

## 2. TEORI PENUNJANG

### 2.1. Transistor

Transistor adalah suatu komponen aktif dibuat dari bahan semikonduktor. Ada dua macam transistor, yaitu transistor dwikutub (*bipolar*) yang dibentuk berdasarkan 2 tipe muatan, yaitu elektron bebas dan lubang-lubang, dan transistor efek medan (*Field Effect Transistor-FET*) yang bersifat *unipolar* karena beroperasi hanya berdasar pada sebuah tipe muatan, baik elektron bebas maupun lubang, dengan kata lain sebuah FET memiliki pembawa mayoritas bukan pembawa minoritas. Fungsi transistor yang umum digunakan di dalam rangkaian adalah sebagai penguat, artinya sinyal lemah pada inputan diubah menjadi sinyal kuat pada *output*. FET dibagi menjadi dua bagian yaitu MOSFET dan JFET.

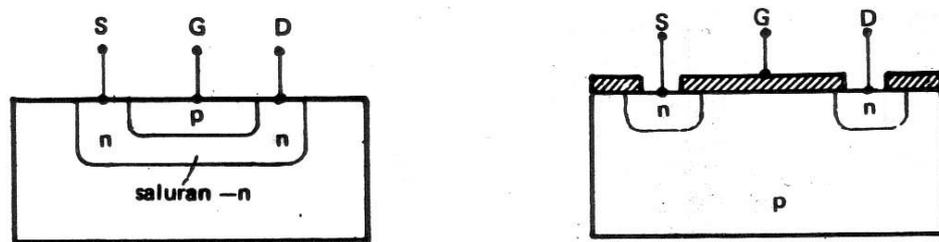
#### 2.1.1. MOSFET

*Metal Oxide Semikonduktor* FET atau MOSFET memiliki sebuah *source*, *gate*, dan *drain*, akan tetapi MOSFET berbeda dengan JFET, dalam hal ini *gate* diisolasi dari *source*, oleh karena itu, arus *gate* lebih kecil daripada yang ada di JFET. MOSFET kadang-kadang disebut juga dengan IGFET, yang merupakan kepanjangan dari *insulated gate* FET.

Ada dua jenis MOSFET, yaitu tipe *depletion mode* dan tipe *enhancement mode*. Dalam pengaplikasiannya, *depletion mode* MOSFET tidak banyak digunakan.

*Enhancement mode* MOSFET, secara luas digunakan dalam kedua macam rangkaian baik diskrit maupun terpadu. Dalam rangkaian diskrit, kegunaan utamanya adalah untuk pensaklaran daya, yang berarti mengubah arus besar menjadi hidup dan mati. Dalam rangkaian terpadu, kegunaan utamanya adalah dalam pensaklaran digital, proses dasar di belakang komputer modern.

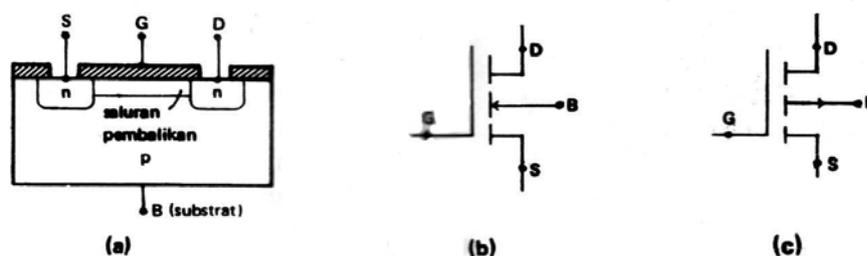
### 2.1.2. MOSFET *Enhancement Mode*



Gambar 2.1. Struktur MOSFET *Enhancement Mode*

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.183.

Pada MOSFET *enhancement mode*, jika *gate* tidak diberi tegangan bias ( $V_{GS} = 0$ ), maka tidak ada *source*. Berarti tidak ada konduksi, yaitu  $I_D = 0$  berapapun juga nilai  $V_{DS}$ . Jika *gate* diberi tegangan positif terhadap sumber, maka lubang pada bahan *p* yang berada dekat *gate* akan tertolak, dan elektron (intrinsik) yang ada dalam substrat akan tertarik ke dekat *gate*, sehingga daerah dekat *gate* bersifat seperti jenis *n*. Disini dikatakan terjadi *reverse*. Jadi, pada MOSFET tipe *enhancement* terjadi *source reverse*. Makin besar tegangan terhadap sumber makin lebar *source* inversi dan makin besar pula arus *drain*  $I_D$ . Ini ditunjukkan pada gambar 2.2

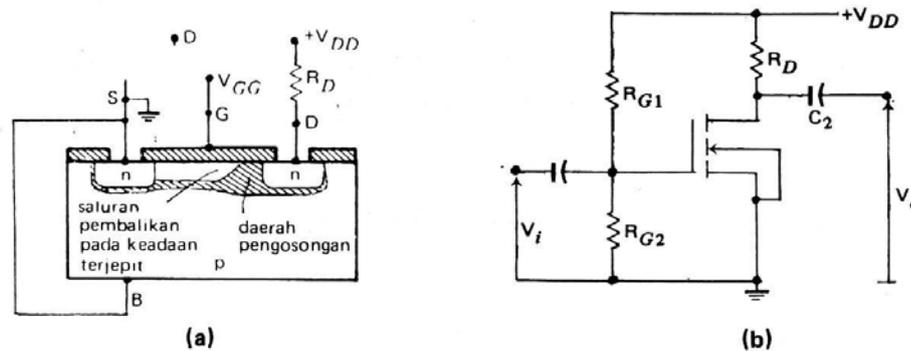


Gambar 2.2. (a) Susunan MOSFET *Enhancement Source -n* (b) Lambang MOSFET *Enhancement Source -n* (c) Lambang MOSFET *Enhancement Source -p*

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.183.

Perhatikan bahwa pada lambang MOSFET *enhancement*, *source* dilukiskan dengan garis putus-putus yang menandakan *source* terjadi oleh *reverse* bias. Pengaturan bentuk *source* oleh *gate* terjadi dengan

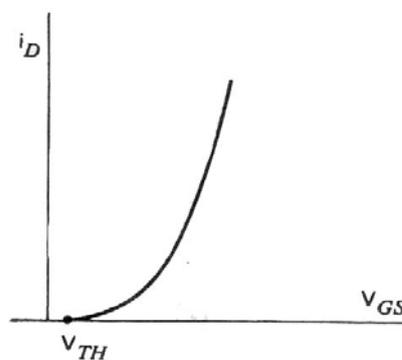
memberikan tegangan  $V_{DS}$  positif (pada MOSFET *source n*) dan  $V_{GS}$  positif. Substrat B biasanya diikatkan pada sumber S. Pada keadaan ini bentuk *source* seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. (a) Pada Keadaan Terjepit Daerah Pengosongan Menutup *Source*,  
(b) Rangkaian Penguat MOSFET Tipe *Enhancement*.

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.184.

Tampak pada bagian *drain* daerah pengosongan menebal sebab pada sambungan *n* dan *p* ada tegangan *reverse* bias yang kuat. Pada  $V_{DS}$  yang besar terjadilah ciri *pinch off*, dan *source* tertutup. Ciri alih dan *output* MOSFET dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

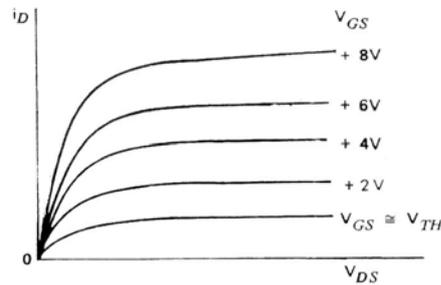


Gambar 2.4. Ciri Alih MOSFET Tipe *Enhancement*

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino. Jakarta. 2004. p.184.

Perhatikan bahwa untuk MOSFET *enhancement source n*, makin besar (positif)  $V_{GS}$  makin besar arus *drain*, disini  $V_{GS}$  tidak menyebabkan *pinch off*. Untuk  $V_{GS} < V_{TH}$  (tegangan ambang), arus *drain*  $I_D = 0$  sebab *source* belum terbentuk. *Pinch off* pada *source* terjadi oleh karena

tegangan bias pada *drain* ( $V_{DS}$ ). Ciri *output* MOSFET tipe *enhancement source n* seperti gambar di bawah ini.

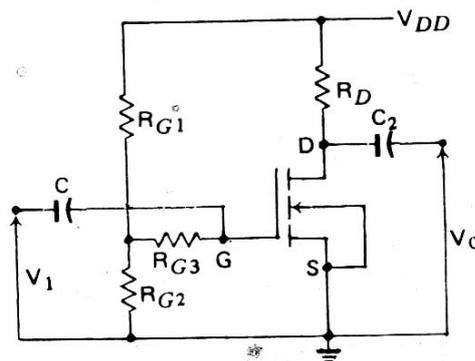


Gambar 2.5. Ciri *Output* MOSFET *Enhancement Source*

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.185.

### 2.1.3. Tegangan Bias MOSFET *Enhancement*

Tegangan bias untuk MOSFET tipe *enhancement* adalah seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.6. Tegangan Bias untuk MOSFET Tipe *Enhancement*

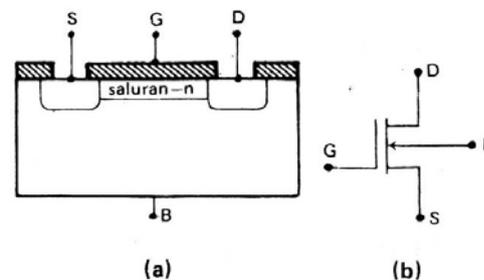
Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.185.

$$V_{GS} = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} \cdot V_{DD} \quad (2.1)$$

Dari persamaan di atas, maka nilai  $R_{G1}$  dan  $R_{G2}$  dipilih agar  $R_{G1} \parallel R_{G2}$  bernilai besar, yaitu di atas  $1 \text{ M}\Omega$ . Karena resistor dengan hambatan di atas  $1 \text{ M}\Omega$  sulit diperoleh, dapat juga digunakan  $R_{G1} \parallel R_{G2}$  yang tidak terlalu tinggi asalkan dipasang suatu resistor yang diseri dengan *gate*.

#### 2.1.4. MOSFET *Depletion Mode*

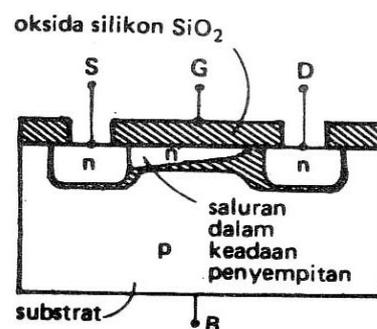
Susunan MOSFET tipe *depletion* dapat dilihat seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.7. (a) MOSFET Pengosongan *Source -n* (b) Lambang MOSFET Pengosongan *Source -n*

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.186.

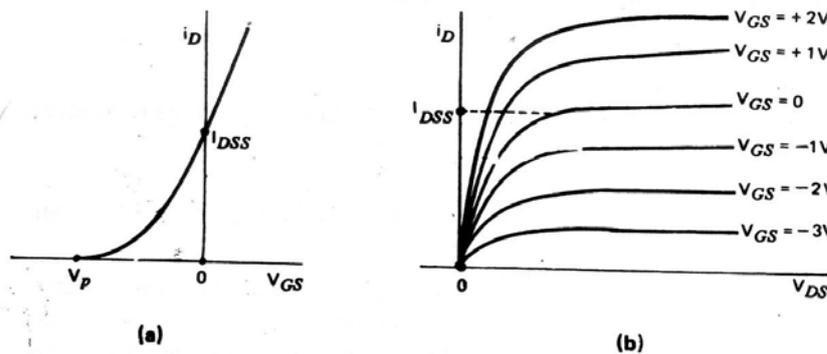
Seperti pada JFET, *gate* diberi tegangan *reverse* terhadap sumber dan pada  $V_{GS} = 0$  mengalir arus  $I_{DSS}$ . Berbeda dengan JFET, *gate* dapat diberi tegangan *forward* tanpa menurunkan impedansi *input* oleh karena adanya oksidasi silikon. Dalam keadaan *pinch off* oleh  $V_{DS}$ , *source* tertutup oleh lapisan pengosongan pada *drain*, seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.8. *Source* Tertutup pada Keadaan Tersumbat

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.187.

Ciri alih dan ciri *output* MOSFET tipe *depletion* adalah seperti pada gambar 2.9.

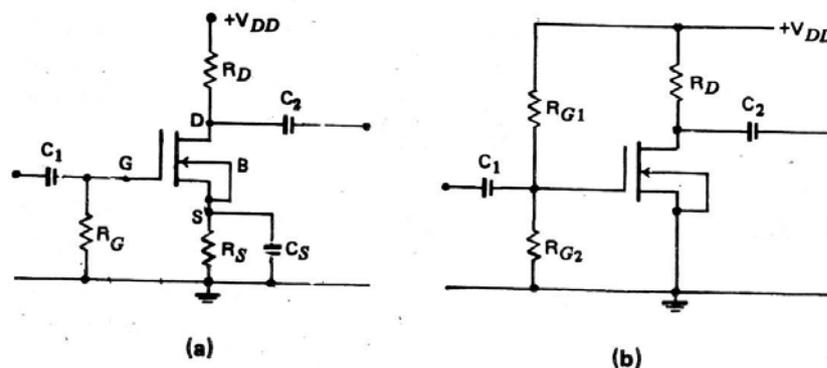


Gambar 2.9. (a) Ciri Alih (b) Ciri *Output* Transistor MOSFET *Depletion Mode*

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.187.

### 2.1.5. Tegangan Bias MOSFET *Depletion Mode*

Tegangan bias untuk MOSFET tipe *depletion mode* dapat mempunyai dua bentuk bergantung pada tegangan bias  $V_{GS}$ , seperti pada gambar di bawah ini.



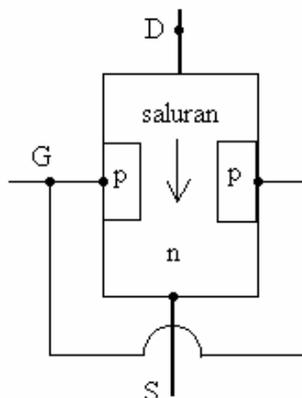
Gambar 2.10. (a) Tegangan *Reverse* Pada  $V_{GS}$  (b) Tegangan *Panjar Maju* pada  $V_{GS}$ .

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.187

### 2.1.6. JFET

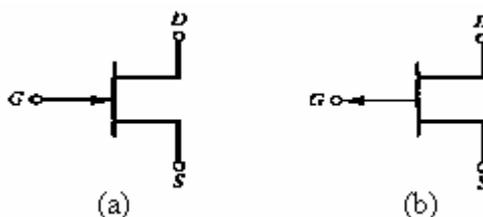
JFET terbuat dari bahan semikonduktor  $p$  dan  $n$  seperti pada gambar 2.11. Transistor JFET mempunyai tiga buah kaki yaitu *drain* (D), *gate* (G), dan *source* (S). Arus *drain* (D) melalui satu macam bahan semikonduktor jenis  $n$  pada gambar 2.11.

Daerah yang dilingkupi *gate* disebut *source*. Pada gambar 2.11 transistor JFET yang ditunjukkan mempunyai *source n*. Orang juga membuat JFET *source p*. Lambang JFET adalah seperti pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Struktur Transistor JFET

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.188.



Gambar 2.12. (a) Lambang JFET *Source N* (b) Lambang JFET *Source P*  
 Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.189.

Pada JFET *source n* pembawa muatan yang bergerak adalah elektron bebas, sehingga *drain* haruslah dihubungkan dengan kutub positif baterai setelah melalui suatu hambatan.

Pembawa muatan bebas (*elektron*) berasal dari *source* mengalir ke *drain*. Maka untuk JFET *source n* arah arus listrik (yaitu arah gerak muatan positif) adalah dari *drain* (D) ke *source* (S).

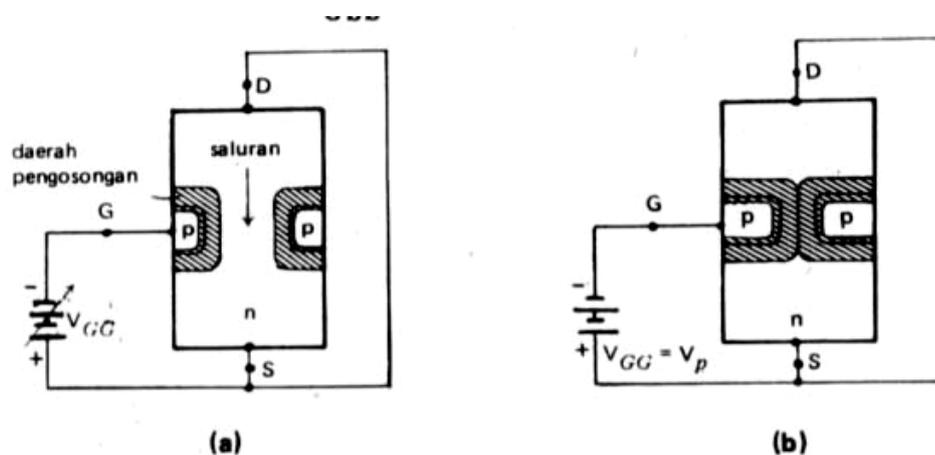
#### 2.1.7. Lengkung Ciri Statik

JFET bekerja atas dasar pengaturan lebar *source* oleh daerah pengosongan yang terjadi pada sambungan *p – n* antara *gate* dan *source*. Daerah pengosongan adalah daerah di sekitar sambungan *p – n* dimana

tidak ada pembawa muatan bebas. Daerah pengosongan terjadi oleh karena elektron dari bahan  $n$  menyeberang sambungan  $p - n$  dan masuk ke dalam daerah  $p$  dan lubang dari daerah  $p$  berdifusi masuk ke dalam daerah  $n$ . Karena itu sebelah  $n$  menjadi bermuatan positif dan sebelah  $p$  menjadi bermuatan negatif, sehingga pada sambungan  $p$  dan  $n$  terbentuk medan listrik dan juga beda (bukit) potensial.

Adanya medan listrik ini menahan kelanjutan peristiwa difusi, sehingga di sebelah menyebelah sambungan terjadi daerah pengosongan dimana tak ada pembawa muatan bebas. Lebar daerah pengosongan dapat diatur oleh besar tegangan *reverse* yang dipasang pada sambungan. Makin besar tegangan *reverse*, makin tebal daerah pengosongan yang terjadi.

Misalkan pada JFET *drain* dan *source* dihubungkan singkat dan *gate* diberi tegangan *reverse* terhadap *source* (gambar 2.13). Beda tegangan antara *gate* dan *source* dengan *drain* terhubung singkat pada *source* dan disebut  $V_{GSS}$ .



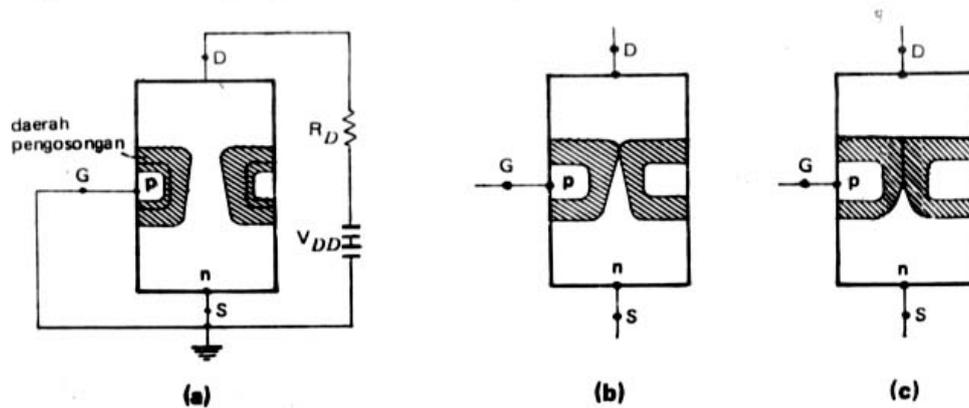
Gambar 2.13. (a) *Source* Menyempit jika Gate Diberi Tegangan *Reverse*,  
(b) *Source* Tertutup jika  $V_{GSS} = V_p$

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.175.

Jika  $V_{GSS} = 0$ , daerah pengosongan sangat sempit sehingga *source* lebar dan hambatan *source* kecil. Jika  $V_{GSS}$  diperbesar, daerah *source* menebal sehingga *source* menyempit dan hambatan *source* membesar.

Hambatan konduktor padat berbanding terbalik dengan luas penampang. Jika  $V_{GS}$  diperbesar terus pada suatu nilai  $V_{GS}$  daerah

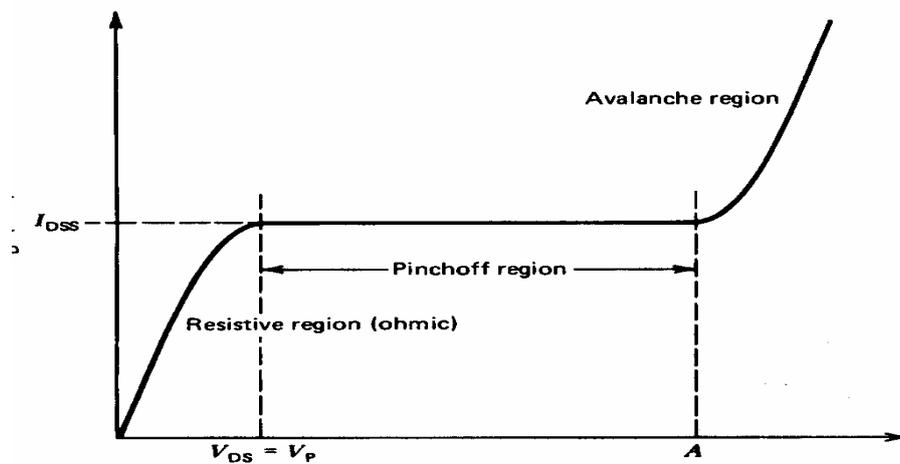
pengosongan sebelah kiri dan sebelah kanan *source* bertemu dan *source* tertutup. Dikatakan terjadi *pinch off* pada *source* dan tegangan  $V_{GS}$  dimana ini terjadi disebut tegangan *pinch off* dan ditulis  $V_P$ . Jika antara *drain* dan *source* diberi tegangan bias, sedang *gate* dan *source* dihubungkan singkat ( $V_{GS} = 0$ ), maka bentuk daerah pengosongan adalah seperti pada gambar 2.14.



Gambar 2.14. (a)  $V_{DS}$  Belum Berubah Menutup *Source* (b)  $V_{DS} = V_P$  *Source* Tertutup (c)  $V_{DS} > V_P$  *Source* Tertutup.

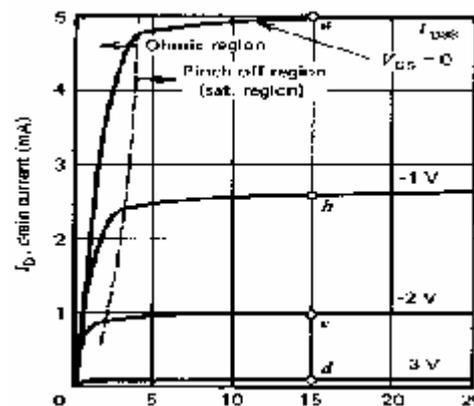
Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.176.

Tampak ada bagian *drain* daerah pengosongan lebih tebal oleh karena tegangan pada *source*, sehingga tegangan *reverse* pada bagian *drain* lebih besar daripada bagian *source*. Jika  $V_{DS}$  diperbesar, daerah pengosongan akan menutup *source* bagian atas. Ini terjadi jika  $V_{DS} = V_P$  juga. Jika  $V_{DS}$  diperbesar terus melebihi  $V_P$  (tegangan *pinch off*), arus tak banyak berubah. Untuk  $V_{DS} = V_P$  arus  $I_{DS}$  ini disebut  $I_{DSS}$  yaitu dari arus *drain* ke *source*, dengan *gate* dihubungkan singkat pada *source* atau  $V_{DS} = 0$ . Ciri *drain* untuk  $V_{DS} \neq 0$  (*reverse*) ciri drain JFET adalah seperti pada gambar 2.15.



Gambar 2.15. Ciri *Output* JFET bila  $V_{GS} = 0$

Sumber Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.179.



Gambar 2.16. Ciri Statik *Drain* untuk Berbagai Harga  $V_{GS}$

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.179.

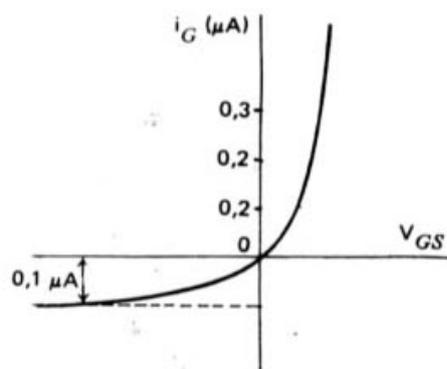
Untuk  $V_{GS} \neq 0$  (*reverse*) *source* sudah menyempit oleh karena terjadi tegangan *reverse* pada *p* dan *n* (antara *gate* dan *source*). Akibat penyempitan terjadi lebih awal dan arus *drain* lebih cepat menjadi tetap terhadap  $V_{DS}$ . Ini ditunjukkan pada gambar 2.16.

Sehubungan dengan ciri statik *output* JFET, perhatikan hal berikut. Arus *drain*  $I_D$  dipengaruhi oleh beda tegangan  $V_{GS}$ . Ini berbeda dengan transistor dwikutub yang arus kolektornya sebanding dengan arus *basis*. Sifat JFET ini juga berlaku untuk MOSFET, sehingga dikatakan bahwa FET adalah komponen aktif yang dikendalikan tegangan. Hal ini juga

berlaku pada tabung hampa (tabung radio). Kemiringan lengkung ciri statik *output*  $V_{DS} < V_P$  bergantung pada  $V_{DS}$ . Ini berarti pada keadaan ini JFET berlaku sebagai resistor yang hambatannya diatur oleh  $V_{GS}$ . Ciri statik untuk  $V_{GS} > 0$  tidak dilukiskan, oleh karena pada keadaan ini transistor berada pada keadaan tegangan *forward* dan mempunyai hambatan sinyal kecil amat rendah antara *gate* dan *source*.

#### 2.1.8. Ciri *Input*

Ciri *input* yaitu hubungan antara  $I_G$  dan  $V_{GS}$  ditunjukkan pada gambar 2.17.



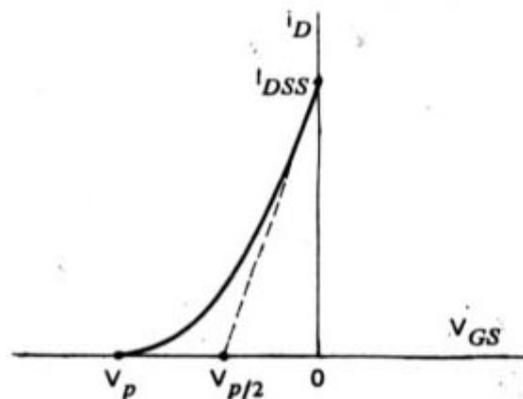
Gambar 2.17. Ciri Statik *Input* JFET

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.177.

Ciri statik *input* tidak lain adalah ciri dari dioda, yaitu dioda di antara *gate* dan *source*. Dalam keadaan tegangan *reverse*, arus yang mengalir masuk *gate* adalah dalam tingkat di bawah  $\mu A$ .

#### 2.1.9. Ciri Alih

Oleh karena arus  $I_D$  dipengaruhi oleh beda tegangan  $V_{GS}$ , digunakan *ciri alih* yang memberi hubungan antara arus *output*  $I_D$  dan tegangan *input*  $V_{GS}$ . Ciri alih JFET adalah seperti pada gambar 2.18.



Gambar 2.18. Ciri Alih JFET.

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.177.

Tampak pada  $V_{GS} = -1 V_p$ , I arus *drain*  $I_D = 0$ , dan juga pada daerah ini lengkungan ciri alih melengkung atau tak linier. Bentuk ciri alih mirip suatu parabola dan bentuk fungsinya dapat didekati sebagai berikut :

$$i_D = I_{DSS} \left( 1 + \frac{V_{GS}}{V_p} \right)^2 \quad (2.2)$$

perhatikan bahwa disini  $V_p$  adalah suatu besaran positif.

Kemiringan lengkung ciri alih adalah

$$g_m = \frac{di_D}{dV_{GS}} \quad (2.3)$$

yang disebut *transkonduktansi*.

*Transkonduktansi* dapat diturunkan lagi menjadi

$$\begin{aligned} g_m &= \frac{di_D}{dV_{GS}} = + \frac{2I_{DSS}}{V_p} \left( 1 + \frac{V_{GS}}{V_p} \right) = \frac{2I_{DSS}}{V_p} \left( 1 + \frac{V_{GS}}{V_p} \right) \\ &= g_{m0} \left( 1 + \frac{V_{GS}}{V_p} \right) \end{aligned}$$

dengan

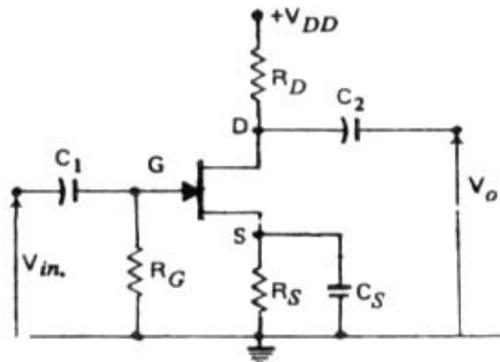
$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{V_p} \quad (2.4)$$

adalah  $g_m$  untuk  $V_{GS} = 0$ , yaitu untuk  $I_D = I_{DSS}$ .

*Transkonduktansi*  $g_m$  tak lain adalah parameter  $y$ , untuk rangkaian setara –  $y$  source di-ground-kan (*common source*). Dengan mengetahui  $I_{DSS}$ , dan  $V_p$  dapat ditentukan  $g_{m0}$  dan selanjutnya  $g_m$  (jika  $V_{GS}$  diketahui). Kedua parameter di atas ( $I_{DSS}$  dan  $V_p$ ) dapat ditentukan dari ciri *output* JFET.

#### 2.1.10. Tegangan Bias Pada Penguat JFET

Pada JFET, *gate* harus diberi tegangan *reverse* terhadap *source*. Untuk JFET *source – n*,  $V_{GS} < 0$  atau  $V_S > V_G$ . Cara yang sederhana untuk mencapai ini ditunjukkan pada gambar 2.19.



Gambar 2.19. Penguat JFET dengan Tegangan Bias Dalam.

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.178.

Arus yang mengalir ke dalam *gate* adalah arus *reverse* karena *gate* pada tegangan *reverse* terhadap *source*. Arus disini mempunyai nilai sekitar 1 nA pada 25°C dan 100 nA pada 120°C, jadi kurang dari 0,1  $\mu$ A. Resistor  $R_G$  dipasang untuk membuang arus *gate* ke *ground*, agar tak terkumpul di kapasitor  $C_1$ . Resistor  $R_G$  disebut resistor *bocor gate*, biasanya dipilih nilainya agar  $I_{GSS}R_G \ll 1$  V, yaitu kira – kira  $R_G \cong 1$  M. Akibatnya, potensial *gate* terhadap *ground*  $V_G \ll 1$  V, yaitu boleh dianggap pada potensial *ground*. Selanjutnya

$$V_{GS} = V_G - V_S = 0 - V_S = -V_S$$

Sehingga tegangan bias

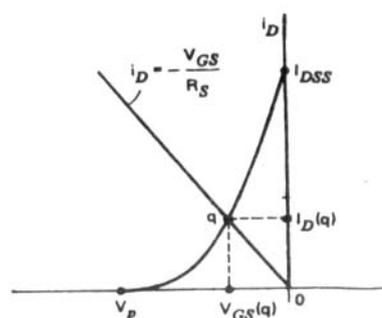
$$V_{GS} = -V_S = -I_S R_S = -I_D R_S$$

Karena  $I_S = I_D$

Jika persamaan dibalik, yaitu

$$I_D = -\frac{V_{GS}}{R_S} \quad (2.5)$$

Didapat grafik garis lurus antara  $I_D$  dan  $V_{GS}$ , yang dapat dilukiskan pada ciri alih, seperti pada gambar 2.20.



Gambar 2.20. Garis Beban pada Ciri Alih

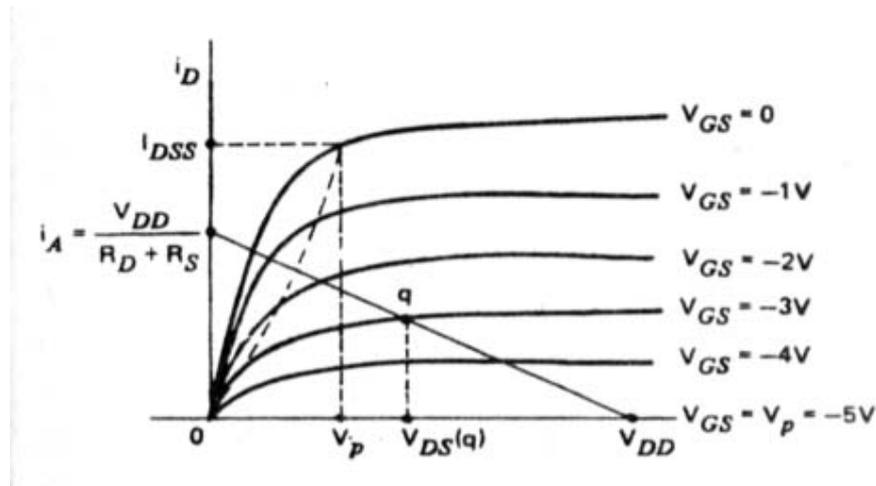
Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.179.

Titik potong antara garis beban alih

$$I_D = -\frac{V_{GS}}{R_S} \quad (2.6)$$

dan ciri alih memberikan titik  $q$ , yaitu nilai untuk  $I_D (q)$  dan  $V_{GS} (q)$ . Persoalan dapat dibalik yaitu ditetapkan  $I_D (q)$  atau  $V_{GS} (q)$  dan ditentukan  $R_S$  dari kemiringan garis beban alih.

Dapat dipilih nilai  $I_D (q)$  dengan melihat ciri *output* dan pertimbangan agar titik  $q$  ada di tengah garis beban, seperti pada gambar 2.21.



Gambar 2.21. Lengkung Ciri Statik *Output* dan Garis Beban

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.179.

Untuk menentukan garis beban, ditentukan lebih dahulu  $R_D + R_S$  yang dikehendaki berdasarkan pertimbangan garis yang diinginkan. Setelah  $I_D(q)$  tertentu,  $V_{GS}$  dan  $R_S$  dapat dihitung dari lengkung ciri alih yang telah dibuat berdasarkan hubungan :

$$I_D = I_{DSS} \left( 1 + \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 \quad (2.7)$$

Atau langsung dengan menentukan (kira -kira) nilai  $V_{GS}(q)$ .  $R_S$  dihitung dari

$$V_{GS}(q) = -V_S = -I_S R_S = -I_D R_S$$

$$R_S = -\frac{V_{GS}(q)}{I_D(q)} \quad (2.8)$$

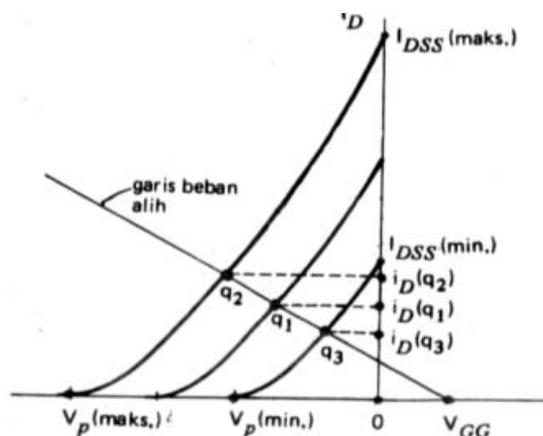
Dalam memilih  $V_{GS}(q)$ , kadang-kadang menggunakan pertimbangan untuk memperoleh titik  $q$  yang mantap terhadap perubahan suhu pada JFET. Ada dua mekanisme yang menyebabkan perubahan arus drain terhadap suhu, yaitu perubahan ketebalan daerah pengosongan yang mempunyai koefisien suhu negatif, dan perubahan  $g_m$  terhadap suhu yang mempunyai koefisien suhu positif. Pada suatu nilai  $V_{GS}(q)$  kedua mekanisme ini sama besarnya, sehingga saling meniadakan.

Nilai  $V_{GS}(q)$  dengan koefisien suhu nol adalah :  $V_{GS}(q) = -V_P + 0,63 V$  (untuk JFET *source - n*).

Tegangan bias ini sering mempunyai titik  $q$  tidak di tengah garis beban atau pada daerah ciri alih yang melengkung.

### 2.1.11. Tegangan Bias

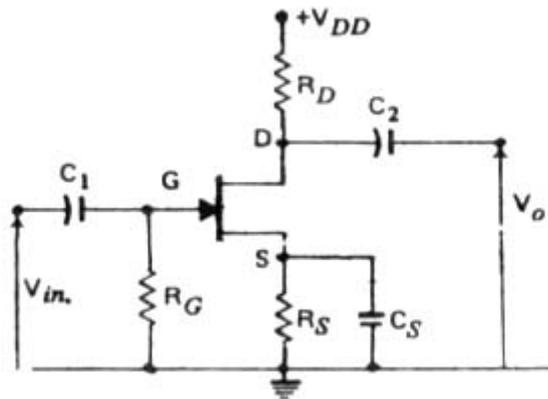
Ciri alih JFET untuk satu jenis transistor sangatlah berbeda antara satu transistor dengan yang lain. Sebagai contoh, lembar data transistor *2SK30ATM* menyatakan bahwa untuk  $V_{GS(off)} = V_P$  mempunyai nilai  $-0,4V$  (minimum) hingga  $-5V$  (maksimum), dan  $I_{DSS}$  pada  $V_{DS} = 10 V$ ,  $V_{GS} = 0$  mempunyai nilai antara  $0,3 mA$  (minimum) hingga  $6,5 mA$  (maksimum). Hal ini berarti, jika diinginkan agar untuk berbagai transistor untuk jenis sama penguat tidak banyak berubah cirinya, harus menggunakan cara perpitaan melihat gambar seperti di bawah ini. Misalkan untuk dua nilai ekstrem  $I_{DSS}$  dan  $V_P$  adalah seperti pada gambar 2.22.



Gambar 2.22. Garis Beban Alih beserta Tiga Buah Ciri Alih untuk JFET.  
Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi.  
Jakarta. 2004. p.180.

Titik  $q_2$  adalah titik  $q$  untuk JFET dengan  $I_{DSS}$  (maks) dan  $V_P$  (maks) dan  $q_3$ , titik  $q$  untuk JFET dengan  $I_{DSS}$  (min). Agar  $I_d(q)$  untuk berbagai transistor dengan jenis sama tak melebihi jangka  $I_d(q_2)$  dan  $I_d(q_3)$ , garis beban alih haruslah seperti pada gambar 2.22.

Garis beban ini memotong sumbu  $V_{GS}$  pada  $V_{GS} = V_{GG}$ , yang berarti *gate* harus diberi tegangan bias, seperti pada gambar 2.22.



Gambar 2.23 Tegangan Bias pada Penguat JFET

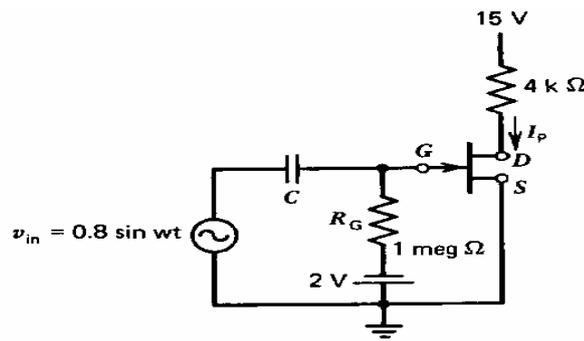
Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.181.

Karena arus yang mengalir melalui *gate di bawah*  $1 \mu\text{A}$ , maka nilai  $R_{G1}$  dan  $R_{G2}$  dapat diambil besar (agar memberikan impedansi *input* yang cukup besar). Nilai  $R_S$  dapat dihitung dari kemiringan garis beban alih pada gambar 2.23.

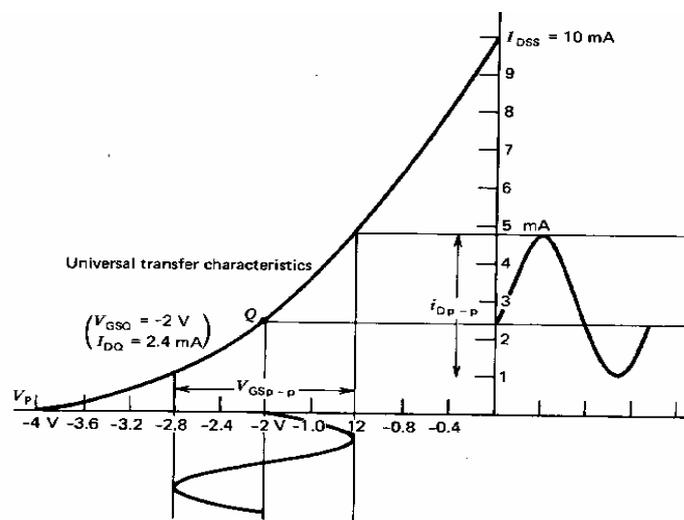
#### 2.1.12. Analisa AC dari JFET untuk *Small Signal*

Prinsip kerja dari JFET adalah tegangan *gate controlling* arus *drain*, seperti yang terlihat pada persamaan *Shockley*, yaitu hubungan antara tegangan DC *gate-source* ( $V_{GS}$ ) dan arus *drain* ( $I_D$ ). Pada analisa AC harus diperhatikan perubahan pada  $V_{GS}$  ( $\Delta V_{GS}$ ) yang berhubungan dengan perubahan pada  $I_D$  ( $\Delta I_D$ ).

Grafik yang menggambarkan hubungan tegangan-arus AC ditunjukkan pada gambar di bawah (gambar 2.24 b). Pada gambar tersebut diasumsikan bahwa JFET memiliki harga  $I_{DSS} = 10 \text{ mA}$ ,  $V_P = -4 \text{ V}$  dan titik kerjanya  $V_{GSQ} = -2 \text{ Volt}$ .



(a) Rangkaian



(b) Grafik Analisa Sinyal

Gambar 2.24. Analisa Sinyal AC secara Grafis

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.184.

Amplitudo tegangan 0,8 Volt dari  $V_{in}$  menyebabkan harga  $V_{GS}$  bervariasi antara  $-2,8$  Volt ( $-2 - 0,8$ ) dan  $-1,2$  Volt ( $-2 + 0,8$ ), sehingga  $\Delta V_{GS} = \pm 0,8$  Volt ( $1,6 V_{p-p}$ ).

Variasi pada  $V_{GS}$  ini menghasilkan perubahan pada  $I_D$  (1 sampai dengan 4,8 mA) atau  $\Delta I_D = 3,8 \text{ mA}_{p-p}$ . Karena ketidak linieran dari kurva  $V_{GS}$  versus  $I_D$ , arus AC dari *drain* menjadi tidak simetri, sehingga tidak dapat menjadi *sinusoidal* murni (untuk mengatasi *distorsi* ini, maka *input* sinyal ( $V_{in}$ ) harus dibuat lebih kecil.)

### 2.1.13. *Transkonduktansi* ( $G_m$ )

Sekarang perhatian dialihkan kepada hubungan  $\Delta I_D$  dan  $\Delta V_{GS}$  atau  $I_D$  dan  $V_{GS}$ . Perbandingan (rasio) antara keduanya ( $\Delta I_D/\Delta V_{GS}$ ) tidaklah konstan, tetapi bergantung kepada karakteristik dari transistor ( $V_P$  dan  $I_{DSS}$ ), dan titik kerjanya. Perbandingan  $\Delta I_D/\Delta V_{GS}$  atau  $I_D/V_{GS}$  didefinisikan sebagai *transkonduktansi* dari FET dan diberi notasi  $g_m$ . *Transkonduktansi* artinya adalah parameter transfer antara *input* dan *output* dan mempunyai satuan konduktansi mho ( $\Omega^{-1}$ ).

$$g_m = \Delta I_D/\Delta V_{GS} = I_D/V_{GS} \quad (2.9)$$

Apabila harga  $g_m$  diketahui,  $I_D$  dapat dicari dari harga  $V_{GS}$  yang di berikan.

$$I_D = g_m \times V_{GS} \quad (2.10)$$

Untuk harga  $\Delta V_{GS}$  sangat kecil ( $\Delta V_{GS} \rightarrow 0$ ), maka :

$$\Delta I_D/\Delta V_{GS} = dI_D/dV_{GS} \quad (2.11)$$

$I_D$  dari persamaan *Shockley* di-diferensial-kan terhadap  $V_{GS}$ , akan didapat :

$$dI_D/dV_{GS} = [-2 I_{DSS}/V_P] [1 - (V_{GS}/V_P)] = g_m \quad (2.12)$$

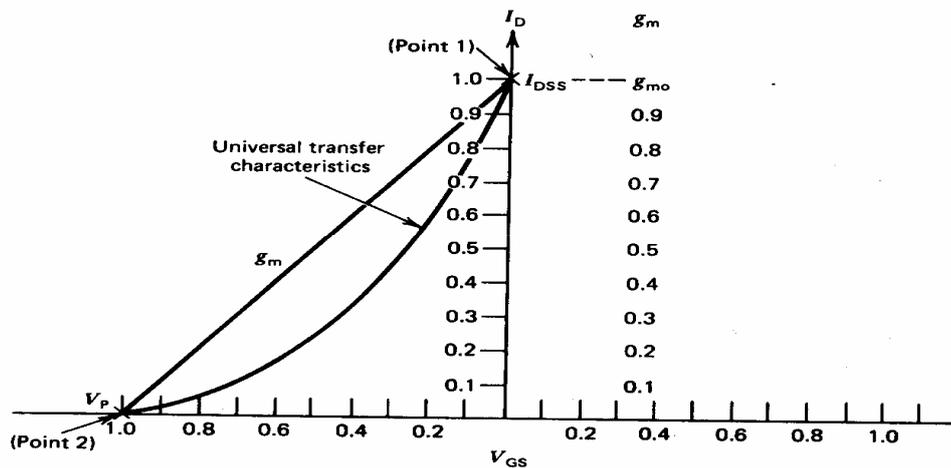
$$g_m = g_{mo} [1 - (V_{GS}/V_P)] \quad (2.13)$$

dimana

$$g_{mo} = -2 I_{DSS}/V_P \quad (2.14)$$

Nilai numerik dari  $g_{mo}$  adalah merupakan karakteristik dari transistor. Dari persamaan di atas, terlihat bahwa harga  $g_{mo}$  adalah harga dari  $g_m$  (apabila  $V_{GS} = 0$  dan  $I_D = I_{DSS}$ ). Harga  $g_m$  dan  $g_{mo}$  nilainya selalu positif, baik untuk *N-channel* maupun *P-channel*.

Harga dari  $g_m$  sangat penting untuk analisa AC dari rangkaian. Karena harga  $g_m$  bergantung kepada harga  $V_{GS}$ , maka untuk menghitung  $g_{mQ}$ ,  $V_{GSQ}$  harus dicari terlebih dahulu. Untuk menghitung  $g_{mQ}$  dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan cara aljabar dan cara grafis.



Gambar 2.25. Kurva  $g_m$

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.231.

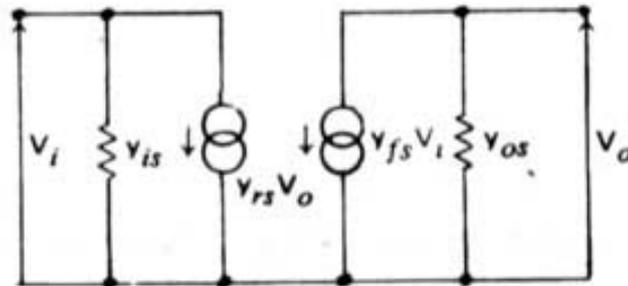
Untuk membuat koordinat dari kurva  $g_m$  versus  $V_{GS}$ , maka perlu membuat sumbu horisontal (*absis*)  $V_{GS}$  dan sumbu vertikal (*ordinat*)  $g_m$ . Untuk itu, diperlukan membuat skala baru pada sumbu vertikal (sumbu  $I_D$  sebagai acuan). Penyelesaian secara grafis untuk mendapatkan  $g_{mQ}$ , adalah menggambarkan kurva  $g_m$  versus  $V_{GS}$  pada kurva  $I_D$  versus  $V_{GS}$ . Karena kurva  $g_m$  versus  $V_{GS}$  adalah garis lurus, maka diperlukan dua buah titik yaitu :

$$\begin{aligned} V_{GS} &= 0 & g_m &= g_{m0} \text{ (titik 1)} \\ V_{GS} &= V_P & g_m &= 0 \text{ (titik 2)} \end{aligned}$$

Untuk mencari  $g_{mQ}$  secara grafis, yaitu dengan menarik garis vertikal ke atas dari titik Q sampai memotong kurva  $g_m$ . Dari titik potong tersebut dapat dibaca harga  $g_{mQ}$  pada skala  $g_m$  (skala vertikal).

#### 2.1.14. Rangkaian Setara JFET

JFET mempunyai impedansi *input* dan impedansi *output* yang tinggi. Rangkaian setara sinyal kecil yang baik digunakan adalah rangkaian setara – Y, seperti pada gambar 2.25.



Gambar 2.26. Rangkaian Setara – y JFET

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.181.

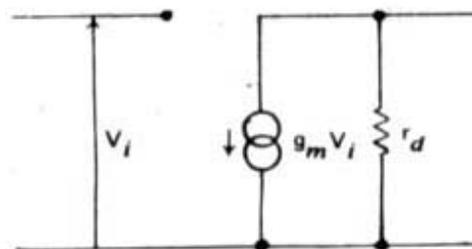
Parameter  $y_{is}$  adalah *admitansi input* untuk *source* di-ground-kan, oleh karena impedansi masukan JFET sangat besar, maka  $y_{is} \cong 0$ , sehingga dapat dianggap terbuka. Untuk JFET *source* di-ground-kan,  $y_{rs} = 0$  berarti sinyal *output* tak terasa pada *input*. Ini terbukti dari ciri alih yang tak tergantung pada  $V_{DS}$ .

Selanjutnya :

$$y_{rs} = g_m = g_{m0} \left( 1 + \frac{V_{GS}}{V_p} \right) \quad (2.15)$$

dengan:

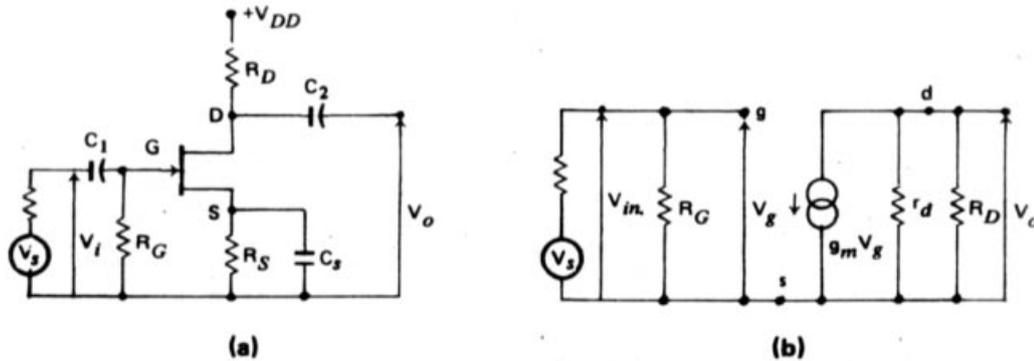
$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{V_p} \quad (2.16)$$



Gambar 2.27. Rangkaian Setara JFET.

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.181.

Dari ulasan di atas rangkaian setara untuk JFET *source* di-groundkan dapat dilukiskan seperti pada gambar 2.26. Sebagai contoh rangkaian setara penguat pada gambar 2.27a, ditunjukkan pada gambar 2.26.



Gambar 2.28. (a)Penguat JFET (b)Rangkaian Penguat Setara JFET

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.182.

Pada gambar 2.27b,  $R_S$  tidak dilukiskan karena arus sinyal melalui  $C_S$  yang bernilai besar, sehingga *source* dihubungkan *ground*. Kapasitor  $C_1$  dan  $C_2$  dianggap terhubung singkat pada frekuensi tengah. Penguatan dapat dihitung sebagai berikut :

$$V_o = - (g_m V_{gs}) (r_d // R_D) \quad (2.17)$$

$$K_v = \frac{V_o}{V_i} = -g_m (R_d // R_D)$$

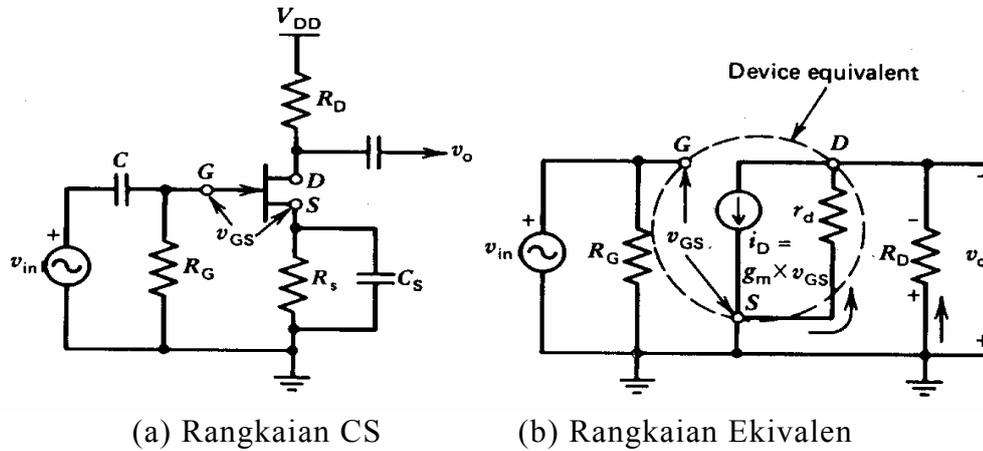
$$V_i = V_g$$

Jika diketahui  $I_{DSS}$  dan tegangan *pinch off*  $V_p$ , *transkonduktansi*  $g_m$  dapat dihitung dari

$$g_m = g_{m0} \left( 1 + \frac{V_{GS}(q)}{V_p} \right) = \frac{2I_{DSS}}{V_p} \left( 1 + \frac{V_{GS}(q)}{V_p} \right) \quad (2.18)$$

Hambatan *input* penguat adalah  $R_i = R_G$  dan hambatan *output*  $R_o = r_d // R_D$ .

Rangkaian *comon source* mempunyai *input* di *gate* dan *output* dari *drain*, seperti terlihat pada gambar 2.28. a. Untuk menghitung penguatan tegangan, harus mengetahui harga  $g_m$  terlebih dahulu.



Gambar 2.29. Rangkaian *Common Source* dengan Fixed Bias

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.185.

Pada gambar rangkaian ekuivalen, gambar 2.28 b,  $r_d$  dan  $R_D$  adalah paralel, sehingga

$$V_o = - I_D \times r_d // R_D \quad (2.19)$$

karena  $I_D = g_m V_{GS}$ , maka

$$V_o = - g_m V_{GS} \times R_d // R_D \quad (2.20)$$

Pada gambar 2.18. b, terlihat bahwa  $V_{in} = V_{GS}$  sehingga

$$V_o = - g_m V_{in} \times R_d // R_D \text{ atau}$$

$$V_o/V_{in} = - g_m \times R_d // R_D = A_v \quad (2.21)$$

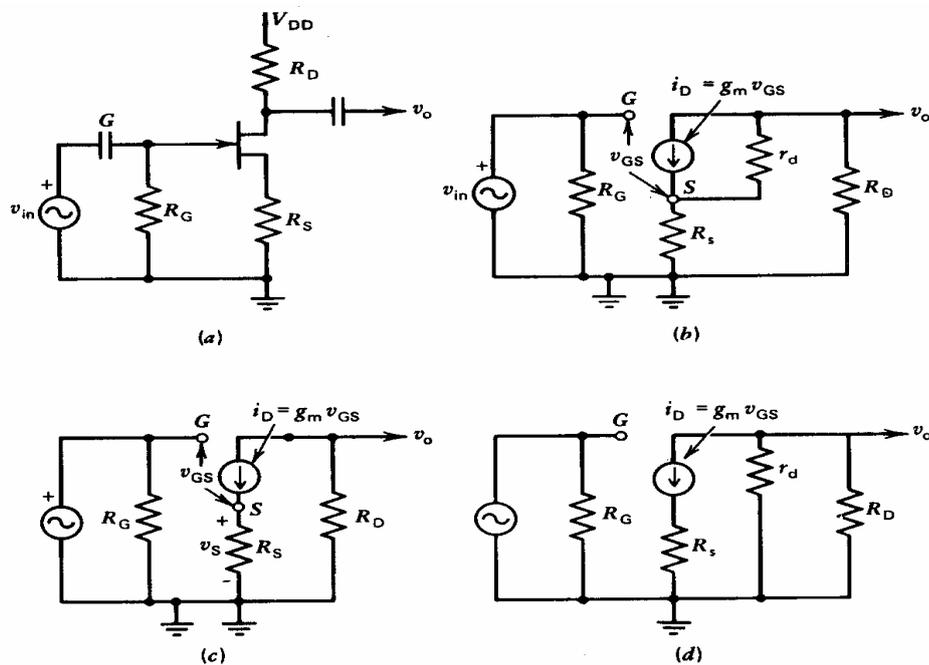
Pada banyak aplikasi, karena  $r_d \gg R_D$  maka

$$A_v \cong - g_m R_D \quad (2.22)$$

Sedangkan  $g_m$  yang dimaksud dari persamaan di atas yaitu  $g_{mQ}$ .

Pada gambar 2.30, diperlihatkan gambar rangkaian *common source* tanpa  $C_S$  beserta rangkaian ekivalen-nya. Dari gambar rangkaian ekivalen tersebut (gambar 2.30 b), terlihat bahwa  $V_{in}$  tidak sama dengan  $V_{GS}$  dan  $r_d$  tidak paralel dengan  $R_D$ , sehingga perhitungan  $A_v$  menjadi lebih kompleks.

Untuk menyederhanakan perhitungan, di asumsikan bahwa  $r_d \gg R_D$  dan  $r_d \gg R_S$ . Dasar dari asumsi ini adalah karena harga  $r_d$  biasanya 100 k $\Omega$  atau lebih, sedangkan harga  $R_D$  dan  $R_S$  hanya beberapa k $\Omega$  saja.



Gambar 2.30. Rangkaian *Common Source* Tanpa  $C_S$

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.190.

Perbedaan yang sangat besar tersebut, maka  $r_d$  dapat diabaikan, seperti terlihat pada gambar 2.30. c, sehingga

$$V_o = - I_D \times R_D = - g_m V_{GS} \times R_D \quad (2.23)$$

Dengan menggunakan hukum *Kirchoff* tegangan pada *loop input*, maka

$$\begin{aligned}
 V_{in} - V_{GS} - g_m V_{GS} R_S &= 0 \\
 V_{in} &= V_{GS} (1 + g_m R_S) \\
 V_{GS} &= V_{in} / (1 + g_m R_S)
 \end{aligned} \tag{2.24}$$

Substitusi ke persamaan sebelumnya didapat

$$\begin{aligned}
 V_o &= - g_m [V_{in} / (1 + g_m R_S)] \times R_D \\
 V_o / V_{in} &= - g_m R_D / (1 + g_m R_S) = A_v
 \end{aligned} \tag{2.25}$$

Persamaan terakhir di atas menghasilkan error lebih kecil dari 10% untuk  $r_d \cong 5 R_S$  dan  $r_d \cong 5 R_D$ . Pendekatan yang lebih baik didapat dengan mengasumsikan  $r_d$  terhubung dari *drain* ke *ground*, seperti terlihat pada gambar 2.29 d, sehingga penguatan tegangannya menjadi

$$A_v = - g_m (R_D // r_d) / (1 + g_m R_S) \tag{2.26}$$

#### 2.1.15 Rangkaian *Common Drain* (CD) atau *Source Follower* (SF)

Rangkaian *common drain* sering disebut juga *source follower*. Penggunaan rangkaian ini utamanya untuk menjadikan resistansi *output* relatif rendah. Rangkaian CD atau SF beserta rangkaian ekivalennya ditunjukkan pada gambar 2.30.

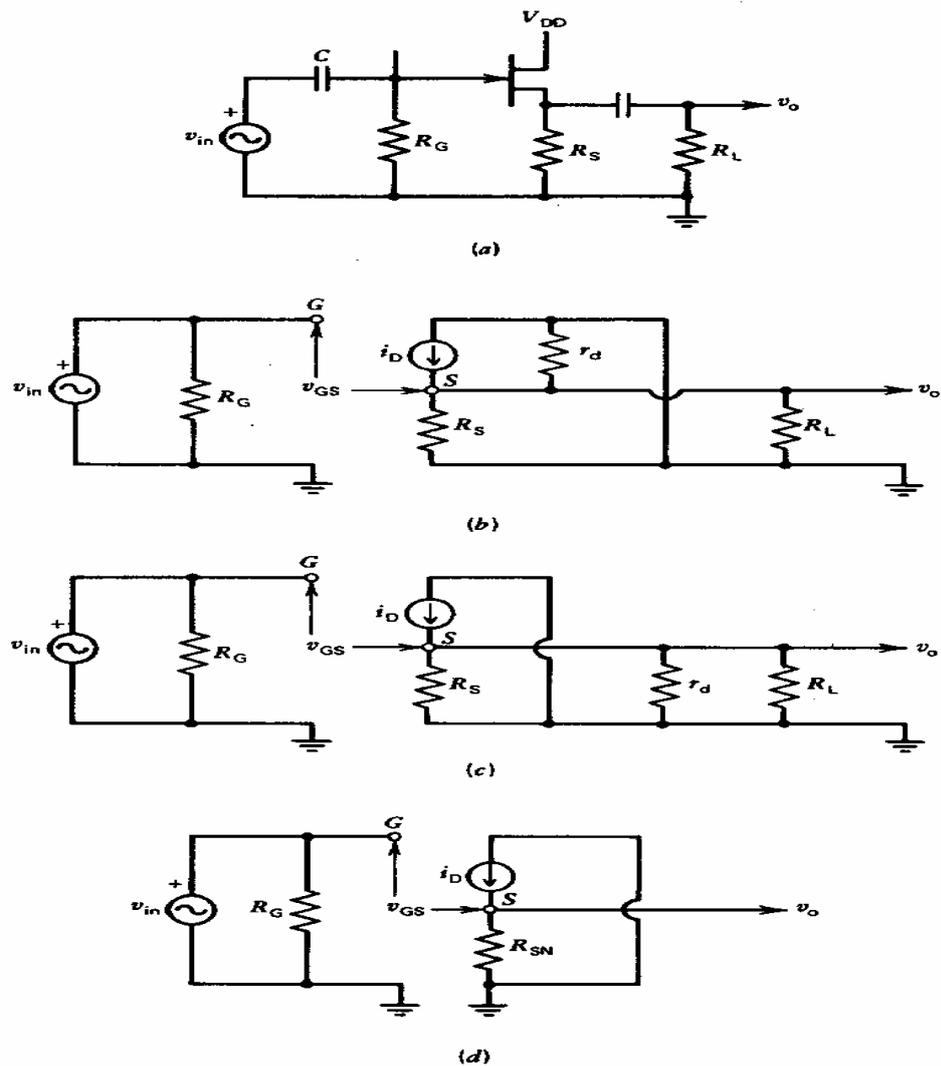
Dari gambar rangkaian ekivalen tersebut terlihat bahwa  $R_S$ ,  $r_d$  dan  $R_L$  adalah paralel, yang kemudian digantikan dengan

$$R_{SN} = R_S // R_d // R_L \tag{2.27}$$

Dari gambar rangkaian ekivalen yang terakhir (gambar 2.30 d), maka

$$V_o = i_D \times R_{SN} \tag{2.28}$$

Dengan substitusi  $I_D = g_m \times V_{GS}$ , didapat :  $V_o = g_m V_{GS} \times R_{SN}$



Gambar 2.31. Rangkaian CD atau SF beserta Rangkaian Ekuivalennya  
 Sumber : Salemba. Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika. Malvino. Jakarta.  
 2004. p.194.

Dengan mengikuti analisa pada rangkaian *common source* bahwa

$$V_{GS} = V_{in} / ( 1 + g_m R_{SN} ) \quad (2.29)$$

Kemudian dengan mengkombinasi persamaan tersebut didapat

$$V_o = g_m [ v_{in} / ( 1 + g_m R_{SN} ) ] \times R_{SN}$$

$$V_o / V_{in} = g_m R_{SN} / ( 1 + g_m R_{SN} ) = A_v \quad (2.30)$$

Dari persamaan di atas terlihat bahwa  $A_v < 1$

Seperti halnya pada rangkaian *common source*, maka

$$r_{in} = R_G \quad (2.31)$$

Dari gambar rangkaian ekivalen (gambar 2.31.), untuk menghitung resistansi *output* ( $r_o$ ) dibagi menjadi dua bagian. Bagian pertama adalah resistansi *output* ketika dilihat langsung ke *source* (*source* ke *ground*), yaitu

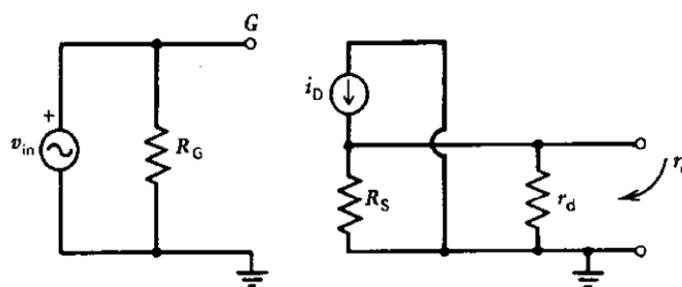
$$R_{os} = V_{GS} / I_D \quad (2.32)$$

Dari persamaan sebelumnya bahwa  $I_D = g_m \times V_{GS}$ , maka  $V_{GS} / I_D = 1 / g_m$ , Sedangkan bagian kedua adalah resistansi yang dilihat dari beban, yaitu  $R_S // r_d$ . Karena  $r_{os}$  paralel dengan  $R_S // r_d$ , maka resistansi *output* menjadi

$$R_o = ( 1 / g_m ) // R_S // R_d \quad (2.33)$$

Apabila  $r_d \gg R_S$ , maka

$$r_o \cong ( 1 / g_m ) // R_S = R_S / ( 1 + g_m R_S ) \quad (2.34)$$



Gambar 2.32. Rangkaian Ekivalen SF untuk Mencari  $R_o$

Sumber : Salemba. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Malvino Barmawi. Jakarta. 2004. p.196.

Resistansi *output* relative kecil, dan biasanya mendekati  $1 / g_m$ .

## 2.2. Mikrofon

Mikrofon sesungguhnya terdiri dari berbagai tipe, demikian juga kegunaannya. Mikrofon juga merupakan benda yang vital dalam industri hiburan dan rekaman atau studio. Untuk kebutuhan sehari-hari mikrofon dikenal sebagai perangkat dalam sistem karaoke, oleh karena penggunaan yang sangat beragam.

Dari sisi harga, bisa ditemukan mikrofon yang berharga belasan ribu hingga bilangan jutaan rupiah. Rentang harga yang sangat jauh itu otomatis membedakan kualitasnya. Tetapi itu bukan berarti mikrofon berharga mahal akan selalu cocok dengan kebutuhan. Mengenali berbagai tipe dan karakteristik mikrofon akan sangat baik sebelum menentukan pilihan yang cocok.

### 2.2.1. Tipe mikrofon

Seperti speaker, mikrofon adalah salah satu tipe *transducer*. Bedanya, prinsip kerja mikrofon justru bertolak belakang dengan speaker. Mikrofon mengubah energi akustik (gelombang suara) menjadi energi listrik (sinyal audio). Berbagai jenis mikrofon mempunyai cara yang berbeda dalam mengubah energi tersebut, tetapi pada dasarnya mereka mempunyai persamaan yakni *diafragma*.

*Diafragma* pada mikrofon berupa sebuah lempeng materi tipis, bisa dari kertas, plastik, atau aluminium yang bergetar ketika ‘ditabrak’ gelombang suara. Pada mikrofon umumnya, *diafragma* terletak di kepala mikrofon. Saat *diafragma* bergetar, ia menyebabkan komponen lain dalam mikrofon bergetar. Getaran ini kemudian di ubah menjadi arus listrik yang menjadi sinyal *audio*. Namun, meskipun mikrofon terdiri dari berbagai jenis, bisa digolongkan menjadi dua tipe, yaitu

- Berdasarkan teknologi konversi yang digunakan

Ini mengacu pada metode teknis yang digunakan mikrofon untuk mengubah gelombang suara menjadi sinyal audio. Teknologi yang umum digunakan adalah *dynamic*, *condenser*, *ribbon*, dan *crystal*.

Masing-masing dengan kelebihan dan kelemahan tersendiri, dan umumnya lebih cocok untuk kebutuhan aplikasi tertentu.

- Berdasarkan desain aplikasinya

Beberapa mikrofon didesain untuk penggunaan yang bersifat umum. Oleh karenanya jenis ini bisa digunakan secara efektif dalam banyak situasi yang berbeda. Sementara yang lainnya justru terspesialisasi dan hanya cocok untuk peruntukan tertentu. Untuk mengetahuinya, bisa mengacu pada arah (*directional*), tanggapan frekuensi, dan impedansi dari mikrofon tersebut.

### 2.2.2. Mikrofon *dynamic*

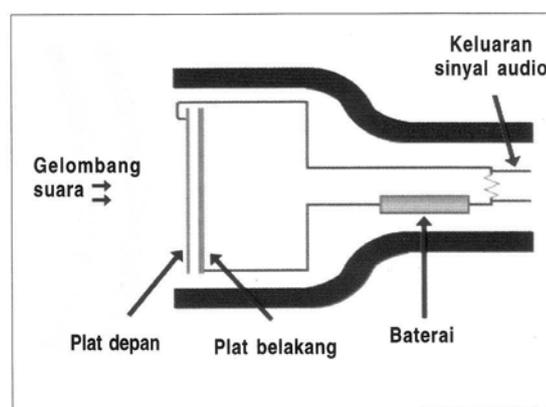
Berdasarkan teknologi pengubahan gelombang suara menjadi sinyal audio, umumnya dikenal dua jenis mikrofon, *dynamic* dan *condenser*. Mikrofon *dynamic* dapat juga disebut mikrofon serbaguna dan ideal untuk aplikasi umum. Mikrofon *dynamic* ini menggunakan desain yang sederhana dengan sedikit bagian-bagian yang bergerak (*moving parts*). Mikrofon *dynamic* juga lebih cocok untuk menangani *level* volume tinggi. Jenis ini tidak memiliki *amplifier internal* dan tidak membutuhkan baterai atau daya *eksternal*.

Sebelumnya perlu diketahui bahwa arus listrik yang dihasilkan oleh mikrofon sangat kecil sesuai dengan mikrofon *level*, besaran sinyal biasanya berkisar dalam *milivolts*. Sebelum bisa dimanfaatkan, sinyal harus dikuatkan menjadi *line level* (umumnya 0,5 sampai 2V). *Line level* adalah standar kekuatan sinyal yang digunakan oleh berbagai perangkat seperti *CD player*, *DVD player*, dan yang lainnya.

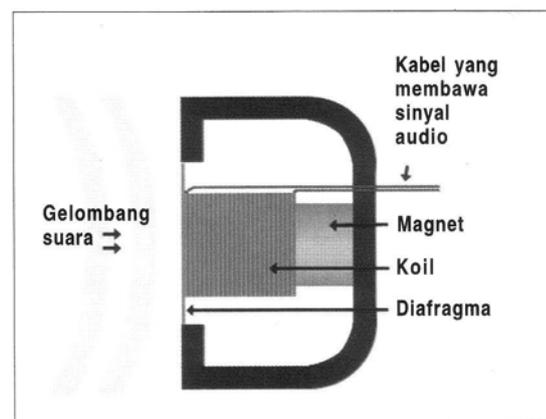
Ada berbagai cara untuk menguatkan sinyal, beberapa mikrofon menggunakan *amplifier* kecil yang tertanam *built-in* (untuk menguatkan sinyal menjadi mikrofon *level* yang tinggi atau *line level*). *Sound mixer* biasanya juga mempunyai *amplifier* kecil untuk setiap kanalnya.

Ketika sebuah *magnet* bergerak dekat koil, maka arus listrik dihasilkan pada kabel. Sesuai prinsip *electromagnet* mikrofon *dynamic* menggunakan kabel koil dan *magnet* untuk menghasilkan sinyal audio.

Saat *diafragma* bergetar ketika merespon gelombang suara, koil bergerak maju *reverse* melewati *magnet*. Hal ini menciptakan arus dalam koil yang dihubungkan ke mikrofon melalui kabel. Untuk lebih jelasnya lihat gambar 2.32.



Skema mikrofon condenser



Skema mikrofon dynamic

Gambar 2.33. Skema Mikrofon *Condenser* dan Mikrofon *Dynamic*.

Sumber : Gramedia. Vademekum Elektronika. Wasito S. Jakarta. 1989.

p.16.

### 2.2.3. Mikrofon *Condenser*

*Condenser* berarti kapasitor, sebuah komponen elektronik yang menyimpan energi dalam bentuk bidang elektrostatis. Istilah *condenser* sebenarnya kurang tepat, tapi terlanjur melekat pada mikrofon yang menggunakan kapasitor untuk mengubah energi *akustik* menjadi energi *elektrik* atau listrik. Mikrofon *condenser* membutuhkan daya dari baterai atau sumber *eksternal* lainnya. Hasilnya, sinyal audio lebih kuat daripada

mikrofon *dynamic*. Mikrofon tipe ini punya kecenderungan untuk lebih *sensitif* dan *responsif* daripada mikrofon *dynamic*. Mikrofon *condenser* ini cocok untuk menangkap nuansa halus suatu suara, tapi tidak ideal untuk bekerja dalam volume tinggi karena lebih mudah mendapat *distorsi*.

Prinsip kerja mikrofon *condenser* agak berbeda dari *dynamic*. Disini sebuah kapasitor memiliki dua plat dengan sebuah perbedaan tegangan diantaranya. Salah satu dari plat ini terbuat dari metal yang sangat ringan dan berperan sebagai *diafragma*. Plat ini bergerak ketika ditabrak gelombang suara, mengubah jarak antara kedua plat dan akibatnya mengubah kapasitansi. Ketika plat mendekat, kapasitansi meningkat dan menghasilkan arus. Proses sebaliknya terjadi ketika plat menjauh. Sebuah tegangan dibutuhkan pada kapasitor untuk sistem ini. tegangan ini dihasilkan dari baterai atau sumber daya eksternal lainnya.

Tipe lain dari mikrofon *condenser* adalah mikrofon *electret condenser*. Perbedaannya hanya pada kapasitor yang digunakan. Mikrofon *electret condenser*, menggunakan kapasitor dengan tegangan tetap yang sudah *built-in*, karena itulah tipe ini tidak membutuhkan baterai atau sumber daya *eksternal*.

#### 2.2.4. Arah

Menginjak ke tipe dua, dapat dibedakan berdasarkan arah (*directional*)-nya. Ini menjelaskan sensitivitas mikrofon terhadap suara dari berbagai arah. Beberapa mikrofon menangkap suara secara sama dari segala arah, lainnya menangkap suara hanya dari satu arah. Namun arah dari mikrofon dapat dibedakan sebagai berikut :

- *Omnidirectional*

Mikrofon ini menangkap dari segala arah. Mikrofon ini cocok untuk aplikasi sebagai berikut: menangkap *ambient noise*, situasi dimana suara datang dari segala arah dan situasi ketika posisi mikrofon tetap tapi sumber suara bergerak. Namun, mikrofon ini juga cenderung kurang fokus. Jika ingin menangkap suara dari subyek atau obyek

tertentu, kemungkinannya suara akan tertutup oleh *noise* lain atau suara sekitar.

- *Unidirectional*

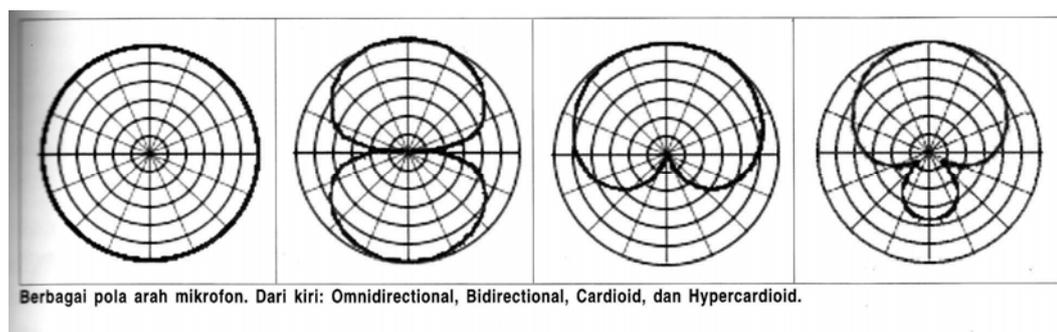
Mikrofon ini menangkap suara dari satu arah. Tipe ini termasuk mikrofon *cardioid* dan *hypercardioid*. Suara ditangkap kebanyakan dari depan, dengan porsi sedikit dari arah samping. Mikrofon ini serbaguna, ideal untuk berbagai kebutuhan. Mikrofon genggam biasanya bertipe *cardioid*. Adapun mikrofon *hypercardioid* sangat terarah dengan sedikit suara dari arah samping dan belakang.

- *Bidirectional*

Mikrofon ini menangkap suara dari dua arah berlawanan. Mikrofon ini cocok untuk situasi tertentu, misalnya saat wawancara dengan dua orang saling menghadap atau satu sama lain dan mikrofon berada di tengah.

- *Variable Directional*

Beberapa mikrofon mempunyai karakteristik arah dari ketiga di atas. Fitur ini kadang ditemukan pada mikrofon kamera video. Meski terdengar sebagai ide yang baik, tapi mikrofon seperti ini umumnya memiliki performa yang tidak begitu bagus dan kerap menciptakan *noise*. Menggunakan berbagai mikrofon berbeda, lebih bisa mendapatkan hasil yang baik.



Gambar 2.34. Berbagai Pola Arah Mikrofon. Dari Kiri: *Omnidirectional*, *Bidirectional*, *Cardioid*, dan *Hypercardioid*.

Sumber : Gramedia. Vademekum Elektronika. Wasito S. Jakarta. 1989.

p.16.

### 2.2.5. Impedansi dan Tanggapan Frekuensi

Impedansi adalah faktor yang kerap terabaikan dalam spesifikasi mikrofon. Impedansi merupakan kombinasi efek dari kapasitansi, induktansi, dan resistansi pada suatu sinyal. Ada klasifikasi umum mengenai impedansi mikrofon. Klasifikasi impedansi dibagi menjadi 3 bagian, yakni sebagai berikut:

- Impedansi rendah, kurang dari 600 Ohms.
- Impedansi medium, antara 600Ohms – 10000Ohms.
- Impedansi tinggi, lebih besar daripada 10000Ohms.

Umumnya mikrofon dengan kabel *hard-wire* dan sebagian kecil mempunyai impedansi tinggi, sementara mikrofon dengan kabel *balanced audio* dan konektor XLR biasanya berimpedansi rendah. Secara singkat bisa dikatakan semakin rendah impedansi, semakin baik respon frekuensi yang dihantarkan.

Mikrofon berimpedansi tinggi umumnya lebih murah. Kekurangannya, jenis ini tidak bagus (jika menggunakan kabel panjang). Setelah 5 – 10m, kualitas suaranya memburuk, terutama akibat adanya frekuensi tinggi yang hilang. Mikrofon seperti ini tidak cocok untuk aplikasi serius. Untuk performa terbaik, pilihlah mikrofon dengan impedansi rendah.

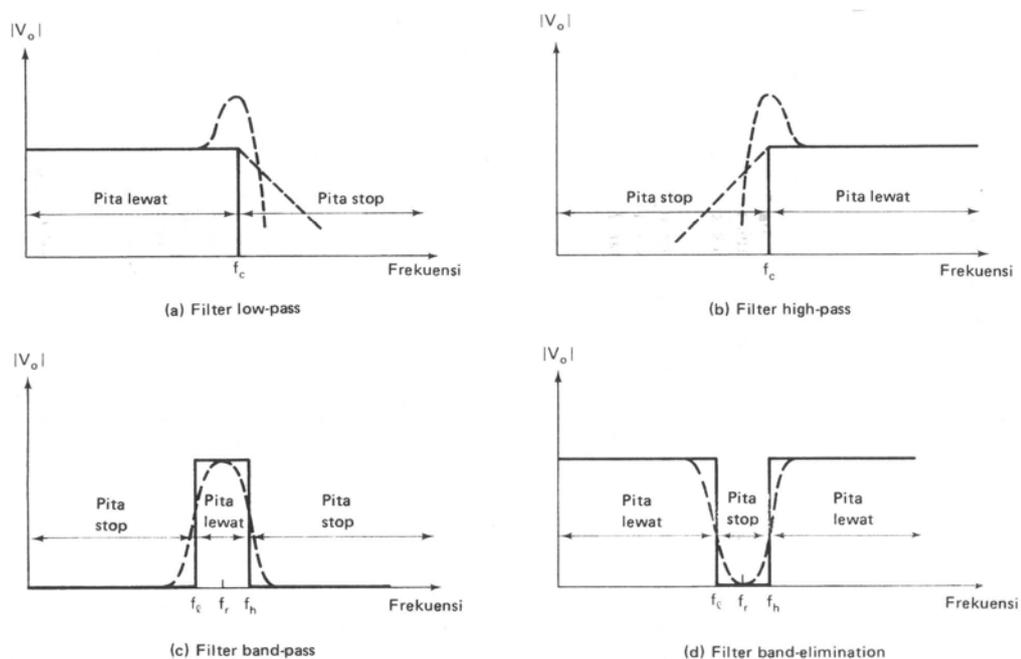
Adapun rentang tanggapan frekuensi menentukan kemampuan mikrofon menangkap frekuensi suara. 20Hz – 20KHz menjelaskan bahwa di luar frekuensi itu tidak dapat diterima secara maksimal. Sementara pola tanggapan frekuensi yang sangat bergelombang menunjukkan ada frekuensi tertentu yang berlebihan dan ada yang dikurangi. Sebagai contoh, jika polanya tampak menggebu di frekuensi tinggi, berarti suara yang dihasilkan cenderung lebih *trebel* daripada aslinya.

Tanggapan frekuensi ideal *flat* (rata) menunjukkan mikrofon ini *sensitive* terhadap berbagai frekuensi. Tidak ada frekuensi yang di-*boost* dan dikurangi. Dengan begitu hasil lebih akurat untuk mempresentasikan suara aslinya. Namun dalam kenyataan, tanggapan frekuensi yang *flat* sempurna tidak ada. Bahkan mikrofon dengan tanggapan *flat* yang terbaik sekalipun, memiliki beberapa penyimpangan ‘standar *flat*’. Tapi ini bukan

berarti mikrofon tidak *flat*, tetapi kurang baik dalam penerimaan gelombang suara. Mikrofon vokal misalnya, punya tipikal untuk di-*boost* pada frekuensi 100Hz – 5KHz, sedang frekuensi di luar itu dikurangi. Adapun mikrofon *condenser* cenderung lebih *flat* dibandingkan dengan mikrofon *dynamic*.

### 2.3. Filter Aktif

*Filter* adalah sebuah rangkaian yang dirancang agar melewatkan suatu pita frekuensi tertentu dan memperlemah semua sinyal di luar pita ini. Jaringan – jaringan *filter* bisa bersifat aktif dan pasif. Jaringan – jaringan *filter* pasif hanya berisi tahanan, induktor, dan kapasitor. *Filter - filter* aktif dapat menggunakan transistor atau *op - amp* ditambah tahanan, induktor, dan kapasitor. Induktor jarang digunakan dalam *filter - filter* aktif, sebab ukurannya besar dan mahal dan bisa memiliki komponen – komponen bertahanan dalam besar. Ada empat jenis *filter*, yaitu: *low pass*, *high pass*, *band pass*, dan *band elimination* (lebih dikenal sebagai *bandreject* atau takik).



Gambar 2.35. Gambar Berbagai Macam *Filter*

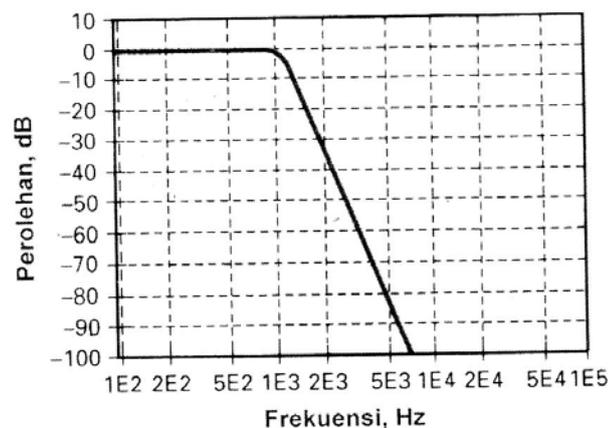
Sumber : Erlangga. *Rangkaian Terpadu Linier*. Herman Widodo. Jakarta. 1982. p.261.

### 2.3.1. Filter Low – Pass Butterworth

*Filter low – pass* adalah sebuah rangkaian yang tegangan *output*-nya tetap dari DC naik sampai ke suatu frekuensi *cutoff*  $f_c$ . Bersama naiknya frekuensi di atas  $f_c$ , tegangan *output*-nya diperlemah (turun). Dalam kebanyakan pemakaian *filter low – pass*, diminta agar *closed loop gain* menjadi sedekat mungkin dengan 1 di dalam pita lewatnya. *Filter butterworth* adalah yang paling cocok untuk jenis pemakaian seperti ini. *Filter butterworth* disebut juga *filter* datar maksimal karena atenuasi *passband* adalah nol yang sebagian besar melalui *passband* dan menurunkan  $A_P$  secara berangsur-angsur pada tepi *passband* .

*Filter –filter butterworth* tidak dirancang untuk mempertahankan sudut fasa yang tetap pada frekuensi *cutoff*-nya. Sebuah *filter low – pass* dasar  $-20\text{dB/decade}$  mempunyai sudut fasa sebesar  $-45^\circ$  pada  $\omega_c$ . Sebuah *filter butterworth*  $-40\text{dB/decade}$  mempunyai sudut fasa sebesar  $-90^\circ$  pada  $\omega_c$  dan sebuah *filter*  $-60\text{dB/decade}$  mempunyai sudut fasa sebesar  $-135^\circ$  pada  $\omega_c$ . Karena itu setiap peningkatan sebesar  $-20\text{dB/decade}$ , sudut fasanya meningkat sebesar  $-45^\circ$ .

Keuntungan utama dari *filter Butterworth* adalah respons *passband* yang rata. Kerugian utama adalah nilai *roll-off* lambat secara relatif dibanding *filter* lain. Gambar di bawah ini menunjukkan respons *filter low pass butterworth*.

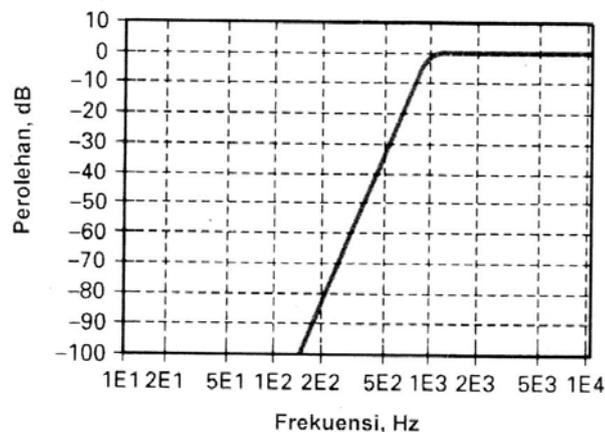


Gambar 2.36. Respon *Lowpass Butterworth*.

Sumber : Erlangga. *Rangkaian Terpadu Linier*. Herman Widodo. Jakarta. 1982. p.263.

### 2.3.2. Filter – Filter Butterworth High – Pass

*Filter high – pass* adalah sebuah rangkaian yang memperlemah semua sinyal di bawah suatu frekuensi *cutoff* tertentu  $\omega_c$  dan melewatkan semua sinyal yang frekuensinya di atas frekuensi *cut-off* itu. Jadi *filter high – pass* melakukan fungsi yang berlawanan dengan *filter low – pass*. Suatu *filter high-pass* ideal mempunyai atenuasi tak terhingga pada *stopband*, atenuasi nol pada *passband*, dan suatu transisi vertikal. Untuk jenis-jenis ordenya sama seperti *filter low pass*. Gambar di bawah ini menunjukkan respons *filter high – pass butterworth*.



Gambar 2.37. Respon *High Pass Butterworth*.

Sumber : Erlangga. *Rangkaian Terpadu Linier*. Herman Widodo. Jakarta. 1982. p.264.

### 2.3.3. Filter – Filter Band – Pass

*Filter band – pass* adalah sebuah rangkaian yang dirancang untuk dapat melewatkan sinyal dalam suatu pita frekuensi tertentu dan tidak meneruskan semua sinyal di luar pita ini. Jenis *filter* ini mempunyai tegangan *output* maksimum  $V_{max}$ , atau *gain* tegangan maksimum  $A_r$ , pada suatu frekuensi yang disebut frekuensi resonan  $\omega_r$ . Jika frekuensi berubah – ubah dari resonansinya, tegangan *output* turun. Ada satu frekuensi di atas  $\omega_r$  dan satu di bawah  $\omega_r$  dimana *gain* tegangannya adalah  $0.707 A_r$ . Frekuensi ini diberi tanda dengan  $\omega_h$ , frekuensi *cutoff* atas, dan  $\omega_l$ , frekuensi *cutoff* bawah. Pita frekuensi antara  $\omega_h$  dan  $\omega_l$  adalah lebar pita.

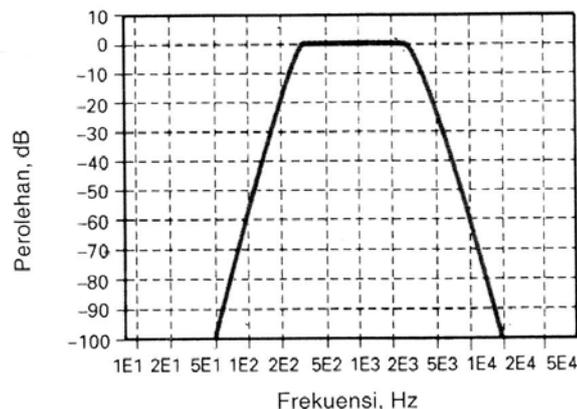
*Filter – filter band pass* dapat digolongkan sebagai pita sempit atau pita lebar. *Filter* pita sempit adalah sebuah *filter* yang mempunyai lebar pita sepersepuluh lebih kecil daripada frekuensi resonannya ( $B < 0.1 \omega_r$ ). Jika lebar pitanya lebih lebar sepersepuluh frekuensi resonannya ( $B > 0.1 \omega_r$ ), *filter* tersebut merupakan sebuah *filter* pita lebar. Perbandingan frekuensi resonan terhadap lebar pita dikenal sebagai faktor kualitas,  $q$ , dari rangkaiannya.  $Q$  menunjukkan selektifitas rangkaiannya. Makin tinggi harga  $q$ , makin selektif rangkaiannya. Untuk *filter – filter* pita sempit,  $q$  dari rangkaian lebih besar dari 10, dan untuk *filter – filter* pita lebar,  $q$  lebih kecil dari 10. Suatu *filter band-pass* ideal mempunyai atenuasi tak terhingga pada *stopband*, atenuasi nol pada *passband*, dan dua transisi vertikal. *Bandwith* (BW) dari suatu *filter bandpass* berbeda antara frekuensi *cutoff* 3 dB yang lebih tinggi dan yang lebih rendah:

$$BW = f_2 - f_1 \quad (2.35)$$

Frekuensi pusat dilambangkan dengan  $f_0$  dan diberikan oleh rata-rata geometri dari dua frekuensi *cutoff*:

$$f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2} \quad (2.36)$$

Gambar di bawah ini menunjukkan respons *filter bandpass*



Gambar 2.38. Respon *Bandpass Butterworth*.

Sumber : Erlangga. *Rangkaian Terpadu Linier*. Herman Widodo. Jakarta. 1982. p.266.

$Q$  dari *filter bandpass* ditetapkan sebagai frekuensi tengah dibagi dengan *bandwidth*. Ketika  $Q > 10$ , frekuensi tengah dapat diperkirakan dengan rata-rata aritmatika dari frekuensi *cutoff*.

$$V_0 = ( 1 / (1-j(1/\omega RC))) \cdot V_1 \quad (2.37)$$

$$Q = \frac{f_0}{BW} \quad (2.38)$$

#### 2.4. Amplifier

Dasar kata *amplifier* adalah *amplify*, berasal dari bahasa Inggris yang artinya memperbesar, sehingga dapat disimpulkan bahwa arti kata *amplifier* adalah alat untuk memperbesar, dalam hal ini yang diperbesar adalah amplitudo suara (sinyal audio).

*Amplifier* dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu *amplifier* sinyal kecil yang lebih dikenal sebagai *pre-amp* dan *amplifier* sinyal besar yang disebut *power amplifier*. Perbedaan ini didasarkan pada besarnya sinyal *input* yang diberikan pada *input* suatu rangkaian *amplifier* untuk kemudian dikuatkan. Pada *amplifier* sinyal kecil (*pre-amp*) besarnya sinyal *input* berada pada orde *miliwatt* untuk dikuatkan menjadi beberapa puluh *miliwatt*. *Amplifier* sinyal kecil dibagi menjadi 3 berdasarkan frekuensi sinyal kerjanya, yaitu:

1. *Pre-amp* frekuensi tinggi (*high*).
2. *Pre-amp* frekuensi menengah (*mid*).
3. *Pre-amp* frekuensi rendah (*low*).

Pada *amplifier* sinyal besar (*power-amp*) besarnya sinyal *input* berada pada orde beberapa ratus *miliwatt* untuk dikuatkan menjadi beberapa *watt*, bahkan bisa sampai kisaran ribuan *watt*.

Untuk mendesain suatu *amplifier* terlebih dulu harus diketahui parameter-parameter suatu *amplifier*, yaitu : *Gain*, *Power output*, *Distorsi*, *Efisiensi* dan respon frekuensi. *Gain* adalah besarnya penguatan dari sebuah *amplifier*. *Power output* adalah besarnya daya *output* hasil

penguatan dari *amplifier*. *Distorsi* adalah perbandingan bentuk antara sinyal *input* dengan *output*. Semakin besar *distorsi* maka dapat merusak suara asli yang seharusnya dikuatkan oleh *amplifier*. Efisiensi adalah perbandingan antara kualitas suara yang dihasilkan dengan daya yang dikeluarkan. Respon frekuensi adalah kemampuan suatu *amplifier* untuk bekerja (memperkuat) pada daerah frekuensi tertentu, hal ini akan berpengaruh pada *bandwidth* (lebar pita frekuensi) dari *amplifier* tersebut.

### **2.5 Mixer**

*Mixer* adalah sebuah alat yang bekerja sebagai pencampur dari beberapa *input* sinyal audio menjadi satu *output* sinyal audio. *Mixer-mixer* yang beredar di pasaran sekarang kebanyakan menggunakan *op-amp*. Fitur-fitur yang disediakan bermacam-macam tergantung dari harga dan kualitas *mixer* itu sendiri, fitur-fitur yang biasanya disediakan untuk *mixer* yang standar biasanya terdiri dari *gain*, *high*, *mid*, *low*, *aux*, *pan*, volume, dan master volume. Untuk jenis yang lainnya juga disediakan tambahan fitur seperti *high cut*, *low cut*, *aux1*, *aux2*, *rev (reverb)*, *efx (effect)*, *phantom* (mikrofon tegangan tinggi), *monitor*, *line out*, *headphones*, dan sebagainya.

### **2.5. Penguat Mikrofon.**

Penguat mikrofon ini berfungsi untuk menguatkan sinyal *input* yang dikirim dari mikrofon, karena sinyal yang dikirim dari mikrofon sangat kecil, kira-kira hanya 5mV. Padahal yang dibutuhkan untuk memproses sinyal itu adalah sekitar 1Vpp. Jadi, penguat mikrofon ini mutlak diperlukan untuk menguatkan sinyal yang diterima dari mikrofon supaya dapat diproses selanjutnya.

### **2.7. Tone Kontrol**

*Tone kontrol* adalah bagian dimana sinyal yang masuk itu diproses, yaitu membagi sinyal *input* menjadi 2 daerah frekuensi yaitu frekuensi rendah (*Bass*) dan frekuensi tinggi (*treble*). Bila dibagi 3 maka ada juga

frekuensi menengah (*mid-range*), untuk kemudian diperkuat atau diperlemah sesuai dengan keinginan pendengarnya sampai didapat respon suara yang diinginkan.