

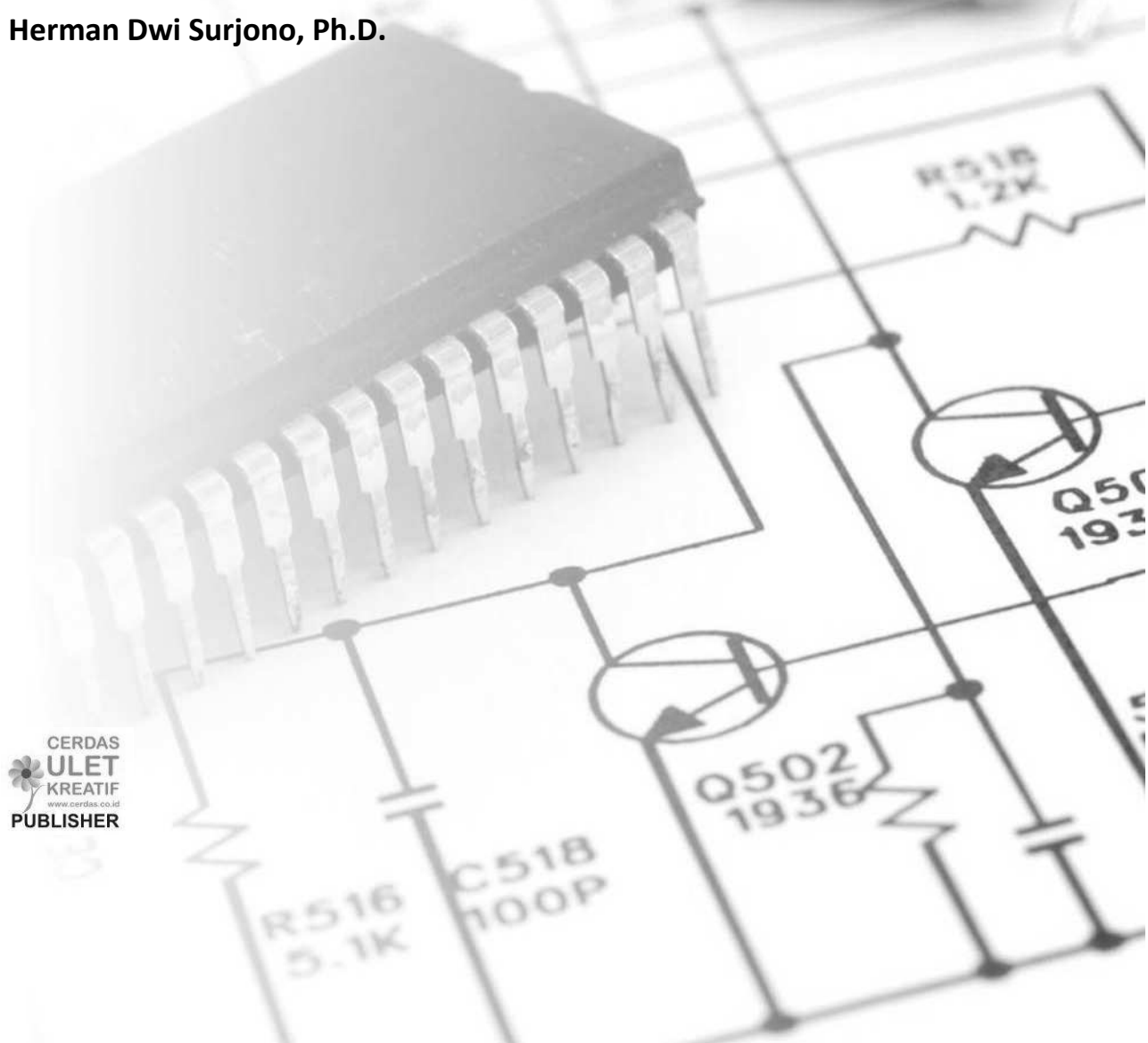


# ELEKTRONIKA ANALOG

# Elektronika Analog

Herman Dwi Surjono, Ph.D.

CERDAS  
ULET  
KREATIF  
www.cerdas.co.id  
PUBLISHER



# Elektronika Analog

Disusun Oleh: **Herman Dwi Surjono, Ph.D.**

© 2008 All Rights Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang

Penyunting : **Tim Cerdas Ulet Kreatif**

Perancang Sampul : **Dhega Febiharsa**

Tata Letak : **Dhega Febiharsa**

**Diterbitkan Oleh:**

**Penerbit Cerdas Ulet Kreatif**

Jl. Manggis 72 RT 03 RW 04 Jember Lor – Patrang

Jember - Jawa Timur 68118

Telp. 0331-422327 Faks. 0331422327

## Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Herman Dwi Surjono, **Elektronika Analog**/Herman Dwi Surjono, Penyunting:  
Tim Cerdas Ulet Kreatif, 2008, 112 hlm; 14,8 x 21 cm.

**ISBN 978-602-98174-1-6**

1. Hukum Administrasi	I. Judul
II. Tim Cerdas Ulet Kreatif	112

Distributor:

**Penerbit CERDAS ULET KREATIF**

Website : [www.cerdas.co.id](http://www.cerdas.co.id) - email : [buku@cerdas.co.id](mailto:buku@cerdas.co.id)

Cetakan Kedua, 2011

## Undang-Undang RI Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta

### Ketentuan Pidana

#### Pasal 72 (ayat 2)

1. Barang Siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau hak terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

# Kata Pengantar



Buku ini diperuntukkan bagi siapa saja yang ingin mengetahui elektronika baik secara teori, konsep dan penerapannya. Pembahasan dilakukan secara komprehensif dan mendalam mulai dari pemahaman konsep dasar hingga ke taraf kemampuan untuk menganalisis dan mendesain rangkaian elektronika. Penggunaan matematika tingkat tinggi diusahakan seminimal mungkin, sehingga buku ini bias digunakan oleh berbagai kalangan. Pembaca dapat beraktivitas dengan mudah karena didukung banyak contoh soal dalam hamper setiap pokok bahasan serta latihan soal pada setiap akhir bab. Beberapa rangkaian penguat sedapat mungkin diambilkan dari pengalaman praktikum.

Sebagai pengetahuan awal, pemakai buku ini harus memahami teori dasar rangkaian DC dan matematika dasar. Teori Thevenin, Norton, dan Superposisi juga digunakan dalam beberapa pokok bahasan. Di samping itu penguasaan penerapan hukum Ohm dan Kirchhoff merupakan syarat mutlak terutama pada bagian analisis dan perancangan.

Bab 1 membahas JFET, D-MOSFET dan E-MOSFET. Pembahasan dimulai dari konstruksi, prinsip kerja, karakteristik transfer dan output untuk ketiga keluarga FET tersebut.

Bab 2 membahas beberapa metode pemberian bias FET. Bias yang sering dipakai dalam rangkaian FET diantaranya adalah bias tetap, bias sendiri, dan bias pembagi tegangan.

Bab 3 membahas analisis penguat FET dalam tiga macam konfigurasi, yakni CS, CG dan pengikut Source. Namun di awal bab akan dijelaskan terlebih dahulu model siyal kecil FET.

Akhirnya bab 4 membahas penguat daya yakni penguat kelas A, penguat push-pull dan komplementer.

Semoga buku ini bermanfaat bagi siapa saja. Saran-saran dari pembaca sangat diharapkan.

Yogyakarta, Desember 2008

Penulis,

**Herman Dwi Surjono, Ph.D.**

Dosen Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika, FT- UNY

# Daftar Isi

<b>KATA PENGANTAR</b>	iii
<b>DAFTAR ISI</b>	v
<b>1. TRANSISTOR EFEK MEDAN</b>	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Konstruksi dan Karakteristik JFET	2
1.3. Karakteristik Transfer JFET	7
1.4. Konstruksi dan Karakteristik D-MOSFET	9
1.5. Konstruksi dan Karakteristik E-MOSFET	13
1.6. Ringkasan	18
1.7. Soal Latihan	19
<b>2. BIAS DC FET</b>	21
2.1. Pendahuluan	21
2.2. Bias Tetap	21
2.3. Bias Sendiri ( <i>Self Bias</i> )	25
2.4. Bias Pembagi Tegangan	32
2.5. Ringkasan	38
2.6. Soal Latihan	39
<b>3. PENGUAT FET</b>	43
3.1. Pendahuluan	43
3.2. Model Sinyal Kecil FET	43
3.3. Analisis Penguat CS	49
3.4. Penguat CS dengan RS	53
3.5. Rangkaian Pengikut Source	61
3.6. Penguat Gate Bersama (CG)	65
3.7. Ringkasan	68
3.8. Soal Latihan	69
<b>4. PENGUAT DAYA</b>	73
4.1. Pendahuluan	73
4.2. Kelas Penguat	73
4.3. Penguat Daya Kelas A Beban Resistor	76
4.4. Penguat Daya Kelas A Beban Trafo	83
4.5. Penguat Daya <i>Push Pull</i> Kelas B	86
4.6. Penguat Daya Komplementer	93
4.7. Ringkasan	96
4.8. Soal Latihan	97
<b>LAMPIRAN A</b>	101
<b>LAMPIRAN B</b>	102
<b>INDEKS</b>	103

**Herman Dwi Surjono, Ph.D.**  
*Elektronika Analog*

# Bab 2

## Bias DC FET



### 2.1 Pendahuluan

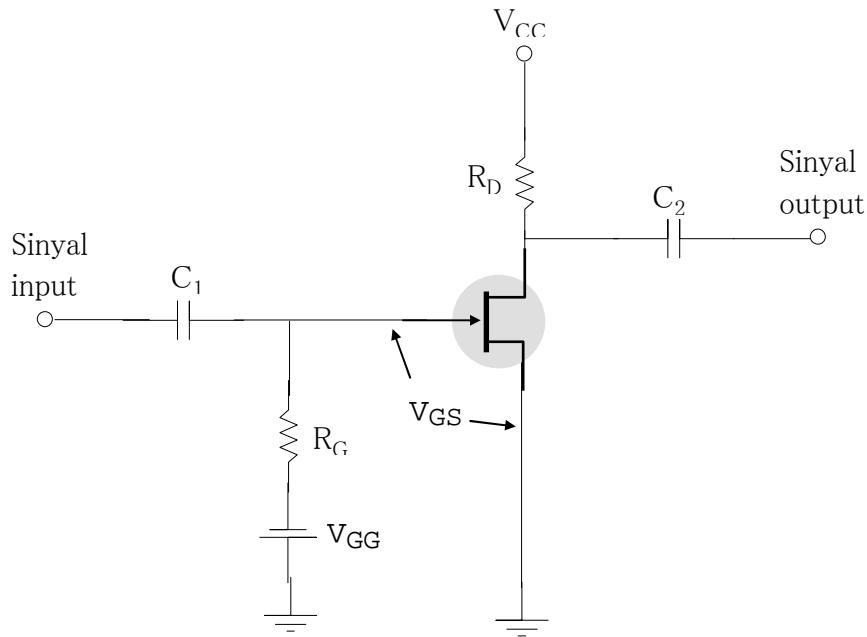
Rangkaian penguat dengan menggunakan FET, seperti juga transistor bipolar, selalu diberikan tegangan bias agar dapat bekerja sebagai penguat. Tegangan bias untuk FET dapat diberikan dengan berbagai cara. Diantara yang paling banyak digunakan untuk rangkaian penguat FET adalah self-bias. Pemberian tegangan bias yang tepat akan menjamin FET dapat bekerja pada daerah yang aktif.

Beberapa metode pemberian bias termasuk menentukan titik kerja FET akan dibahas pada bab ini. Kemudian dilanjutkan dengan analisis rangkaian penguat FET guna menentukan beberapa parameter penguat seperti penguatan tegangan ( $A_v$ ), penguatan arus ( $A_i$ ) dan sebagainya. Disamping analisis rangkaian, juga dikenalkan metode perancangan suatu penguat dengan FET.

### 2.2 Bias Tetap

Metode pemberian tegangan bias yang paling sederhana adalah bias tetap (*fixed-bias*). Gambar 2.1 menunjukkan rangkaian penguat JFET kanal-N dengan bias tetap. Untuk JFET kanal-P, semua polaritas tegangan harus dibalik. Rangkaian bias tetap ini menggunakan dua buah sumber daya VGG dan VDD. Tegangan VGS sepenuhnya tergantung pada sumber VGG yang harganya tetap, sehingga tegangan VGS juga tetap. Untuk analisis dc, kapasitor kopel C1 dan C2 dianggap terbuka.





Gambar 2.1 Rangkaian penguat FET dengan bias tetap

Sebagaimana telah dibahas pada bab sebelumnya bahwa arus  $I_G = 0$ , maka dengan hukum Ohm diperoleh:

$$V_{RG} = I_G \cdot R_G = (0)(R_G) = 0 \text{ Volt}$$

Terlihat bahwa turunan tegangan  $V_{GG}$  pada  $R_G$  tidak ada atau nol, sehingga semua tegangan  $V_{GG}$  masuk pada G-S. Secara matematis besarnya tegangan  $V_{GS}$  dapat diturunkan:

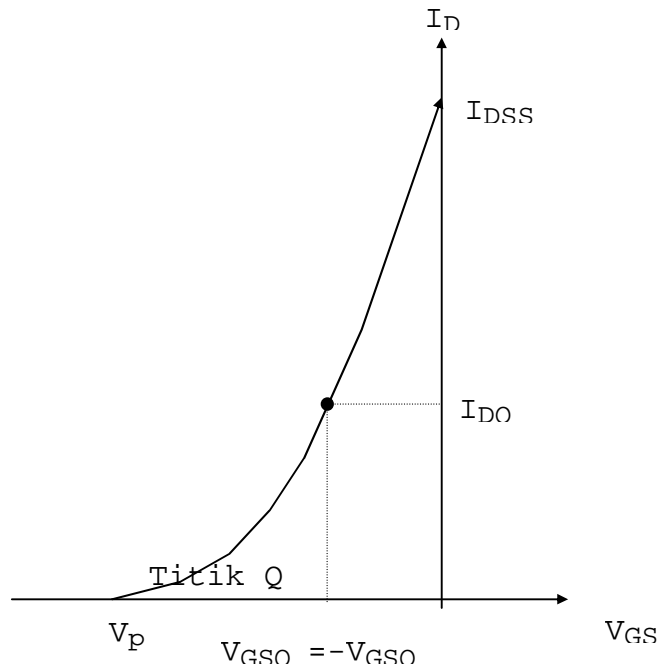
$$- V_{GG} - V_{GS} = 0$$

$V_{GS} = - V_{GG}$	..... (2.1)
---------------------	-------------

Dengan menggunakan persamaan Shockley dapat diperoleh harga arus  $I_D$ .

$I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$	..... (2.2)
---	-------------

Oleh karena  $V_{GS}$  tetap, maka arus  $I_D$  juga tetap. Titik kerja JFET  $V_{GSQ}$  dan  $I_{DQ}$  pada kurva transfer dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Titik kerja JFET pada kurva transfer

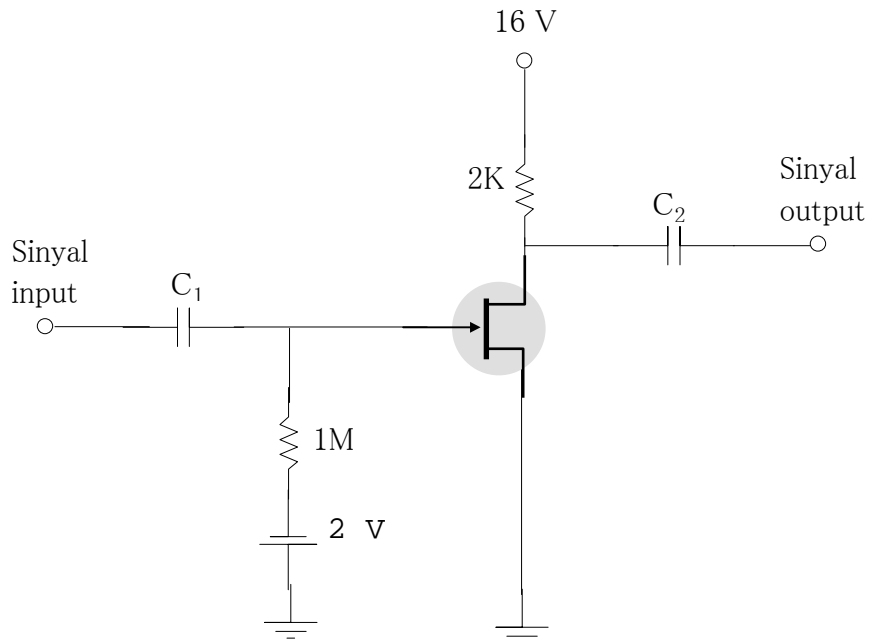
Tegangan VDS dapat ditentukan dengan menerapkan hukum Kirchhoff pada ikal output, yaitu:

$$\boxed{V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot R_D} \dots\dots\dots (2.3)$$

**Contoh 2.1**

Diketahui rangkaian JFET seperti gambar 2.3 dengan data  $I_{DSS} = 10 \text{ mA}$  dan  $V_P = -8 \text{ Volt}$ , tentukan:

- a)  $V_{GSQ}$
- b)  $I_{DQ}$
- c)  $V_{DSQ}$



Gambar 2.3 Penguat FET bias tetap untuk contoh 2.1

Penyelesaian:

a)  $V_{GSQ} = -V_{GG} = -2 \text{ Volt}$

b)  $I_{DQ} = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2$

$$I_{DQ} = 10 \text{ mA} \left(1 - \frac{-2\text{V}}{-8\text{V}}\right)^2 = 5,625 \text{ mA}$$

c)  $V_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ} \cdot R_D$   
 $= 16 \text{ V} - (5,625\text{mA})(2\text{k}\Omega)$   
 $= 4,75 \text{ Volt}$

Titik kerja JFET tersebut adalah:

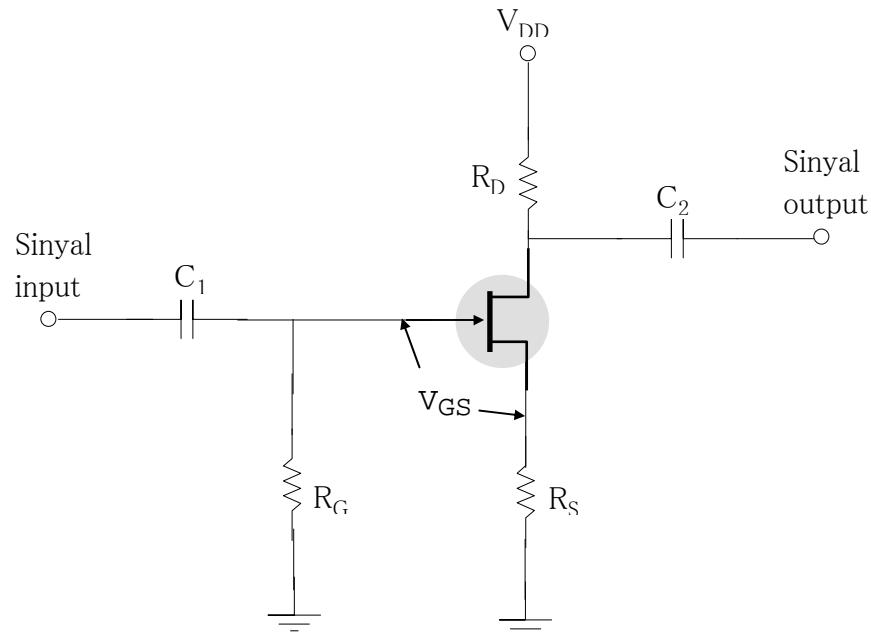
$V_{GSQ} = -2 \text{ Volt}$

$I_{DQ} = 5,625 \text{ mA}$

$V_{DS} = 4,75 \text{ Volt}$

### 2.3 Bias Sendiri (Self-bias)

Metode self bias atau bias sendiri mengatasi dua buah sumber daya pada bias tetap, yakni hanya dengan menggunakan sebuah catu daya. Tegangan  $V_{GS}$  pada bias sendiri ini ditentukan oleh besarnya  $R_S$  pada kaki source. Rangkaian penguat JFET kanal-N dengan bias sendiri terlihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Rangkaian penguat FET dengan self-bias

Dalam analisis dc semua kapasitor dianggap rangkaian terbuka. Disamping itu perlu untuk diketahui bahwa harga tegangan dengan subskrip tunggal (misalnya:  $V_G$ ) adalah harga tegangan pada titik subskrip tersebut terhadap *ground* (tanah).  $V_G$  berarti tegangan antara titik G dengan *ground*. Untuk harga tegangan dengan subskrip ganda (misalnya:  $V_{GS}$ ) adalah harga tegangan antara dua titik pada subskrip tersebut.  $V_{GS}$  berarti harga tegangan antara titik G dan titik S.

Beberapa asumsi yang selalu berlaku pada FET (baik JFET maupun MOSFET) untuk analisis dc adalah bahwa  $I_G = 0$  dan  $I_D = I_S$ . Selanjutnya dengan menerapkan hukum Kirchhoff pada ikal input, diperoleh:

$$\begin{aligned}
 V_G &= V_{GS} + V_S \\
 I_G.R_G &= V_{GS} + I_D.R_S \\
 0 &= V_{GS} + I_D.R_S \\
 - I_D.R_S &= V_{GS}
 \end{aligned}$$

$V_{GS} = - I_D.R_S$

..... ( 2.4 )

Dari persamaan 2.4 tersebut terlihat bahwa tegangan VGS semata-mata ditentukan oleh arus ID dan resistor RS.

Akan tetapi persamaan 2.4 tersebut masih belum bisa diselesaikan karena VGS dan ID belum diketahui. Oleh karena itu perlu memperhatikan persamaan lain yang mengandung VGS dan ID, yaitu persamaan Shockley

$$I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right)^2$$

Dengan memasukkan harga ID dari persamaan Shockley ini kedalam persamaan 2.4, maka harga VGS dapat dicari secara matematis, yaitu:

$$\begin{aligned}
 V_{GS} &= - I_D.R_S \\
 V_{GS} &= - \left\{ I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right)^2 \right\}.R_S \\
 V_{GS} &= - I_{DSS} R_S \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right)^2
 \end{aligned}$$

Faktor:  $\left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right)^2$

diselesaikan dengan formula matematis:

$$(a - b)^2 = (a^2 + b^2 - 2ab)$$

sehingga diperoleh:

$$V_{GS} = - I_{DSS} R_S \left\{ 1 + \left( \frac{V_{GS}}{V_p} \right)^2 - 2 \left( \frac{V_{GS}}{V_p} \right) \right\}$$

$$V_{GS} = - I_{DSS} R_S - I_{DSS} R_S (V_{GS}^2/V_p^2) + 2 I_{DSS} R_S (V_{GS}/V_p)$$

$$V_{GS} = - I_{DSS} R_S - \left( \frac{I_{DSS} R_S}{V_p^2} \right) V_{GS}^2 + \left( \frac{2 I_{DSS} R_S}{V_p} \right) V_{GS}$$

$$0 = - V_{GS} - I_{DSS} R_S - \left( \frac{I_{DSS} R_S}{V_p^2} \right) V_{GS}^2 + \left( \frac{2 I_{DSS} R_S}{V_p} \right) V_{GS}$$

akhirnya diperoleh persamaan kuadrat:

$$\underbrace{\left( \frac{I_{DSS} R_S}{V_p^2} \right)}_A V_{GS}^2 + \underbrace{\left( 1 - \frac{2 I_{DSS} R_S}{V_p} \right)}_B V_{GS} + \underbrace{I_{DSS} R_S}_C = 0$$

..... (2.5)

Persamaan 2.5 ini dapat diselesaikan dengan rumus ABC (istilah dalam matematis untuk menyelesaikan persamaan kuadrat), yaitu:

$$V_{GS_{1,2}} = \frac{- B \pm \sqrt{(B^2 - 4AC)}}{2A}$$

Dengan menggunakan rumus ABC ini akan diperoleh dua buah harga VGS, namun diantara dua tersebut hanya satu VGS yang memenuhi syarat.

Syarat VGS adalah:

Harga VGS harus bernilai antara 0 sampai Vp.

Disamping itu harga (B<sup>2</sup> - 4AC) dalam rumus ABC tersebut harus bernilai positif. Apabila bernilai negatif berarti tidak ada penyelesaian.

Setelah harga VGS diperoleh maka dengan memasukkan VGS ke persamaan 2.4 akan dapat ditentukan nilai arus ID, yaitu:

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

Tegangan VDS dapat diperoleh dengan menerapkan hukum Kirchhoff pada ikal output, yaitu:

$$V_{DD} = V_{DS} + I_D R_D + I_D R_S$$

$$V_{DD} = V_{DS} + I_D (R_D + R_S)$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D (R_D + R_S) \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan demikian dapat ditentukan titik kerja penguat FET, yaitu: VGSQ, IDQ, dan VDSQ.

---

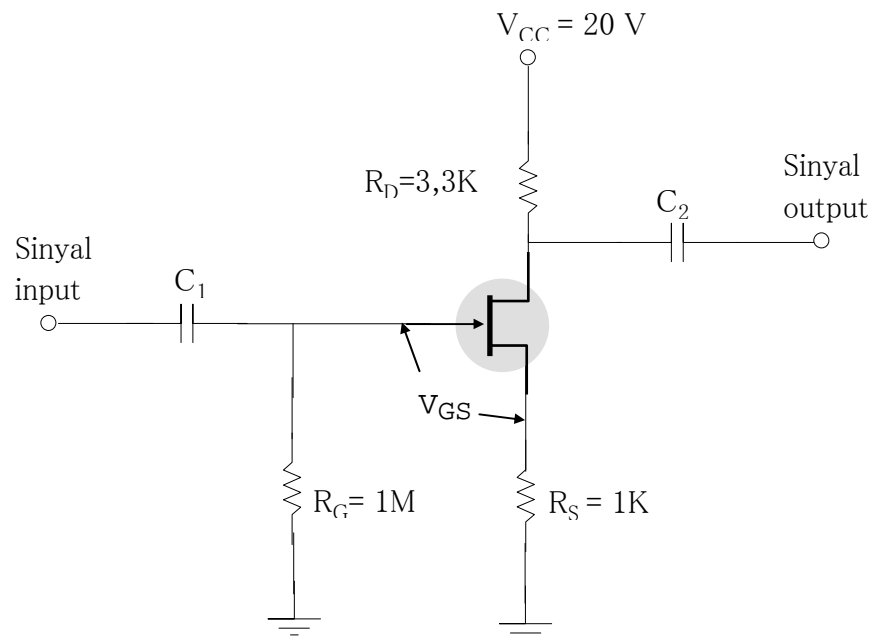
---

**Contoh 2.2**

Suatu rangkaian penguat JFET dengan self-bias seperti pada gambar 2.5. Diketahui data JFET adalah sebagai berikut: IDSS = 8 mA dan Vp = - 6 Volt.

Tentukan:

- (a) VGSQ
- (b) IDQ
- (c) VDSQ



Gambar 2.5 Rangkaian penguat JFET untuk contoh 2.2

**Penyelesaian:**

(a) Menentukan  $V_{GSQ}$  dengan persamaan 2.5.

$$\left( \frac{I_{DSS} R_S}{V_P^2} \right) V_{GS}^2 + \left( 1 - \frac{2 I_{DSS} R_S}{V_P} \right) V_{GS} + I_{DSS} R_S = 0$$

$$\left( \frac{(8m)(1K)}{(-6)^2} \right) V_{GS}^2 + \left( 1 - \frac{2(8m)(1K)}{(-6)} \right) V_{GS} + (8m)(1K) = 0$$

$$\left( \frac{(8)}{(36)} \right) V_{GS}^2 + \left( 1 + \frac{(16)}{(6)} \right) V_{GS} + (16) = 0$$

$$(0,22) V_{GS}^2 + (3,67) V_{GS} + 16 = 0$$

dengan menggunakan rumus ABC dapat diperoleh

$$V_{GS1} = - 2,587 \text{ Volt}$$

dan  $V_{GS2} = - 13,9 \text{ Volt}$



Diantara dua harga VGS tersebut yang memenuhi syarat sebagai VGSQ adalah VGS1 = -2,587 Volt karena terletak antara nilai 0 hingga Vp = -6 Volt.

(b) Harga VGSQ = -2,587 Volt dimasukkan ke persamaan 2.6 diperoleh:

$$I_D = - \frac{V_{GS}}{R_S} = - \frac{(-2,587)}{(1K)} = 2,587 \text{ mA}$$

(c) Dengan persamaan 2.7 diperoleh harga VDS, yaitu:

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D (R_D + R_S)$$

$$V_{DS} = 20 - (2,587\text{m}) (3,3K + 1K) = 8,87 \text{ Volt}$$

---

Penentuan titik kerja VGSQ secara matematis seperti yang dibahas di atas membutuhkan waktu yang cukup banyak apabila dilakukan secara manual. Hal ini karena persamaan 2.5 cukup panjang dan juga harus diselesaikan dengan rumus ABC. Oleh karena itu perhitungan akan jauh lebih cepat apabila persamaan tersebut dibuat program misalnya dengan bahasa BASIC.

Contoh program dengan menggunakan bahasa BASIC untuk menyelesaikan persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

```
100 CLS
110 PRINT : PRINT "===== ANALISA PEMBIASAN FET =====":
PRINT
140 PRINT "Masukkan data berikut:"
160 INPUT "R1 (gunakan 1E30 jika terbuka) ="; R1
170 INPUT "R2                               ="; R2
180 INPUT "                                RS ="; RS
190 INPUT "                                RD ="; RD
210 INPUT "                                POWER SUPPLY, VDD ="; DD
240 INPUT "                                TEGANGAN PINCH-OFF, VP ="; VP
250 INPUT "                                ARUS SATURASI, IDSS ="; SS
```

```

280 GOSUB 11000
285 PRINT : PRINT : PRINT "Hasil Perhitungan:"
290 PRINT "          ARUS ID ="; ID * 1000; "mA"
310 PRINT "          VGS      ="; GS; "Volt"
320 PRINT "          VD       ="; VD; "Volt"
330 PRINT "          VS       ="; VS; "Volt"
340 PRINT "          VDS      ="; DS; "Volt"
342 PRINT "VGS1 ="; V1; "Volt"
444 PRINT "VGS2 ="; V2; "Volt"
350 END

11000 GG = (R2 / (R1 + R2)) * DD
11020 A = SS * RS / VP ^ 2
11030 B = 1 - 2 * SS * RS / VP
11040 C = SS * RS - GG
11050 D = B ^ 2 - 4 * A * C
11060 IF D < 0 THEN PRINT : PRINT : PRINT "      === TIDAK ADA
PENYELESAIAN !!! ===": END
11070 V1 = (-B + SQR(D)) / (2 * A)
11080 V2 = (-B - SQR(D)) / (2 * A)
11090 IF ABS(V1) > ABS(VP) THEN GS = V2
11100 IF ABS(V2) > ABS(VP) THEN GS = V1
11110 ID = SS * (1 - GS / VP) ^ 2
11120 VS = ID * RS
11130 VG = GG
11140 VD = DD - ID * RD
11150 DS = VD - VS
11160 RETURN

```

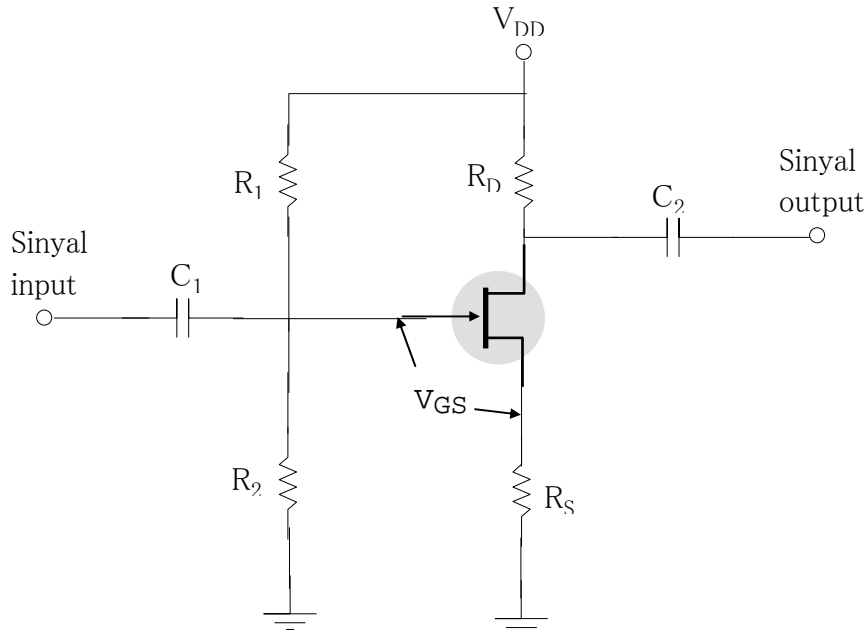
Setelah program ini dijalankan dan data pada contoh 2.2 dimasukkan, maka tampilan output nya adalah sebagai berikut:

```
=====ANALISA PEMBIASAN FET =====
Masukkan data berikut:
R1 (gunakan 1E30 jika terbuka)=? 1E30
R2                               =? 1E6
                                RS    =? 1E3
                                RD    =? 3.3E3
POWER SUPPLY, VDD                =? 20
TEGANGAN PINCH-OFF, VP           =? -6
ARUS SATURASI, IDSS              =? 8E-3

Hasil Perhitungan:
    ARUS ID      = 2.587624 mA
    VGS          = -2.587624 VOLT
    VD           = 11.46086 VOLT
    VS           = 2.587624 VOLT
    VDS          = 8.873215 VOLT
VGS1            = -2.587624 VOLT
VGS2            = -13.91238 VOLT
```

### 2.4 Bias Pembagi Tegangan

Bias pembagi tegangan seperti yang diterapkan pada transistor bipolar juga bisa diterapkan pada FET. Penerapan rangkaian pada kedua komponen tersebut tidak berbeda, namun analisis dc-nya berbeda sekali. Rangkaian penguat FET dengan bias pembagi tegangan tampak pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Rangkaian penguat FET dengan bias pembagi tegangan

Oleh karena  $I_G = 0$ , maka rangkaian pembagi tegangan yang diwujudkan oleh  $R_1$  dan  $R_2$  tidak akan terbebani oleh FET. Dengan demikian tegangan pada G (gate) adalah sama dengan turunan tegangan pada  $R_2$ , yaitu:

$$V_G = \frac{R_2 \cdot V_{DD}}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan menerapkan hukum Kirchhoff pada ikal input diperoleh:

$$V_G = V_{GS} + V_S$$

$$V_G = V_{GS} + I_D \cdot R_S$$

$$V_{GS} = V_G - I_D \cdot R_S \dots\dots\dots (2.9)$$

Harga  $V_{GS}$  disamping ditentukan oleh  $I_D$  dan  $R_S$  juga dipengaruhi oleh  $V_G$  yakni besaran yang terdiri atas  $R_1$ ,  $R_2$ , dan  $V_{DD}$ . Pada bias tetap tegangan  $V_{GS}$  hanya ditentukan oleh  $I_D$  dan  $R_S$ .

Pada persamaan 2.9 tersebut terdapat dua besaran yang belum diketahui yaitu ID dan VGS. Oleh karena itu perlu sebuah persamaan yang juga mengandung dua besaran yang belum diketahui tersebut, yakni persamaan Shockley:

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2$$

Apabila harga ID pada persamaan Shockley ini dimasukkan ke persamaan 2.9, maka diperoleh:

$$V_{GS} = V_G - I_D \cdot R_S$$

$$V_{GS} = V_G - \left\{ I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2 \right\} \cdot R_S$$

$$V_{GS} = V_G - I_{DSS} R_S \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2$$

$$\text{Faktor: } \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2$$

diselesaikan dengan formula matematis:

$$(a - b)^2 = (a^2 + b^2 - 2ab)$$

sehingga diperoleh:

$$V_{GS} = V_G - I_{DSS} R_S \left\{ 1 + (V_{GS}^2/V_p^2) - 2 (V_{GS}/V_p) \right\}$$


$$V_{GS} = V_G - I_{DSS} R_S - I_{DSS} R_S (V_{GS}^2/V_p^2) + 2 I_{DSS} R_S (V_{GS}/V_p)$$

$$V_{GS} = V_G - I_{DSS} R_S - \left( \frac{I_{DSS} R_S}{V_p^2} \right) V_{GS}^2 + \left( \frac{2 I_{DSS} R_S}{V_p} \right) V_{GS}$$


$$0 = V_G - V_{GS} - I_{DSS} R_S - \left( \frac{I_{DSS} R_S}{V_p^2} \right) V_{GS}^2 + \left( \frac{2 I_{DSS} R_S}{V_p} \right) V_{GS}$$

akhirnya diperoleh persamaan kuadrat:


$$\left( \frac{I_{DSS} R_S}{V_p^2} \right) V_{GS}^2 + \left( 1 - \frac{2 I_{DSS} R_S}{V_p} \right) V_{GS} + I_{DSS} R_S - V_G = 0$$



A



B



C

.....(2.10)

Persamaan 2.10 ini dapat diselesaikan dengan rumus ABC (istilah dalam matematis untuk menyelesaikan persamaan kuadrat), yaitu:

$$V_{GS_{1,2}} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

Dengan menggunakan rumus ABC ini akan diperoleh dua buah harga VGS, namun diantara dua tersebut hanya satu VGS yang memenuhi syarat.

Syarat VGS adalah:

Harga VGS harus bernilai antara 0 sampai Vp.

Disamping itu harga (B<sup>2</sup> - 4AC) dalam rumus ABC tersebut harus bernilai positif. Apabila bernilai negatif berarti tidak ada penyelesaian.

Setelah harga VGS diperoleh maka dengan memasukkan VGS ke persamaan 2.9 akan dapat ditentukan nilai arus ID, yaitu:

$$I_D = \frac{V_G - V_{GS}}{R_S} \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

Tegangan VDS dapat diperoleh dengan menerapkan hukum Kirchhoff pada ikal output, yaitu:

$$V_{DD} = V_{DS} + I_D R_D + I_D R_S$$

$$V_{DD} = V_{DS} + I_D (R_D + R_S)$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D (R_D + R_S) \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan demikian dapat ditentukan titik kerja penguat FET, yaitu:  $V_{GSQ}$ ,  $I_{DQ}$ , dan  $V_{DSQ}$ .

---

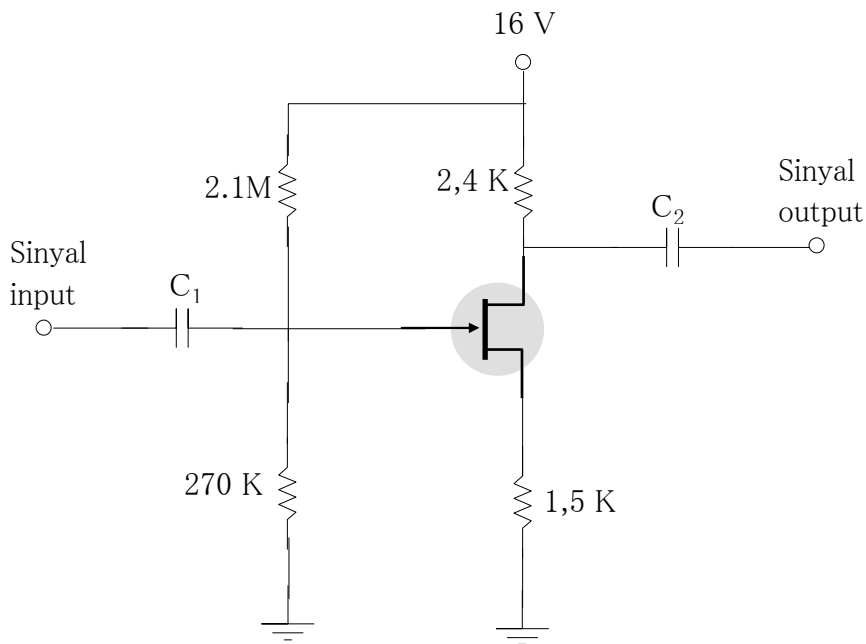
---

**Contoh 2.3**

Suatu rangkaian penguat JFET dengan bias pembagi tegangan ditunjukkan pada gambar 2.7. Diketahui data JFET adalah:  $I_{DSS} = 8\text{mA}$  dan  $V_p = -4\text{ Volt}$ .

Tentukan:

- (a)  $V_{GSQ}$
- (b)  $I_{DQ}$
- (c)  $V_{DSQ}$



Gambar 2.7 Rangkaian penguat FET bias pembagi tegangan untuk contoh 2.3

**Penyelesaian:**

- (a) Menentukan VGSQ dengan persamaan 2.10 dengan terlebih dahulu menghitung VG dengan persamaan 2.8

$$V_G = \frac{R_2 \cdot V_{DD}}{R_1 + R_2} = \frac{(270K)(16V)}{(2,1M) + (0,27M)} = \mathbf{1,82 \text{ Volt}}$$

$$\left( \frac{I_{DSS} R_S}{V_P^2} \right) V_{GS}^2 + \left( 1 - \frac{2 I_{DSS} R_S}{V_P} \right) V_{GS} + I_{DSS} R_S - V_G = 0$$

$$\left( \frac{(8m)(1,5K)}{(-4)^2} \right) V_{GS}^2 + \left( 1 - \frac{2(8m)(1,5K)}{(-4)} \right) V_{GS} + (8m)(1,5K) - (1,82) = 0$$

$$\left( \frac{(12)}{(16)} \right) V_{GS}^2 + \left( 1 + \frac{(24)}{(4)} \right) V_{GS} + (12) - (1,82) = 0$$

$$(0,75) V_{GS}^2 + (7) V_{GS} + (10,18) = 0$$

dengan menggunakan rumus ABC dapat diperoleh

$$V_{GS1} = \mathbf{- 1,8 \text{ Volt}}$$

dan  $V_{GS2} = - 7,53 \text{ Volt}$

Diantara dua harga VGS tersebut yang memenuhi syarat sebagai VGSQ adalah VGS1 = - 1,8 Volt karena terletak antara nilai 0 hingga Vp = - 4 Volt.

- (b) Harga VGSQ = - 1,8 Volt dimasukkan ke persamaan 2.11 diperoleh:

$$I_D = \frac{V_G - V_{GS}}{R_S} = \frac{(1,82) - (-1,8)}{(1,5K)} = \mathbf{2,41 \text{ mA}}$$

- (c) Dengan persamaan 2.12 diperoleh harga VDS, yaitu:



$$V_{DS} = V_{DD} - I_D (R_D + R_S)$$

$$V_{DS} = 16 - (2,41\text{m}) (2,4\text{K} + 1,5\text{K}) = \mathbf{6,6 \text{ Volt}}$$

---

Untuk mempermudah analisis titik kerja pada rangkaian bias pembagi tegangan ini dapat juga dipakai pemrograman yang sudah dibahas pada bias sendiri. Pemrograman tersebut dapat dipakai untuk kedua metode bias ini. Untuk bias sendiri, karena R1 tidak ada maka harga tersebut ditulis 1E30, dan yang dimaksud R2 adalah RG.

Pemberian tegangan bias untuk D-MOSFET pada dasarnya sama seperti untuk JFET. Demikian juga analisis titik kerjanya. Satu hal yang berbeda diantara keduanya adalah bahwa pada D-MOSFET dimungkinkan pemberian tegangan VGS positif.

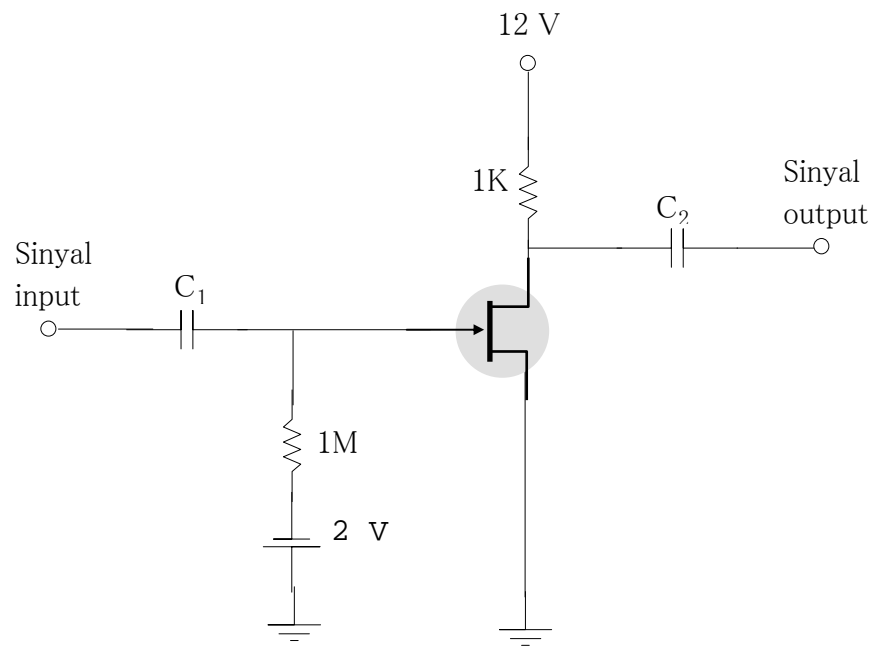
## 2.5 Ringkasan

Berbagai metode pemberian tegangan bias kepada FET akan menentukan VGSQ dan IDQ yang menunjukkan titik kerja rangkaian. Meskipun titik kerja dapat dicari secara grafis, namun analisis secara matematis akan memperoleh hasil yang akurat. Parameter transkonduktansi (gm) pada titik Q, akan menentukan nilai penguatan tegangan (Av) suatu rangkaian penguat.

Konfigurasi rangkaian FET tidak jauh berbeda dengan konfigurasi pada transistor bipolar. Konfigurasi CS (Common-source) memberikan penguatan tegangan (Av) yang besar, meskipun biasanya lebih kecil dari penguat transistor bipolar. Impedansi input (Zi) penguat CS sangat besar. Rangkaian pengikut source yang disebut juga penguat Common Drain (CD) mempunyai Av kurang dari satu dan Zo rendah serta Zi sangat tinggi. Rangkaian CG (Common Gate) mempunyai Zi yang kecil dan Av yang besar seperti halnya pada penguat CS tetapi bernilai positif.

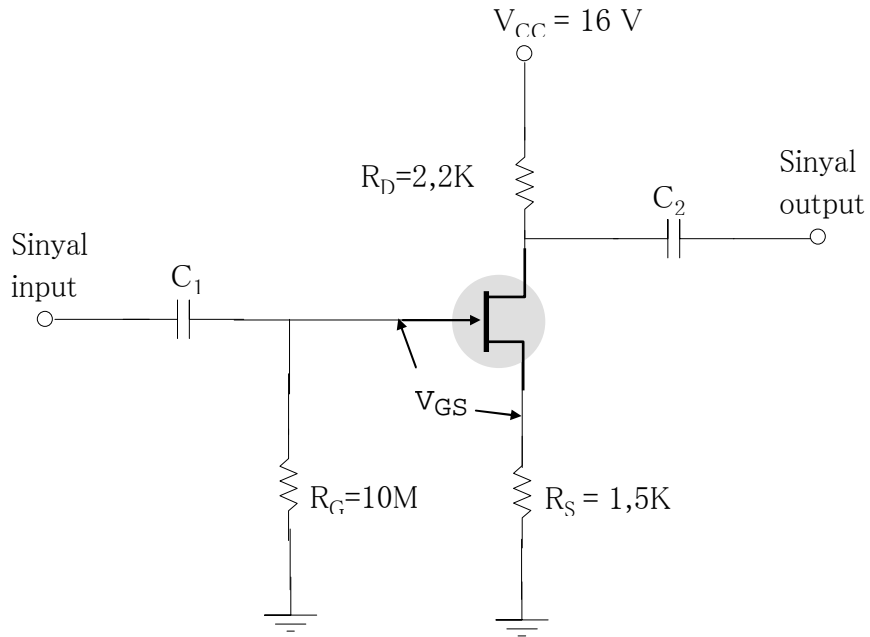
**2.6 Soal Latihan**

1. Diketahui rangkaian JFET seperti gambar 2.8 dengan data  $I_{DSS} = 8 \text{ mA}$  dan  $V_p = -4,5$  Volt, tentukan:
  - a)  $V_{GSQ}$
  - b)  $I_{DQ}$
  - c)  $V_{DSQ}$



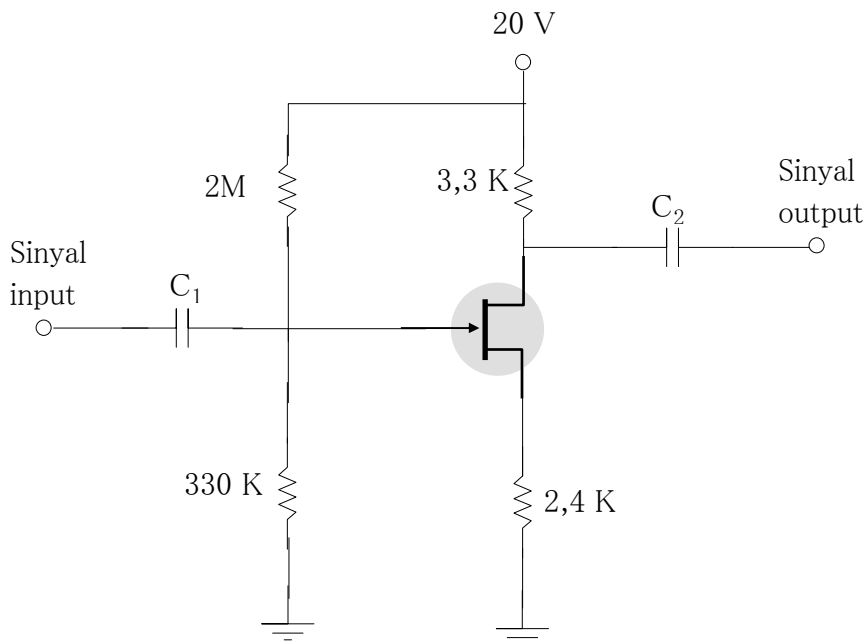
Gambar 2.8 Penguat FET bias tetap untuk soal no.1

2. Suatu rangkaian penguat JFET dengan self-bias seperti pada gambar 2.9. Diketahui data JFET adalah sebagai berikut:  $I_{DSS} = 7 \text{ mA}$  dan  $V_p = -5,5$  Volt. Tentukan:
  - (a)  $V_{GSQ}$
  - (b)  $I_{DQ}$
  - (c)  $V_{DSQ}$



Gambar 2.9 Rangkaian penguat JFET untuk soal no.2

3. Suatu rangkaian penguat JFET dengan bias pembagi tegangan ditunjukkan pada gambar 2.10. Diketahui data JFET adalah:  $I_{DSS} = 12\text{ mA}$  dan  $V_p = -6\text{ Volt}$ . Tentukan: (a)  $V_{GSQ}$ , (b)  $I_{DQ}$  dan (c)  $V_{DSQ}$



Gambar 2.10 Rangkaian penguat FET bias pembagi tegangan untuk soal no. 3

4. Hitunglah harga  $g_m$  untuk JFET yang mempunyai data  $I_{DSS} = 10 \text{ mA}$  dan  $V_p = -6 \text{ Volt}$  pada titik kerja  $V_{GSQ} =$ :
- (a) - 0.5 Volt
  - (b) - 1.5 Volt
  - (c) - 2.5 Volt

***Sumber Pustaka***

Boylestad and Nashelsky. (1992). *Electronic Devices and Circuit Theory*, 5th ed. Engelwood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.

Floyd, T. (1991). *Electric Circuits Fundamentals*. New York: Merrill Publishing Co.

Malvino, A.P. (1993). *Electronic Principles 5th Edition*. Singapore: McGraw-Hill, Inc.

Milman & Halkias. (1972). *Integrated Electronics: Analog and Digital Circuits and Systems*. Tokyo: McGraw-Hill, Inc.

Savant, Roden, and Carpenter. (1987). *Electronic Circuit Design: An Engineering Approach*. Menlo Park, CA: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.

Stephen, F. (1990). *Integrated devices: discrete and integrated*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.