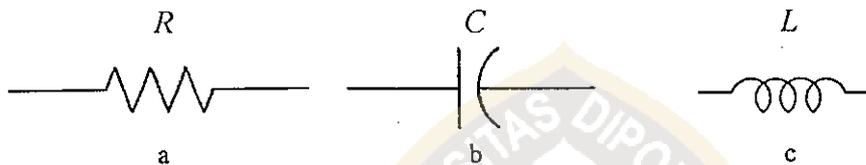


## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Komponen-Komponen Pasif Rangkaian Penguat

Rangkaian penguat dapat terdiri dari satu komponen aktif dan beberapa komponen pasif. Komponen aktif dapat berupa transistor atau IC, sedangkan komponen pasif dari suatu rangkaian penguat terdiri dari resistor, kapasitor, dan induktor. Lambang-lambang komponen dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Lambang-lambang komponen. (a) Lambang resistor. (b) Lambang kapasitor. (c) Lambang induktor (Zemansky, 1986).

Resistor (ideal) adalah elemen rangkaian dua terminal yang tegangan antara terminal-terminalnya berbanding lurus dengan arus yang mengalir (Wedlock dan Roberge, 1969). Simbol resistor adalah  $R$  dengan satuan ohm ( $\Omega$ ). Lambang gambar resistor dalam suatu rangkaian diperlihatkan pada gambar 2.1-a.

Kapasitor (ideal) adalah elemen rangkaian dua terminal dengan arus yang mengalir pada elemen tersebut sebanding dengan perubahan tegangan terhadap waktu (Wedlock dan Roberge, 1969). Simbol kapasitor adalah  $C$  dengan satuan farad ( $F$ ). Kapasitor ideal adalah kapasitor yang tidak mendisipasikan energi dan dapat menyimpan energi. Lambang gambar kapasitor dalam suatu rangkaian diperlihatkan pada gambar 2.1-b. Reaktansi kapasitif suatu kapasitor, yaitu  $X_C$ ,

nilainya berbanding terbalik terhadap kapasitansi  $C$  dan terhadap frekuensi sudut  $\omega$ , dituliskan

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (2.1)$$

dengan  $X_C$  dalam ohm,  $\omega$  dalam rad/detik, dan  $C$  dalam farad (Zemansky, 1986).

Induktor (ideal) adalah elemen rangkaian dua terminal yang tegangan antara kedua terminalnya sebanding dengan perubahan arus yang mengalir terhadap waktu (Wedlock dan Roberge, 1969). Induktor disimbolkan dengan  $L$  dalam satuan henry (H). Seperti kapasitor ideal, induktor ideal juga tidak mendisipasikan energi dan dapat menyimpan energi. Lambang gambar induktor dalam suatu rangkaian diperlihatkan pada gambar 2.1-c. Reaktansi induktif sebuah induktor, yaitu  $X_L$ , nilainya berbanding lurus dengan induktansi  $L$  dan frekuensi sudut  $\omega$ , dituliskan

$$X_L = \omega L \quad (2.2)$$

dengan  $X_L$  dalam ohm,  $\omega$  dalam rad/detik, dan induktansi  $L$  dalam henry (Zemansky, 1986).

Untuk kumparan satu lapis (*single layer*) dengan inti udara, nilai induktansinya dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (Wasito, 1995)

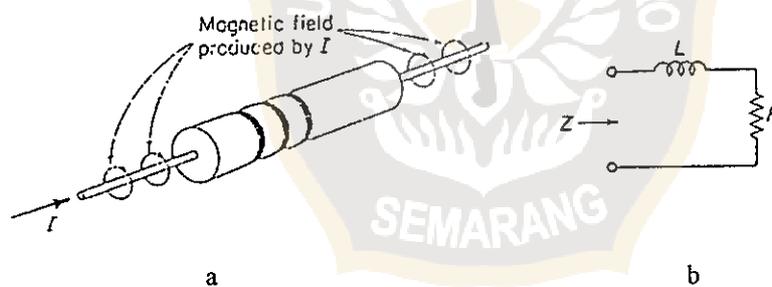
$$L = \frac{0,39r^2n^2}{9r+10p} \quad (2.3)$$

dengan  $L$  adalah induktansi kumparan dalam  $\mu\text{H}$ ,  $r$  adalah jari-jari kumparan dalam cm,  $n$  adalah jumlah lilitan, dan  $p$  adalah panjang kumparan dalam cm.

## 2.2 Perilaku Komponen Pasif pada Frekuensi Radio

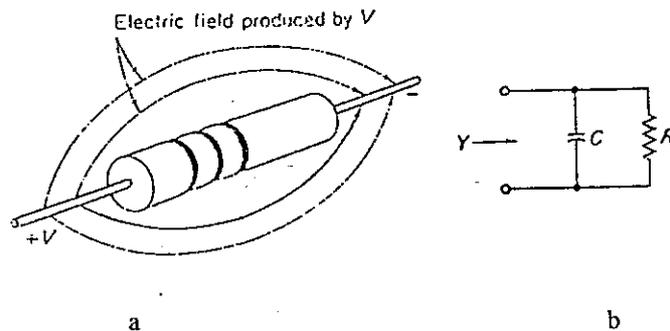
Menurut Wedlock dan Roberge (1969), suatu resistor dapat mulai bersifat seperti kapasitor atau induktor pada daerah  $RF$ . Perilaku tersebut disebabkan oleh adanya kapasitansi *stray* atau induktansi *stray*. Karena kedua hal tersebut pada umumnya tidak diinginkan dan membatasi unjuk kerja komponen-komponen pada frekuensi tinggi, maka mereka dinamakan juga sebagai *parasitic effects*.

Induktansi *stray* pada resistor disebabkan oleh adanya kawat penghantar. Gambar 2.2 menunjukkan contoh induktansi *stray* pada suatu resistor. Pada frekuensi tinggi, kawat penghantar yang panjang akan sangat berpengaruh pada unjuk kerja rangkaian, karena adanya induktansi diri pada kawat penghantar. Induktansi ini berasal dari adanya medan magnet di sekitar kawat penghantar yang dihasilkan oleh arus terminal.



Gambar 2.2. Contoh induktansi *stray* dan pemodelannya. (a) Induktansi *stray* pada resistor. (b) Pemodelan rangkaian (Wedlock dan Roberge, 1969).

Kapasitansi *stray* pada resistor juga disebabkan oleh adanya kawat penghantar. Gambar 2.3 menunjukkan contoh kapasitansi *stray* pada suatu resistor. Kapasitansi ini berasal dari adanya medan listrik di sekitar kawat penghantar yang dihasilkan oleh tegangan terminal.



Gambar 2.3. Contoh kapasitansi *stray* dan pemodelannya. (a) Kapasitansi *stray* pada resistor. (b) Pemodelan Rangkaian (Wedlock dan Roberge, 1969).

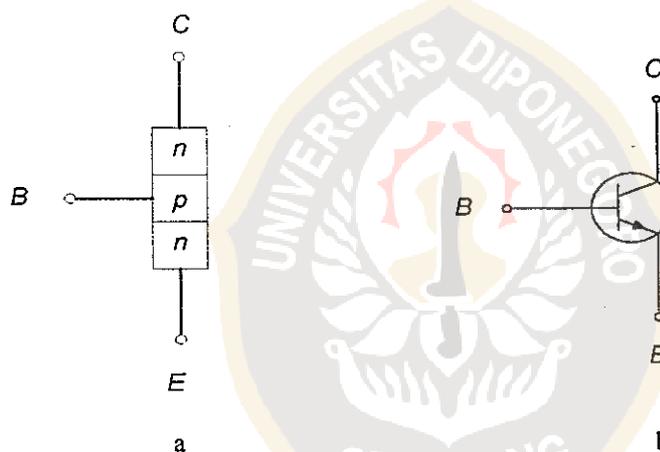
Pada induktor dan kapasitor, *parasitic effects* membatasi penggunaan frekuensi operasi. Apabila kapasitansi *stray* paralel dari suatu induktor  $L$  adalah  $C_p$ , maka induktor akan beresonansi dengan  $C_p$ , dan pada frekuensi resonansi, impedansi pada kedua terminal induktor akan tampak sebagai suatu resistansi murni. Di atas frekuensi resonansi, induktor akan berlaku sebagai kapasitor. Situasi yang sama terjadi pula pada kapasitor. Pada suatu frekuensi, kapasitor dan induktansi *stray* akan membentuk suatu rangkaian resonansi seri. Di atas frekuensi resonansi, suatu kapasitor tidak dapat difungsikan lagi sebagai kapasitor (Wedlock dan Roberge, 1969).

### 2.3 Transistor *Bipolar*

Transistor *bipolar*, atau lengkapnya transistor hubungan *bipolar* (*BJT*) dibentuk dari dua buah persambungan *pn* (dioda). Terdapat dua jenis transistor *bipolar*, yaitu transistor *npn* dan transistor *pnp*. Transistor *npn* dibentuk dari dua buah persambungan *pn* dimana daerah sekutunya adalah daerah *p*, sedangkan

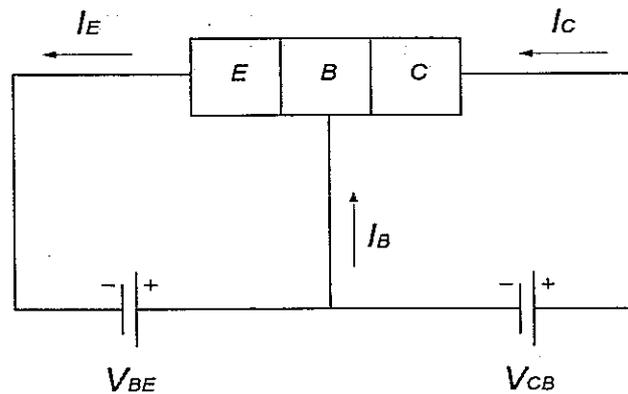
transistor *pnp* dibentuk dari dua buah persambungan *pn* dimana daerah sekutunya adalah daerah *n*. Piranti-piranti *nnp* dan *pnp* dibuat dari bahan semikonduktor germanium dan silikon, transistor silikon kebanyakan *nnp* sedangkan germanium sebagian besar *pnp*. Semua fakta yang berlaku pada transistor *nnp* juga berlaku untuk transistor *pnp*, hanya saja polaritas-polaritas catu daya yang diberikan harus dibalik (Hodges dan Jackson, 1983).

Pada transistor *nnp*, kedua daerah *n* adalah emitor *E* dan kolektor *C*, sedangkan daerah *p* adalah basis *B*. Struktur dan simbol rangkaian standar untuk transistor *nnp* diberikan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Struktur dan simbol transistor *nnp*. (a) Struktur transistor *nnp*. (b) Simbol transistor *nnp* (Hodges dan Jackson, 1983).

Transistor *nnp* bekerja dalam modus aktif maju (gambar 2.5), yang berarti bahwa persambungan basis emitor diberi prategangan maju, yang positif pada basis, dan persambungan basis kolektor diberi prategangan balik, yang positif pada kolektor. Terdapat tiga arus terminal yang mengalir pada transistor, yaitu arus basis  $I_B$ , arus kolektor  $I_C$ , dan arus emitor  $I_E$  (Hodges dan Jackson, 1983).

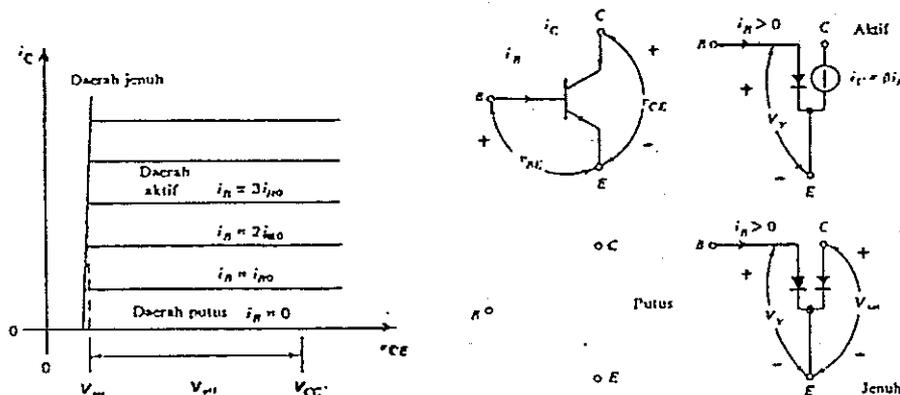


Gambar 2.5. Prategangan modus aktif maju (Hodges dan Jackson, 1983).

## 2.4 Penguat Daya *RF*

Penguat daya *RF* dapat dibedakan kedalam beberapa kelas menurut cara bekerjanya, yaitu kelas A, B, C, D, E, F, G, H, dan S. Kecuali kelas A, semua jenis penguat mudah dibedakan dari penguat sinyal lemah oleh konfigurasi rangkaiannya, metode operasi, atau kedua-duanya. Tidak ada batas yang jelas antara penguat sinyal lemah dan penguat daya kelas A, pemilihan istilah ini tergantung pada apa yang dimaksud oleh perencananya (Krauss et al, 1990).

Menurut Krauss et al (1990), karakteristik transistor pada penguat daya *RF* telah disederhanakan dan pengaruh frekuensi tinggi telah diabaikan untuk memungkinkan dijabarkannya persamaan-persamaan dan pembuatan model untuk analisis *PA* (*Power Amplifier*). Namun demikian, hasil-hasil yang diperkirakan pada umumnya cukup teliti sekitar beberapa persen dan sudah cukup untuk maksud-maksud perencanaan

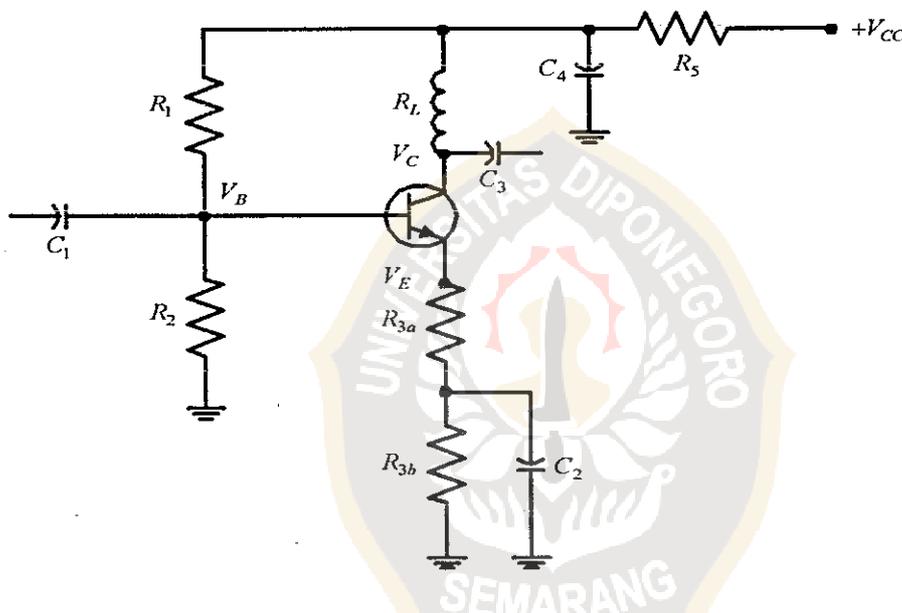


Gambar 2.6. Karakteristik dan model alat yang disederhanakan untuk transistor hubungan *bipolar* (Krauss et al, 1990).

Perilaku transistor dibagi menjadi tiga daerah, yaitu daerah putus (*cut-off*), daerah aktif, dan daerah jenuh. Gambar 2.6 menunjukkan karakteristik dan model alat yang disederhanakan untuk transistor hubungan *bipolar*. Suatu *BJT NPN* ditempatkan dalam daerah putus dengan memberikan  $V_{BE}$  kurang dari tegangan awal masuk (*cut-in*)  $V_\gamma$  ( $\approx 0,7$  V untuk alat silikon). Dalam daerah ini pada hakekatnya *BJT* terangkai terbuka. Kalau  $V_{BE}$  dinaikkan lebih besar dari  $V_\gamma$ , transistor masuk ke daerah aktif. Hubungan basis emitor menjadi dioda tercatu maju dan hubungan kolektor emitor menjadi sumber arus yang arusnya sebanding dengan arus basis. Untuk dapat bekerja dalam daerah aktif,  $V_{CE}$  harus lebih besar dari pada tegangan jenuh  $V_{jenuh}$  ( $V_{CE, jenuh} \approx 0,3$  V untuk *BJT* tunggal dengan arus kolektor rendah). Kalau beban tidak memungkinkan  $V_{CE} > V_{jenuh}$ , alat akan masuk ke daerah jenuh dan hubungan kolektor emitor mempunyai tegangan yang kira-kira sama dengan tegangan  $V_{jenuh}$  (Krauss et al, 1990).

### 2.4.1 Penguat Kelas A

Menurut Purdie (2002), penguat kelas A didefinisikan sebagai suatu penguat yang mempunyai kemampuan terbesar dalam mereproduksi masukan dengan distorsi yang terkecil, dengan atau tanpa rangkaian umpan balik negatif. Namun demikian, efisiensi penguat kelas A adalah paling kecil dibandingkan dengan penguat daya kelas lainnya. Rangkaian penguat kelas A dengan umpan balik emitor diperlihatkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Rangkaian penguat kelas A dengan umpan balik emitor (Purdie, 2002).

Kapasitor  $C_1$  dan  $C_3$  digunakan untuk menghubungkan rangkaian penguat dengan tingkatan sebelum dan sesudahnya. Kapasitor  $C_1$  dan  $C_3$  dikenal sebagai kapasitor penggandeng (*coupling*) yang digunakan untuk melewatkan sinyal *AC* atau *RF* dan menahan sinyal *DC*, sehingga tegangan *DC* yang digunakan untuk pembiasan penguat tidak masuk ke tingkatan sebelum dan sesudahnya. Biasanya digunakan kapasitor dengan reaktansi  $X_C$  yang sangat rendah pada frekuensi

yang bersangkutan sehingga keberadaan kapasitor penggandeng tidak membebani penguat.

Kapasitor  $C_4$  dan  $R_5$  digunakan dalam hubungannya sebagai penggandeng rangkaian penguat dengan catu daya yang digunakan. Penggandengan rangkaian penguat dengan catu daya dimaksudkan agar sinyal  $AC$  atau  $RF$  pada penguat diparalelkan dengan tanah sehingga tidak dapat menjalar ke catu daya  $DC$  yang digunakan.

Resistor  $R_1$  dan  $R_2$  yang dihubungkan dengan basis membentuk jaringan pembagi tegangan, sehingga tegangan  $DC$  basis  $V_B$  adalah (Purdie, 2002)

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (2.4)$$

Arus  $DC$  yang mengalir pada resistansi jaringan bias basis  $I_B$  adalah

$$I_B = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} \quad (2.5)$$

Tegangan  $DC$  basis lebih tinggi 0,65 V (untuk silikon) terhadap tegangan  $DC$  emitor  $V_E$ , sehingga

$$V_E = V_B - 0,65V \quad (2.6)$$

Arus  $DC$  emitor  $I_E$  ditentukan oleh

$$I_E = \frac{V_E}{R_{3a} + R_{3b}} \quad (2.7)$$

Arus  $DC$  yang mengalir di kolektor  $I_C$  hampir sama dengan arus  $DC$  yang mengalir di emitor  $I_E$ ,  $I_C \approx I_E$ , sehingga tegangan  $DC$  kolektor  $V_C$  adalah

$$V_C = V_{CC} - (I_C R_L) \quad (2.8)$$

Hubungan antara  $R_L$  dengan daya keluaran penguat ( $P_0$ ) adalah (Purdie, 2002)

$$R_L = \frac{V_{pk}^2}{2 \times P_0} \quad (2.9)$$

$V_{pk}$  adalah tegangan keluaran maksimum untuk memperoleh ayunan tegangan keluaran yang linier, ditentukan dengan persamaan

$$V_{pk} = V_{CC} - V_E \quad (2.10)$$

Penguatan tegangan AC, yang disimbolkan dengan  $A_v$ , ditentukan oleh

$$A_v = \frac{R_L}{R_{3a}} \quad (2.11)$$

Penguatan arus AC, yang disimbolkan dengan  $\beta_{ac}$  ditentukan oleh

$$\beta_{ac} = \frac{F_T}{f_0} \quad (2.12)$$

dengan  $F_T$  menyatakan frekuensi *cut-off* transistor, dan  $f_0$  menyatakan frekuensi kerja yang digunakan.

Impedansi masukan transistor, yaitu  $Z_{ib}$ , ditentukan dengan

$$Z_{ib} = \beta_{ac} \times R_{3a} \quad (2.13)$$

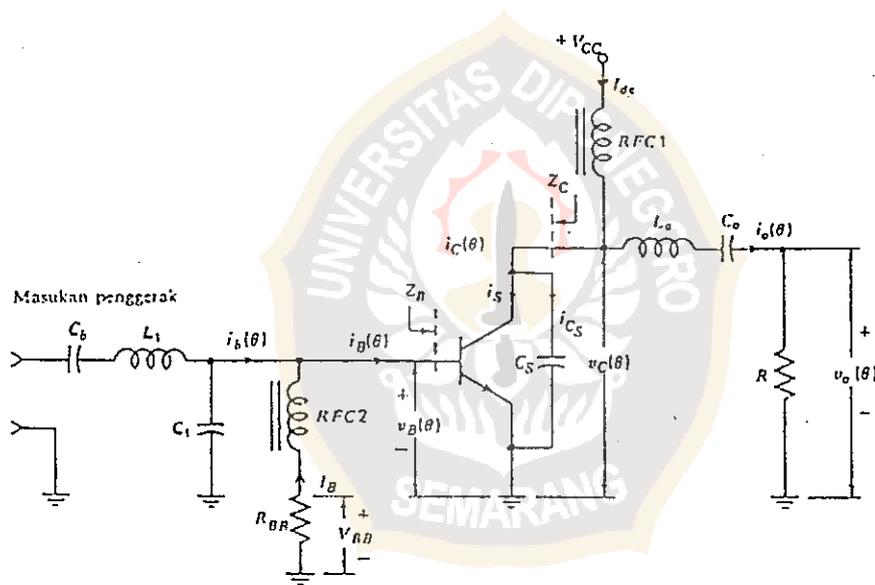
dengan  $R_{3a}$  adalah resistansi AC emitor.

#### 2.4.2 Penguat Mode Campuran Kelas C

Menurut Krauss et al (1990), penguat mode campuran kelas C merupakan versi benda padat (*BJT*) dari penguat kelas C. Rancangan penguat daya benda padat mode campuran kelas C pada awalnya menggunakan konsep kelas C tabung hampa, namun berbagai masalah timbul dalam penggerak (rangkaiannya masuk),

catu, rangkaian keluaran, kapasitansi varaktor dari transistor, dan resistansi jenuh yang sangat rendah memaksa penerapan secara keseluruhan konsep mode campuran kelas C. Penerapan mode campuran kelas C terjadi secara kebetulan yang baru disadari setelah digunakan untuk beberapa lama.

Penguat daya mode campuran kelas C mempunyai efisiensi yang lebih besar dan rangkaian yang lebih sederhana dibandingkan dengan penguat daya kelas A. Penguat daya jenis ini digunakan untuk penguatan sinyal-sinyal CW, FM dan AM. Rangkaian penguat daya mode campuran kelas C ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Rangkaian penguat daya mode campuran kelas C (Krauss et al, 1990).

Rangkaian tala keluaran atau filter merupakan bagian yang diperlukan dari penguat mode campuran kelas C, dan tidak hanya digunakan sebagai sarana pengurang harmonik pada keluaran. Dalam sebagian besar pemakaian mode campuran kelas C, suatu rangkaian tala pita sempit atau jaringan penyesuai dapat digunakan.

Pada rangkaian keluaran, *choke RFC1* dimisalkan mempunyai reaktansi tinggi pada frekuensi pembawa dan hanya melewatkan arus searah ( $RFC1 \geq 25Z_C$ ). Demikian pula rangkaian keluaran dimisalkan mempunyai  $Q$  tinggi sehingga mencegah lewatnya semua arus kecuali yang mempunyai frekuensi pembawa. Transistor dianggap sebagai penyambung (*switch*) ideal atau sumber arus ideal, tergantung pada daerah kerjanya. Transistor dimisalkan dicabang oleh kapasitansi  $C_S$  yang menjadi satu dengan transistor dan tidak merupakan unsur tersendiri (diskrit). Setiap saat, beda antara arus transistor kapasitor  $[i_s(\theta) + i_{C_S}(\theta)]$  dan arus keluaran  $i_o(\theta)$  harus sama dengan arus sumber  $I_{dc}$ . Karena itu, apabila transistor berada dalam daerah aktif, tegangan kolektor  $v_C(\theta)$  ditentukan oleh beda antara arus keluaran searah dan arus sumber transistor yang mengisi muatan kapasitansi cabang  $C_S$ . Operasi selama transistor terputus serupa dengan  $i_s(\theta) = 0$ . Kalau transistor jenuh,  $v_C(\theta) = V_{jenuh}$ , sebagian besar arus dipintaskan seputar  $C_S$ , dan arus kolektor sama dengan selisih antara arus sumber searah dan arus keluaran (Krauss et al, 1990).

Pada rangkaian masukan,  $L_1$  dan  $C_1$  membentuk suatu rangkaian penyesuai (*matching*),  $RFC2$  dan  $R_{BB}$  merupakan jalur arus searah ke basis. Dimisalkan bahwa masukan penggerak mendekati sumber arus sinusoidal dan bahwa arus basis sesaat  $i_B(\theta)$  positif. Karena itu dioda basis dicatu maju dengan  $v_B(\theta) \approx V_f$  dan transistor berada baik dalam daerah aktif maupun dalam daerah jenuh, tergantung pada tegangan kolektor  $v_C(\theta)$ . Transistor tetap berada dalam

daerah aktif atau dalam keadaan jenuh sampai arus  $i_B(\theta)$  berubah polaritasnya dan telah menghilangkan muatan yang tersimpan dalam basis. Pada saat itu, dioda basis menjadi tercatu balik dan jumlah arus-arus dalam  $L_1$  dan  $RFC2$  mengalir ke dalam  $C_1$  dan kapasitansi dari basis transistor. Hal ini membangkitkan tegangan basis yang mula-mula mengayun negatif dan kemudian kembali menjadi positif. Transistor tetap terputus sampai tegangan ini mencapai sekitar  $V_\gamma$ . Dengan menggerak basis menuju tegangan positif  $V_\gamma$ , mengakibatkan adanya arus dalam basis, karena arus tersebut memiliki suatu komponen arus searah, maka suatu jalur arus searah harus diberikan dalam rangkaian basis. Kalau arus searah mengalir lewat tahanan  $R_{BB}$ , maka akan dihasilkan tegangan  $V_{BB}$ . Walaupun teknik pencatuan ini sering digunakan dalam penguat daya mode campuran kelas C, keuntungannya tidak jelas, karena sudut hantarannya tidak siap dikendalikan kalau basis digerakkan oleh sumber arus bolak-balik. Kerugian menggunakan  $R_{BB}$  adalah bahwa daya yang didisipasikan didalamnya harus dipasok oleh penggerak. Suatu alternatif adalah cukup menghubungkan  $RFC2$  ke bumi (Krauss et al, 1990).

Perencanaan penguat daya mode campuran kelas C pada umumnya dilakukan dengan menggunakan impedansi sinyal kuat transistor. Impedansi sinyal kuat merupakan parameter transistor yang dapat diukur dan atau diperkirakan. Impedansi sinyal kuat yang terukur hanya berlaku pada tingkat frekuensi dan tingkat daya dimana mereka diukur. Karena harga-harga tersebut merupakan hasil dari beberapa pengubah tidak linier dalam rangkaian, maka

harga-harga tersebut diperkirakan akan sangat berubah menurut frekuensi, penggerak, daya keluaran, dan tegangan sumber. Meskipun demikian, impedansi sinyal kuat dapat dianggap sebagai suatu pendekatan yang bermanfaat dalam melakukan perencanaan tahap pertama (Krauss et al, 1990).

Impedansi keluaran sinyal kuat  $Z_C$  dari transistor daya *HF* dan *VHF bipolar* umumnya diperkirakan dengan menganggap sebagai hasil kombinasi paralel antara kapasitansi keluaran kolektor  $C_{ob}$  dan resistansi beban kolektor  $R_L$ .

Resistansi beban kolektor ditentukan dengan persamaan (Hejhall, 1993)

$$R_L = \frac{V_{CC}^2}{2P_{out}} \quad (2.14)$$

dengan  $V_{CC}$  adalah tegangan catu yang diberikan, dan  $P_{out}$  adalah daya keluaran yang diinginkan.

Impedansi masukan sinyal kuat dari transistor *bipolar (BJT)* khasnya merupakan tahanan beberapa ohm yang seri dengan reaktansi induktif beberapa ohm. Perolehan daya transistor *bipolar* khasnya berkisar dari 5 sampai 14 dB (Krauss et al, 1990).

## 2.5 Rangkaian-rangkaian Resonansi

Impedansi dan admitansi dari suatu rangkaian *RLC* merupakan fungsi yang rumit dari frekuensi, dan secara normal mempunyai komponen resistif (nyata) dan juga komponen reaktif (imajiner). Untuk beberapa rangkaian, bagian reaktif lenyap pada suatu harga frekuensi, dan kondisi ini (impedansi dan admitansi nyata murni) dinamakan resonansi. Frekuensi dimana terjadi resonansi

dari suatu rangkaian *RLC* dinamakan frekuensi resonansi. Suatu rangkaian dengan satu frekuensi resonansi atau lebih dinamakan rangkaian resonansi (Krauss et al, 1990).

Rangkaian resonansi banyak digunakan dalam sistem komunikasi untuk memisahkan sinyal yang diinginkan dari sinyal yang tidak diinginkan. Rangkaian resonansi memiliki sifat-sifat pemindahan impedansi yang penting, dan dapat dirancang sedemikian rupa sehingga pada frekuensi resonansinya sebuah sumber impedansi melihat suatu impedansi yang bersesuaian dan memindahkan daya ke beban resistansi rendah dalam rangkaian resonansi.

Dalam rangkaian sebenarnya, resonansi yang benar hanya terjadi pada frekuensi diskrit dan terisolasi, sehingga untuk frekuensi di atas dan di bawah frekuensi resonansi, impedansi rangkaian menunjukkan reaktansi maupun resistansi. Daerah frekuensi dimana rangkaian mendekati keadaan resonansi merupakan lebar pita yang bermanfaat dari rangkaian. Karena impedansi dari kebanyakan rangkaian resonansi melewati maksimum dan minimum dengan tajam pada resonansinya, maka lebar pita atau selektivitas frekuensi dari rangkaian tersebut dinyatakan dalam lebar puncak atau lembah. Lebar pita sering dikaitkan dengan suatu besaran yang dinamakan faktor kualitas, atau yang sering dituliskan dengan faktor  $Q$  (Krauss et al, 1990).

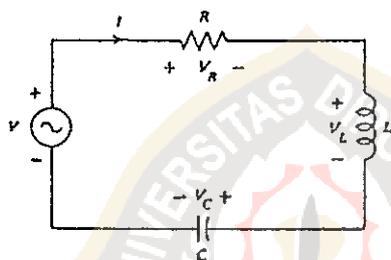
Faktor  $Q$  merupakan parameter yang umum digunakan untuk menyatakan selektivitas relatif suatu rangkaian. Pada awalnya, faktor  $Q$  didefinisikan sebagai perbandingan reaktansi ke resistansi dari induktor. Namun pada perkembangan

selanjutnya, faktor  $Q$  dari setiap rangkaian akan ditentukan untuk membentuk penggunaan umum, dan belum tentu sesuai dengan definisi awal dari faktor  $Q$ .

### 2.5.1 Resonansi Seri

Suatu rangkaian  $RLC$  seri yang digerakkan oleh sumber tegangan  $V$  diperlihatkan pada gambar 2.9. Resistansi  $R$  menggabungkan tahanan beban dan setiap resistansi seri yang ada dalam induktor dan sumber. Impedansi masuk dari rangkaian tersebut adalah (Krauss et al, 1990)

$$Z(j\omega) = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (2.15)$$



Gambar 2.9. Rangkaian  $RLC$  seri (Krauss et al, 1990).

Resonansi akan terjadi kalau  $\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$ , yaitu pada frekuensi resonansi

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ rad/s} \quad (2.16)$$

Apabila frekuensi sumber diubah, sedangkan tegangan  $V$  dijaga tetap, maka arus mencapai harga terbesarnya pada resonansi, atau

$$I_{maks} = \frac{V_{maks}}{R} \quad (2.17)$$

Nilai  $Q$  dari rangkaian resonansi seri merupakan perbandingan antara reaktansi induktor dengan resistansi total rangkaian yang besarnya adalah (Krauss et al, 1990)

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} \quad (2.18)$$

dan

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1} = \frac{f_0}{B} \quad (2.19)$$

dengan  $f_1$  dan  $f_2$  menyatakan frekuensi setengah daya dari rangkaian resonansi.

### 2.5.2 Resonansi Paralel

Suatu rangkaian dengan  $L$ ,  $C$ , dan  $R_t = 1/G_t$ , yang dihubungkan secara paralel diperlihatkan pada gambar 2.10. Subskrip  $t$  menyatakan resistansi terminal pada saat resonansi. Resonansi paralel terjadi kalau tegangan masuk dan arus masuk sefasa. Faktor  $Q$  dari rangkaian paralel, yang disimbolkan dengan  $Q_t$ , merupakan perbandingan antara resistansi terminal dengan reaktansi induktor, dan lebar pita  $B$  diberikan oleh (Krauss et al, 1990)

$$Q_t = \frac{\omega_0 C}{G_t} = R_t \omega_0 C \quad (2.20)$$

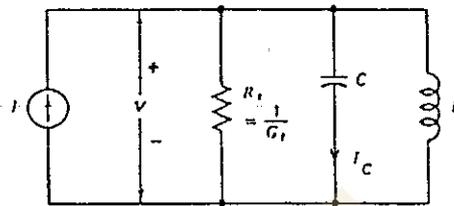
$$B = \frac{f_0}{Q_t} \quad (2.21)$$

Admitansi masuk rangkaian, yang disimbolkan dengan  $Y(j\omega)$ , diberikan oleh

$$Y(j\omega) = G_t + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) \quad (2.22)$$

Persamaan untuk admitansi masuk mempunyai bentuk yang sama dengan persamaan impedansi masuk rangkaian resonansi seri, kecuali bahwa parameter impedansinya diganti dengan parameter admitansi. Resonansi akan terjadi pada saat (Krauss et al, 1990)

$$2\pi f_0 = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ rad/s} \quad (2.23)$$



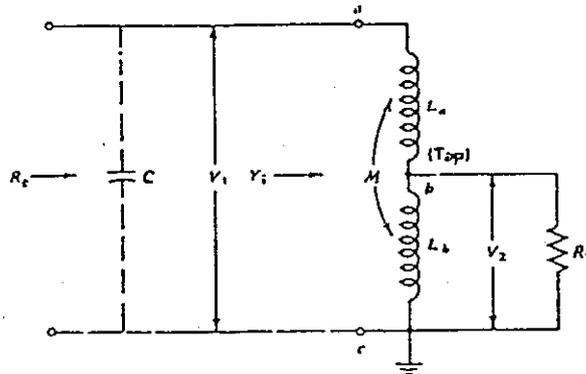
Gambar 2.10. Rangkaian LCR paralel (Krauss et al, 1990).

## 2.6 Induktor Tersadap Sebagai Rangkaian Transformasi Impedansi

Rangkaian induktor tersadap, yang ditunjukkan pada gambar 2.11, sering digunakan dalam rangkaian-rangkaian penguat. Digunakan satu induktor, dengan kedudukan sadapan (titik *b*) yang dipilih untuk mengubah  $R_2$  menjadi  $R_1$ . Kalau induktor dililitkan pada inti ferit sehingga koefisien kopling  $k$  mendekati satu, maka kumparan akan berlaku sebagai transformator ideal. Dengan kumparan yang berintikan udara, koefisien kopling  $k$  amat kecil ( $k \approx 0,1$ ), sehingga pendekatan transformator ideal tidak berlaku (Krauss et al, 1990).

Dimisalkan  $L_a$  dan  $L_b$  adalah induktansi diri dari dua bagian kumparan, sedangkan  $M$  adalah induktansi timbal balik dan  $k$  merupakan koefisien kopling. Induktansi total diberikan oleh (Krauss et al, 1990)

$$L = L_a + L_b + 2M \quad (2.24)$$



Gambar 2.11. Induktor tersadap digunakan sebagai rangkaian transformasi impedansi (Krauss et al, 1990).

Menurut Krauss et al (1990), analisis *mesh* dari transformator gambar 2.11, dengan kapasitor dihilangkan, menghasilkan persamaan untuk admitansi masuk dalam bentuk

$$Y_i = G_i + jB_i = \frac{R_2 + j\omega L_b}{-\omega^2 [LL_b - (L_b + M)^2] + j\omega LR_2} \quad (2.25)$$

Dengan memisahkan bagian nyata dan bagian imajiner, dan dengan menyamakan  $R_i = R_2 = 1/G_i$ , setelah manipulasi akan dihasilkan

$$R_i = R_2 \left[ \left( \frac{L}{L_b + M} \right)^2 + \left( \frac{\omega L}{R_2} \right)^2 \left( \frac{L_b}{L_b + M} - \frac{L_b + M}{L} \right)^2 \right] \quad (2.26)$$

dan

$$B_i = \frac{1}{\omega L} \left\{ \frac{\omega^2 L_b \left[ L_b - \frac{(L_b + M)^2}{L} \right] + R_2^2}{\omega^2 \left[ L_b - \frac{(L_b + M)^2}{L} \right] + R_2^2} \right\} \quad (2.27)$$

Kedua persamaan tersebut di atas masih belum bermanfaat karena bagaimana berubahnya  $L_b$  dengan perubahan sadapan sepanjang kumparan belum

diketahui untuk  $k < 1$ . Kalau harga  $L_a$  dan  $L_b$  dihubungkan oleh faktor  $a$ , sedemikian rupa sehingga

$$L_a = aL_b \quad (2.28)$$

Parameter-parameter  $L$  dan  $L_b + M$  dapat dinyatakan dalam  $L_b$ ,  $k$ , dan  $a$  dalam bentuk

$$L_b = \frac{L}{1 + a + 2k\sqrt{a}} \quad (2.29)$$

dan

$$\frac{L_b + M}{L} = \frac{1 + k\sqrt{a}}{1 + a + 2k\sqrt{a}} = \frac{V_{2oc}}{V_1} = \frac{1}{N} \quad (2.30)$$

dengan  $N$  dapat diidentifikasi sebagai perbandingan gulungan dari transformator ideal atau perbandingan tegangan rangkaian terbuka.

Diperkenalkan variabel baru  $K$  (Krauss et al, 1990)

$$K = \frac{1}{1 + k\sqrt{a}} - \frac{1}{N} \quad (2.31)$$

Persamaan akhir yang diperoleh adalah

$$R_t = R_2 \left[ N^2 + \left( \frac{\omega L}{R_2} \right)^2 K^2 \right] \quad (2.32)$$

dan

$$B_t = \frac{-1}{\omega L} \left\{ \frac{(\omega L/R_2)^2 \left[ K/(1 + K\sqrt{a})N^2 + 1 \right]}{(\omega L/R_2)^2 (K/N)^2 + 1} \right\} \quad (2.33)$$

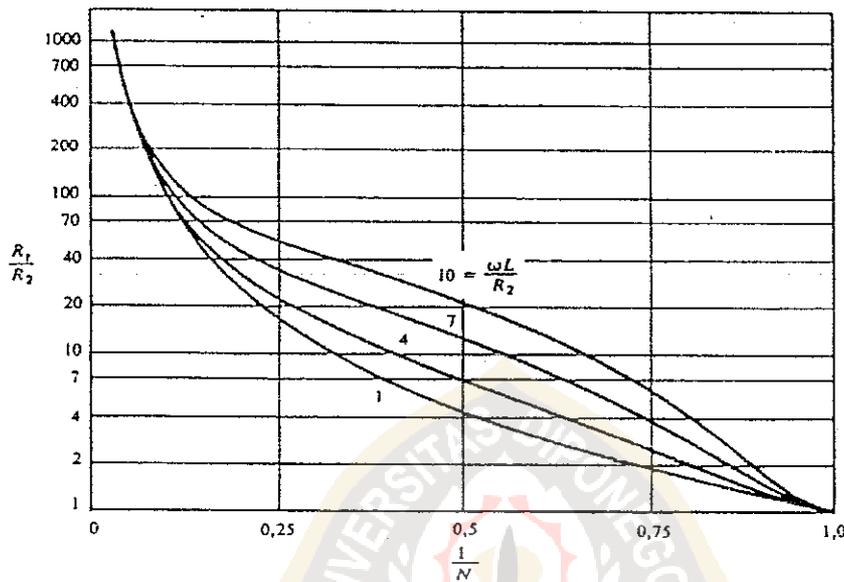
Untuk  $k < 1$ , persamaannya menjadi

$$\frac{R_t}{R_2} = N^2 \times D \quad (2.34)$$

dan

$$B_i = \frac{-1}{\omega L} \times E \quad (2.35)$$

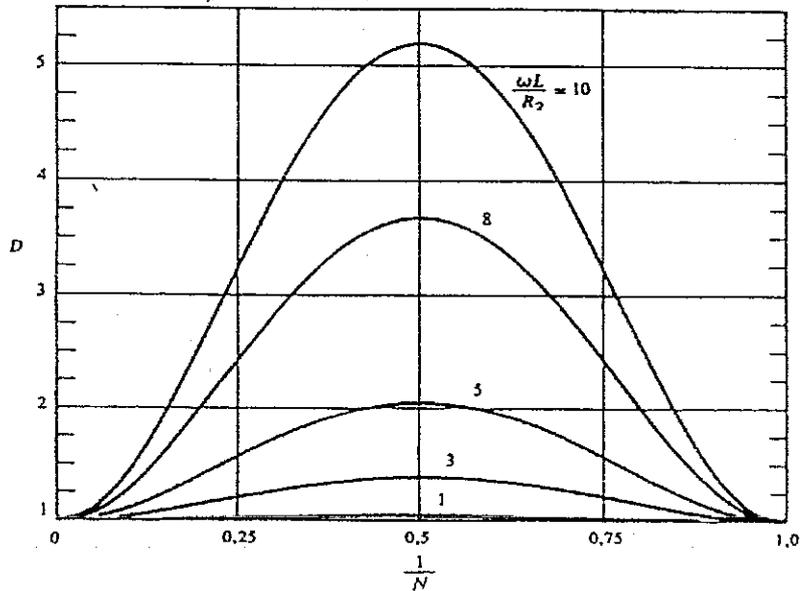
dengan faktor  $D$  dan  $E$  menyatakan perbedaan dari keadaan idealnya.



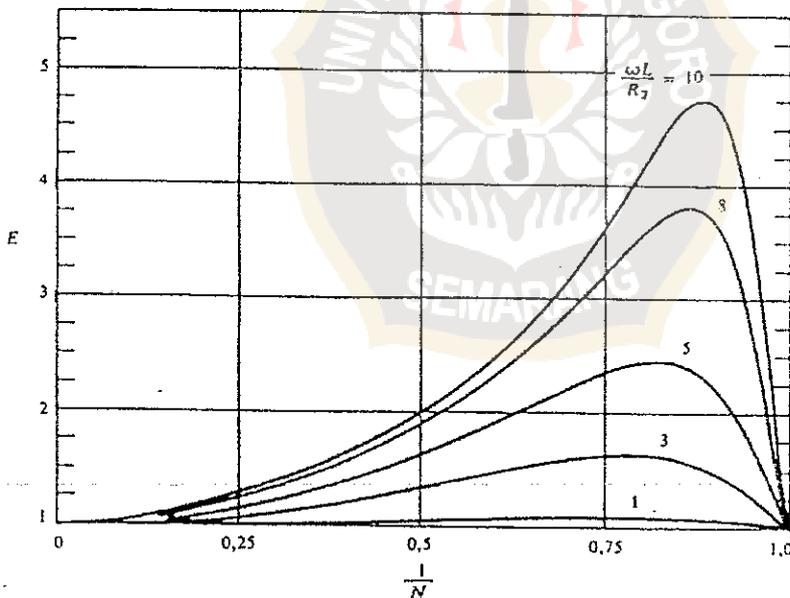
Gambar 2.12. Perubahan  $R_1/R_2$  terhadap kedudukan sadapan ( $1/N$ ) untuk  $k = 0,1$  (Krauss et al, 1990).

Perubahan  $R_1/R_2$  terhadap kedudukan sadapan  $1/N$  untuk  $k = 0,1$

diperlihatkan pada gambar 2.12.  $1/N$  menggambarkan bagian dari gulungan total yang termasuk diantara sadapan dan tanah. Gambar 2.13 dan gambar 2.14 memperlihatkan pengaruh kedudukan sadapan pada faktor-faktor  $D$  dan  $E$  untuk  $k = 0,1$ . Dengan pertolongan lengkung-lengkung ini, perbandingan transformasi yang benar dan kepekaan tala (kapasitif) dapat ditentukan untuk kedudukan sadapan yang diketahui (Krauss et al, 1990).



Gambar 2.13. Gambaran faktor  $D$  terhadap kedudukan sadapan ( $\frac{1}{N}$ ) untuk  $k = 0,1$  (Krauss et al, 1990).



Gambar 2.14. Gambaran faktor  $E$  terhadap kedudukan sadapan ( $\frac{1}{N}$ ) untuk  $k = 0,1$  (Krauss et al, 1990).

## 2.7 Jaringan Penyesuai Impedansi (*Impedance Matching Network*)

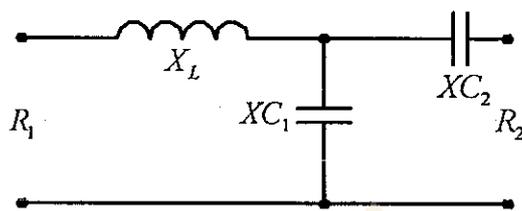
Penguat daya mode campuran kelas C pada umumnya menggunakan daerah frekuensi yang relatif sempit dan memerlukan impedansi penggerak serta impedansi kolektor yang menyertakan baik resistansi maupun reaktansinya. Oleh karena alat-alat digerakkan cukup kuat menuju daerah jenuh selama hampir setiap setengah siklus  $RF$ , maka daya keluaran merupakan fungsi dari tegangan sumber kolektor dan impedansi beban kolektor. Karena itu sangat penting untuk memberikan impedansi beban kolektor dalam perencanaan penguat daya mode campuran kelas C (Krauss et al, 1990).

Tujuan yang paling jelas dari jaringan penyesuai impedansi adalah untuk mengubah impedansi beban atau penggerak menjadi impedansi beban kolektor ( $Z_C$ ) atau impedansi penggerak basis ( $Z_B$ ) yang diperlukan untuk menghasilkan daya keluaran yang diperlukan pada tegangan catu dan frekuensi yang ditentukan. Jaringan penyesuai pada keluaran juga sering digunakan untuk mengurangi harmonik-harmonik dalam keluaran sampai ke tingkat yang dapat diterima (walaupun hal ini dapat dilakukan dengan filter-filter yang tidak membentuk pengubahan impedansi). Diperlukan agar jaringan penyesuai menghasilkan impedansi yang diperlukan pada kolektor atau basis sampai harmonik dari frekuensi pembawa (Krauss et al, 1990).

Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk melaksanakan penyesuaian impedansi yang diperlukan, yaitu dengan menggunakan elemen diskrit, saluran transmisi, atau gabungan dari keduanya. Elemen-elemen rangkaian diskrit pada

umumnya digunakan dalam daerah *HF* dan daerah *VHF*, sedangkan saluran transmisi sering digunakan pada frekuensi *UHF* dan gelombang mikro .

Suatu bentuk jaringan penyesuai elemen diskrit yang sering digunakan diperlihatkan pada gambar 2.15. Jaringan penyesuai terdiri dari tiga buah reaktansi, yaitu sebuah induktor dan dua buah kapasitor. Jaringan penyesuai digunakan untuk membawa  $R_2$  ke  $R_1$  atau  $R_1$  ke  $R_2$ .



Gambar 2.15. Jaringan penyesuai impedansi tiga reaktansi (Becciolini, 1993).

Menurut Becciolini (1993), untuk jaringan tiga buah reaktansi,  $R_2 > R_1$  dan nilai  $Q$  dari rangkaian ditentukan terlebih dahulu. Penentuan nilai-nilai komponen yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$X_{L1} = QR_1 \quad (2.36)$$

$$X_{C2} = A.R_2 \quad (2.37)$$

$$X_{C1} = \frac{B}{Q - A} \quad (2.38)$$

dengan

$$A = \sqrt{\frac{R_1(1+Q^2)}{R_2} - 1} \quad (2.39)$$

$$B = R_1(1+Q^2) \quad (2.40)$$

## 2.8 Power Supply (Pencatu Daya)

*Power supply* merupakan bagian yang sangat penting dari setiap peralatan elektronik, karena ia merupakan penyedia tegangan dan arus yang dibutuhkan oleh rangkaian. Karakteristik umum dari *power supply* adalah tegangan keluaran, arus keluaran, tegangan puncak yang diperbolehkan, tegangan riak (*ripple*), serta regulasi tegangan (Slurzberg dan Osterheld, 1948).

*Power supply* yang digunakan dalam peralatan radio adalah dengan mengubah arus *AC* menjadi arus *DC*. Proses ini terdiri dari empat bagian, yaitu transformator daya, penyearahan, filter, dan pembagi tegangan.

Transformator daya digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan jala-jala *AC* ke suatu nilai yang dibutuhkan. Parameter transformator daya yang penting adalah tegangan keluaran (pada lilitan sekunder), dan arus keluaran pada beban penuh.

Penyearahan dilakukan untuk mengubah arus *AC* menjadi arus *DC*. Penyearahan secara elektronik dilakukan dengan menggunakan dioda. Pada dasarnya terdapat dua jenis penyearahan, yaitu penyearahan setengah gelombang dan penyearahan gelombang penuh.

Filter digunakan untuk menghilangkan riak tegangan yang muncul dari proses penyearahan sehingga diharapkan tegangan yang keluar adalah tegangan *DC* yang tetap. Rangkaian filter berhubungan dengan komponen yang dapat menyimpan energi, sehingga rangkaian filter dapat dibuat dengan menggunakan kapasitor atau induktor. Kapasitor lebih banyak digunakan pada rangkaian filter dari pada induktor, karena dengan ukuran fisik yang kecil kapasitor dapat

mempunyai nilai kapasitansi yang besar dan digunakan pada tegangan yang tinggi.

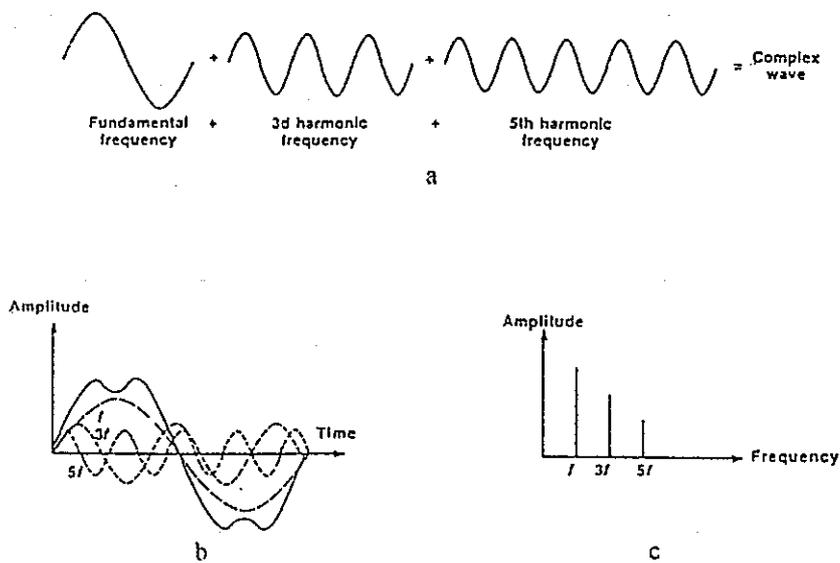
Pembagi tegangan digunakan untuk membagi tegangan keluaran dari filter ke nilai tegangan yang dibutuhkan. Pembagi tegangan dapat dilakukan dengan menggunakan resistor, yang juga difungsikan untuk meningkatkan regulasi tegangan keluaran (Slurzberg dan Osterheld, 1948).

## 2.9 Analisis Gelombang *RF*

Menurut Hund (1980), untuk dapat melakukan analisis frekuensi gelombang *RF* dibutuhkan pemahaman mengenai komposisi frekuensi dari suatu gelombang. Gelombang *RF* tersusun dari deret frekuensi dasar dan frekuensi-frekuensi harmonik. Penjumlahan dari deret tersebut akan menghasilkan gelombang kompleks, yang diperlihatkan pada gambar 2.16-a.

Suatu gelombang kompleks periodik dapat digambarkan dengan dua cara, yaitu dalam ranah waktu, atau dalam ranah frekuensi. Penggambaran gelombang kompleks periodik dalam ranah waktu ditunjukkan pada gambar 2.16-b, sedangkan gelombang kompleks dalam ranah frekuensi ditunjukkan pada gambar 2.16-c. Komposisi frekuensi gelombang dan distribusi daya dari setiap frekuensi, paling baik digambarkan dalam ranah frekuensi (Hund, 1989).

Perilaku gelombang *RF* dalam rangkaian linier berbeda terhadap perilaku gelombang *RF* dalam rangkaian tidak linier. Pada rangkaian linier, frekuensi keluaran adalah sama dengan frekuensi masukan. Sedangkan pada rangkaian tidak linier, akan dihasilkan frekuensi-frekuensi yang tidak tampak pada masukan.



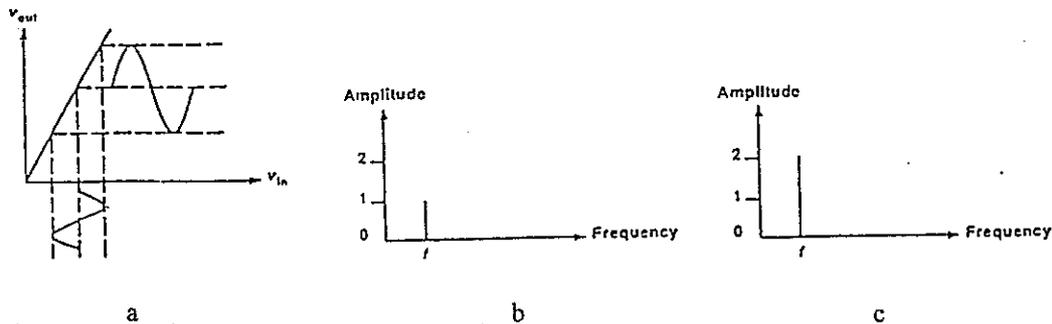
Gambar 2.16. Gelombang kompleks dan penggambarannya. (a) Gelombang kompleks. (b) Penggambaran gelombang kompleks dalam ranah waktu. (c) Penggambaran gelombang kompleks dalam ranah frekuensi (Hund, 1989).

Apabila penguatan (*gain*) dari suatu penguat linier adalah dua, maka tegangan keluaran akan selalu dua kali sinyal masukan dengan tidak memandang seberapa besar atau kecil sinyal masukan. Gambar 2.17 menunjukkan gelombang masukan dan keluaran pada rangkaian linier serta penggambarannya dalam ranah frekuensi.

Persamaan umum untuk penguat linier adalah (Hund, 1989)

$$v_{out} = a_0 + a_1 v_{in} \quad (2.41)$$

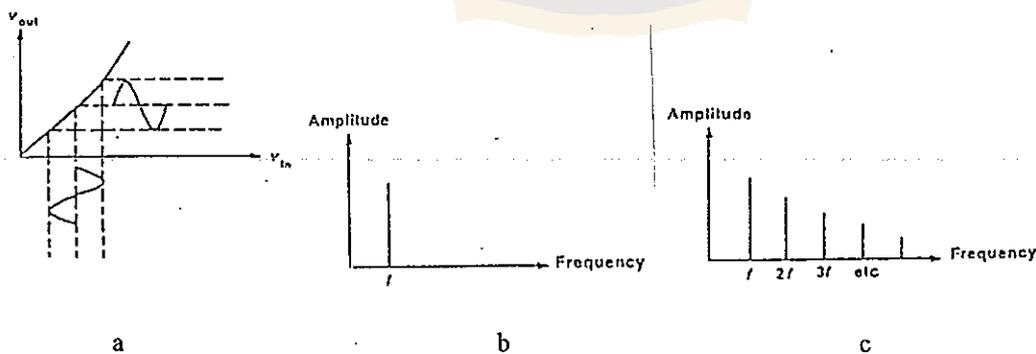
dengan  $v_{out}$  adalah tegangan keluaran,  $a_0$  adalah komponen *DC*,  $a_1$  adalah perolehan penguat, dan  $v_{in}$  adalah tegangan masukan.



Gambar 2.17. Masukan dan keluaran pada penguat linier. (a) Kurva masukan/keluaran. (b) Gelombang masukan dalam ranah frekuensi. (c) Gelombang keluaran dalam ranah frekuensi (Hund, 1989).

Gelombang kompleks masukan pada penguat linier dapat berupa penjumlahan dari deret sinus atau kosinus, namun perolehan untuk setiap komponen adalah sama, sehingga keluarannya merupakan penjumlahan dari setiap komponen dengan perolehan yang sama.

Pada rangkaian tidak linier, hubungan antara gelombang masukan dengan gelombang keluaran adalah tidak linier. Jika gelombang sinus dikuatkan oleh rangkaian tidak linier, gelombang keluaran akan terdistorsi seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.18-a.



Gambar 2.18. Masukan dan keluaran pada penguat tidak linier. (a) Kurva masukan/keluaran. (b) Gelombang masukan dalam ranah frekuensi. (c) Gelombang keluaran dalam ranah frekuensi (Hund, 1989).

Rangkaian akan menghasilkan frekuensi-frekuensi baru yang merupakan perkalian dari frekuensi masukan. Penjumlahan frekuensi-frekuensi baru yang dihasilkan oleh rangkaian tidak linier dengan gelombang sinus awal akan menghasilkan gelombang keluaran yang terdistorsi. Oleh karena itu, gelombang keluaran merupakan hasil penjumlahan dari frekuensi dasar (*fundamental*) gelombang masukan dengan frekuensi-frekuensi harmonik yang dihasilkan oleh rangkaian. Ranah frekuensi gelombang masukan ditunjukkan pada gambar 2.18-b, dan ranah frekuensi gelombang keluaran ditunjukkan pada gambar 2.18-c. Banyaknya frekuensi harmonik atas yang dihasilkan oleh rangkaian tidak linier tergantung pada tingkat ketidakinierannya.

Persamaan umum untuk rangkaian tidak linier adalah (Hund, 1989)

$$v_{out} = a_0 + a_1 v_{in} + a_2 v_{in}^2 + a_3 v_{in}^3 + \dots + a_n v_{in}^n \quad (2.42)$$

dengan  $v_{out}$  adalah tegangan keluaran rangkaian;  $a_0$  adalah komponen DC;  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ , ...,  $a_n$  adalah tetapan-tetapan; dan  $v_{in}$  adalah tegangan masukan rangkaian.

Dimisalkan gelombang masukan rangkaian tidak linier adalah gelombang sinus frekuensi tunggal, dan dituliskan (Hund, 1989)

$$v(t) = V_{max} \sin(2\pi ft) \quad (2.43)$$

Apabila gelombang keluaran  $v_{out}$  hanya terdiri dari tiga komponen, maka

$$v_{out} = a_0 + a_1 v_{in} + a_2 v_{in}^2 \quad (2.44)$$

$$v_{out} = a_0 + a_1 V_{max} \sin(2\pi ft) + a_2 [V_{max} \sin(2\pi ft)]^2 \quad (2.45)$$

$$v_{out} = a_0 + a_1 V_{max} \sin(2\pi ft) + a_2 V_{max}^2 \frac{1}{2} [1 - \cos 2(2\pi ft)] \quad (2.46)$$

$$v_{out} = a_0 + \frac{a_2 V_{max}^2}{2} + a_1 V_{max} \sin(2\pi ft) - \frac{a_2 V_{max}^2}{2} \cos 2(2\pi ft) \quad (2.47)$$

Gelombang keluaran terdiri dari komponen *DC*, komponen frekuensi dasar, dan komponen harmonik kedua ( $2f$ ). Dihasilkan frekuensi baru yang tidak tampak pada masukan, yaitu frekuensi  $2f$ . Penjumlahan dari komponen-komponen tidak linier akan menghasilkan frekuensi-frekuensi harmonik yang lebih tinggi. Oleh karena itu, frekuensi-frekuensi yang dihasilkan oleh rangkaian tidak linier tergantung pada banyaknya komponen tidak linier dan banyaknya frekuensi masukan pada rangkaian.

Tidak semua gelombang *RF* merupakan gelombang sinus atau kosinus sederhana. Sebagian besar gelombang *RF* merupakan gelombang kompleks periodik. Analisa Fourier menunjukkan bahwa gelombang kompleks periodik merupakan penjumlahan dari komponen frekuensi dasar dengan komponen-komponen sinus dan kosinus dari fungsi harmonik. Oleh karena itu, daya gelombang merupakan penjumlahan dari daya frekuensi dasar dan daya pada frekuensi-frekuensi harmonik.

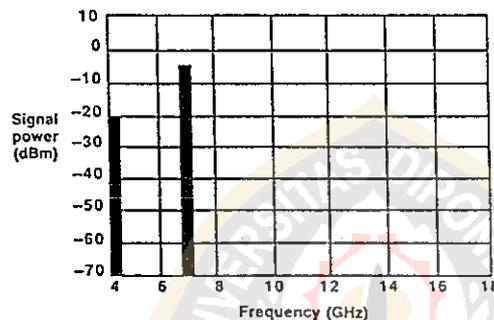
## 2.10 Pengukuran dengan *Spectrum Analyzer*

### 2.10.1 Identifikasi Komponen Frekuensi dan Penentuan Daya

Menurut Hund (1989), penentuan komponen frekuensi dan daya dapat dilakukan dengan mudah menggunakan *analyzer*. *Spectrum analyzer* dioperasikan pada mode pita lebar (*wideband*), seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.19.

Frekuensi dibaca pada skala *horizontal*, sedangkan daya dibaca pada skala *vertical*. Pembacaan dapat dilakukan dengan menggunakan *marker reference* yang dapat digerakkan sepanjang sumbu *horizontal*. Frekuensi dan daya yang ditunjuk oleh marker dapat langsung dibaca pada *digital display* yang tersedia (Hund, 1989). Satuan daya yang digunakan pada *spectrum analyzer* adalah dalam dBm, apabila dikonversikan ke mW adalah

$$P(\text{mW}) = \text{antilog} \frac{P(\text{dBm})}{10} \quad (2.48)$$



Gambar 2.19. *Display spectrum analyzer* dengan skala daya logaritmik (Hund, 1989).

### 2.10.2 Pengukuran Distorsi Harmonik Gelombang

Menurut Hund (1989), distorsi harmonik digunakan untuk menyatakan perbandingan daya frekuensi harmonik terhadap daya frekuensi dasar. Dimisalkan hanya terdapat satu frekuensi harmonik, yaitu harmonik kedua. Perbedaan daya frekuensi harmonik kedua terhadap daya frekuensi dasar diberikan oleh

$$P = \text{dBm}_2 - \text{dBm}_1 \quad (2.49)$$

dengan  $P$  menyatakan besar perbedaan daya dalam dB,  $\text{dBm}_2$  adalah daya frekuensi harmonik kedua, dan  $\text{dBm}_1$  adalah daya frekuensi dasar.

Perbandingan daya frekuensi harmonik kedua terhadap daya frekuensi dasar,  $\frac{P_2}{P_1}$ , dihitung dengan menggunakan persamaan

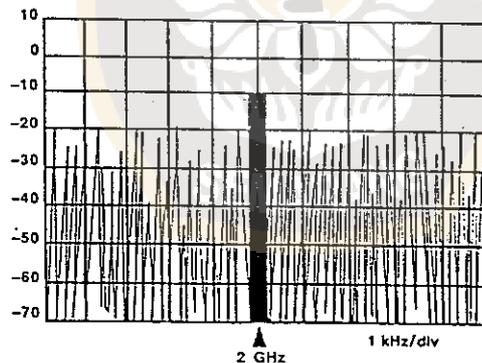
$$P = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad (2.50)$$

Persentase distorsi harmonik kedua adalah

$$\%DH_2 = \frac{P_2}{P_1} \times 100 \quad (2.51)$$

### 2.10.3 Pengukuran Perbandingan Sinyal terhadap Derau

Menurut Hund (1989), *Spectrum Analyzer* dapat digunakan untuk mengukur sinyal yang tingkatnya sangat rendah, sehingga *analyzer* dapat digunakan untuk mengukur tingkat derau, dan tingkat sinyal terhadap derau dari suatu rangkaian. Derau dan sinyal pada *spectrum analyzer* diperlihatkan pada gambar 2.20.



Gambar 2.20. Frekuensi tunggal dengan *background* derau (Hund, 1989).

Daya sinyal adalah sebesar  $-10 \text{ dBm}$ , sedangkan daya derau adalah  $-20 \text{ dBm}$ . Nilai perbandingan sinyal terhadap derau ditentukan oleh

$$\frac{s}{n} = \frac{P_{\text{sinyal}}}{P_{\text{noise}}} \quad (2.52)$$

dengan  $P_{\text{signal}}$  adalah daya sinyal dalam watt, dan  $P_{\text{noise}}$  adalah daya derau dalam watt.

