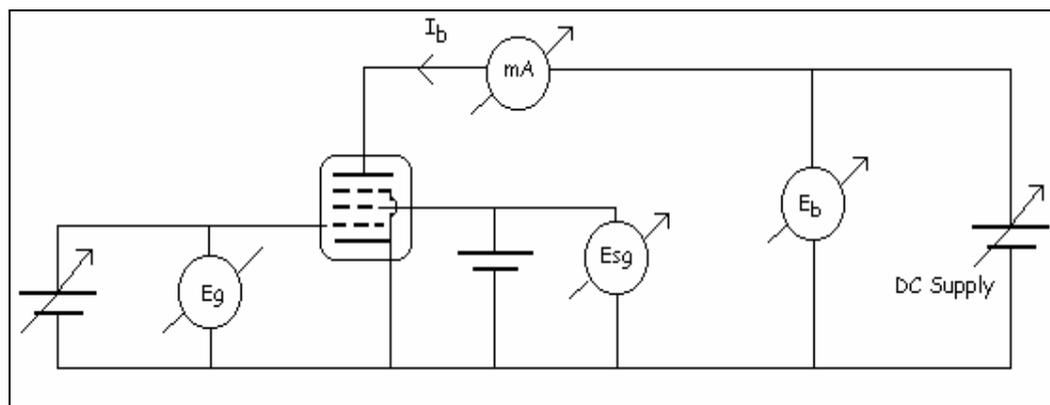


Gambar 2.14. Struktur dan Simbol dari Pentoda

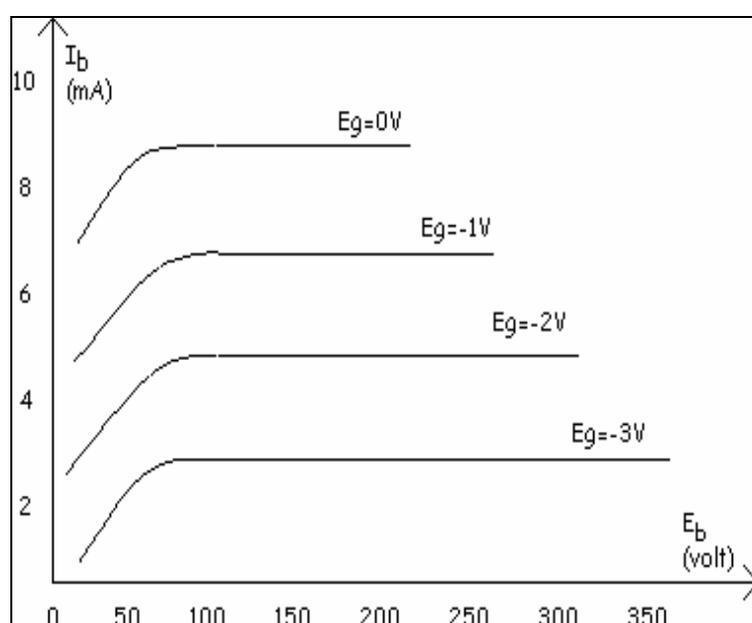
Pentoda dikembangkan dari tetroda dengan menambahkan elektroda ke-5 yaitu *suppressor grid*, sehingga pentoda memiliki lima buah elektroda yaitu katoda, *control grid* (g_1), *screen grid* (g_2), *suppressor grid* (g_3) dan *plate*. Tujuan disisipkannya *suppressor grid* pada pentoda ialah untuk mencegah terjadinya emisi sekunder pada *plate* yang berakibat menurunkan arus *plate*. Dalam konstruksi pentoda, *suppressor grid* dihubungkan ke katoda sehingga memiliki tegangan negatif terhadap elektroda yang lainnya. Ketika elektron dari katoda sampai pada *plate* dan menumbuk elektron yang ada pada permukaan *plate* maka elektron yang ada *plate* akan terlepas keluar dan terjadilah emisi sekunder. Pada tetroda elektron hasil emisi sekunder ini akan ditarik oleh *screen grid* untuk kemudian menjadi arus *screen grid* sehingga dapat mengurangi arus *plate*. Akan tetapi dengan adanya *suppressor grid* yang bertegangan negatif pada pentoda maka muatan negatif yang ada pada *suppressor grid* akan menolak elektron dari emisi sekunder tersebut untuk menuju pada *screen grid* sehingga elektron tersebut akhirnya kembali ke *plate* dan pengurangan arus *plate* seperti pada karakteristik *plate* tetroda dapat dihindari.

2.3.3.1. Karakteristik Plate Pentoda

Berikut ini adalah rangkaian uji untuk mendapatkan karakteristik *plate* dari pentoda.



Gambar 2.15. Rangkaian Uji Pentoda



Gambar 2.16. Karakteristik dari Pentoda

Sumber: Moris Slurzberg and William Osterheld, *Essential of Communication Electronic*, hal 116-117

Beberapa hal dapat dilihat dari karakteristik pentoda adalah sebagai berikut

- Pada sebagian besar kurva karakteristik terlihat bahwa untuk tiap tegangan *grid* tertentu arus *plate* tidak terlalu atau sangat sedikit sekali dipengaruhi oleh tegangan *plate*. Atas dasar inilah maka pentoda sering disebut sebagai peralatan yang memiliki sifat sebagai sumber arus konstan.
- Penurunan arus *plate* sebagai akibat dari emisi sekunder tidak terlihat pada karakteristik pentoda

- Karakteristik yang tidak linear hanya terjadi pada daerah lutut (*knee*) daripada karakteristik *plate*.

2.4. Pemakaian dan Analisa Tabung Trioda

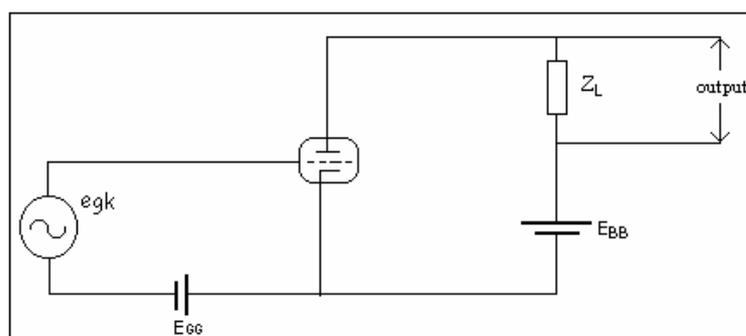
Suatu tabung elektron terdiri dari beberapa tabung yang dilengkapi dengan komponen-komponen lain seperti tahanan dan kondensator; fungsi dari penguat ini adalah untuk memperbesar tegangan atau daya dari suatu sinyal. Bilamana sinyal lemah diberikan pada sinyal *input* dari sebuah penguat akan diperkuat oleh sejumlah tingkat penguat yang terdapat di dalam penguat tersebut sampai suatu harga yang cukup besar untuk menggetarkan membrane pengeras suaranya. Besarnya penguatan atau gain yang dihasilkan terutama tergantung pada jumlah tingkat penguatan yang ada.

Makin banyak tingkat penguatan yang digunakan makin besar pula penguatan dari penguat tersebut. Suatu tingkat tertentu dapat menghasilkan penguatan lebih besar dari tingkat yang lain, sedang penguatan yang dihasilkan banyak tergantung pada faktor penguat dari tabung yang digunakan pada tingkay tersebut.

2.4.1. Pemakaian Tabung Trioda Sebagai Penguat

Sebuah penguat (amplifier) adalah sebuah alat yang fungsinya untuk menguatkan / memperbesar sinyal *input* yang diberikan terhadap *input* itu sendiri.

Rangkaian dasar sebuah penguat dengan menggunakan tabung trioda dapat dilihat seperti gambar 2.17 di bawah ini:



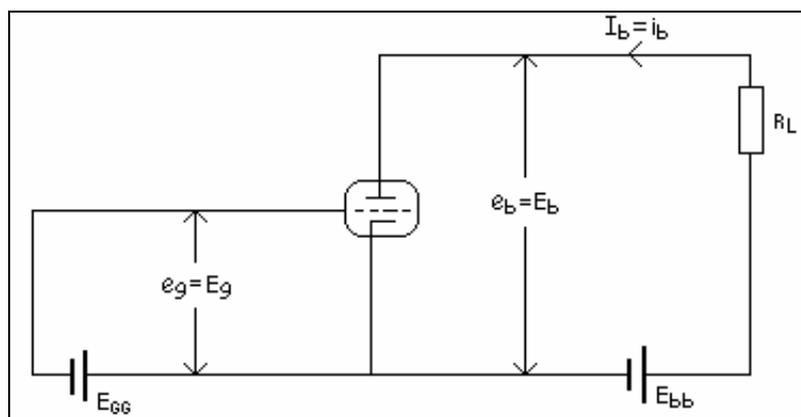
Gambar 2.17. Trioda Sebagai Penguat

Sumber: Ganti Depari, *Pokok-Pokok Elektronika*, hal 58-59

Dari gambar tersebut, Z_L boleh merupakan suatu tahanan murni atau berupa impedansi. Dalam gambar tersebut diperlihatkan bahwa tegangan *grid* diberi tegangan negatif terhadap katoda dan pada *grid* diberikan sumber sinyal e_{gk} yang akan dikuatkan oleh tabung trioda yang berupa sinyal arus bolak-balik berbentuk sinus. Pada rangkaian, *plate* diberi tegangan DC yaitu E_{BB} sebagai pemberi daya. Pada saat pemberian sinyal input $e_{gk} = 0$, maka tegangan *grid* tetap sebesar E_{GG} yang menyebabkan arus *plate* juga tetap besarnya pada rangkaian tersebut. Jika tegangan sinyal diberi input ($e_{gk} \neq 0$), maka arus *plate* akan berubah-ubah sesuai dengan perubahan tegangan sinyal *input* tersebut. Komponen arus bolak-balik arus *plate* tadi mengalir melalui impedansi beban Z_L yang sudah dikuatkan oleh tabung trioda sehingga *output*-nya menjadi lebih besar daripada sinyal *input* yang diberikan sebelumnya.

2.4.2. Penguat Arus Searah Tabung Trioda

Penguat arus searah adalah rangkaian penguat tabung tanpa sinyal *input* E_{gk} . Rangkaian ini digunakan untuk menentukan *load line* (garis beban). Adapun kerja kerja tabung trioda tanpa sinyal penguat, dapat digambarkan seperti rangkaian pada gambar 2.18 di bawah ini.



Gambar 2.18. Rangkaian Dasar Penguat Arus Searah

Sumber: Ganti Depari, *Pokok-Pokok Elektronika*, hal 60

Analisa rangkaian diatas terdiri dari dua keadaan, yaitu:

1. Keadaan tanpa sinyal dimana $e_{gt} = 0$ dan hanya bias tegangan *grid* E_{GG} sebagai *input*. Dalam hal ini arus *plate* maupun tegangan *plate* adalah merupakan arus searah saja
2. Tegangan bias *grid* adalah stabil atau tetap. Akibat yang ditimbulkan adalah dalam pembacaannya hanya menunjukkan komponen arus bolak-baliknya atau waktu perubahan komponen dari arus *plate* dan tegangan *plate* saja

Berdasarkan pada rangkaian tersebut, dimana E_{GG} diberi negatif terhadap katoda dan tanpa sinyal (arus bolak-balik) *input*, maka berlaku persamaan

$$e_g = E_g = E_{GG} .$$

Untuk menganalisa kerja dari rangkaian tersebut dalam keadaan tanpa sinyal, maka dapat digunakan hukum kirchoff yaitu

$$e_b + i_b R_L = E_{BB} \text{ atau}$$

$$i_b R_L = E_{BB} - e_b \text{ atau}$$

$$i_b = \frac{E_{BB} - e_b}{R_L} \quad (2.7)$$

Karena arus i_b pada tiap saat merupakan fungsi dari harga sesaat tegangan total *plate* dan tegangan total *grid*-nya, maka secara matematis dapat dituliskan dengan persamaan:

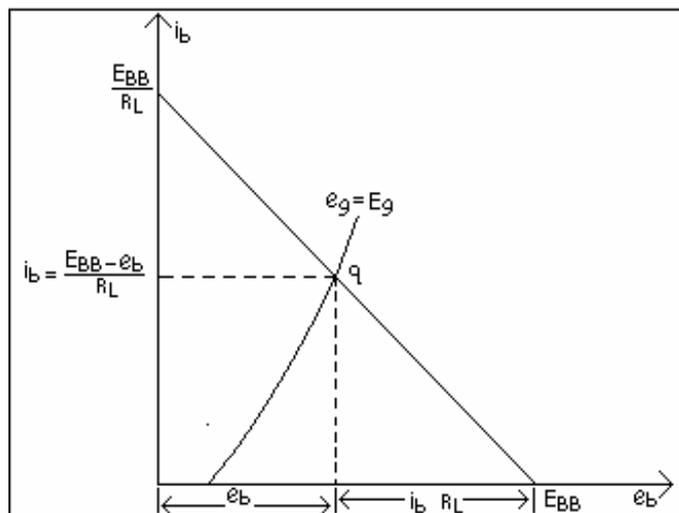
$$i_b = f(e_c, e_b) \text{ atau}$$

$$i_b = f(E_{CC}, e_b)$$

Dengan demikian dapat dituliskan bahwa:

$$f(E_{GG}, e_b) = \frac{E_{BB} - e_b}{R_L} \quad (2.8)$$

Dari rumus-rumus di atas dapat digambarkan keadaan kerja penguat tabung trioda dengan tahanan beban (jika tanpa adanya sinyal *input*) pada sebuah grafik. Dimana i_b sebagai sumbu ordinat dan e_b sebagai sumbu absisnya. Juga dapat digambarkan garis bebannya (*load line*) dengan ketentuan memotong sumbu i_b pada saat $e_b = 0$ sehingga $i_b = \frac{E_{BB}}{R_L}$ dan pada saat $i_b = 0$, maka titik potongnya terhadap sumbu E_b pada titik $E_b = E_{BB}$.



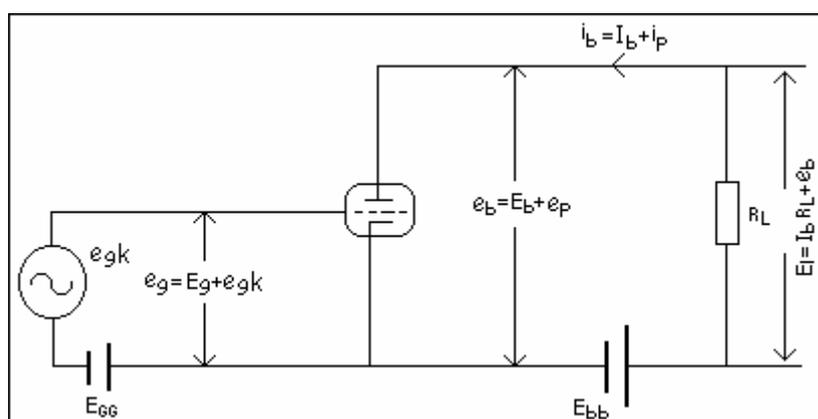
Gambar 2.19. Keadaan Penguat Trioda Tanpa Sinyal Dengan Memakai Tahanan Beban

Sumber: Ganti Depari, *Pokok-Pokok Elektronika*, hal 61

Garis lurus yang menghubungkan titik $\frac{E_{BB}}{R_L}$ dengan titik E_{BB} disebut garis beban arus searah. Perpotongan garis beban DC ini dengan kurva $e_g = E_g$ disebut titik q, yang disebut sebagai titik kerja tabung trioda.

2.4.3. Penguat Tabung Trioda dengan Sinyal Input

Berikut ini adalah rangkaian penguat tabung trioda dengan menggunakan sinyal input e_{gk} .



Gambar 2.20. Penguat Tabung Trioda dengan Menggunakan Sinyal Input e_{gk}

Sumber: Ganti Depari, *Pokok-Pokok Elektronika*, hal 60

Sinyal arus bolak-balik yang diberikan terhadap *grid* mempunyai amplitudo kecil dan dipasang seri dengan tegangan bias *grid* (E_{GG}). Tegangan E_{BB} dan E_{GG} serta tahanan beban R_L adalah dipilih / ditentukan agar titik kerja tabung berada pada daerah linear dari karakteristik tadi. Dalam hal ini tegangan *output* dikuatkan pada tahanan beban R_L . Karena sekarang tegangan sinyal *input* berbentuk sinus, maka tegangan total *grid-cathode* adalah konstan dan berupa sinyal arus bolak-balik yang terdiri dari harga sesaat e_{gk} seperti diberikan pada persamaan:

$$e_g = E_g + e_{gk} \quad (2.9)$$

Harga maksimum dari e_{gk} lebih kecil dibandingkan dengan tegangan bias E_{GG} . Sehingga tegangan sinyal e_{gk} ini dapat dianggap sebagai suatu perubahan E_{GG} yang lambat.

Hasil perubahan e_{gk} pada tagangan *grid* dapat dibaca sebagai tambahan dari arus *plate* dan tegangan *plate* yang ditunjukkan dengan notasi i_b dan e_b . Arus *plate* total sesaat i_b sama dengan arus *plate* tanpa sinyal (I_b) ditambah arus *plate* bolak-baliknya (i_p). Maka dapat dituliskan dengan persamaan:

$$i_b = I_b + i_p \quad (2.10)$$

Dengan cara yang sama maka didapatkan tegangan *plate* total sesaat (e_b) adalah jumlah dari tegangan *plate* tanpa sinyal (E_b) dengan tegangan *plate* arus bolak-baliknya (e_p).

$$\text{Jadi: } e_b = E_b + e_p \quad (2.11)$$

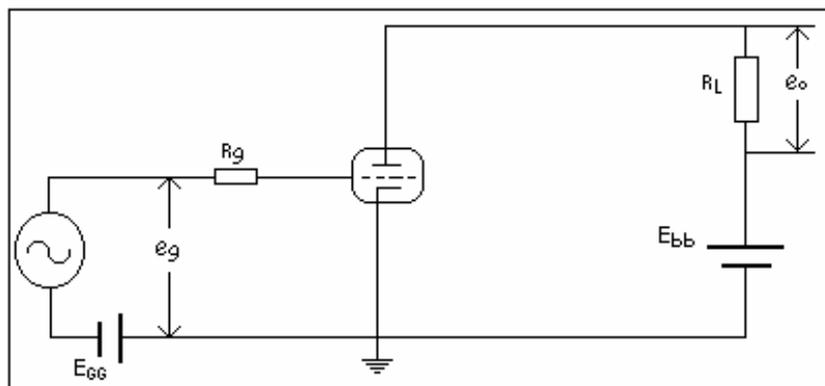
Tegangan sinyal *grid* sesaat e_{gk} berbentuk sinus seperti persamaan di bawah ini

$$e_{gk} = E_{gm} \sin \omega t \quad (2.12)$$

dimana ω adalah frekuensi sudut $2\pi f$ dan E_{gm} adalah amplitudo dari sinyal *input* yang diberikan pada *grid*.

2.4.4. Penguat Common Cathode

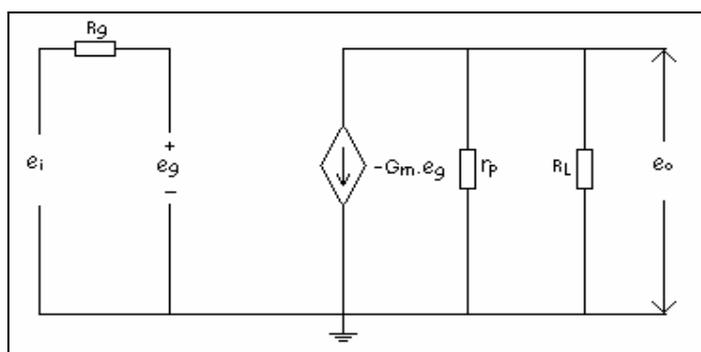
Gambar berikut ini adalah gambar dari rangkaian penguat *common cathode*.



Gambar 2.21. Penguat Common Cathode

Sumber: Moris Slurzberg and William Osterheld, *Essential of Communication Electronic*, hal 284-288

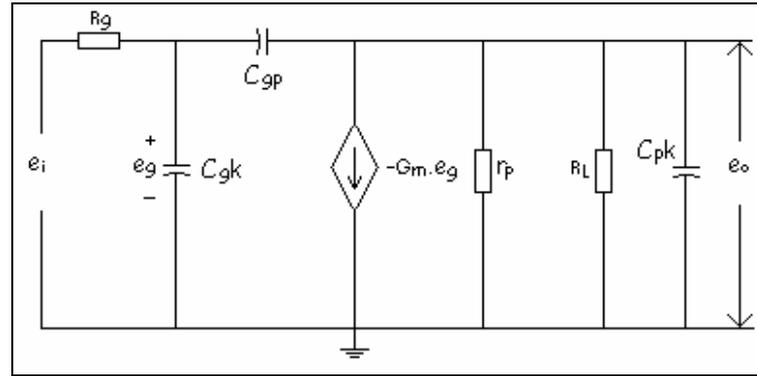
Gambar rangkaian di atas memiliki rangkaian ekuivalen AC seperti pada gambar berikut ini



Gambar 2.22. Rangkaian Ekuivalen AC Common Cathode

Sumber: Michael S. McCorquodale, *Vacuum Tube Preamplifier Analysis and Spice Simulation*, hal 6

Karena adanya efek kapasitif pada trioda maka rangkaian ekuivalen AC tersebut juga dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.23. Rangkaian Ekuivalen AC Common Chatode Dengan Efek Kapasitif dari Trioda

Sumber: Michael S. McCorquodale, *Vacuum Tube Preamplifier Analysis and Spice Simulation*, hal 6

Dari gambar 2.21 dapat dicari analisa rangkaiannya sebagai berikut

Tegangan *input*

$$e_i = e_g \quad (2.13)$$

Arus *plate*

$$i_b = -G_m \times e_g \quad (2.14)$$

Tegangan *output*

$$e_o = i_p(r_p // R_L) \quad (2.15)$$

$$= -G_m \times e_g (r_p // R_L) \quad (2.16)$$

Sehingga didapatkan penguat tegangan *input*

$$A_v = \frac{e_o}{e_i} \quad (2.17)$$

$$= \frac{-G_m \times e_g (r_p // R_L)}{e_g}$$

$$= -G_m(r_p // R_L) \quad (2.18)$$

Sedangkan frekuensi *cutoff high* (f_H) dari gambar 2.25 yaitu dari efek kapasitif trioda, yang berpengaruh dalam menentukan frekuensi *cutoff high*-nya adalah kapasitor *input* C_{GP} . Dimana nilai dari C_{GP} di dapatkan dari *data sheet*.

$$f_{-3dB} \approx \frac{1}{2\pi \times (A_v \times C_{GP} \times R_G)} \quad (2.19)$$

Pada rangkaian *common chatode*, sumber tegangan E_{GG} akan membuat *grid* menjadi lebih negatif daripada katoda dan sumber tegangan E_{BB} akan membuat *plate* menjadi lebih positif daripada katoda. Pada saat sinyal *input* $e_i = 0$, sumber tegangan E_{GG} dan E_{BB} bersama-sama dengan R_L akan menghasilkan tegangan *grid* e_g dan arus *plate* i_p . Pada saat sinyal *input* positif, maka:

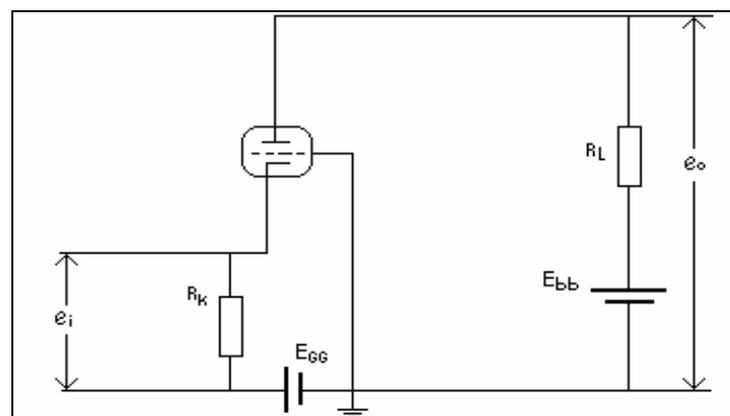
- Tegangan *grid* bias akan semakin kecil
- Arus *plate* semakin besar
- *Voltage drop* R_L semakin besar
- Tegangan *output* semakin kecil
- Oleh karena hal tersebut, sinyal *input* positif akan menghasilkan sinyal *output* negatif. Demikian juga pada saat sinyal *input* negatif.

Ciri-ciri dari rangkaian ini adalah :

- Sinyal *output* memiliki beda fasa 180° dengan sinyal *input*
- *Highest power gain* (*voltage /current combo*)
- *Grid* sebagai *input*
- *Plate* sebagai *output*

2.4.5. Penguat Common Grid

Gambar 2.24. berikut ini adalah gambar dari rangkaian penguat *common grid*.



Gambar 2.24. Penguat Common Grid

Sumber: Moris Slurzberg and William Osterheld, *Essential of Communication Electronic*, hal 290-292

Pada rangkaian ini, sumber tegangan E_{GG} akan membuat *grid* menjadi lebih negatif daripada katoda dan sumber tegangan E_{BB} akan membuat *plate* menjadi lebih positif daripada katoda. Pada saat sinyal *input* $e_i = 0$, sumber tegangan E_{GG} dan E_{BB} bersama-sama dengan R_K dan R_L akan menghasilkan tegangan *grid* e_g dan arus *plate* i_p . Pada saat sinyal *input* positif, maka:

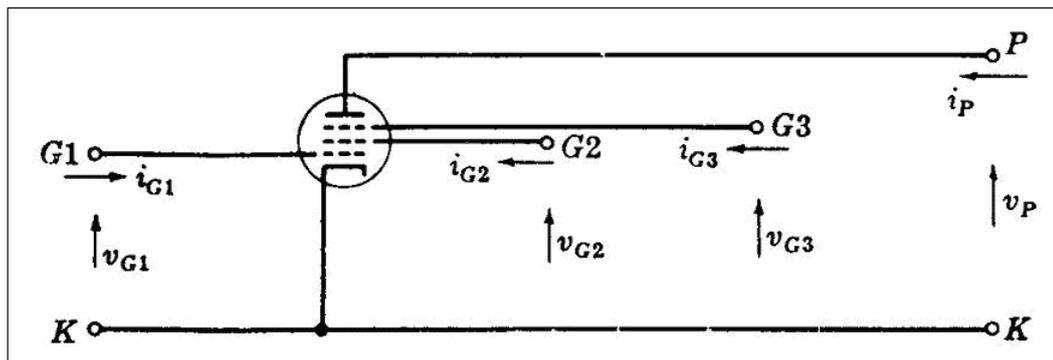
- Tegangan efektif *grid* menjadi lebih negatif
- Arus *plate* semakin besar
- *Voltage drop* pada R_L semakin kecil
- *Voltage drop* pada *output* semakin besar

Oleh karena hal tersebut, sinyal *input* positif akan menghasilkan sinyal *output* positif. Demikian juga pada saat sinyal *input* negatif. Penguat *common grid* ini biasanya digunakan untuk aplikasi frekuensi yang sangat tinggi, seperti TV dan radar. Ciri-ciri dari rangkaian *common grid* adalah

- Sinyal *output* sefasa dengan sinyal *input*
- *Highest voltage gain*
- *Low input resistance*
- *Low output resistance* dibandingkan dengan *common cathode*
- *Cathode* sebagai *input*
- *Plate* sebagai *output*

2.5. Pemakaian dan Analisa Tabung Pentoda

Pentoda tabung hampa merupakan piranti kontrol lima elemen yang mempunyai tiga kasa seperti ditunjukkan dalam gambar 2.28. Kasa 1 merupakan kasa control, kasa 2 merupakan kasa saringan dan kasa 3 merupakan kasa penekan. Kasa penekan biasanya dihubungkan ke katoda atau ke *ground*; jadi arus kasa penekannya kecil dan dapat diabaikan. Pada kebanyakan aplikasi, kasa control bernilai negatif, sehingga arus kasa control juga diabaikan. Kasa saring bernilai positif, sehingga pada kebanyakan aplikasi, arus kasa saringan mempunyai nilai tertentu.



Gambar 2.25. Pentoda Tabung Hampa

Sumber: Edwin C. Lowenberg, Ph.D., *Rangkaian Elektronik*, hal 100-103

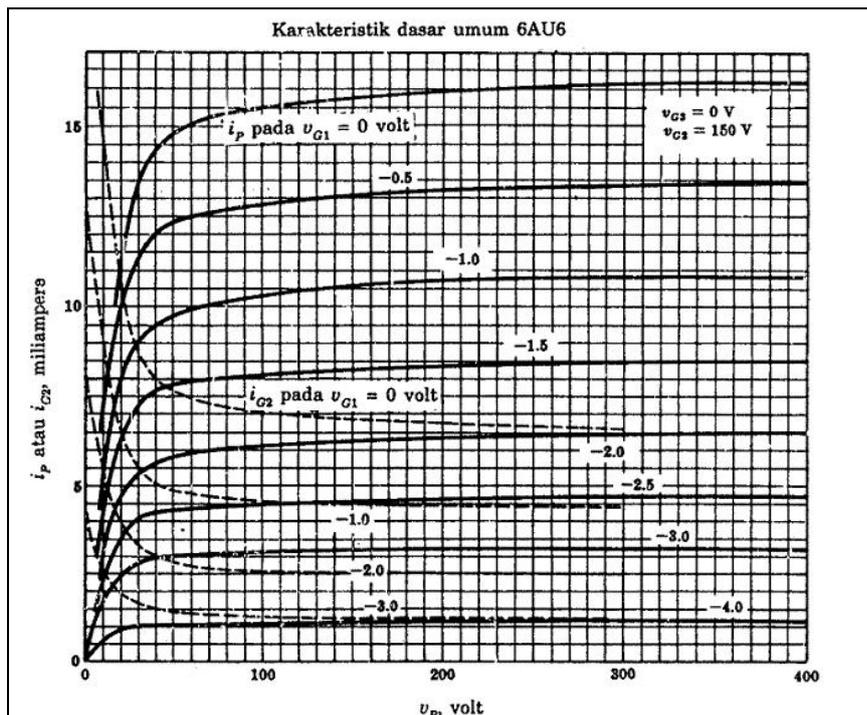
Port keluaran pentoda biasanya merupakan pasangan terminal anode dan katoda. Hubungan fungsional untuk port keluarannya adalah

$$i_P = f(v_{G1}, v_{G2}, v_P) \quad (2.20)$$

Untuk menyatakan hal ini secara geometris diperlukan lima dimensi. Untuk pentoda, kelompok kurva karakteristik anode statistic biasanya digambarkan untuk $v_{G3} = 0$ dan $v_{G2} = v_{G2}$ (suatu konstanta) seperti ditunjukkan pada gambar 2.26 dibawah. Model rangkaian untuk port keluar dapat disusun dengan cara yang sama dengan tetroda.

Keseluruhan diferensial dari i_P adalah

$$di_P = \frac{\partial i_P}{\partial v_{G1}} dv_{G1} + \frac{\partial i_P}{\partial v_{G2}} dv_{G2} + \frac{\partial i_P}{\partial v_{G3}} dv_{G3} + \frac{\partial i_P}{\partial v_P} dv_P \quad (2.21)$$



Gambar 2.26. Karakteristik Anoda Pentoda

Sumber: *Data Sheet 6AU6*

Dengan masukan $g_{m1} = \frac{\partial i_p}{\partial v_{G1}}$, $g_{m2} = \frac{\partial i_p}{\partial v_{G2}}$, $g_{m3} = \frac{\partial i_p}{\partial v_{G3}}$ dan $g_p = \frac{\partial i_p}{\partial v_p}$, maka:

$$di_p = g_{m1}dv_{G1} + g_{m2}dv_{G2} + g_{m3}dv_{G3} + g_p dv_p \quad (2.22)$$

Pada daerah operasi linier, g_{m1} , g_{m2} , g_{m3} dan g_p adalah konstan; maka

$$i_p = g_{m1}v_{G1} + g_{m2}v_{G2} + g_{m3}v_{G3} + g_p v_p + k \quad (2.23)$$

Superposisi dapat digunakan bila operasi dibatasi pada daerah linier. Masing-masing harga sesaat kita tuliskan sebagai jumlah dari harga rata-rata dan harga sesaat dari komponen yang berubah. Unsur konstan dari (2.23) dapat dituliskan

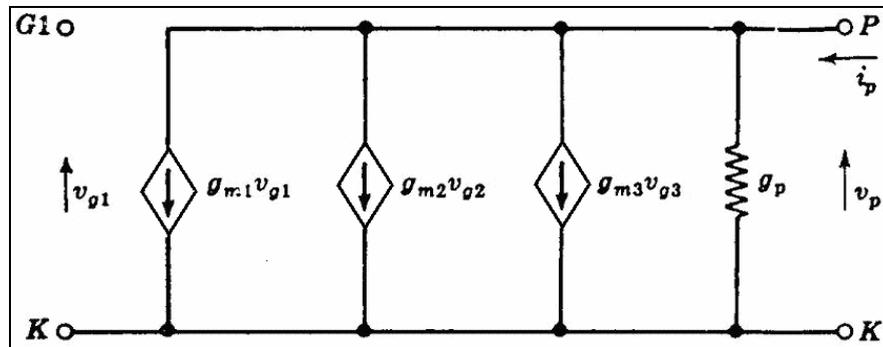
$$I_P = g_{m1}V_{G1} + g_{m2}V_{G2} + g_{m3}V_{G3} + g_p V_P + k \quad (2.24)$$

Unsur dari (2.23) yang berisi komponen yang berubah dapat dituliskan

$$-i_p + g_{m1}v_{G1} + g_{m2}v_{G2} + g_{m3}v_{G3} + g_p v_p = 0 \quad (2.25)$$

Representasi rangkaian ekuivalen untuk (2.25) dapat disusun dengan memperhatikan persamaan unsur demi unsur. Terdapat tiga unsur pada (2.25) yang menyangkut pembangkit terkontrol seperti ditunjukkan pada gambar 2.28.

Rangkaian ekuivalen ini mempunyai satu pembangkit terkontrol lebih banyak daripada rangkaian ekuivalen tetroda.

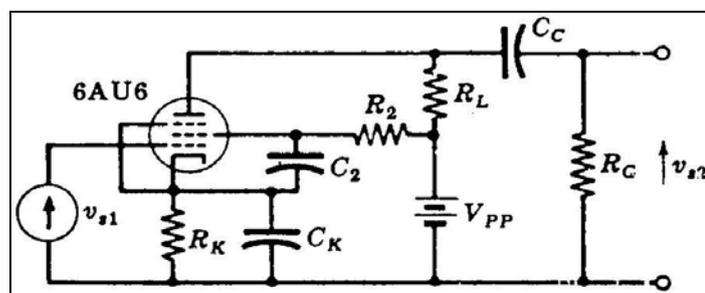


Gambar 2.27. Rangkaian Ekuivalen Pentoda

Sumber: C. Lowenberg, Ph.D., *Rangkaian Elektronik*, hal 100-103

Hampir semua aplikasi yang menyangkut pentoda, tegangan kasa penekan adalah nol atau konstan dan tegangan kasa saringan adalah konstan. Maka komponen yang berubah v_{g2} dan v_{g3} adalah nol, sehingga harga masing-masing dari dua pembangkit terkontrol tersebut adalah nol meskipun g_{m2} dan g_{m3} tidak nol. Dalam kasus ini, rangkaian untuk pentoda lebih ringkas daripada rangkaian ekuivalen dengan satu pembangkit terkontrol, seperti untuk trioda. Selanjutnya, formula penguatan yang kita turunkan untuk rangkaian trioda dapat digunakan untuk rangkaian pentoda; meskipun demikian, daerah nilai untuk parameter pentoda berbeda dari daerah untuk parameter trioda.

Rangkaian penguat pentoda sederhana ditunjukkan pada gambar 2.28. Titik operasi untuk pentoda dapat diperoleh dengan menggunakan prosedur yang sama dengan rangkaian penguat trioda.



Gambar 2.28. Penguat Pentoda

Sumber: Edwin C. Lowenberg, Ph.D., *Rangkaian Elektronik*, hal 100-103

Tegangan kasa saringan V_{G2} harus berupa harga yang digunakan dalam menggambar kelompok kurva karakteristik anoda statik; kalau tidak demikian, kelompok kurva karakteristik anoda hanya merupakan pendekatan. Ini bukanlah masalah serius yang mungkin timbul, karena kurva yang digunakan biasanya berupa rata-rata untuk sejumlah tabung. Hanya pada aplikasi khusus, kurva digambarkan untuk tabung yang diberikan dan kemudian kita gunakan untuk perhitungan.

Persamaan *loop* anoda yang berdasarkan kepada harga rata-rata adalah

$$-V_{PP} + R_L I_P + V_P + R_K (I_P + I_{G2}) = 0 \quad (2.26)$$

Pada pentoda arus katoda merupakan jumlah dari arus kasa saringan dan arus anoda. Bila $I_{G2} < I_P$, maka arus kasa saringan harus ditentukan atau diperkirakan. Pada kebanyakan masalah, titik operasi yang diinginkan diketahui secara pendekatan, sehingga R_K kita pilih untuk memberikan titik operasi yang dekat dengan harga yang diinginkan. Arus kasa saringan dapat kita perkirakan dari kurva i_{G2} yang terkadang digambarkan pada kelompok kurva karakteristik anode statik. Bila i_{G2} diasumsikan konstan, maka (2.26) dapat ditulis

$$(R_L + R_K)I_P + V_P = V_{PP} - R_K I_{G2} \quad (2.27)$$

yang merupakan persamaan garis beban arus searah. Unsur $R_K I_{G2}$ biasanya bernilai lebih kecil daripada V_{PP} dan kemudian dapat diabaikan. Dengan mengasumsikan harga rata-rata dari pembangkit eksternal v_{S1} adalah nol, maka persamaan loop kasa kontrol yang berdasarkan pada harga rata-rata adalah

$$+V_{G1} + R_K (I_P + I_{G2}) = 0 \quad (2.28)$$

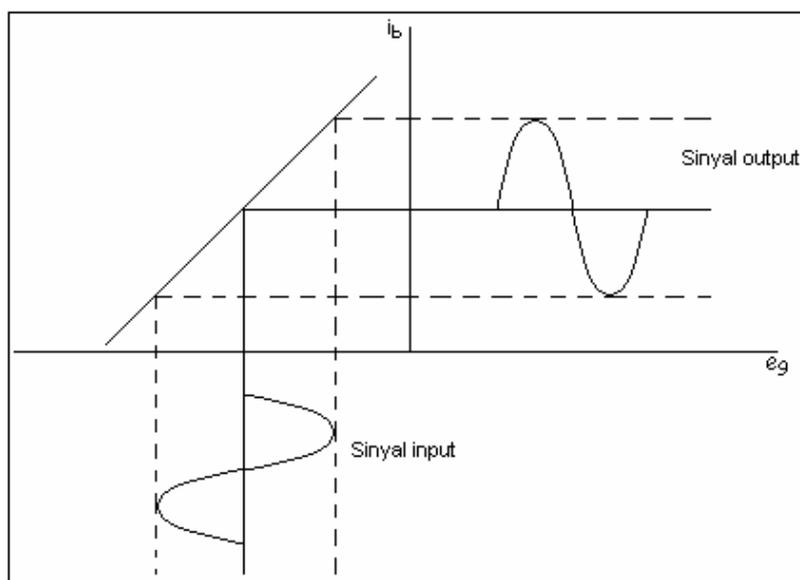
Bila $I_{G2} < I_P$, maka persamaan (2.28) harus meliputi arus kasa saringan I_{G2} .

Tegangan kasa saringan V_{G2} biasanya lebih rendah daripada tegangan catu anoda V_{PP} . Oleh karena arus kasa saringan tidak nol, maka tegangan kasa saringan dapat diperoleh dari catu anoda dengan hambatan seri seperti dilihat pada gambar 2.32. Arus kasa saringan akan berupa fungsi dari kontrol tegangan kasa v_{G1} , sehingga tegangan kasa saringan tidak akan mempunyai komponen yang perubahannya kecil dan dapat diabaikan kecuali bila ditambahkan kapasitor C_2 . Kombinasi R_2 dan kapasitor C_2 membentuk suatu filter lolos rendah. Dapat dicatat secara kualitatif bahwa tegangan pada terminal kapasitor cenderung tetap

konstan. Sehingga perlu memilih C_2 cukup besar sehingga komponen yang berubah dari tegangan kasa saringan diabaikan pada frekuensi sinyal yang paling rendah.

2.6. Penguat Kelas A

Definisi penguat kelas A adalah di mana tegangan bias E_{GG} dan tegangan sinyal *input* di-*set* pada harga tertentu sehingga arus *plate* dapat terus mengalir setiap waktu pada rangkaian. Berikut ini adalah gambar bentuk gelombang tegangan sinyal dan arus *output* pada penguat kelas A.



Gambar 2.29. Bentuk Gelombang Penguat Kelas A

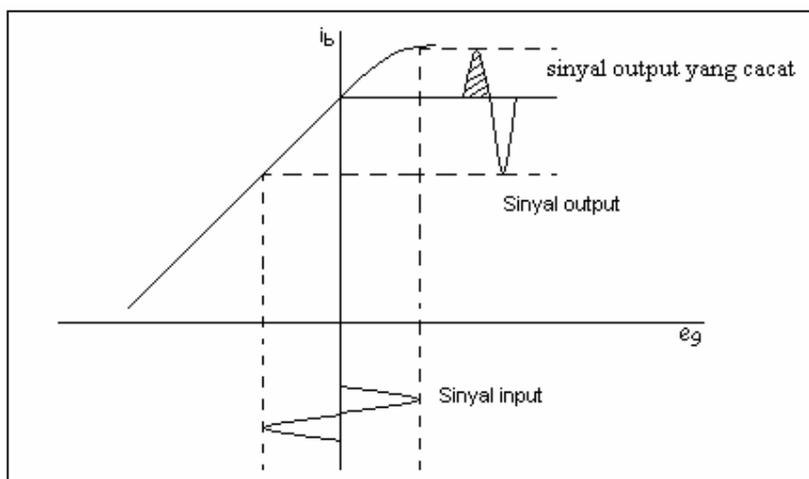
Sumber: Samuel Seely, *Electron Tube Circuit*, hal 89

2.6.1. Cacat pada Penguat Kelas A

2.6.1.1. Cacat Akibat Grid Positif

Ketika *grid* menjadi positif oleh karena katoda, maka *grid* akan memiliki karakter yang sama dengan *plate*. Elektron-elektron yang dipancarkan oleh katoda akan ditarik menuju *grid*, yang mengakibatkan arus i_g mengalir pada rangkaian karena *grid*. Arus i_g ini akan mengalir melalui R_G atau komponen lain yang terhubung dengan bagian ini. Arus i_g yang mengalir melalui R_G ini akan menghasilkan *voltage drop* e_g . Karena adanya cacat tersebut, maka sinyal *input*

akan menghasilkan cacat pada arus *plate*. Cacat tipe ini dihasilkan oleh pengoperasian *vacuum tube* dengan nilai *grid* bias yang salah atau dengan mengaplikasikan tegangan sinyal *input* yang terlalu besar pada *input*.

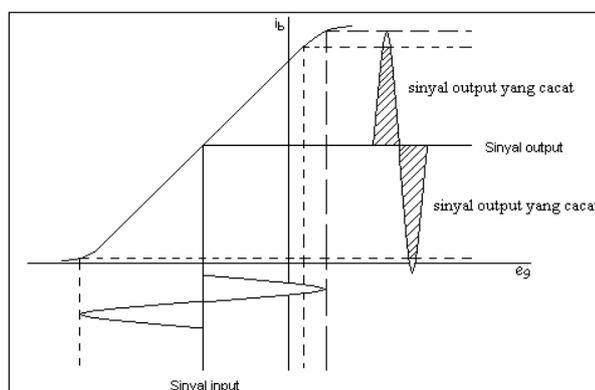


Gambar 2.30. Cacat Akibat Grid Positif

Sumber: Moris Slurzberg and William Osterheld, *Essential of Communication Electronic*, hal 233-234

2.6.1.2. Cacat Akibat Sinyal Input Yang Terlalu Besar

Ketika *vacuum tube* dioperasikan dengan nilai *grid* bias yang benar tapi sinyal *input* yang diberikan terlalu besar, maka sinyal *output* juga akan menjadi cacat.

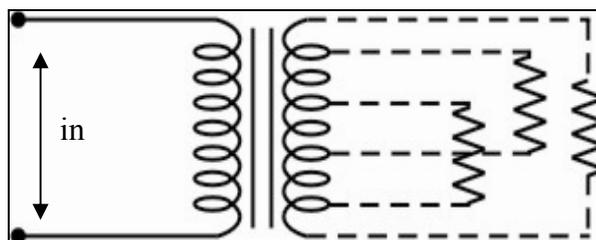


Gambar 2.31. Cacat Akibat Sinyal Input Yang Terlalu Besar

Sumber: Moris Slurzberg and William Osterheld, *Essential of Communication Electronic*, hal 235-236

2.7. Transformator Output

Kerja dari transformator *output* adalah menyampaikan hasil penguatan berupa daya *audio* dari anoda tabung penguat daya kepada *voice coil* penguat suara. Bila mungkin sebenarnya menjadi sederhana untuk menghubungkan penguat suara langsung pada anoda, tetapi hal ini tidak dapat dilakukan karena untuk mendapatkan daya *output* maksimum dan distorsi minimum pada anoda harus dipasang impedansi beberapa ribu ohm, sedangkan impedansi dari *voice coil* hanya berkisar 1 sampai 15 ohm. Jika impedansi *voice coil* digunakan sebagai beban anoda, besarnya daya yang dihasilkan penguat akan semakin kecil, selain itu akan mengakibatkan distorsi. Oleh karena itu pada rangkaian anoda harus dipasang trafo *output* yang akan bekerja sebagai *matching impedance*. Kumputan primer dari trafo *output* sekarang merupakan impedansi beban dari anoda penguat daya, dan besarnya dapat dipilih sedemikian rupa sehingga sesuai dengan impedansi beban tabung yang tertera pada data dari tabung yang dipergunakan.



Gambar 2.32. Transformator Output

Untuk semua tabung tertentu besarnya impedansi beban anoda juga tertentu, sedangkan impedansi primer dari trafo *output* yang akan berfungsi sebagai beban anoda besarnya tergantung kepada impedansi beban yang terpasang ada sekundernya (impedansi dari *voice coil*), dan tergantung juga kepada perbandingan transformasi antara kumputan primer dan sekunder. Oleh karena itu untuk sebuah penguat daya dengan tabung dan penguat suara tertentu, satu-satunya jalan untuk mendapatkan *matching* antara impedansi beban anoda dan impedansi *voice coil* dapat dicapai dengan mengubah-ubah perbandingan transformasi trafo *output*-nya.

Kumputan sekunder dari trafo *output* biasanya mempunyai beberapa tap, sehingga memungkinkan untuk mendapatkan jumlah lilitan belitan sekunder yang

berbeda-beda. Karena belitan primer dibuat tetap, maka bila belitan sekunder diubah-ubah, perbandingan transformasinya juga akan berubah. Hubungan anatar impedansi primer R'_L dan impedansi beban sekunder R_L .

$$R'_L = R_L \left(\frac{N_P}{N_S} \right)^2 \quad (2.29)$$

Dimana N_P adalah jumlah lilitan primer dan N_S adalah jumlah lilitan sekunder. Perbandingan $\frac{N_P}{N_S} = a$ lazim disebut perbandingan transformasi dari trafo *output*. Dari rumus (2.29) dapat dilihat bahwa bila R_L tertentu, setiap harga R'_L dapat diperoleh dengan mengubah-ubah perbandingan transformasi a , dan dalam hal ini perbandingan transformasi a dapat diubah dengan mengubah N_S .