



## KATA PENGANTAR

Buku ini di susun berdasarkan materi yang ditulis sebagai catatan harian pada saat saya masih duduk di bangku sekolah menengah sehingga saya pun tidak tahu pasti sumber buku ini, karena buku ini merupakan salinan dari buku catatan saya yang sudah usang. Adapun kesamaan materi dengan buku lain, saya tidak bermaksud untuk menduplikasikannya karena memang berdasarkan buku catatan tersebut. Yang melatarbelakangi penulisan ini adalah untuk mendokumentasikan materi dari buku catatan saya ke dalam bentuk e-book agar tetap utuh dikarenakan buku catatan tersebut sudah semakin usang di makan usia dan saya ingin sekali berbagi pengalaman selama duduk di bangku sekolah dan semoga dapat membantu teman-teman yang ingin belajar ilmu elektronika dengan adanya **“buku salinan catatan”** ini. Tidak lupa saya sampaikan ucapan terima kasih kepada para pengajar dan rekan-rekan yang telah menyampaikan materi ini di kelas, diantaranya ;

1. Bpk. Sony untuk materi konsep dasar elektronika
2. Bpk. Tri Indarto untuk materi penguat dan konfigurasi transistor
3. Bpk. Lingga Hermanto untuk materi semi-konduktor
4. Ibu Andini untuk materi operational amplifier
5. PJ. Prak Lab. Eldas
6. Sdr. Imam Baihaqy yang telah bersedia menulis di depan papan tulis
7. Sdri. Siti Nurlia yang juga telah bersedia menulis di depan papan tulis
8. Sdr. Dede Darmawan untuk beberapa gambar yang saya ambil dari penulisan ilmiahnya dan rekan-rekan yang telah meminjamkan buku catatannya kepada saya, karena saya selalu tertinggal dalam menulis, khususnya kelas EA. Terima kasih semuanya.

Demikian pengantar yang dapat saya sampaikan adapun kekurangan dalam buku ini semata-mata kekurangan atas keterbatasan saya ini dan memohon maaf sebesar-besarnya. Akhir kata saya ucapkan selamat belajar ! Terima kasih.

Peyusun

## DAFTAR ISI

Jilid Sampul .....	1
Kata Pengantar .....	2
Daftar Isi .....	3
Bab I Konsep Dasar Elektronika .....	4
1.1 Resistor .....	5
1.2 Kapasitor .....	9
1.3 Macam-macam Elemen Sumber Listrik Arus Searah .....	15
1.4 Komponen Semi-konduktor .....	19
1.5 Diode .....	22
Bab II Transistor .....	32
2.1 Pengertian Transistor .....	33
2.2 Kelas Penguat .....	35
2.3 Penguat Betingkat .....	37
2.4 Bias Transistor .....	37
2.5 Coupling pada transistor .....	38
2.6 Konfigurasi Transistor .....	40
2.7 Aplikasi Transistor .....	42
Bab III Multivibrator .....	44
3.1 ASTABLE MV .....	45
3.2 MONOSTABLE MV .....	46
3.3 BISTABLE MV .....	46
3.4 SCHMITT TRIGGER .....	47
Bab IV Amplifier .....	48
4.1 Penguat Depan .....	49
4.2 Penguat Tengah .....	51
4.3 Penguat Akhir .....	55
Bab V Op-Amp .....	59
5.1 Karakteristik OP-AMP .....	60
5.2 Rangkaian Dasar OP-AMP .....	62
5.3 Summing Circuit .....	62
5.4 Filter Aktif .....	63
5.5 Signal Generator dan Detector .....	66

## **KONSEP DASAR ELEKTRONIKA**

Materi :

1. Dasar Elektro Statiska
2. Dasar Accumulator
3. Komponen Pasif
  - a. Resistor
  - b. Kapasitor
  - c. Induktor
4. Hukum Kelistrikan
  - a. AC
  - b. DC
5. Dasar Mesin Listrik AC dan DC
6. Teori Atom dan Molekul
7. Sifat dan Macam Bahan Penghantar dan Isolator
8. Karakteristik dan Penggunaan Komponen Semi-konduktor

# Bab I

## 1.1 Resistor

Resistor adalah komponen dasar elektronika yang digunakan untuk membatasi jumlah arus yang mengalir dalam satu rangkaian. Sesuai dengan namanya resistor bersifat resistif dan umumnya terbuat dari bahan karbon. Dari hukum Ohms diketahui, resistansi berbanding terbalik dengan jumlah arus yang mengalir melaluinya. Satuan resistansi dari suatu resistor disebut Ohm atau dilambangkan dengan simbol  $\Omega$  (Omega).

Untuk menyatakan resistansi sebaiknya disertakan batas kemampuan dayanya. Berbagai macam resistor di buat dari bahan yang berbeda dengan sifat-sifat yang berbeda. Spesifikasi lain yang perlu diperhatikan dalam memilih resistor pada suatu rancangan selain besar resistansi adalah besar watt-nya. Karena resistor bekerja dengan dialiri arus listrik, maka akan terjadi disipasi daya berupa panas sebesar  $W=I^2R$  watt. Semakin besar ukuran fisik suatu resistor bisa menunjukkan semakin besar kemampuan disipasi daya resistor tersebut. Umumnya di pasar tersedia ukuran 1/8, 1/4, 1, 2, 5, 10 dan 20 watt. Resistor yang memiliki disipasi daya 5, 10 dan 20 watt umumnya berbentuk kubik memanjang persegi empat berwarna putih, namun ada juga yang berbentuk silinder. Tetapi biasanya untuk resistor ukuran jumbo ini nilai resistansi dicetak langsung dibadannya, misalnya 100 $\Omega$ 5W.

Resistor dalam teori dan prakteknya di tulis dengan perlambangan huruf R. Dilihat dari ukuran fisik sebuah resistor yang satu dengan yang lainnya tidak berarti sama besar nilai hambatannya. Nilai hambatan resistor di sebut resistansi.

### Macam-Macam Resistor Sesuai Dengan Bahan Dan Konstruksinya.

Berdasarkan jenis dan bahan yang digunakan untuk membuat resistor dibedakan menjadi resistor kawat, resistor arang dan resistor oksida logam. Sedangkan resistor arang dan resistor oksida logam berdasarkan susunan yang dikenal resistor komposisi dan resistor film.

Namun demikian dalam perdagangan resistor-resistor tersebut dibedakan menjadi resistor tetap (fixed resistor) dan resistor variabel. Penggunaan untuk daya rendah yang paling utama adalah jenis tahanan tetap yaitu tahanan campuran karbon yang dicetak. Ukuran relatif semua tahanan tetap dan tidak tetap berubah terhadap rating daya (jumlah watt), penambahan ukuran untuk meningkatkan rating daya agar dapat mempertahankan arus dan rugi lesapan daya yang lebih besar.

Tahanan yang berubah-ubah, seperti yang tercantum dari namanya, memiliki sebuah terminal tahanan yang dapat diubah harganya dengan memutar dial, knob, ulir atau apa saja yang sesuai untuk suatu aplikasi. Mereka bisa memiliki dua atau tiga terminal, akan tetapi kebanyakan memiliki tiga terminal. Jika dua atau tiga terminal digunakan untuk mengendalikan besar tegangan, maka biasanya di sebut potensiometer. Meskipun sebenarnya piranti tiga terminal tersebut dapat digunakan sebagai rheostat atau potensiometer (tergantung pada bagaimana dihubungkan), ia biasa disebut potensiometer bila daftar dalam majalah perdagangan atau diminta untuk aplikasi khusus.

Kebanyakan potensiometer memiliki tiga terminal. Dial, knob, dan ulir pada tengah kemasannya mengendalikan gerak sebuah kontak yang dapat bergerak sepanjang elemen hambatan yang dihubungkan antara dua terminal luar. Tahanan antara terminal luar selalu tetap pada harga penuh yang terdapat pada potensiometer, tidak terpengaruhi pada posisi lengan geser. Dengan kata lain tahanan antar terminal luar untuk potensiometer 1M $\Omega$  akan selalu 1M $\Omega$ , tidak ada masalah bagaimana kita putar elemen kendali. Tahanan antara lengan geser dan salah satu terminal luar dapat diubah-ubah dari harga minimum yaitu nol ohm sampai harga maksimum yang sama dengan harga penuh potensiometer tersebut. Jumlah tahanan antara lengan geser dan masing-masing terminal luar harus sama dengan besar tahanan penuh potensiometer. Apabila tahanan antara lengan geser dan salah satu kontak luar meningkat, maka tahanan antara lengan geser dan salah satu terminal luar yang lain akan berkurang.

Macam-macam resistor tetap :

- a. Metal Film Resistor
- b. Metal Oxide Resistor
- c. Carbon Film Resistor
- d. Ceramic Encased Wirewound

- e. Economy Wirewound
- f. Zero Ohm Jumper Wire
- g. S I P Resistor Network

Macam-macam resistor variabel :

- a. Potensiometer :
  - a.1. Linier
  - a.2. Logaritmis
- b. Trimer-Potensiometer
- c. Thermister :
  - c.1. NTC ( Negative Temperature Coefisient )
  - c.2. PTC ( Positive Temperature Coefisient )
- d. DR
- e. Vdr

### Karakteristik Berbagai Macam Resistor

Karakteristik berbagai macam resistor dipengaruhi oleh bahan yang digunakan. Resistansi resistor komposisi tidak stabil disebabkan pengaruh suhu, jika suhu naik maka resistansi turun. Kurang sesuai apabila digunakan dalam rangkaian elektronika tegangan tinggi dan arus besar. Resistansi sebuah resistor komposisi berbeda antara kenyataan dari resistansi nominalnya. Jika perbedaan nilai sampai 10 % tentu kurang baik pada rangkaian yang memerlukan ketepatan tinggi.

Resistor variabel resistansinya berubah-ubah sesuai dengan perubahan dari pengaturannya. Resistor variabel dengan pengatur mekanik, pengaturan oleh cahaya, pengaturan oleh temperature suhu atau pengaturan lainnya.

Jika perubahan nilai, resistansi potensiometer sebanding dengan kedudukan kontak gesernya maka potensiometer semacam ini disebut potensiometer linier. Tetapi jika perubahan nilai resistansinya tidak sebanding dengan kedudukan kontak gesernya disebut potensio logaritmis.

Secara teori sebuah resistor dinyatakan memiliki resistansi murni akan tetapi pada prakteknya sebuah resistor mempunyai sifat tambahan yaitu sifat induktif dan kapasitif. Pada dasarnya bernilai rendah resistor cenderung mempunyai sifat induktif dan resistor bernilai tinggi resistor tersebut mempunyai sifat tambahan kapasitif.

Suhu memiliki pengaruh yang cukup berarti terhadap suatu hambatan. Didalam penghantar ada electron bebas yang jumlahnya sangat besar sekali, dan sembarang energi panas yang dikenakan padanya akan memiliki dampak yang sedikit pada jumlah total pembawa bebas. Kenyataannya energi panas hanya akan meningkatkan intensitas gerakan acak dari partikel yang berada dalam bahan yang membuatnya semakin sulit bagi aliran electron secara umum pada sembarang satu arah yang ditentukan. Hasilnya adalah untuk penghantar yang bagus, peningkatan suhu akan menghasilkan peningkatan harga tahanan. Akibatnya, penghantar memiliki koefisien suhu positif.

Arus  $\rightarrow$  panas

$$HR = I^2 R t \text{ [joule]}$$

$$Q = mc(T_a - T)$$

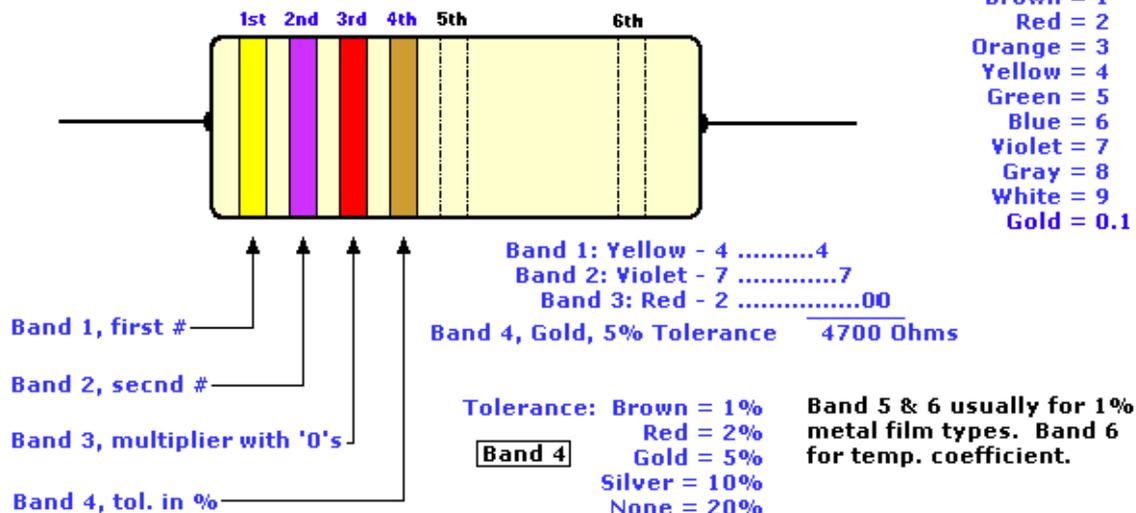
$$Q = 0.24 I^2 R t \text{ [kalori]}$$

### Kode Warna Dan Huruf Pada Resistor

Tidak semua nilai resistansi sebuah resistor dicantumkan dengan lambang bilangan melainkan dengan cincin kode warna. Banyaknya cincin kode warna pada setiap resistor berjumlah 4 dan ada juga yang berjumlah 5.

Resistansi yang mempunyai 5 cincin terdiri dari cincin 1 , 2 dan 3 adalah cincin digit, cincin 4 sebagai pengali serta cincin 5 adalah toleransi. Resistansi yang mempunyai 4 cincin terdiri dari cincin 1 , 2 adalah sebagai digit, cincin 3 adalah cincin pengali dan cincin 4 sebagai toleransi.

## Example: 4K7 or 4700 ohms (Carbon)



### Kode warna pada resistor

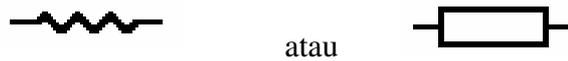
Pita/cincin Ke-1		Pita/cincin Ke-2		Pita/cincin Ke-3		Pita/cincin Ke-4	
Warna	Angka	Warna	Angka	Warna	Jumlah nol	warna	toleransi
Hitam	-	Hitam	0	Hitam	-	Hitam	± 20%
Cokelat	1	Cokelat	1	Cokelat	10 <sup>1</sup>	Cokelat	± 1%
Merah	2	Merah	2	Merah	10 <sup>2</sup>	Merah	-
Jingga	3	Jingga	3	Jingga	10 <sup>3</sup>	Jingga	-
Kuning	4	Kuning	4	Kuning	10 <sup>4</sup>	Kuning	-
Hijau	5	Hijau	5	Hijau	10 <sup>5</sup>	Hijau	± 5%
Biru	6	Biru	6	Biru	10 <sup>6</sup>	Biru	-
Ungu	7	Ungu	7	Ungu	10 <sup>7</sup>	Ungu	-
Abu-abu	8	Abu-abu	8	Abu-abu	10 <sup>8</sup>	Abu-abu	-
Putih	9	Putih	9	Putih	10 <sup>9</sup>	Putih	-
-	-	-	-	Emas	10 <sup>-1</sup>	Emas	± 5%
-	-	-	-	Perak	10 <sup>-2</sup>	Perak	± 10%
-	-	-	-	Tanpa warna	10 <sup>-3</sup>	Tanpa warna	± 20%

### Kode Huruf

- Huruf I menyatakan nilai resistor dan tanda koma desimal.  
 Jika huruf I adalah : R artinya x 1(kali satu) ohm  
 K artinya x 10<sup>3</sup>(kali 1000) ohm  
 M artinya x 10<sup>6</sup>(kali 1000000) ohm
- Huruf II menyatakan toleransi  
 Jika huruf II adalah : J artinya toleransi ± 5 %  
 K artinya toleransi ± 10 %  
 M artinya toleransi ± 20 %

### Resistor Tetap

Resistor tetap adalah resistor yang memiliki nilai hambatan yang tetap. Resistor memiliki batas kemampuan daya misalnya : 1/6 w, 1/8 w, 1/4 w, 1/2 w, 1 w, 5 w, dsb yang berarti resistor hanya dapat dioperasikan dengan daya maksimal sesuai dengan kemampuan dayanya.



atau

**Gambar Simbol resistor tetap**

**Resistor Tidak Tetap (variabel)**

Resistor tidak tetap adalah resistor yang nilai hambatannya dapat diubah-ubah atau tidak tetap. Jenisnya yaitu hambatan geser, Trimpot dan Potensiometer.

a. Trimpot

Resistor yang nilai hambatannya dapat diubah-ubah dengan cara memutar porosnya dengan menggunakan obeng. Untuk mengetahui nilai hambatan dari suatu trimpot dapat dilihat dari angka yang tercantum pada badan trimpot tersebut.

Simbol trimpot :



**Gambar Simbol Resistor Trimpot**

b. Potensiometer

Resistor yang nilai hambatannya dapat diubah-ubah dengan memutar poros yang telah tersedia. Potensiometer pada dasarnya sama dengan trimpot secara fungsional.

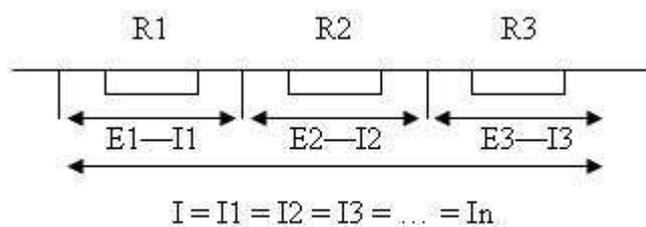
Simbol potensiometer :



**Gambar Simbol Resistor Potensiometer**

**Rangkaian Resistor Seri atau Deret**

Yang dimaksud dengan rangkaian seri atau deret ialah apabila beberapa resistor dihubungkan secara berturut-turut, yaitu ujung-akhir dari resistor pertama disambung dengan ujung-awal dari resistor kedua dan seterusnya. Jika ujung-awal resistor pertama dan ujung-akhir resistor terakhir diberikan tegangan maka arus akan mengalir berturut-turut melalui semua resistor yang besarnya sama.



$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$

Jika beberapa resistor, dihubungkan seri atau deret, kuat arus dalam semua resistor itu besarnya sama, berdasarkan hukum ohm:

$$\begin{aligned}
E_1 &= IR_1 \\
E_2 &= IR_2 \\
E_3 &= IR_3 \\
E &= E_1 + E_2 + E_3 = IR_1 + IR_2 + IR_3 \\
E &= I(R_1 + R_2 + R_3)
\end{aligned}$$

Jika beberapa resistor dihubungkan seri, maka tegangan jumlah sama dengan jumlah tegangan-  
tegangan bagian.

$$E = \sum E \text{ Bagian}$$

Jika harga resistor jumlah dari seluruh rangkaian kita ganti dengan  $R_t$ , maka :

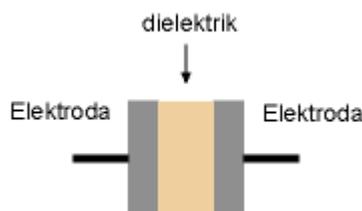
$$\begin{aligned}
E &= IR_t, \text{ sehingga :} \\
E &= IR_t = I(R_1 + R_2 + R_3) \\
\text{Maka :} \\
R_t &= R_1 + R_2 + R_3
\end{aligned}$$

Jadi besar harga resistor jumlah yang dihubungkan adalah :

$$R = \sum R \text{ Bagian}$$

## 1.2 Kapasitor

Kapasitor ialah komponen elektronika yang mempunyai kemampuan menyimpan electron-electron selama waktu yang tidak tertentu. Kapasitor berbeda dengan akumulator dalam menyimpan muatan listrik terutama tidak terjadi perubahan kimia pada bahan kapasitor, besarnya kapasitansi dari sebuah kapasitor dinyatakan dalam farad. Pengertian lain Kapasitor adalah komponen elektronika yang dapat menyimpan dan melepaskan muatan listrik. Struktur sebuah kapasitor terbuat dari 2 buah plat metal yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Bahan-bahan dielektrik yang umum dikenal misalnya udara vakum, keramik, gelas dan lain-lain. Jika kedua ujung plat metal diberi tegangan listrik, maka muatan-muatan positif akan mengumpul pada salah satu kaki (*elektroda*) metalnya dan pada saat yang sama muatan-muatan negatif terkumpul pada ujung metal yang satu lagi. Muatan positif tidak dapat mengalir menuju ujung kutub negatif dan sebaliknya muatan negatif tidak bisa menuju ke ujung kutub positif, karena terpisah oleh bahan dielektrik yang non-konduktif. Muatan elektrik ini "tersimpan" selama tidak ada konduksi pada ujung-ujung kakinya. Di alam bebas, fenomena kapasitor ini terjadi pada saat terkumpulnya muatan-muatan positif dan negatif di awan. Kemampuan untuk menyimpan muatan listrik pada kapasitor disebut dengan kapasitansi atau kapasitas.



**Prinsip dasar kapasitor**

Kapasitansi didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu kapasitor untuk dapat menampung muatan elektron. Coulombs pada abad 18 menghitung bahwa 1 coulomb =  $6.25 \times 10^{18}$  elektron. Kemudian Michael Faraday membuat postulat bahwa sebuah kapasitor akan memiliki kapasitansi sebesar 1 farad jika dengan tegangan 1 volt dapat memuat muatan elektron sebanyak 1 coulombs. Dengan rumus dapat ditulis :

$$Q = CV \dots\dots\dots(1)$$

Q = muatan elektron dalam C (coulombs)

C = nilai kapasitansi dalam F (farads)

V = besar tegangan dalam V (volt)

$$HC = \frac{1}{2} C V^2 \quad [\text{joule}]$$

Dalam praktek pembuatan kapasitor, kapasitansi dihitung dengan mengetahui luas area plat metal (A), jarak (t) antara kedua plat metal (tebal dielektrik) dan konstanta (k) bahan dielektrik. Dengan rumusan dapat ditulis sebagai berikut :

$$C = (8.85 \times 10^{-12}) (k A/t) \dots(2)$$

Berikut adalah tabel contoh konstanta (k) dari beberapa bahan dielektrik yang disederhanakan.

**konstanta bahan dielektrik**

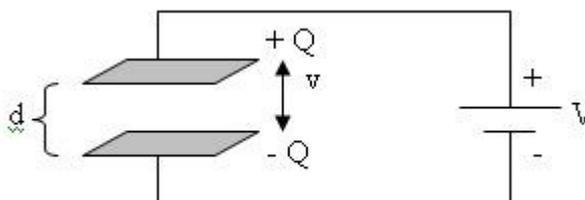
Udara vakum	k = 1
Aluminium oksida	k = 8
Keramik	k = 100 - 1000
Gelas	k = 8
Polyethylene	k = 3

**Prinsip Pembentukan Kapasitor**

Jika dua buah plat atau lebih yang berhadapan dan dibatasi oleh isolasi, kemudian plat tersebut dialiri listrik maka akan terbentuk kondensator (isolasi yang menjadi batas kedua plat tersebut dinamakan dielektrikum).

Bahan dielektrikum yang digunakan berbeda-beda sehingga penamaan kapasitor berdasarkan bahan dielektrikum. Luas plat yang berhadapan bahan dielektrikum dan jarak kedua plat mempengaruhi nilai kapasitansinya.

Pada suatu rangkaian yang tidak terjadi kapasitor liar. Sifat yang demikian itu disebutkan kapasitansi parasitic. Penyebabnya adalah adanya komponen-komponen yang berdekatan pada jalur penghantar listrik yang berdekatan dan gulungan-gulungan kawat yang berdekatan.



**Gambar dielektrikum**

Gambar diatas menunjukkan bahwa ada dua buah plat yang dibatasi udara. Jarak kedua plat dinyatakan sebagai  $d$  dan tegangan listrik yang masuk.

### Besaran Kapasitansi

Kapasitas dari sebuah kapasitor adalah perbandingan antara banyaknya muatan listrik dengan tegangan kapasitor.

$$C = Q / V$$

Keterangan :

$C$  = Kapasitas dalam satuan farad

$Q$  = Muatan listrik dalam satuan Coulomb

$V$  = Tegangan kapasitor dalam satuan Volt

Jika dihitung dengan rumus  $C = 0,0885 D/d$ . Maka kapasitansinya dalam satuan piko farad

$D$  = luas bidang plat yang saling berhadapan dan saling mempengaruhi dalam satuan  $cm^2$ .

$d$  = jarak antara plat dalam satuan cm.

Bila tegangan antara plat 1 volt dan besarnya muatan listrik pada plat 1 coulomb, maka kemampuan menyimpan listriknya disebut 1 farad.

Dalam kenyataannya kapasitor dibuat dengan satuan dibawah 1 farad. Kebanyakan kapasitor elektrolit dibuat mulai dari 1mikrofarad sampai beberapa milifarad. Kapasitor variabel mempunyai ukuran fisik yang besar tetapi nilai kapasitansinya sangat kecil hanya sampai ratusan pikofarad.

### Macam-macam kapasitor sesuai bahan dan konstruksinya.

Kapasitor seperti juga resistor nilai kapasitansinya ada yang dibuat tetap dan ada yang variabel. Kapasitor dielektrikum udara, kapasitansinya berubah dari nilai maksimum ke minimum. Kapasitor variabel sering kita jumpai pada rangkaian pesawat penerima radio dibagian penala dan osilator. Agar perubahan kapasitansi di dua bagian tersebut serempak maka digunakan kapasitor variabel ganda. Kapasitor variabel ganda adalah dua buah kapasitor variabel dengan satu pemutar. Berdasarkan dielektrikunya kapasitor dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain:

1. kapasitor keramik
2. kapasitor film
3. kapasitor elektrolit
4. kapasitor tantalum
5. kapasitor kertas

Kapasitor elektrolit dan kapasitor tantalum adalah kapasitor yang mempunyai kutub atau polar, sering disebut juga dengan nama kapasitor polar. Kapasitor film terdiri dari beberapa jenis yaitu polyester film, poly propylene film atau polysterene film.

### Karakteristik Berbagai Macam Kapasitor

Kapasitor mika mampu menerima tegangan sampai ribuan volt pada rangkaian frequency tinggi. Kapasitor untuk rangkaian frekuensi tinggi electron-elektron harus mengisi plat-plat logam dan mengisi dielektrikunya.

Pada saat arus berubah arah electron-elektron harus meningkatkan dielektrikum. Perubahan arah arus yang terjadi pada kapasitor terhalangi oleh rintangan yang disebut hysteresis kapasitif.

Sifat-sifat kapasitor pada umumnya :

- a. Terhadap tegangan dc merupakan hambatan yang sangat besar.
- b. Terhadap tegangan ac mempunyai resistansi yang berubah-ubah sesuai dengan frequency kerja.
- c. Terhadap tegangan ac akan menimbulkan pergeseran fasa, dimana arus  $90^0$  mendahului tegangannya.

Resistansi dari sebuah kapasitor terhadap tegangan ac disebut reaktansi. Disimbolkan dengan  $X_c$ , besarnya reaktansi kapasitor ditulis dengan rumus :

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c}$$

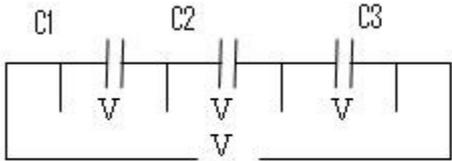
Keterangan :  
 $X_c$  = Reaktansi kapasitif (ohm)  
 $f$  = frekuensi kerja rangkain dalam satuan hertz  
 $c$  = kapasitansi (farad)

Sebuah kapasitor dapat mengalami kerusakan apabila :

1. sudah lama terpakai
2. batas tegangan kerja terlampaui
3. kesalahan pada pemasangan polaritas yang tidak benar.
- 4.

**Kapasitansi Pada Rangkaian Kapasitor**

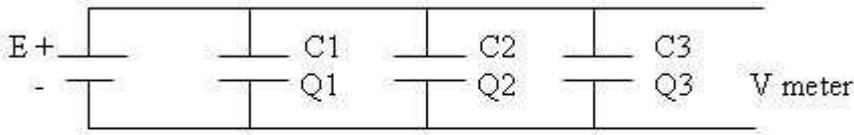
Kapasitor yang dihubungkan seri dengan kapastor lain, kemampuan menahan listrik menjadi lebih tinggi, kapasitansi totalnya menjadi lebih rendah dan bahan dielektrikum seolah-olah menjadi lebih tebal. Jumlah muatan listrik pada setiap kapasitor menjadi sama besar. Jika perbedaan potensial tiap-tiap kapasitor sama dengan pemberian tegangan pada rangkaian



Berdasarkan gambar diatas maka :  
 $V = V_1 + V_2 + V_3$ ,  $V_1 = Q_1 / C_1$   
 $V_2 = Q_2 / C_2$ ,  $V_3 = Q_3 / C_3$ ,  $V = Q / C$   
 $Q / C = Q_1 / C_1 + Q_2 / C_2 + Q_3 / C_3$  sehingga :  
 $1 / C_t = 1 / C_1 + 1 / C_2 + 1 / C_3$

Bagaimana jika kapasitor dihubungkan secara parallel?

Beberapa kapasitor dihubungkan parallel yang diberi tegangan  $V$  seperti gambar dibawah, maka jumlah muatan seluruh sama dengan jumlah tegangan muatan kapasitor. Tegangan pada tiap-tiap kapasitor sama dengan tegangan sumber yang dicantumkan

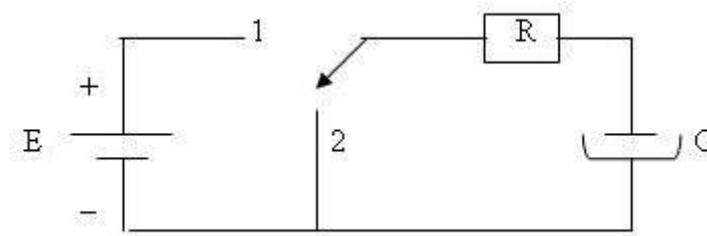


Berdasarkan gambar diatas maka :  
 $V = V_1 = V_2 = V_3 = E$   
 $C_t \cdot V = C_1 V_1 + C_2 V_2 + C_3 V_3$   
 $C_t = C_1 + C_2 + C_3$

**Pengisian Dan Pengosongan Kapasitor**

Saat pengisian dan pengosongan muatan pada kapasitor, waktu lamanya pengisian dan pengosongan muatannya tergantung dari besarnya nilai resistansi dan kapasitansi yang digunakan pada rangkaian. Pada saat saklar menghubungkan ketitik 1 arus listrik mengalir dari sumber-sumber tegangan melalui komponen R menuju komponen C. Tegangan pada kapasitor meningkat dari 0

volt sampai sebesar tegangan sumber, kemudian tak terjadi aliran, saklar dipindahkan posisinya ke titik 2 maka terjadi proses pengosongan. Seperti yang ditunjukkan oleh gambar di bawah ini



**Gambar Rangkaian RC hubungan seri dicatu oleh tegangan dc.**

Tegangan kapasitor menurun, arah arus berlawanan dari arah pengisian. Tegangan pada R menjadi negatif dan berangsur-angsur tegangannya menjadi 0 volt. Pengisian dan pengosongan masing-masing memerlukan  $5 R.C$  ( time constan ).

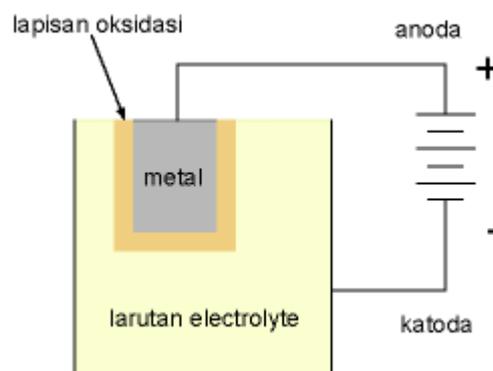
### Kapasitor Tetap

Kapasitor yang mempunyai kapasitansi yang tetap. Jenis-jenis kapasitor tetap antara lain :

#### a. Kapasitor polar

Kelompok kapasitor electrolytic terdiri dari kapasitor-kapasitor yang bahan dielektriknya adalah lapisan metal-oksida. Umumnya kapasitor yang termasuk kelompok ini adalah kapasitor **polar** dengan tanda + dan - di badannya. Mengapa kapasitor ini dapat memiliki polaritas, adalah karena proses pembuatannya menggunakan elektrolisa sehingga terbentuk kutup positif anoda dan kutup negatif katoda.

Telah lama diketahui beberapa metal seperti tantalum, aluminium, magnesium, titanium, niobium, zirconium dan seng (zinc) permukaannya dapat dioksidasi sehingga membentuk lapisan metal-oksida (*oxide film*). Lapisan oksidasi ini terbentuk melalui proses elektrolisa, seperti pada proses penyepuhan emas. Elektroda metal yang dicelup kedalam larutan electrolyte (*sodium borate*) lalu diberi tegangan positif (anoda) dan larutan electrolyte diberi tegangan negatif (katoda). Oksigen pada larutan electrolyte terlepas dan mengoksidai permukaan plat metal. Contohnya, jika digunakan Aluminium, maka akan terbentuk lapisan Aluminium-oksida ( $Al_2O_3$ ) pada permukaannya.



**Kapasitor Elco**

Dengan demikian berturut-turut plat metal (anoda), lapisan-metal-oksida dan electrolyte (katoda) membentuk kapasitor. Dalam hal ini lapisan-metal-oksida sebagai dielektrik. Dari rumus (2) diketahui besar kapasitansi berbanding terbalik dengan tebal dielektrik. Lapisan metal-oksida ini sangat tipis, sehingga dengan demikian dapat dibuat kapasitor yang kapasitansinya cukup besar. Karena alasan ekonomis dan praktis, umumnya bahan metal yang banyak digunakan adalah aluminium dan tantalum. Bahan yang paling banyak dan murah adalah Aluminium. Untuk mendapatkan permukaan yang luas, bahan plat Aluminium ini biasanya digulung radial. Sehingga dengan cara itu dapat diperoleh kapasitor yang kapasitansinya besar. Sebagai contoh 100uF, 470uF,

4700uF dan lain-lain, yang sering juga disebut kapasitor *elco*. Bahan electrolyte pada kapasitor Tantalum ada yang cair tetapi ada juga yang padat. Disebut electrolyte padat, tetapi sebenarnya bukan larutan elektrolit yang menjadi elektroda negatif-nya, melainkan bahan lain yaitu manganese-dioksida. Dengan demikian kapasitor jenis ini bisa memiliki kapasitansi yang besar namun menjadi lebih ramping dan mungil. Selain itu karena seluruhnya padat, maka waktu kerjanya (*lifetime*) menjadi lebih tahan lama. Kapasitor tipe ini juga memiliki arus bocor yang sangat kecil. Jadi dapat dipahami mengapa kapasitor Tantalum menjadi relatif mahal.

### Kapasitor non polar

Kapasitor non polar adalah kelompok kapasitor yang dibuat dengan bahan dielektrik dari keramik, film dan mika. Keramik dan mika adalah bahan yang populer serta murah untuk membuat kapasitor yang kapasitansinya kecil. Tersedia dari besaran pF sampai beberapa uF, yang biasanya untuk aplikasi rangkaian yang berkenaan dengan frekuensi tinggi. Termasuk kelompok bahan dielektrik film adalah bahan-bahan material seperti *polyester* (*polyethylene terephthalate* atau dikenal dengan sebutan *mylar*), *polystyrene*, *polypropylene*, *polycarbonate*, *metalized paper* dan lainnya. kapasitor yang memiliki nilai kapasitansi lebih dari 1 uF Yaitu:

### Kapasitor Tidak tetap (variable)

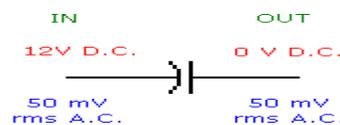
Kapasitor yang nilai kapasitansinya dapat berubah-ubah, nilai kapasitansi pada kapasitor dapat dilihat dari kode yang terdapat pada fisik kapasitor. Sebagai contoh, jika tertera 105, itu berarti  $10 \times 10^5 = 1.000.000 \text{ pF} = 1000 \text{ nF} = 1 \text{ uF}$ . Nilai yang dibaca pF (pico farad). Kapasitor lain ada yang tertulis 0.1 atau 0.01, jika demikian, maka satuan yang dipakai uF. Jadi 0.1 berarti 0.1 uF.

Nilai kapasitansi satu Farad menunjukkan bahwa kapasitor memiliki kemampuan untuk menyimpan satu coulomb pada tegangan satu volt. Kapasitor pada power supply menggunakan kapasitan sebesar 4700 uF. Sedang circuit pada radio sering menggunakan besar kapasitan di bawah 10pF. Waktu yang dibutuhkan kapasitor untuk mencapai pengisian optimal tergantung pada besarnya nilai kapasitansi dan resistansi. Formulasnya :

$$T = R \times C$$

T = time ( waktu dalam detik)  
R = resistansi (dalam ohm)  
C = Kapasitansi (dalam Farad)

Formula ini merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 63 % nilai tegangan pada sumber. Yang perlu diperhatikan adalah kapasitor akan melewatkan arus AC bukan DC. Dalam rangkaian elektronika ini merupakan hal yang penting.

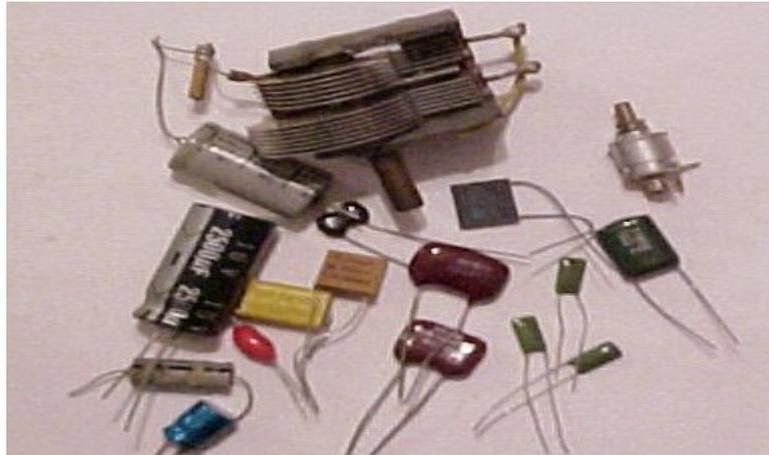


### Pass AC

Berikut adalah beberapa bentuk kapasitor :



**Kapasitor keramik(nonpolar) dan elektrolit(polar)**



Aneka ragam kapasitor

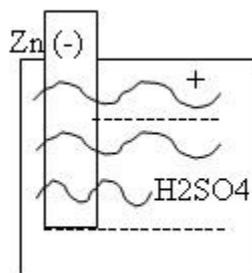
Induktif :  $HL = \frac{1}{2} L I^2$  [joule]  
 $L = \mu_0 N A^2 / l$   
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$   
 $XL = 2 \pi f l$   
 $H = I^2 XL t$

### 1.3 Macam-macam Elemen Sumber Listrik Arus Searah

Yang dimaksud dengan sumber listrik arus searah ialah alat/benda yang menjadi sumber listrik arus searah dan menghasilkan arus searah secara permanent. Sumber listrik arus searah yang paling banyak dikenal adalah sumber listrik arus searah yang membangkitkan listrik secara kimia dan secara mekanik.

#### Elemen Elektro Kimia

Menurut Neinst, batang logam yang dimasukkan dalam larutan asam sulfat akan melepaskan ion-ion positif ke dalam larutan itu, oleh karena itu, logam tersebut menjadi bermuatan negative. Sedangkan larutan tersebut menjadi muatan positif. Beda potensial tersebut dinamakan tegangan larutan elektrolit.

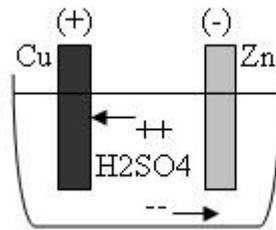


Tidak semua logam mempunyai kemampuan melepaskan ion-ion electron sama besar. Berdasarkan daftar elemen yang di buat Volta. Kita ketahui bahwa seng (zn) lebih kuat melepaskan ion-ion electron dari logam (cu) atau tembaga.

Daftar volta, logam yang kuat melepaskan ion-ion electron disebelah kiri makin kekanan adalah logam yang makin lemah melepaskan ion-ion elektronnya.

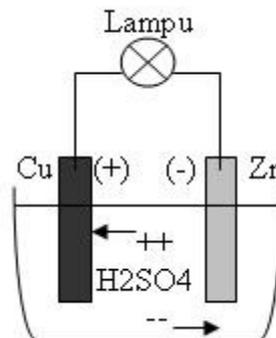
L	Na	Ca	Mg	Ae	Zn	Fe	Ni	Sn	Pb	H	Cu	Ag	Pt	Au	G
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	---

Untuk mendapatkan beda potensial yang baik dari bahan yang murah dan mudah didapat, dibuatlah sebuah elemen oleh Volta sebagai berikut :



Yang terjadi ialah adanya beda potensial. Batang tembaga menjadi kutub positif dan batang seng menjadi kutub negative. Beda potensial antara kutub positif dan kutub negative disebut Gaya Gerak Listrik.

Kemudian kedua kutub tersebut disambungkan dengan sebuah bola lampu atau alat ukur sehingga terlihat adanya beda potensial pada kedua kutub tersebut.



Pada ujung-ujung kawat penghubung terdapat beda potensial yang disebut tegangan jepit lampu yang dihubungkan dengan elemen basah volta. Berpijar lampu ini tidak berpijar lama dan segera meredup kemudian padam. Hal ini terjadi sebab plat tembaga tertutup oleh lapisan gelombang gas hydrogen. Jika plat-plat dikeluarkan dan gelombang dihilangkan dengan dicuci, kemudian plat-plat itu dicelupkan kembali kedalam larutan maka lampu akan berpijar lagi tetapi hanya bertahan dalam waktu singkat.

### **Elemen Volta termasuk elemen primer**

Pada elemen primer reaksi kimia yang menyebabkan electron mengalir dari elektroda positif ke elektroda negative tidak dapat dibalik arahnya. Ini menyebabkan elemen primer tidak dapat dimuati lagi.

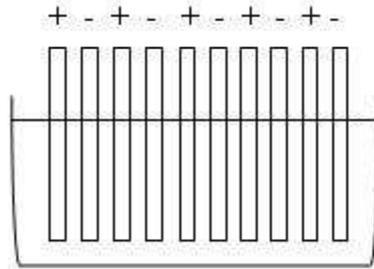
Jadi elemen primer ialah elemen yang bila telah habis muatannya tidak dapat diisi lagi. Untuk mengatasi kelemahan elemen primer ini dibuat jenis elemen yang dapat dimuati lagi, jenis elemen ini dinamakan elemen sekunder. Elemen sekunder sehari-hari kita kenal dengan sebutan accumulator.

### **Accumulator**

Accumulator disebut unsure (sel) sekunder karena sesudah energy habis masih bisa diisi dan digunakan kembali. Ketika diisi terjadi reaksi kimia yang pertama sesudah accumulator penuh dapat memberi arus pada rangkaian luar, maka terjadi reaksi kimia kedua. Jadi pesawat ini bekerja mengumpulkan dan mengeluarkan arus listrik.

### **Accumulator Timbel**

Jenis accu yang umum digunakan adalah accu timbel, accu terdiri dari 2 buah kumpulan plat timbel yang dicelupkan kedalam larutan asam sulfat ( $H_2SO_4$ )



Untuk mendapatkan jumlah arus yang lebih besar tetapi dalam kemasan yang kecil maka lapisan timbel tersebut dipasang sedemikian rupa dalam jarak yang berdekatan. Untuk menjaga agar plat-plat tersebut tidak saling bersentuhan maka diantara timbel tersebut dipasang penyekat dari bahan isolator. Untuk mendapatkan tegangan (GGL) yang besar, plat timbel tersebut dihubungkan seri.

### Accumulator Alkali

Sel ini disebut alkali karena menggunakan lindiokali (kaliloog) sebagai larutan elektrolitnya.

Keunggulannya:

- 1) Tahan terhadap guncangan, getaran
- 2) Tahan terhadap arus pengisian dan pembuangan yang berlebihan
- 3) Tahan terhadap arus hubungan singkat (short)

Kekurangannya:

1. Harganya mahal
2. Tiap pesawat hanya untuk satu sel
3. Memerlukan tempat yang luas
4. Tegangannya rendah dibandingkan dengan accumulator timbel

Accumulator alkali dipakai untuk industri berat, kendaraan berat, pertambangan, perusahaan kereta api, pusat pembangkit tenaga listrik untuk penggerak relai, kapal laut dan kapal udara.

Larutan elektrolitnya berupa 20% larutan lindiokali yang hidroksida potassium (KOH) dengan tambahan sedikit lithium monohidrat dalam air. Bejana untuk accumulator alkali dibuat dari baja dilapisi dengan nikel dan mempunyai lubang untuk ujung-ujung (kutub) accumulator dan lubang untuk mengisi elektrolitnya.

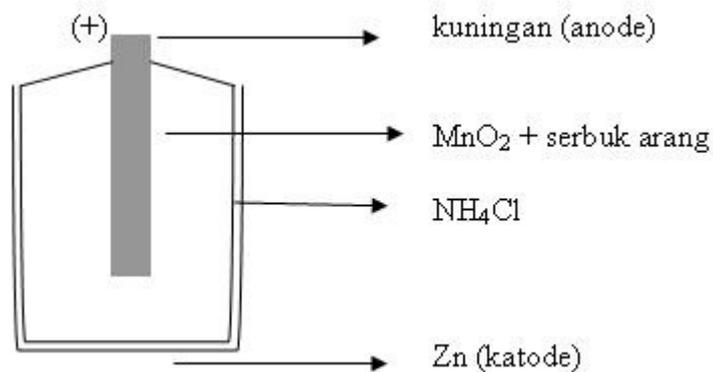
Lubang pengisian elektrolit ditutupkan dengan katup untuk membuang gas dari elektrolit tetapi mencegah janan sampai udara masuk yang dapat menimbulkan asam arang yang dapat mengurangi kapasitas accu.

### Kapasitas Accu

Kapasitas accu dinyatakan dengan amperejam(AH). Kapasitas accu bergantung pada luas dan jumlah plat. Bila sebuah accu mempunyai kapasitas 60AH dan arus maksimal yang dikeluarkan sebesar 5 ampere maka batterai itu dapat memberi arus 4A selama 15 jam ataupun dapat memberikan arus 5A selama 12 jam

### Elemen Kering

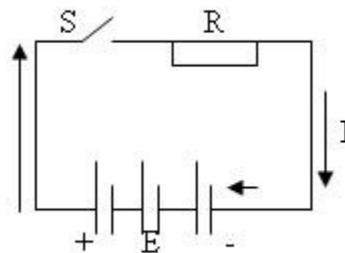
Elemen kering atau elemen le chance disebut secara umum sebagai batu baterai. Elemen kering termasuk elemen primer tapi sebagai elemen kering masih mempunyai banyak keunggulan, seperti bentuk fisik yang kecil, mudah dibawa, aman dan praktis. Pada elemen ini, elektroda positif adalah batang karbon yang ditengah dan pembungkusannya yang terbuat dari seng merupakan elektroda negative. Elektrolitnya adalah larutan ammonia klorida (NH<sub>4</sub>Cl) dan depolarisasi yang menahan terbentuknya hydrogen pada elektroda positif terbuat dari mangan dioksida (MnO<sub>2</sub>) bercampur serbuk karbon.



### Hubungan sumber listrik arus searah

Dalam satu rangkaian tertutup diluar sumber, arus (dalam rangkaian) mengalir dari potensial tinggi (positif) ke potensial rendah (negative), sedangkan dalam sumber arusnya sendiri, arus mengalir dari kutub negative ke kutub positif. Kemampuan mengalirkan arus (muatan listrik) disebut dengan potensial listrik atau dikenal dengan tegangan listrik/ voltage.

Untuk mendapatkan tegangan dan arus listrik yang sesuai dengan keperluan pemberian daya alat-alat listrik, maka dilakukan macam-macam hubungan sumber arus. Dalam hal ini kita mengenal sumber arus, 3 macam sumber arus yaitu hubungan seri, parallel dan seri-paralel.



### Hubungan Seri

Bila kutub negative baterai dihubungkan dengan kutub positif baterai lainnya dan begitu seterusnya, disebut hubungan seri (deret). Akhirnya didapatkan ujung negative dan ujung positif baterai ini dihubungkan dengan lampu hingga menjadi rangkaian tertutup, maka mengalir arus dari rangkaian tersebut. Arus ini disebut dengan arus baterai. Jumlah tegangan yang terdapat dalam baterai disebut Gaya Gerak Listrik (GGL) baterai, dengan symbol E. Jumlah hambatan dalam baterai disebut resistansi (hambatan dalam) baterai. Jika jumlah unsure (sel) baterai yang dipasang seri = d, GGL setiap sel baterai = e (volt), hambatan dalam setiap sel baterai = rd (ohm) dan hambatan beban luar = Rl, maka didapatkan persamaan jumlah GGL baterai = E = d.e dan hambatan dalam = Rd = d.rd dengan demikian arus baterai yang dapat dihitung :

$$I = \frac{d \cdot e}{(d \cdot rd) + Rl}$$

$$I = \frac{E}{Rd + Rl}$$

Tegangan jatuh pada lampu : I baterai . Rl

Kerugian tegangan pada baterai : I baterai . Rd

Daya yang keluar : (I baterai)<sup>2</sup> . Rl (watt)

Daya yang masuk : I baterai . E baterai (watt)

Rendemen (Daya Guna) = n = daya keluar / daya masuk . 100%

## Hubungan Paralel

Yang dimaksud dengan hubungan sejajar sumber arus adalah bila beberapa unsure dihubungkan berjajar hingga kutub yang sejenis terhubung misalkan kutub negative baterai pertama terhubung dengan kutub negative baterai kedua begitu juga dengan kutub positifnya dan seterusnya.

Jumlah unsure baterai yang diparalel :  $j$

Tahanan dalam setiap unsure :  $r_d$

Arus baterai :  $I$  baterai (ampere)

$$I \text{ baterai} = e / (1/j \cdot r_d) + R_l$$

$$I \text{ baterai} = e / R_d + R_l$$

Tegangan jatuh pada beban :  $I$  baterai  $\cdot R_l$

Kerugian tegangan pada baterai :  $I$  bat  $\cdot R_d$

Daya yang keluar (daya yang terpakai oleh lampu)(watt)

$$P \text{ lampu} = (I \text{ baterai})^2 \cdot R_l$$

Daya yang masuk :  $I$  baterai  $\cdot E$  baterai (watt)

Rendemen =  $n = \text{daya keluar} / \text{daya masuk} \cdot 100\%$

## Hubungan Seri-paralel

Jumlah unsure yang diserikan =  $d$

Jumlah unsure yang diparalelkan =  $j$

Jumlah unsure seri-paralel =  $d \cdot j = n$

GGL baterai = ggl unsure =  $d \cdot GGL$  unsure

$I$  baterai =  $E$  baterai /  $(d/j \cdot r_d) + R_l$

$$= d \cdot e / (d/j \cdot r_d) + R_l$$

## 1.4 Komponen semi-konduktor

Didalam pengelompokan bahan-bahan listrik dikenal ada 3 macam, yaitu :

1. Konduktor
2. Isolator
3. Semi-konduktor

Suatu bahan dikatakan konduktor apabila memiliki hantaran listrik yang besar. Suatu bahan dikatakan isolator apabila memiliki hantaran listrik (konduktance) yang kecil. Suatu bahan dikatakan semi-konduktor apabila dapat memiliki hantaran listrik yang nilainya bervariasi diantara konduktor dan isolator.

## Konduktance listrik (G)

$G$  adalah konduktance listrik yaitu kemampuan suatu bahan untuk melewatkan arus listrik dan dinyatakan dalam satuan mho atau siemens (S). Suatu konduktor ideal dikenal dengan nama super-konduktor memiliki nilai  $G=0$  di definisikan :

$$G = 1 / \mu_n \dots\dots\dots[1]$$

$\mu$  = mobilitas (kemampuan gerak muatan)

$n$  = konsentrasi pembawa muatan

Pembawa muatan (carrier) adalah suatu partikel bermuatan yang memberikan kontribusi terhadap pengaliran arus listrik semakin besar  $n$ , kemampuan untuk melewatkan arus listrik semakin besar [pers.1]

Seperti yang diketahui golongan konduktor yang baik adalah bahan-bahan logam, elektrolit, dan gas yang terionisasi. Pembawa muatan logam adalah sebagai electron bebas, sedangkan pada elektrolit dan gas berupa ion-ion positif dan negative.

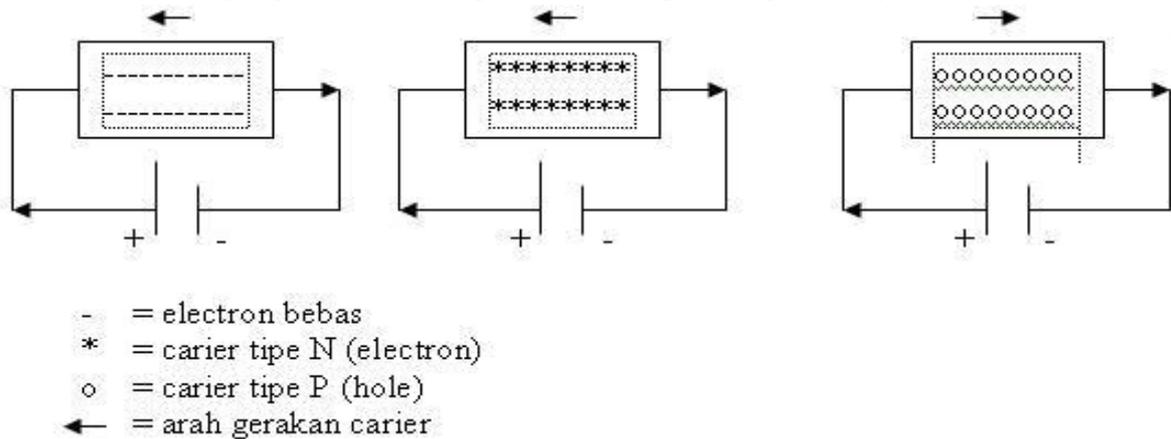
Berikut ini akan dibahas tentang bahan semi-konduktor. Semi-konduktor terbagi menjadi 2 menurut asalnya, yaitu semi konduktor instrinsik dan ekstrinsik.

Semi-konduktor instrinsik disebut juga SK murni, bersifat sebagai isolator dan memiliki 2 macam carrier yaitu ; hole (bermuatan positif) dan electron (bermuatan negative). Adapun konsentrasi electron  $n_e$  bernilai sama dengan konsentrasi hole  $n_h$  atau  $n_e=n_h$ .

Semi-konduktor Ekstrinsik diperoleh dengan memberi atom-atom asing (impurity) kedalam SK yang sudah memiliki impuritas (ketidakmurnian). Atom-atom impuritas ada 2 macam :

1. Atom Donor
2. Atom Aseptor

Apabila SK instrinsik diberi donor, maka akan menjadi SK ekstrinsik, dengan carier berupa electron dan disebut SK tipe N. Dan apabila diberi atom aseptor, maka akan menjadi semi-konduktor ekstrinsik, dengan carier berupa hole dan disebut SK tipe P. Berikut ini perbandingan konduktor logam, SK ekstrinsik tipe P dan tipe N yang diberi sumber listrik dan secara skematis bagaimana aliran arus yang diwakili oleh gerakan masing-masing cariernya :



### Generasi

Adalah suatu proses pembentukan pasangan electron-hole. Peristiwa ini akan terjadi apabila atom-atom suatu bahan SK diberi energi dari luar (energi eksitasi) yang berupa panas, cahaya, listrik gaya.

### Rekombinasi

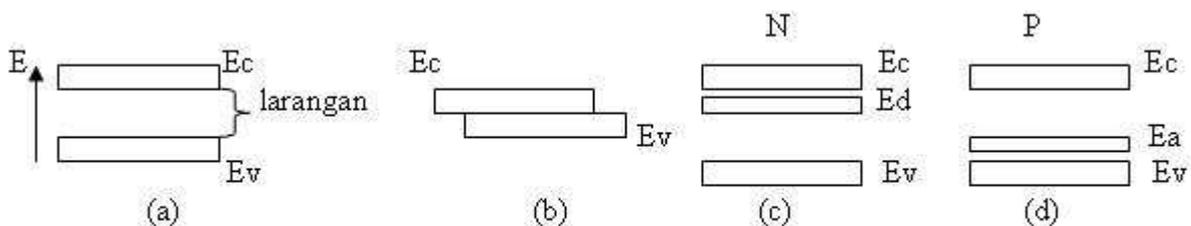
Adalah suatu proses penggabungan electron-hole disebut juga anihilasi. Peristiwa ini akan disertai pembebasan energi dalam bentuk panas atau cahaya tampak / tidak tampak.

### Konsep pita energi

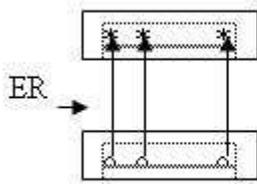
Konsep ini dapat dijadikan sebagai penjelasan karakteristik hantaran listrik dari berbagai bahan isolator, konduktor dan semi konduktor. Pita konduksi adalah pita yang memiliki kekosongan pita ini adalah tempat kedudukan electron-elektron yang menempati level energi tertentu dan memberi kontribusi terhadap hantaran listrik

### Pita valensi

Pita yang terisi penuh apabila electron pada pita ini pindah akan tercipta kekosongan yang disebut hole dan hole tersebut akan memberi kontribusi pada hantaran listrik. Pita larangan (forbidden band) adalah pita yang diduduki oleh level-level electron atau hole yang tidak diizinkan memberikan kontribusi pada hantaran listrik. Level-level pada umumnya adalah level jebakan (trapping) dan level impuritas. Berikut ini di gambarkan masing-masing model pita isolator, konduksi dan semi-konduktor

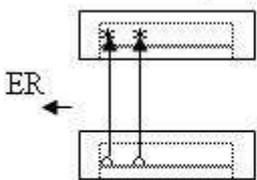


Tampak (a) bahwa pada  $E_v$  dan  $E_c$  sama sekali tidak ada electron maupun hole, berarti tidak mungkin ada hantaran apabila ada eksistasi energi (ER) dari luar akan terjadi generasi yang dapat digambarkan



Berarti akan ada  $n_e = 3$  dan  $n_h = 3$ ,  $n_h = n_e = n_i$

Dalam kondisi ini SK intrinsic mampu memberi hantaran listrik. Hantaran akan berkurang apabila terjadi rekombinasi yang disertai pancaran energi E, seperti pada gambar berikut :



Pada gambar (b) tampak pita  $E_c$  tumpang tindih dengan pita  $E_v$  sehingga akan terdapat electron bebas yang berasal dari pita valensi menempati pita konduksi dan mempunyai hantaran pada gambar (b) terdapat pada level  $E_d$  yang disebut level donor, level ini ditempati electron impuritas dan level kosong impuritas dan level kosong yang disebut level aseptor. Karena level ini terletak pada pita larangan, maka level ini tidak dapat memberi kontribusi terhadap hantaran listrik.

Tampak bahwa jarak electron pada  $E_d$ , cukup dekat ke  $E_c$  dengan energi eksistasi yang kecil electron berpindah ke  $E_c$  dengan energi eksistasi yang kecil electron berpindah ke  $E_c$  dan memberikan kontribusi hantaran. Demikian juga electron pada  $E_v$  dengan mudah dapat berpindah ke  $E_a$  dan memberi kontribusi terhadap hantaran (hole)



### PN Junction

Intrinsik : semi-konduktor murni (bersifat sebagai isolator)

Ekstrinsik: SK yang sudah diberi atom asing untuk SK intrinsic (atom ketidakmurnian) impuritas (bersifat penghantar)

$G$ =konduktansi (mho)

$R = 1 / G$  (ohm)

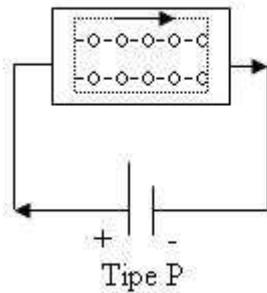
$R = \rho L / A = 1 / G$

$G = 1 / \rho \cdot A / L$

$g = 1 / \rho$  (konduktace jenis)

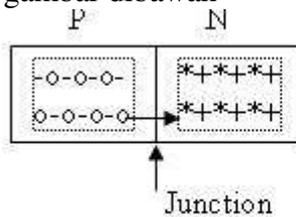
### Konsep Hole

Terjadi karena kekurangan electron

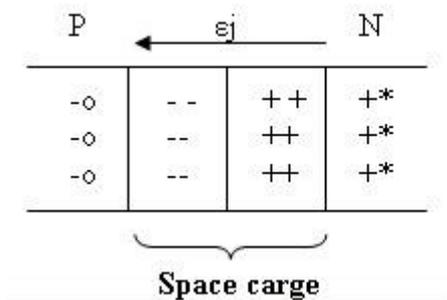


### PN Junction

Adalah daerah pertemuan yang terjadi, apabila SK P dan SK N dipertemukan seperti yang dilukiskan pada gambar dibawah



Akan terjadi pergerakan hole ke arah tipe N dan pergerakan electron ke arah tipe P, melalui mekanisme difusi (pergerakan partikel yang disebabkan oleh perbedaan konsentrasi). Didaerah dekat junction, hole bertemu electron, dan electron bertemu dengan hole terjadi rekombinasi sehingga didaerah junction akan terbentuk ion positif di daerah N dan ion negative di daerah P. kumpulan ion-ion ini disebut space charge (daerah ruang sambungan).



Pasangan ion-ion positif dan negative akan menghasilkan medan listrik  $\epsilon_j$  yang juga dapat dinyatakan  $\epsilon_j = V_j / w$  dimana  $V_j$  adalah potensial junction.

Arah medan yang sedemikian rupa, akan menghambat gerakan difusi hole maupun electron, akibatnya pada suatu saat gerakan hole dan electron akan berhenti sama sekali.  $\epsilon = \epsilon_i$

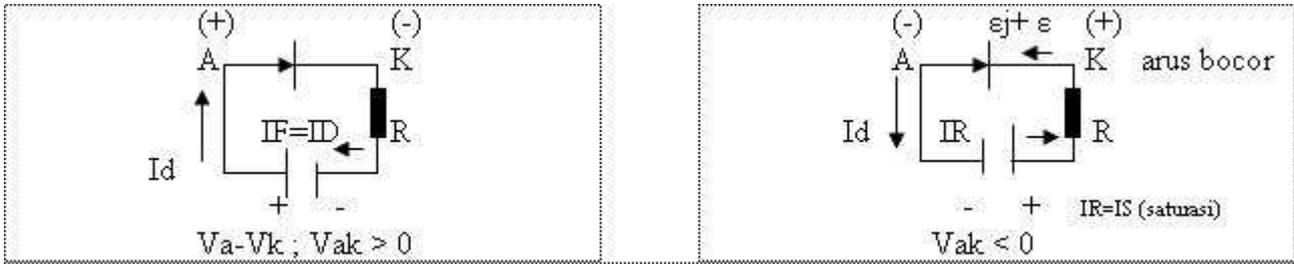
### 1.5 Diode

Diode adalah komponen elektronika semikonduktor yang memiliki 1 buah junction, sering disebut sebagai komponen 2 lapis (lapis N dan P) dan secara fisik digambarkan :



Bias diode adalah cara pemberian tegangan luar ke terminal diode. Apabila A diberi tegangan positif dan K diberi tegangan negative maka bias tersebut dikatakan bias maju (forward bias).

Pada kondisi bias ini akan terjadi aliran arus dengan ketentuan beda tegangan yang diberikan ke diode atau  $V_A - V_K > V_j$  dan selalu positif. Sebaliknya apabila A diberi tegangan negative dan K diberi tegangan positif, arus yang mengalir ( $I_R$ ) jauh lebih kecil dari pada kondisi bias maju. Bias ini dinamakan bias mundur (reverse bias) pada arus maju (IF) diperlakukan baterai tegangan yang diberikan dengan IF tidak terlalu besar maupun tidak ada peningkatan  $I_R$  yang cukup significant.



$$\begin{aligned}
 & -3V \quad \text{---} \quad | \text{---} \quad -4V \\
 & \quad \quad \quad A \quad | \quad K \\
 & V_{AK} = V_A - V_K \\
 & \quad = -3 - (-4) \\
 & \quad = \mathbf{1 \text{ volt (VF)}}
 \end{aligned}$$

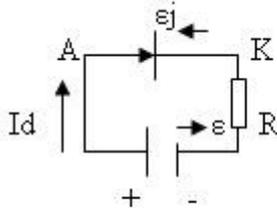
$$\begin{aligned}
 & +3V \quad \text{---} \quad | \text{---} \quad +5V \\
 & \quad \quad \quad A \quad | \quad K \\
 & V_{AK} = V_A - V_K \\
 & \quad = 3 - 5 \\
 & \quad = \mathbf{-2 \text{ volt (VR)}}
 \end{aligned}$$

### Bias diode

Ada 2 macam bias :

1. bias positif atau bias maju (forward bias)
2. bias negative atau bias mundur (reverse bias)

1. Pada kondisi bias positif, anode lebih positif dari katoda.



$\epsilon_j$  = medan listrik yang ada di junction

$\epsilon$  = medan listrik sumber bias dari luar (medan luar)

Apabila  $\epsilon > \epsilon_j$  maka akan terjadi arus difusi didalam diode untuk hole dari P ke N untuk electron dari N ke P. Arus difusi didalam diode tersebut diimbangi oleh aliran arus listrik dari kutub positif sumber ke diode dan berakhir ke kutub negative sumber.

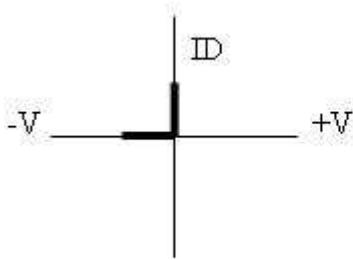
Dikatakan diode menghantar pada kondisi tegangan anode-katoda berkisar  $V_{ji}$  yang disebut dengan cut in threshold untuk Si  $V_{ji} \ 0.6 - 0.7v$  Ge  $0.3 - 0.4$

Lazimnya tegangan anode-katode sedikit diatas  $V_{ji}$ . Pada bias positif, diode bersifat serupa konduktor dengan nilai hambatan yang disebut hambatan maju ( $R_F$ ). Nilai  $R_F = R_P + R_N$ ,  $R_P$  dan  $R_N$  disebut hambatan bulk.

Karakteristik arus tegangan diode dapat ditinjau melalui 2 pendekatan :

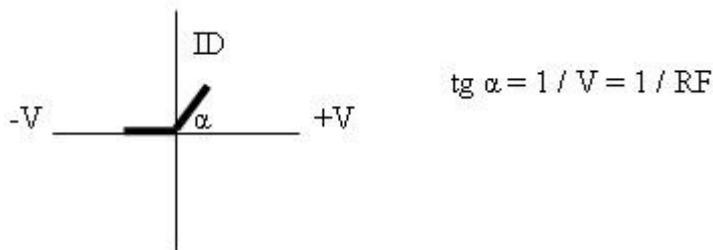
1. Diode Ideal
2. Diode Riil

Untuk **diode ideal**, didekati melalui pendekatan setengah linier (Piece Wise Linier) ada 3 pendekatan, yang didekati secara grafis.

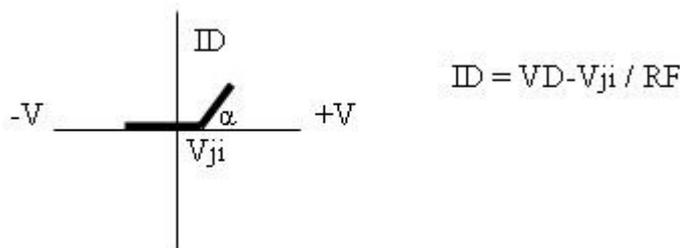


disini diode dimodelkan sebagai saklar ideal yaitu suatu saklar yang memiliki cirri untuk kondisi tertutup  $R=0$  dan untuk kondisi terbuka  $R= \infty$ . Untuk bias negative diode dianggap sebagai isolator dengan nilai hambatan  $R_R \gg R_F$ . Pada model ini untuk bias positif sebagai saklar tertutup (on) dan pada bias negative sebagai saklar terbuka (off), kedua kondisi bias dilukiskan pada grafik  $I/V$ .

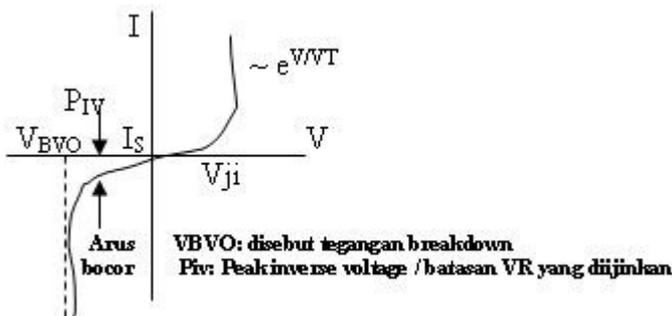
Model kedua adalah untuk bias positif sebagai saklar non-ideal pada kondisi tertutup  $R \neq 0$ . Untuk bias negative sebagai saklar ideal. Kedua bias tersebut dilukiskan sebagai berikut :



Untuk model ketiga bias positif sebagai saklar non-ideal yang tertutup terpasang seri dengan sumber tegangan  $V_{ji}$ . Untuk bias negative sebagai saklar ideal terbuka dengan grafik sebagai berikut :



**Diode Riil** model diode riil, didekati oleh pendekatan ke-3 dari diode ideal dengan pendekatan tambahan, pada bias negative nilai  $R_R \neq \infty$  sehingga terjadi arus reverse yang disebut arus bocor atau arus saturasi. Umumnya dalam orde nanoampere. Ditulis sebagai  $I_B$  atau  $I_S$ , arus  $I_S$ , dipandang sebagai gerakan pembawa minoritas nilai  $I_S$  berubah terhadap suhu atau  $I_S = aT^3$ . Untuk bias positif terjadi hubungan eksponensial antara arus dan tegangan.  $I_D \approx e^{V/V_T}$ ,  $V_T$ =tegangan termal =  $kT/q$ . Grafik karakteristik diode riil digambarkan sebagai berikut :

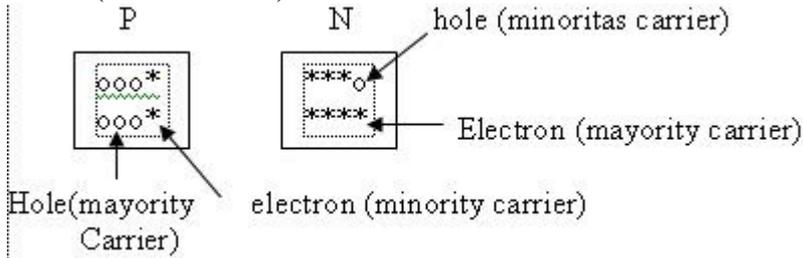


Pada nilai  $V_R = V_{BVO}$ , terjadi peningkatan  $I_S$  yang luar biasa besarnya. Arus diode pada kondisi riil, umumnya dinyatakan sebagai berikut :  $I_D = I_S(e^{V/V_T} - 1)$

Catatan :

Carrier : partikel bermuatan yang menentukan sifat hantaran suatu semi-konduktor.

Diode (dua electrode)

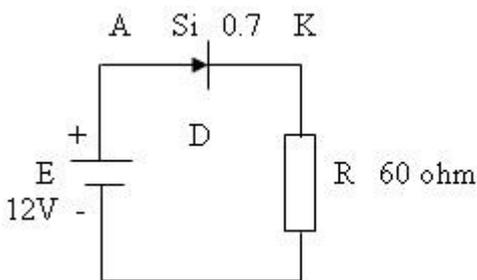


Kasus diatas :

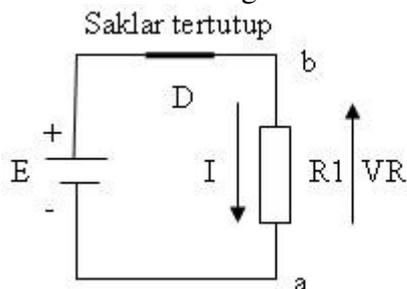
Suatu diode dihubungkan seri dengan hambatan  $R=60$  ohm dan sumber  $E=12$  volt system diode D, R dan E membentuk suatu lup tertutup, apabila diode terbuat dari bahan SK Silikon, tentukan arus didalam rangkaian untuk kondisi berikut ini :

- diode dianggap ideal
- diode dianggap riil (dengan anggapan hambatan forward 1 ohm)

Jawab :



- Pendekatan diode ideal dianggap sebagai saklar tertutup sehingga rangkaian diatas dapat dituliskan sebagai berikut :



maka besar arus I yang mengalir dalam rangkaian :

$$V_a + V_R - E = V_a$$

$$V_R - E = 0$$

$$V_R = E$$

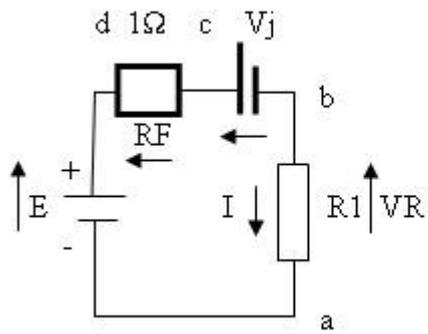
$$\text{Dimana : } V_R = I \cdot R$$

$$I \cdot R - E = 0$$

$$I \cdot R = E$$

$$I = E/R = 12\text{v}/60\text{ohm} = 0.2\text{A}$$

b) Pendekatan diode riil



untuk Si  $V_{ji} = 0.7$

$R_F = 1 \Omega$

$V_a + V_R + V_{ji} + R_F - E = V_a$

$I \cdot R + 0.7 + I \cdot R_F - E = 0$

$I R + I R_F = E - 0.7$

$I (R + R_F) = 12 - 0.7$

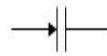
$I (60 + 1) = 12 - 0.7$

$I = 11.3 / 61 \text{ (Ampere)}$

### Macam-macam diode

Secara umum semua diode memiliki konstruksi dan prinsip kerja yang sama. Semua diode terbentuk oleh sambungan PN yang secara fisik diode dikenali melalui nama elektrodanya yang khas yaitu : anode dan katode.

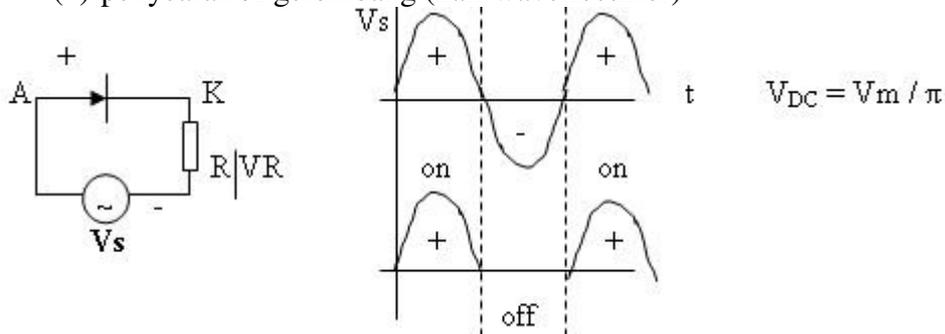
Diode dibedakan menurut fungsinya, disini dalam representasi simbolik dilukiskan secara berbeda demikian pula karakteristiknya.

Jenis diode	Fungsi	Simbol	Karakteristik
Rectifier	penyearah		
Zener	regulator		
LED	display		
Fotodiode	sensor cahaya		
Schottky	saklar kec. tinggi		
Tunnel	osilator		
Varaktor	variable kapasitor		

### Diode rectifier

Kerja diode ini berdasarkan efek penyearahan, yaitu akan melewatkan arus pada bias forward dan menahan arus pada bias reverse. Ada 2 tipe penyearah, yaitu:

(1) penyearah 1/2 gelombang (half wave rectifier)



$V_s$  adalah sumber tegangan bolak-balik (AC) yang memiliki pola tegangan sinusoidal  $V_s = V_m \sin \omega t$

Dimana fasa  $V_s$  berubah-ubah setiap setengah periode  $T$  untuk  $T/2$  yang pertama  $V_s$  berfasa positif pada kisaran nilai  $0 < \omega t < \pi$

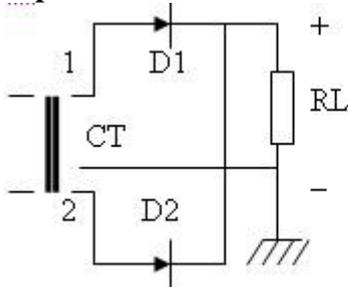
Diode on untuk  $T/2$  yang kedua  $V_1$  berfasa negative pada kisaran nilai  $\pi < \omega t < 2\pi$ . Diode off tegangan  $V_s$  yang muncul di  $R$  (tegangan jatuh) hanya berlaku yang fasanya positif saja dan disebut sebagai besaran DC. Nilai yang terukur dapat dinyatakan  $V_{DC} = V_m / \pi$

(2) penyearah gelombang penuh (full wave rectifier)

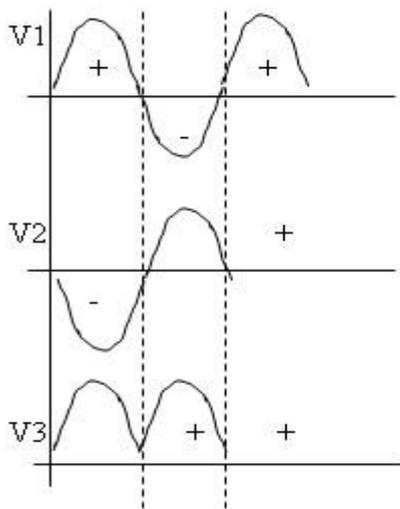
ada 2 jenis :

- a. CT (center tap)
- b. Bridge (jembatan)

**Type CT**



Titik 1 pada trafo CT fasanya berubah-ubah positif dan negative terhadap titik CT demikian pada titik 2. Fasa titik 1 selalu berlawanan dengan fasa titik 2 pada saat  $V_1$  positif terhadap CT  $V_2$  negatif dan sebaliknya. Pada saat  $V_1$  positif, diode 1 on dan diode 2 off (kenapa?) sebaliknya saat  $V_1$  negatif  $D_2$  on (kenapa?) relasi  $V_1, V_2$  terhadap  $V_R$  dilukiskan sebagai berikut : (jawabnya ingat prinsip bias diode!)

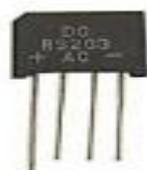
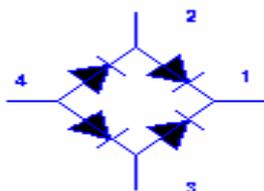


Tegangan yang terukur pada  $V_R$  disebut juga  $V_{DC}$  yang dinyatakan  $V_{DC} = 2V_m / \pi$

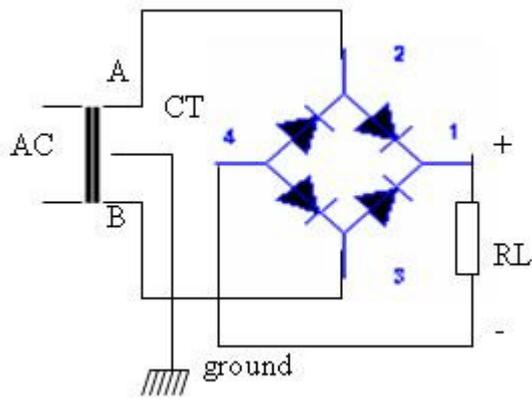
**Type Bridge**

Diode bridge sebagai penyearah gelombang penuh

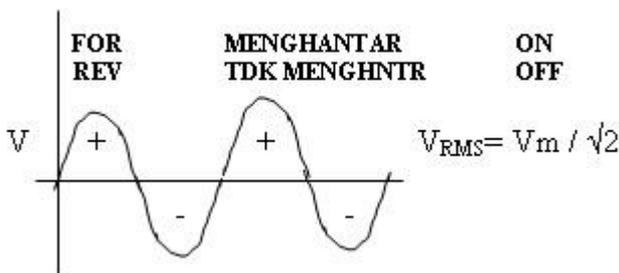
Diode adalah komponen elektronika semikonduktor yang memiliki 1 buah junction yang sering di sebut sebagai komponen 2 lapis (lapis N dan lapis P). Untuk mengkonfigurasi sebuah diode dibutuhkan suatu bias diode. Bias diode adalah pemberian tegangan luar ke terminal diode. Apabila anode diberi tegangan positif dan katode diberi tegangan negatif maka diode tersebut dalam keadaan bias maju. Pada keadaan bias ini akan terjadi aliran arus dengan ketentuan beda tegangan yang diberikan ke diode atau  $V_A - V_K > V_J$  dan selalu positif, sebaliknya apabila anode di beri tegangan negatif dan katode diberi tegangan positif, arus akan mengalir ( $I_R$ ) jauh lebih kecil dari kondisi bias maju. Bias ini di sebut bias mundur ( $V_R$ ). Dibawah ini merupakan bentuk fisik dari diode bridge.



*Diode bridge*

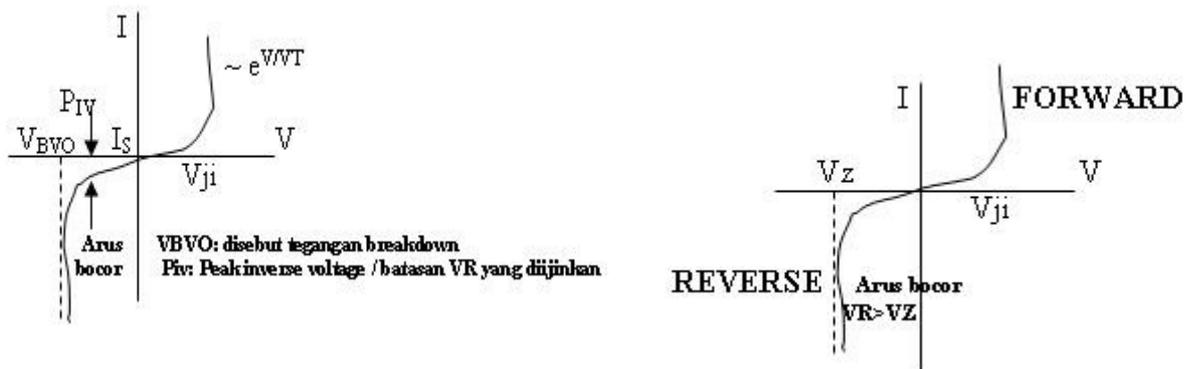


Pada saat A positif titik B negative. Diode 21 dan 43 On aliran arus dari A menuju diode 21 menuju RL menuju diode 43 dan menuju titik B (terjadi aliran karena terdapat beda potensial dari titik A dan B dari tinggi ke rendah dan karena prinsip bias diode). Bentuk tegangan di RL mirip dengan tipe CT dan  $V_{DC} = 2V_m / \pi$



### Diode Zener

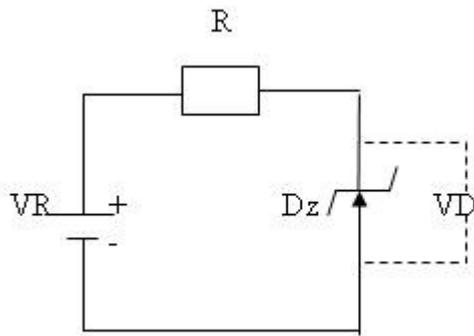
Pada dasarnya diode zener memiliki karakteristik yang hampir sama dengan diode rectifier yaitu memiliki karakteristik maju dan mundur. Pada diode zener bias maju nilai  $V_{ji} \approx 0$  sedangkan pada bias mundur pada saat terjadi gejala yang serupa breakdown pada diode rectifier, diode zener akan menghantarkan tanpa kerusakan, tegangan ini disebut tegangan zener



Suatu diode zener yang dirancang akan menghantar pada tegangan zenernya untuk bias reverse lazimnya dalam kemasan ditulis sebagai xvy misalkan : x=2, y=3 berarti  $V_z = 2,3V$  atau  $2v3$ .

Daya zener maksimal. Pada saat  $V_R = V_z$ , diode zener akan menghantar arus  $I_z$  yang disebut arus zener. Besaran  $I_z$  harus dibatasi agar tidak muncul disipasi yang tidak berlebihan (power) karena hal ini dapat merusak diode zener. Nilai  $I_z$  terbesar, tanpa diode mengalami kerusakan memenuhi relasi  $P_z = V_z I_z$  disebut  $P_z$  maks dan  $I_z$  maks.

Dalam desain rangkaian untuk membatasi  $I_z < I_{zm}$  dipergunakan resistor yang terpasang seri seperti digambarkan sebagai berikut :



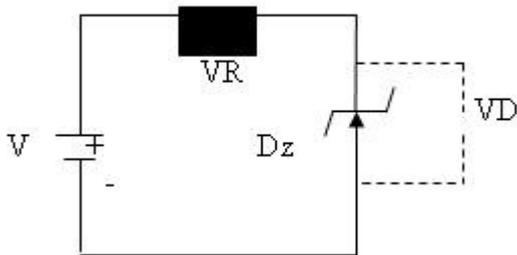
Untuk  $V_R < V_Z$ ,  $V_D = V_R =$  Terbuka

$V_R \geq V_Z$ ,  $V_D = V_Z$

$I_Z = (V_R - V_Z) / R$

R dipilih agar  $I_Z < I_{Zm}$  ( $I_{Zm} - I_Z \approx 15\% I_{Zm}$ )

R



Suatu diode zener 5V3 dipasang seri dengan R. Apabila  $P_Z = 1W$ . Tentukan nilai  $V_D$  untuk :

- $V = 4V$
- $V = 6V$
- Berapakah nilai tegangan pada R untuk kondisi a) dan b)
- Berapakah nilai R, agar diode tetap aman?

Jawab:

- $V = 4$  Volt

$V < V_Z$ ,  $V_D = V_R$

$4V < 5V3$

Diode dalam keadaan terbuka. Maka nilai  $V_D$  sama dengan nilai  $V_R$  yaitu **4 Volt**

- $V = 6$  Volt

$V > V_Z$ ,  $V_D = V_Z$

$6 > 5V3$  maka nilai  $V_D$  sama dengan  $V_Z$  yaitu **5V3**

- $V_R$  pada tegangan = 4 Volt

$P = V \cdot I$

$1W = 4V \cdot I$

$I = P / V = 1W / 4V = 0.25A$

$V = I \cdot R$

$4 = 0.25A \cdot R$

$R = 4 / 0.25 = 16 \text{ ohm}$

$I_Z = (V_R - V_Z) / R$

$V_R = (I_Z \cdot R) + V_Z$

$= (0.25A \cdot 16\Omega) + 5V3$

$= 4 + 5V3 = \mathbf{9V3}$

- $V_R$  pada tegangan = 6 Volt

$P = V \cdot I$

$1W = 6V \cdot I$

$I = P / V = 1W / 6V = 0.16A$

$$\begin{aligned}
 V &= I \cdot R \\
 6 &= 0.16A \cdot R \\
 R &= 6 / 0.16 = 37.5 \text{ ohm} \\
 I_z &= V_R - V_z / R \\
 V_R &= (I_z \cdot R) + V_z \\
 &= (0.16A \cdot 37.5\Omega) + 5V_3 \\
 &= 6 + 5V_3 = \mathbf{11V_3}
 \end{aligned}$$

e) Nilai R agar diode dalam kondisi aman

$$\begin{aligned}
 P_z &= V_z \cdot I_z \\
 1W &= 5V_3 \cdot I_z \\
 I_z &= 1W / 5V_3 = 0.18 \text{ A} \\
 R \text{ dipilih agar aman } I_z &< I_{zm} \\
 &0.18 < I_{zm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_z &= V_R - V_z / R \\
 0.18 &= 11V_3 - 5V_3 / R \\
 R &= 11V_3 - 5V_3 / 0.18 \\
 &= 33.3 \Omega
 \end{aligned}$$

$$33.3 \Omega < 37.5 \Omega$$

**11V<sub>3</sub> merupakan tegangan V<sub>R</sub> pada tegangan V = 6 V karena V > V<sub>z</sub> = 6 > 5V<sub>3</sub> dan dianggap telah melebihi tegangan zenernya (batas aman) maka digunakan tegangan 11V<sub>3</sub> untuk memilih nilai R agar aman !!!!!!!!!!!!!**

## **TRANSISTOR**

Materi :

1. Pengertian Transistor
2. Kelas Penguat
3. Bias Transistor
4. Coupling pada transistor
5. Konfigurasi Transistor
6. Aplikasi Transistor

Bab III

## 2.1 Transistor

Transistor adalah komponen elektronika multitermal, biasanya memiliki 3 terminal. Secara harfiah, kata 'Transistor' berarti 'Transfer resistor', yaitu suatu komponen yang nilai resistansi antara terminalnya dapat diatur. Secara umum transistor terbagi dalam 3 jenis :

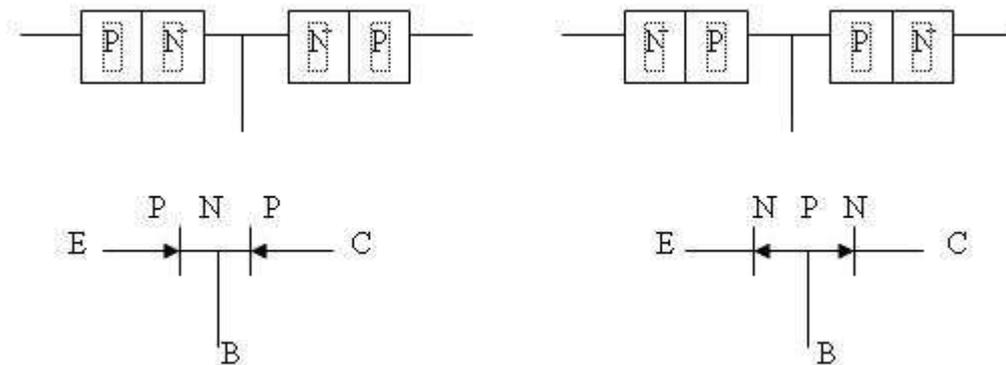
1. Transistor Bipolar
2. Transistor Unipolar
3. Transistor Unijunction

Transistor bipolar bekerja dengan 2 macam carrier, sedangkan unipolar satu macam saja, hole atau electron. Beberapa perbandingan transistor bipolar dan unipolar :

	Bipolar	Unipolar
Dimensi	Besar	Kecil
Daya	Besar	Kecil
BW	Lebar	Sempit
Respon	Tinggi	Sedang
Input	Arus	Tegangan
Impedansi In	Sedang	Tinggi

Pada transistor bipolar, arus yang mengalir berupa arus lubang (hole) dan arus electron atau berupa pembawa muatan mayoritas dan minoritas. Transistor dapat berfungsi sebagai penguat tegangan, penguat arus, penguat daya atau sebagai saklar. Ada 2 jenis transistor yaitu PNP dan NPN.

Transistor di desain dari pemanfaatan sifat diode, arus menghantar dari diode dapat dikontrol oleh electron yang ditambahkan pada pertemuan PN diode. Dengan penambahan elektodiode pengontrol ini, maka diode semi-konduktor dapat dianggap dua buah diode yang mempunyai electrode bersama pada pertemuan. Junction semacam ini disebut transistor bipolar dan dapat digambarkan sebagai berikut :



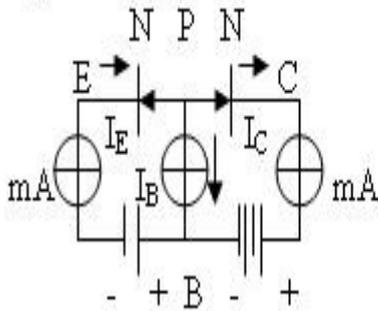
Dengan memilih electrode pengontrol dari type P atau type N sebagai electrode persekutuan antara dua diode, maka dihasilkan transistor jenis PNP dan NPN

Transistor dapat bekerja apabila diberi tegangan, tujuan pemberian tegangan pada transistor adalah agar transistor tersebut dapat mencapai suatu kondisi menghantar atau menyumbat. Baik transistor NPN maupun PNP tegangan antara emitor dan basis adalah forward bias, sedangkan antara basis dengan kolektor adalah reverse bias.



Bias Transistor

Dari cara pemberian tegangan muka didapatkan dua kondisi yaitu menghantar dan menyumbat seperti pada gambar transistor NPN dibawah ini.



### Pemberian tegangan pada transistor

Tegangan pada  $V_{cc}$  jauh lebih besar dari tegangan pada  $V_{eb}$ . Diode basis-emitor mendapat forward bias, akibatnya electron mengalir dari emitor ke basis, aliran electron ini disebut arus emitor ( $I_E$ ). Elektron electron ini tidak mengalir dari kolektor ke basis, tetapi sebaliknya sebagian besar electron-elektron yang berada pada emitor tertarik ke kolektor, karena tegangan  $V_{cc}$  jauh lebih besar dari pada tegangan  $V_{eb}$  dan mengakibatkan aliran electron dari emitor menuju kolektor melewati basis. Electron-elektron ini tidak semuanya tertarik ke kolektor tetapi sebagian kecil menjadi arus basis ( $I_B$ ).

### Penguatan Transistor

- 1)  $\alpha_{dc} = I_C / I_E$  (perbandingan antara arus kolektor dengan arus emitter)

Berdasarkan hukum kirchoff:

$$I_E = I_B + I_C \quad : I_C$$

$$I_E / I_C = I_B / I_C + I_C / I_C$$

$$1 / \alpha_{dc} = 1 / \beta_{dc} + 1$$

$$1 / \alpha_{dc} = 1 / \beta_{dc} + \beta_{dc} / \beta_{dc}$$

$$1 / \alpha_{dc} = 1 + \beta_{dc} / \beta_{dc}$$

$$\alpha_{dc} = \beta_{dc} / 1 + \beta_{dc}$$

- 2)  $\beta_{dc} = I_C / I_B$  (perbandingan antara arus kolektor dengan arus basis)

$$I_E = I_B + I_C \quad : I_C$$

$$I_E / I_C = I_B / I_C + I_C / I_C$$

$$1 / \alpha_{dc} = 1 / \beta_{dc} + 1$$

$$1 / \beta_{dc} = 1 / \alpha_{dc} - 1$$

$$1 / \beta_{dc} = 1 / \alpha_{dc} - \alpha_{dc} / \alpha_{dc}$$

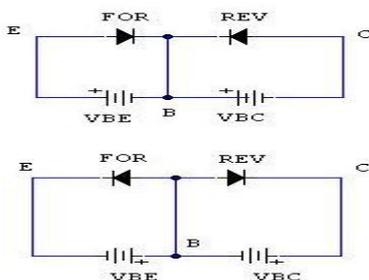
$$1 / \beta_{dc} = 1 - \alpha_{dc} / \alpha_{dc}$$

$$\beta_{dc} = \alpha_{dc} / 1 - \alpha_{dc}$$

### Daerah kerja transistor

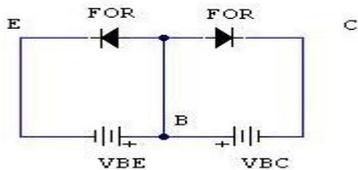
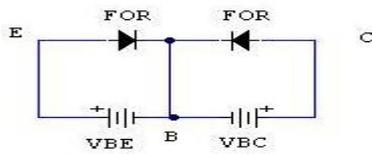
- a. daerah aktif

suatu transistor berada didaerah aktif apabila diode basis emitor dibias forward dan diode basis kolektor berada dibias reverse.



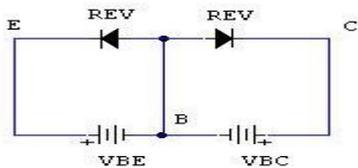
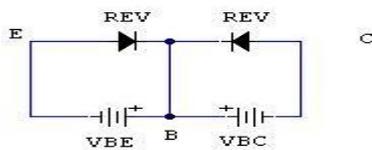
b. daerah saturasi

suatu transistor berada didaerah saturasi apabila diode basis emitter di bias forward dan diode basis kolektor berada dibias forward.



c. daerah cutoff

suatu transistor berada pada kondisi cutoff apabila keduanya berada pada bias reverse.

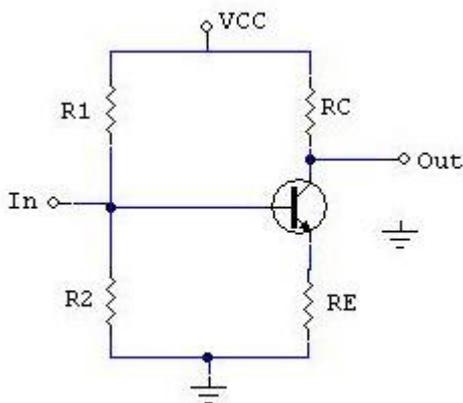


## 2.2 Kelas Penguat

### Kelas A

Penguat yang titik kerjanya terletak ditengah-tengah.

Rangkaian:



$$I_{Csat} = V_{CC} / (R_C + R_E)$$

$$I_B = V_B / R_B$$

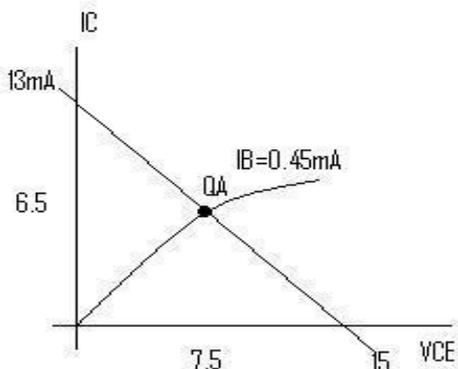
$$V_{CEcutoff} = V_{CC}$$

$$V_B = V_{CC} \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$$

$$R_B = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$$

Sifat-sifat dari kelas A :

1. dirangkai secara common emiter
2. digunakan untuk daya yang sedang <10watt
3. input dan output berbeda 180°



Misalkan:  $V_{CC} = 15V$ ;  $R_1 = 33k$ ;  $R_2 = 33k$ ;  $R_C = 1k$ ;  $R_E = 100$

$$I_{Csat} = 15V / (1k + 100) = 0.013A = 13mA$$

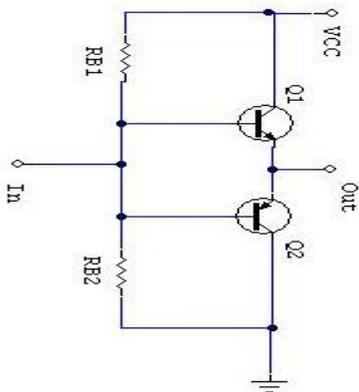
$$V_B = 15V \cdot 33k / (33k + 33k) = 7.5V$$

$$R_B = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2) = 33k \cdot 33k / (33k + 33k) = 16500 \text{ ohm} = 16k5$$

$$I_B = V_B / R_B = 7.5V / 16500 = 0.00045A = 0.45mA$$

### Kelas B

Penguat yang titik kerja berhimpitan dengan VCE dirangkai menggunakan 2 buah npn dan pnp yang sejenis yang sering disebut transistor komplementen.



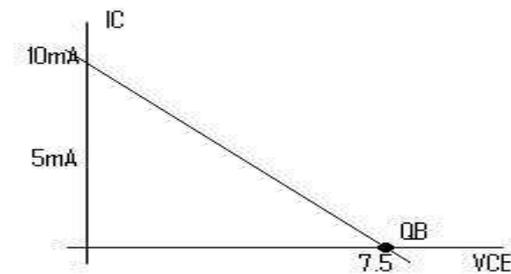
$$V_{CC}=15V; R_B=15k; \beta=10$$

$$I_B=V_{CC}/R_B=15V/15k=1mA$$

$$\beta=I_C / I_B \quad I_C=\beta \cdot I_B$$

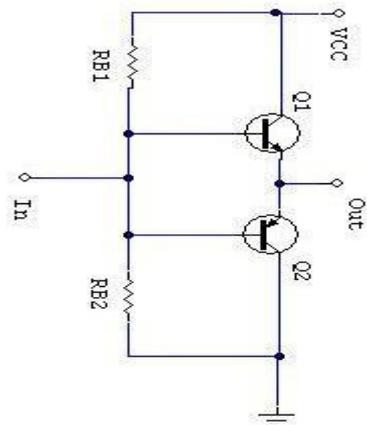
$$I_C=10 \cdot 1mA = 10mA$$

$$V_{CEcutoff}=V_{out}=1/2 V_{CC} = 1/2 \cdot 15V = 7.5V$$



### Kelas AB

Rangkaian penguat yang titik kerja terletak antara QA dan QB dan ditambahkan komponen penghilang cross over (cacat).



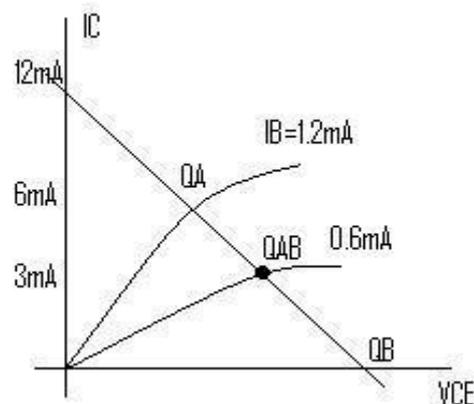
$$V_{CC}=12V; R_B=10k; \beta=10$$

$$I_C = \beta \cdot I_B \quad I_B=V_{CC}/R_B$$

$$I_B=12V/10k=1.2mA$$

$$I_C=10 \cdot 1.2mA=12mA$$

$$V_{CE}=1/2 V_{CC} = 1/2 \cdot 12V = 6V$$



### 2.3 Penguat Cascade (penguat bertingkat)

$$\left. \begin{array}{l} \text{Kali} \\ \text{dB} \end{array} \right\} \text{Penguat} \left\{ \begin{array}{l} A_v \\ A_i \\ A_p \end{array} \right.$$

$$A_v = V_{out} / V_{in}$$

$$A_i = I_{out} / I_{in}$$

$$A_p = P_{out} / P_{in}$$

$$\text{Kali} = A_{vtotal} = A_{v1} \cdot A_{v2} \cdot A_{v3} \dots A_{vn}$$

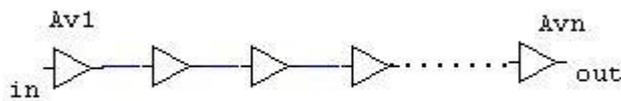
$$A_{itotal} = A_{i1} \cdot A_{i2} \cdot A_{i3} \dots A_{in}$$

$$A_{ptotal} = A_{p1} \cdot A_{p2} \cdot A_{p3} \dots A_{pn}$$

$$\text{dB} = A_{vtotal\text{dB}} = 20\log A_{v1} + 20\log A_{v2} + 20\log A_{v3} + \dots + 20\log A_{vn}$$

$$A_{itotal\text{dB}} = 20\log A_{i1} + 20\log A_{i2} + 20\log A_{i3} + \dots + 20\log A_{in}$$

$$A_{ptotal\text{dB}} = 20\log A_{p1} + 20\log A_{p2} + 20\log A_{p3} + \dots + 20\log A_{pn}$$



$$A_{vtotal} = A_{v1} \cdot A_{v2} \cdot A_{v3} = 1000 \cdot 100 \cdot 10 = 10^6$$

$$A_{vtotal\text{dB}} = 20\log 1000 + 20\log 100 + 20\log 10$$

$$= 20 \cdot 3 + 20 \cdot 2 + 20 \cdot 1$$

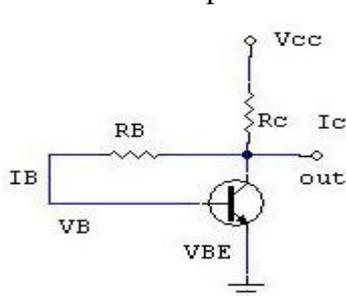
$$= 60 + 40 + 20 = 120 \text{ dB}$$

$$\text{HYBRID} \left\{ \begin{array}{l} h_i = \text{ohm} \\ h_R \\ h_F \\ h_o = 1/\text{ohm} \end{array} \right.$$

### 2.4 Bias Transistor

#### 1) SELF BIAS

Pemberian bias pada transistor dengan menggunakan tahanan umpan-balik (feedback).



$$I_C = V_{CC} - V_{CE} / R_C$$

$$I_B = V_{CC} / R_B + R_C$$

$$\beta = I_C / I_B$$

$$V_{CE} = V_{CC} - V_C$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C$$

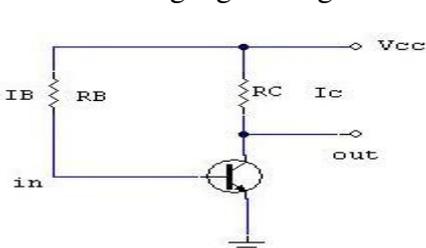
$$= V_{CC} - 0 \cdot R_C$$

$$V_{CE} = V_{CC}$$

$$I_C \approx 0$$

#### 2) FIXED BIAS

Pemberian tegangan dengan menggunakan tahanan basis dan tahanan kolektor.



$$I_C = V_{CC} - V_{CE} / R_C$$

$$I_B = V_{CC} - V_{BE} / R_B$$

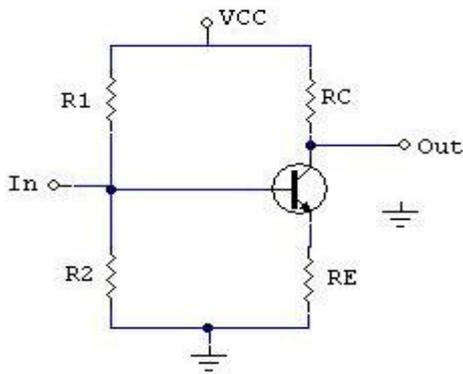
$$I_{C\text{sat}} = V_{CC} / R_C$$

$$V_{CE} = V_{CC}$$

$$\beta = I_C / I_B$$

### 3) VOLTAGE DIVIDER

Pemberian bias pada transistor melalui pembagi tegangan R1 dan R2.



$$I_{Csat} = V_{CC} / (R_C + R_E)$$

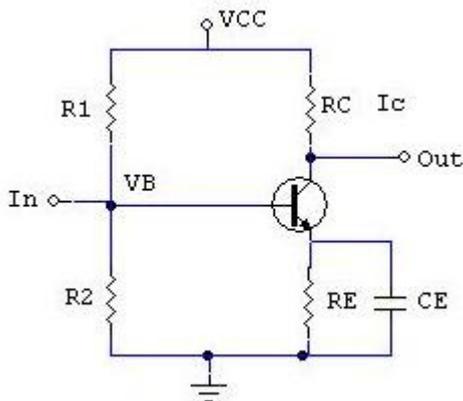
$$V_B = R_2 \cdot V_{CC} / (R_1 + R_2)$$

$$R_B = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$$

$$I_B = V_B / R_B$$

### 4) BIAS EMITER

Pemberian bias transistor dengan metode bias voltage divider dengan menambahkan komponen R dan C pada kaki emitter.



$$V_B = R_2 \cdot V_{CC} / (R_1 + R_2)$$

$$R_B = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$$

$$I_B = V_B / R_B$$

$$I_C = V_{CC} - V_{CE} / (R_C + R_E)$$

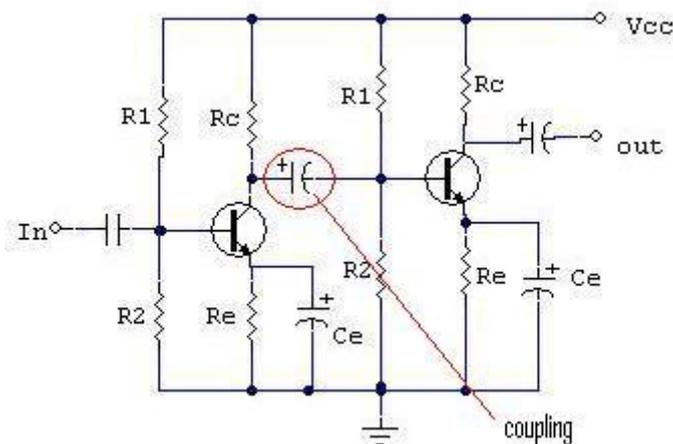
$$I_C = I_E$$

$$I_E = (V_B - V_{BE}) / R_E$$

## 2.5 Coupling Penguat

Merupakan penghubung antara 2 penguat, macamnya:

- 1) **RC Coupling**, sering disebut coupling kapasitif dengan menggunakan kapasitor sebagai penghubung.



fungsi C sebagai HPF dan pembatas bandwidth.

$$X_c = 1 / (2\pi f \cdot C)$$

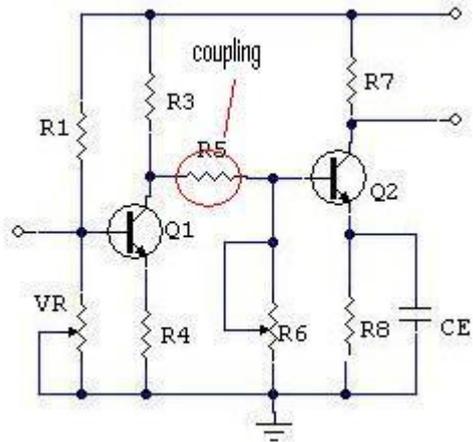
$$F_{bn} = \sqrt{n} \cdot f_b$$

$$F_{an} = f_a / \sqrt{n}$$

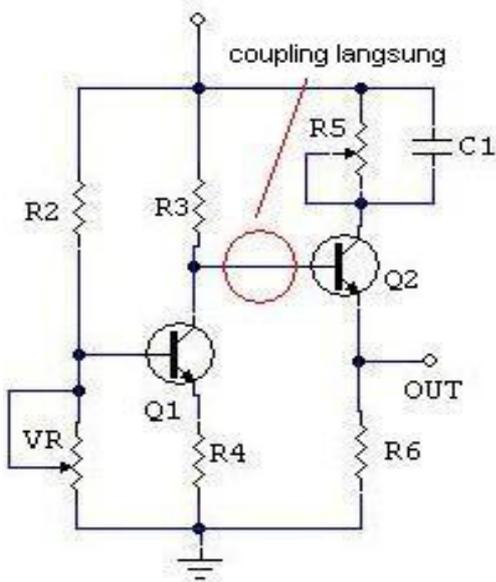
$$A_v = R_C / R_E$$

$$A_{vTotal} = (0.7)^n \cdot (A_{v1} \cdot A_{v2} \cdot \dots \cdot A_{vn})$$

2) **DIRECT Coupling** (Coupling galvanis), dengan cara menghubungkan langsung antar penguat.



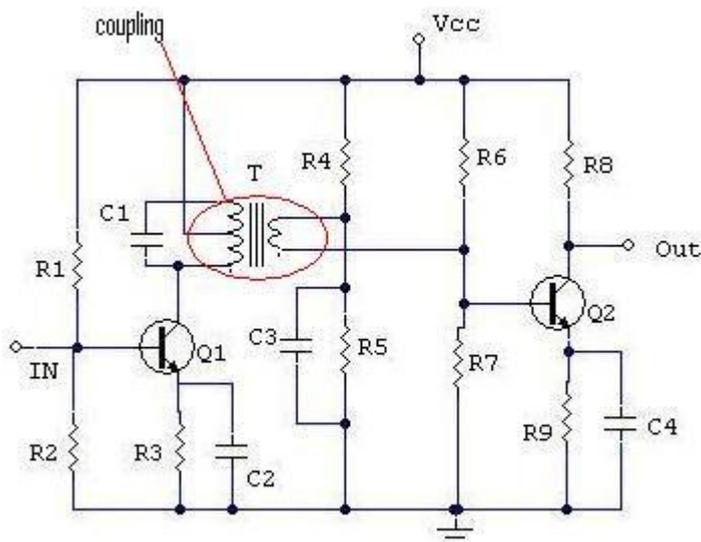
R2,R5,R6 = untuk mengatur  $v_{out}$  agar  $\frac{1}{2} V_{CC}$   
 R4,R8 = untuk stabilisasi transistor  
 $A_v = RC/RE$



R2,R5 untuk mengatur  $V_{out}$  agar  $\frac{1}{2} V_{CC}$   
 C1 filter / bypass  
 Penghubung secara langsung.

3) **COUPLING TRANSMISI** (transformator kopling)

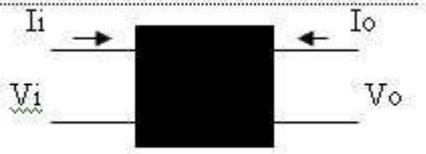
Dengan cara menggunakan trafo sebagai penghubung. Sering dipakai pada penguat IF



$V_{out} = \frac{1}{2} V_{CC}$

## 2.6 Konfigurasi transistor

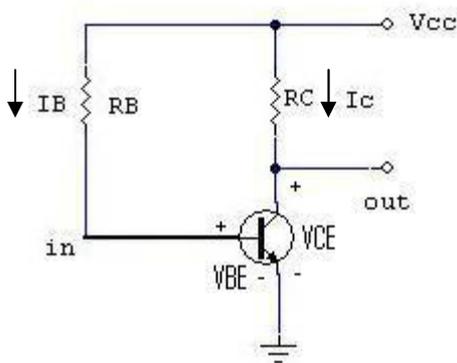
Sebagai komponen didalam rangkaian elektronika transistor dapat dimodelkan sebagai komponen 4 terminal yang dikenal sebagai model common. 4 model terminal secara umum dilukiskan sebagai berikut :



Dengan  $V_i$  dan  $I_i$  adalah besaran input dan  $I_o$  dan  $V_o$  adalah besaran output. Model common adalah :

### 1) common emitter

yang berarti terminal emitter digunakan bersama-sama sebagai input dan output. Dengan basis sebagai input dan kolektor sebagai output maka arus input dan tegangan input masing-masing  $I_B$  dan  $V_{BE}$ .



$$I_c = V_{cc} - V_{ce} / R_C$$

$$V_B + V_{BE} - V_{CC} = 0$$

$$I_B \cdot R_B + V_{BE} = V_{CC}$$

$$I_B \cdot R_B = V_{CC} - V_{BE}$$

$$I_B = V_{CC} - V_{BE} / R_B$$

$$I_{C_{sat}} = V_{CC} / R_C$$

$$V_{CE \text{ cutoff}} = V_{CC}$$

$$V_C + V_{CE} - V_{CC} = 0$$

$$R_C \cdot I_C + V_{CE} = V_{CC}$$

$$R_C \cdot I_C = V_{CC} - V_{CE}$$

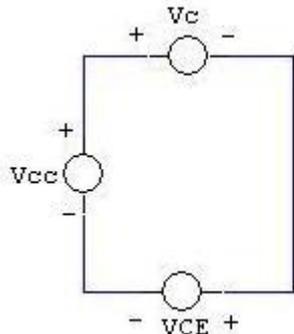
$$I_C = V_{CC} - V_{CE} / R_C$$

$$V_{CE} = V_{CC} - V_C$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C$$

$$\beta = I_C / I_B$$

arus kolektor:



(a)

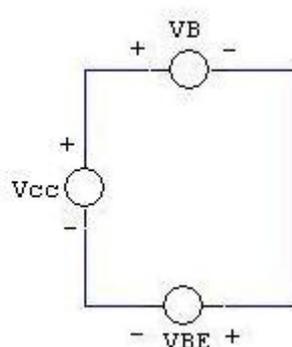
$$(a) -V_{CC} + V_C + V_{CE} = 0$$

$$V_C + V_{CE} - V_{CC} = 0$$

$$R_C \cdot I_C + V_{CE} = V_{CC}$$

$$R_C \cdot I_C = V_{CC} - V_{CE}$$

$$I_C = V_{CC} - V_{CE} / R_C$$



(b)

$$(b) -V_{CC} + V_B + V_{BE} = 0$$

$$V_B + V_{BE} - V_{CC} = 0$$

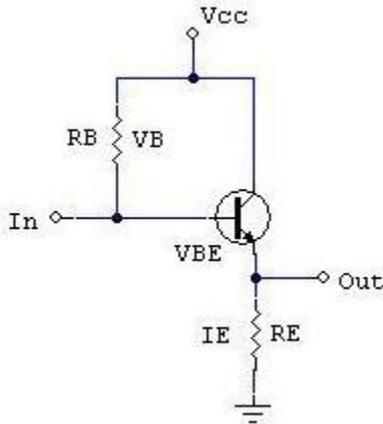
$$I_B \cdot R_B + V_{BE} = V_{CC}$$

$$R_B \cdot I_B = V_{CC} - V_{BE}$$

$$I_B = V_{CC} - V_{BE} / R_B$$

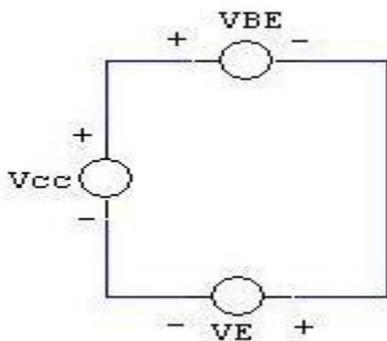
## 2) common collector

konfigurasi transistor yang menggunakan kaki kolektor sebagai input dan output.



$$\begin{aligned} V_E &= V_{CC} - V_{BE} / R_E \\ V_B &= V_{BE} + V_E \\ V_E &= I_E \cdot R_E \approx I_C \cdot R_E \\ I_B &= (V_{CC} - V_{BE}) / (R_B + \beta \cdot R_E) \\ I_C &= \beta \cdot I_B \\ I_E &= I_B \end{aligned}$$

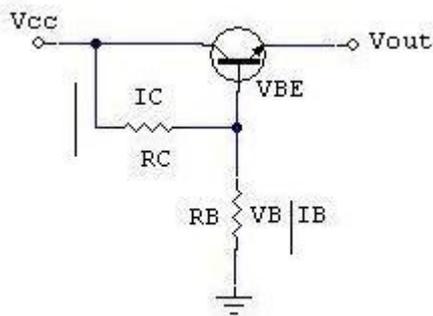
$$\begin{aligned} -V_{CC} + V_{BE} + V_E &= 0 \\ V_{BE} + V_E - V_{CC} &= 0 \\ V_{BE} + V_E &= V_{CC} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} V_{CC} - V_{BE} &= V_E \\ V_{CC} - V_{BE} &= I_E \cdot R_E \\ V_{CC} - V_{BE} &= I_C \cdot R_E \\ V_{CC} - V_{BE} &= \beta \cdot I_B \cdot R_E \\ I_B &= (V_{CC} - V_{BE}) / (\beta \cdot R_E + [R_B]) \end{aligned}$$

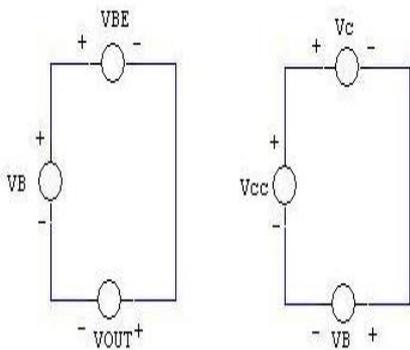
## (3) common base

konfigurasi transistor yang menggunakan kaki basis sebagai input dan output.



$$\begin{aligned} I_C \cdot R_C + I_B \cdot R_B &= V_{CC} \\ \beta \cdot I_B \cdot R_C + I_B \cdot R_B &= V_{CC} \\ I_B (\beta \cdot R_C + R_B) &= V_{CC} \\ I_B &= V_{CC} / (\beta \cdot R_C + R_B) \\ \beta &= I_C / I_B \\ V_B &= I_B \cdot R_B \\ V_{out} &= V_B - V_{BE} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(a)} \quad -V_B + V_{BE} + V_{out} &= 0 \\ V_{out} &= V_B - V_{BE} \\ \text{(b)} \quad -V_{CC} + V_C + V_B &= 0 \\ V_C + V_B - V_{CC} &= 0 \\ V_C + V_B &= V_{CC} \end{aligned}$$



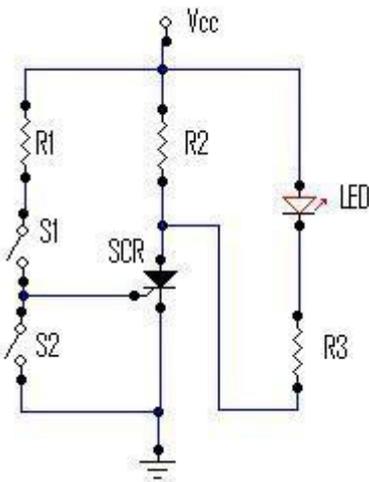
(a)

(b)

## 2.7 Aplikasi Transistor

### 1) SCR LOGIC MODE

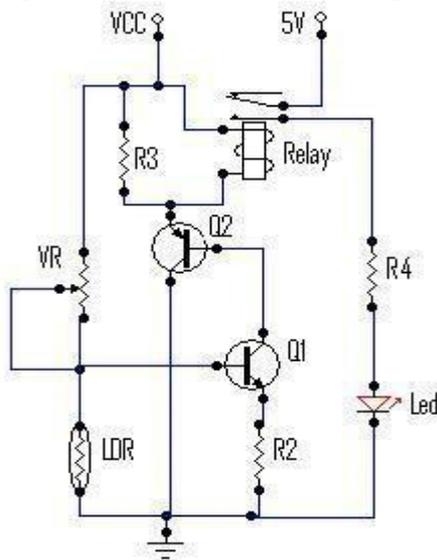
SCR adalah komponen elektronika yang termasuk thyristor, yaitu lapisan bentuk PN junction khusus dimana terdiri dari 4 lapisan yang akan memberikan karakteristik tersendiri. Karakteristik dari SCR secara umum dapat dikatakan sebagai berikut : arus yang melewati anoda ke katoda relative kecil selama tegangan diantaranya belum melewati VBO (Voltage Break Over). Setelah melewati maka tegangan antara anoda dan katoda akan turun hingga mencapai harga Hold Voltage. Diode akan tetap menghantar selama arus yang melewatinya tidak kurang dari nilai IH (hold current).



Cara kerja rangkaian arus yang melewati anode ke katode relative kecil agar bekerja sebagai penghantar maka gate harus diberi trigger (+). Tegangan pada gate harus lebih positif dari katode dengan cara menutup saklar S1 sehingga gate tersulut, dan led menyala karena mendapatkan beda potensial dan arus pun mengalir. Untuk menon-aktifkannya kita dapat menghubungkan S2, maka gate menjadi low current / drop out dan kembali menyumbat.

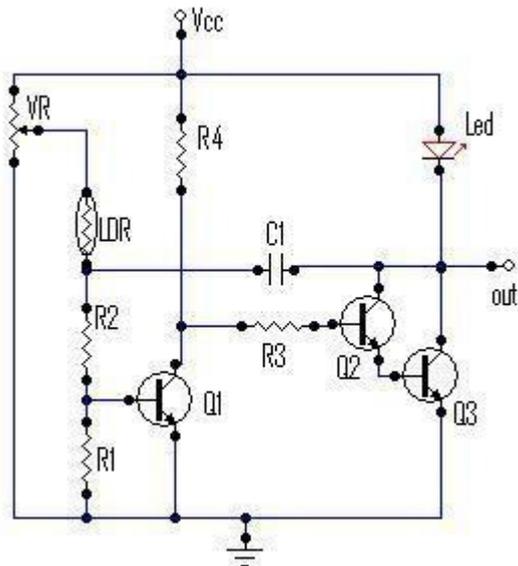
### 2) LIGHT SENSOR

Aplikasi sensor sederhana dengan menggunakan transistor sebagai driver relay.



Cara kerja rangkaian adalah dengan memanfaatkan cahaya sebagai pengaktifnya. Kita ketahui bahwa LDR mempunyai karakteristik sebagai berikut apabila terkena cahaya maka resistansinya kecil dan sebaliknya apabila tidak terkena cahaya maka resistansinya besar. Jadi pada saat LDR tertutup dan tidak terkena cahaya maka resistansinya membesar sehingga arus yang melewati LDR akan terhambat dan mengalir menuju basis Q1 (npn) dimana karakteristik npn adalah akan menghantar apabila basis lebih positif daripada emitter dengan mengalirnya arus menuju basis maka Q1 dalam kondisi menghantar (kolektor dan emitter ON). Untuk Q2 (pnp) sebaliknya emitter harus lebih positif dari basis, karena kolektor emitter Q2 terhubung dengan sumber tegangan melalui lilitan relay seperti yang telah dijelaskan bahwa kolektor dan emitter Q1 ON (saklar tertutup) maka dengan begitu

juga kaki basis Q2 terhubung langsung dengan kolektor Q1 sehingga Q2 dalam keadaan menghantar (untuk jenis pnp : diode basis-emiter Q2 dalam kondisi reverse) dengan menghantarnya Q2 maka sumber tegangan yang melalui relay mengalir sehingga menginduksi lilitan relay dan menimbulkan medan magnet yang dapat menarik saklar pada relay. Saklar yang terhubung dengan tegangan 5V dapat mengalir melalui R4 dan LED dengan begitu LED pun menyala. Contoh rangkaian lain :



Contoh diatas adalah beberapa aplikasi sederhana yang menggunakan transistor, masih banyak lagi aplikasi yang menggunakan transistor (kamu dapat mencarinya sendiri OK).

## **MULTIVIBRATOR**

1. ASTABLE MV
2. MONOSTABLE MV
3. BISTABLE MV
4. SCHMITT TRIGGER

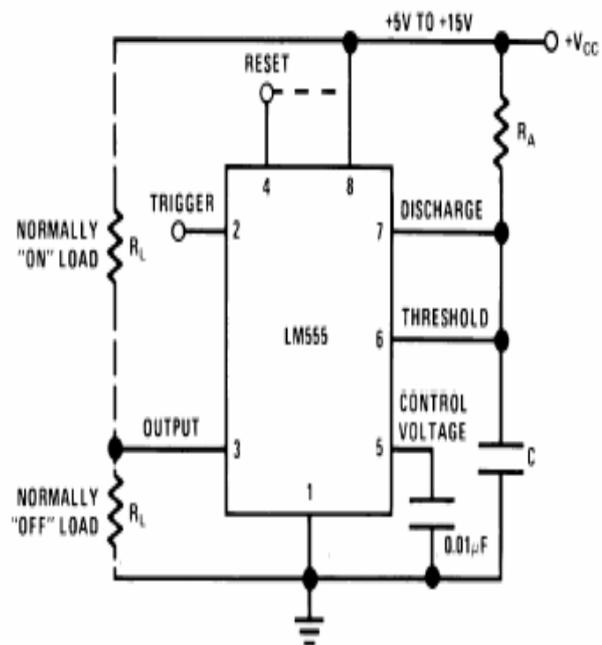
Multivibrator adalah suatu rangkaian yang mengeluarkan tegangan bentuk blok. Sebenarnya MV adalah merupakan penguat transistor dua tingkat yang dikopel dengan kondensator, dimana output dari tingkat yang terakhir akan dikopelkan dengan pertama, sehingga kedua transistor itu akan saling menyumbat. MV ada yang berguncang bebas (free running) dan tersulut (triggering) ada 3 jenis MV :

1. Astabil Multivibrator
2. Monostabil Multivibrator
3. Bistabil Multivibrator

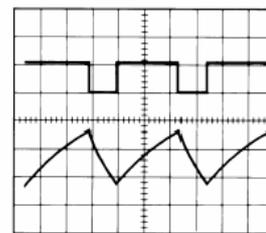
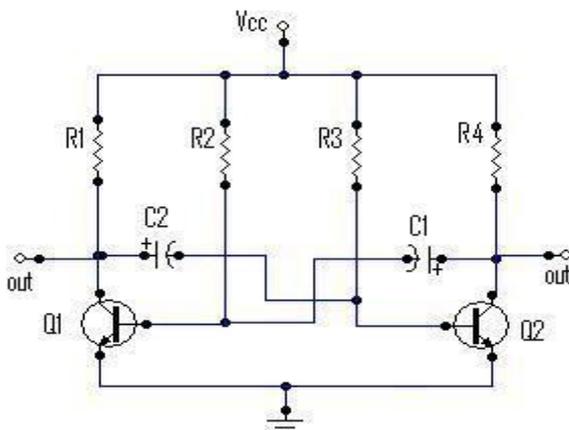
Rangkaian lain yang mampu menghasilkan bentuk gelombang kotak yang berasal dari suatu inputan ialah SCHMITT TRIGGER. Pada dasarnya merupakan komparator yang memiliki nilai hysteresis, dimana nilai ini dibatasi oleh UTP dan LTP. Rangkaian ini banyak dipakai pada saklar elektronik, pembangkit gelombang asimetris.

### 3.1 Astabil Multivibrator

Tidak memiliki kondisi yang “mantap” jadi akan selalu berguling dari satu kondisi ke kondisi yang lain. Disebut sebagai *multivibrator astable* apabila kedua tingkat tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian multivibrator tersebut adalah *quasistable*. Disebut *quasistable* apabila rangkaian multivibrator membentuk suatu pulsa tegangan keluaran sebelum terjadi peralihan tingkat tegangan keluaran ke tingkat lainnya tanpa satupun pemicu dari luar. Pulsa tegangan itu terjadi selama 1 periode ( $T_1$ ), yang lamanya ditentukan oleh komponen-komponen penyusun rangkaian multivibrator tersebut. Rangkaian tersebut hanya mengubah keadaan tingkat tegangan keluarannya di antara 2 keadaan, masing-masing keadaan memiliki periode yang tetap. Jika sirkit dihubungkan seperti ditunjukkan gambar 2.5 (pins 2 dan 6 dihubungkan). Itu akan memicu dirinya sendiri dan bergerak bebas sebagai multivibrator, rangkaian multivibrator tersebut akan bekerja secara bebas dan tidak lagi memerlukan pemicu. Multivibrator adalah suatu rangkaian elektronika yang pada waktu tertentu hanya mempunyai satu dari dua tingkat tegangan keluaran, kecuali selama masa transisi. Multivibrator astabil merupakan rangkaian penghasil gelombang kotak yang tidak memiliki keadaan yang mantap dan selalu berguling dari satu kondisi ke kondisi yang lain (free running).



DS007851-5



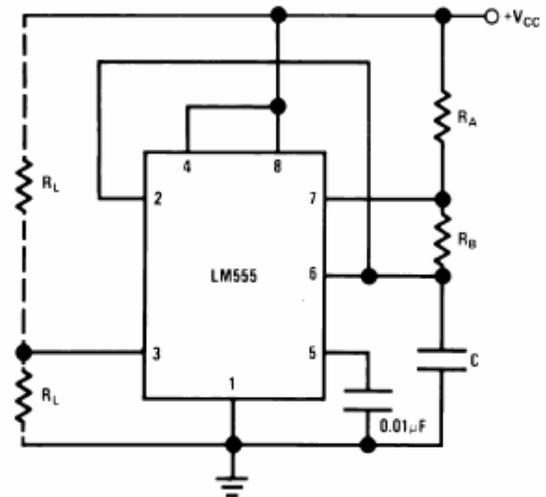
DS007851-9

$V_{CC} = 5V$   
 TIME = 20µs/DIV.  
 $R_A = 3.9k\Omega$   
 $R_B = 3k\Omega$   
 $C = 0.01\mu F$

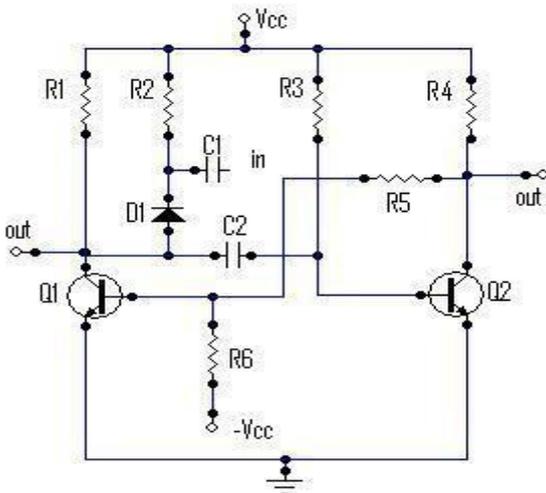
Top Trace: Output 5V/Div.  
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 1V/Div.

### 3.2 Monostabil Multivibrator

Memiliki satu kondisi yang stabil dan satu kondisi yang tidak stabil Pada operasi ini, pengatur waktu berfungsi sebagai satu tingkat keluaran (one shot). Disebut sebagai multivibrator monostable apabila satu tingkat tegangan keluarannya adalah stabil sedangkan tingkat tegangan keluaran yang lain adalah quasistable. Rangkaian tersebut akan beristirahat pada saat tingkat tegangan keluarannya dalam keadaan stabil sampai dipicu menjadi keadaan quasistable. Keadaan quasistable dibentuk oleh rangkaian multivibrator untuk suatu periode  $T_1$  yang telah ditentukan sebelum berubah kembali ke keadaan stabil. Sebagai catatan bahwa selama periode  $T_1$  adalah tetap, waktu antara pulsa-pulsa tersebut tergantung pada pemacu. Tegangan keluaran multivibrator ini. Kapasitor eksternal pada awalnya di isi dan kemudian dikosongkan kembali oleh suatu transistor yang berada di dalam LM555. Pada aplikasi, suatu pulsa picu negatif kurang dari  $1/3 V_{CC}$  di pin 2, flip-flop di set untuk menghubungkan-singkatkan agar terjadi pelepasan kapasitor dan menggerakkan keluaran menjadi tinggi.

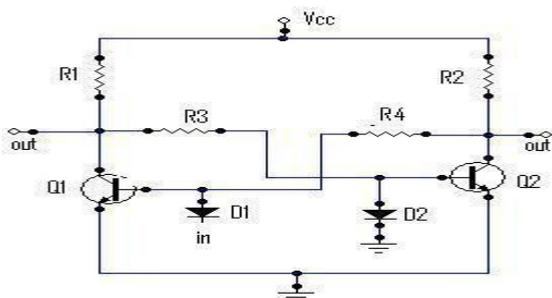


DS007851-8



### 3.3 Bistabil Multivibrator

Memiliki dua keadaan yang stabil. Disebut sebagai *multivibrator bistable* apabila kedua tingkat tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian multivibrator tersebut adalah stabil dan rangkaian multivibrator hanya akan mengubah kondisi tingkat tegangan keluarannya pada saat dipicu.



Waktu pengisian (output tinggi) :

$$t_1 = 0.693 (R_A + R_B) C$$

Dan waktu pelepasan (output rendah) :

$$t_2 = 0.693 (R_B) C$$

Total periode :

$$T = t_1 + t_2 = 0.693 (R_A + 2R_B) C$$

Frekuensi pada osilasi :

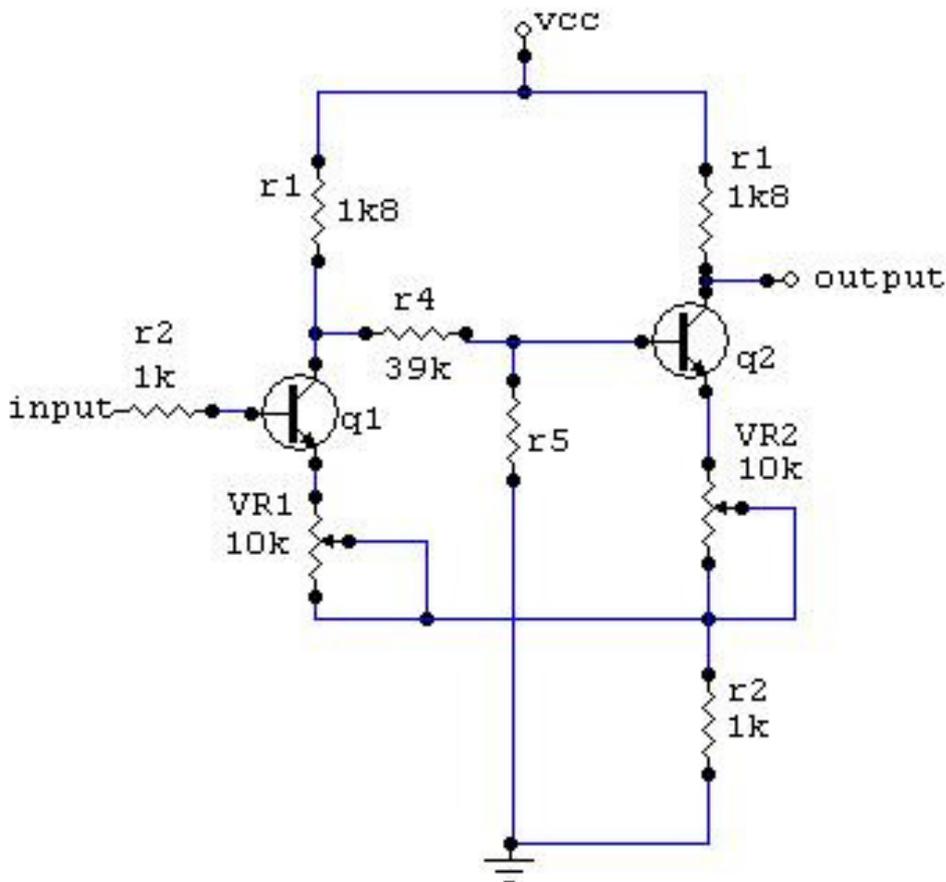
$$F = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) C}$$

Tugas perputaran :

$$D = \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

### 3.4 SCHMITT TRIGGER

Merupakan rangkaian yang dapat menghasilkan gelombang kotak yang berasal dari suatu input.



## **AMPLIFIER**

1. Penguat Depan (pre-amp)
2. Penguat Tengah (mid-amp)
3. Penguat Akhir (power-amp)

Penguat adalah rangkaian yang berfungsi sebagai penguat arus dan tegangan.

Kelompok penguat :

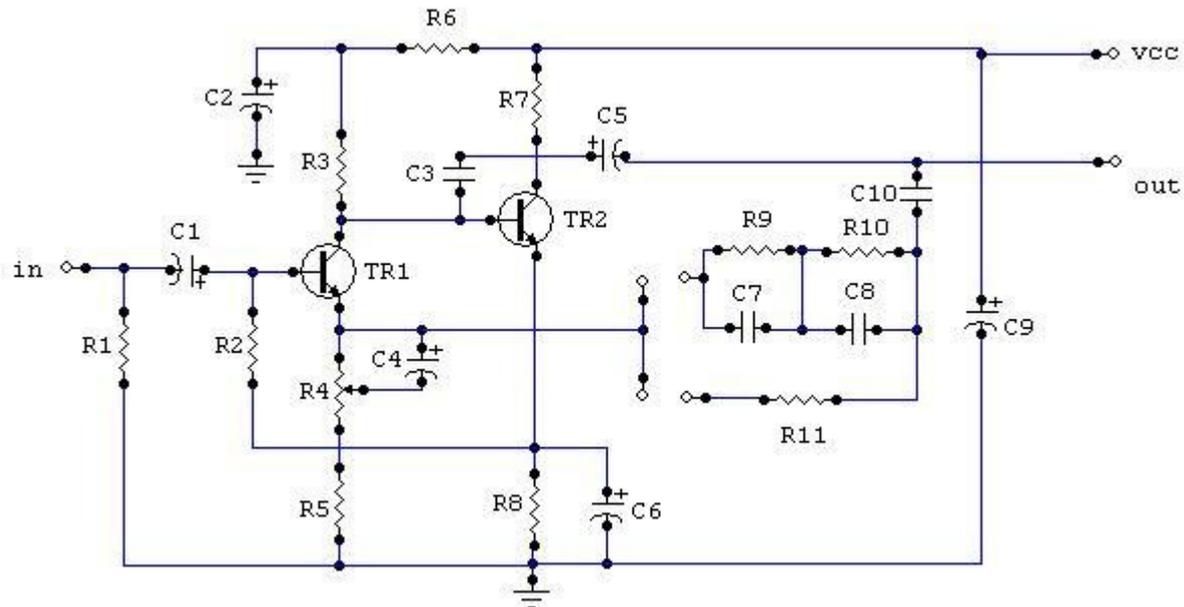
1. Penguat depan (pre-amp mic, head, phonograph)
2. Penguat tengah (tone dan volume)
3. Penguat akhir (power-amp)

#### 4.1 Penguat Depan

Rangkaian yang fungsinya sebagai penguat sinyal input yang disesuaikan dengan sifat frekuensinya atau karakter yang terdiri dari :

1. frekuensi konstan / linier
2. frekuensi dinamis / berubah-ubah

Rangkaian :



Fungsi komponen :

- R1 : mempertinggi impedansi input ( $Z_i$ )
- R2 : umpan balik (feedback)
- R3,6,7 : tahanan bias
- R4,5,9 : tahanan bias
- R10,11 dan C7,C8 : untuk frekuensi linier/stabil
- R12 : umpan balik frekuensi dinamis
- C1,5,10 : sebagai penahan sinyal DC
- C2,9 : sebagai filter tegangan
- C3 : sbg filter frekuensi tinggi
- C4,6 : by pass (penshort sinyal AC)
- TR1 : penyesuai impedansi
- TR2 : penguat

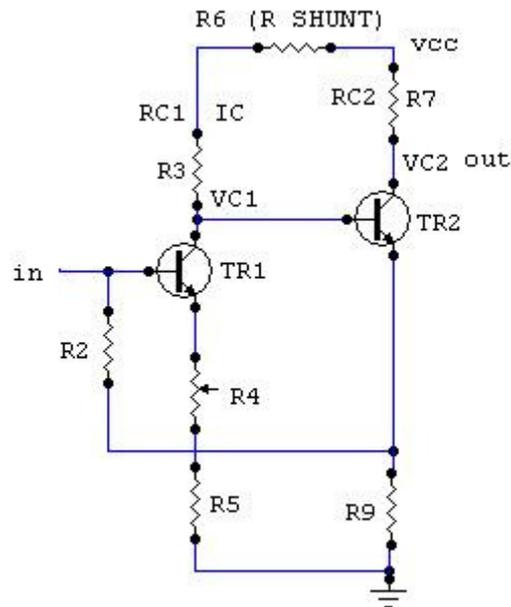
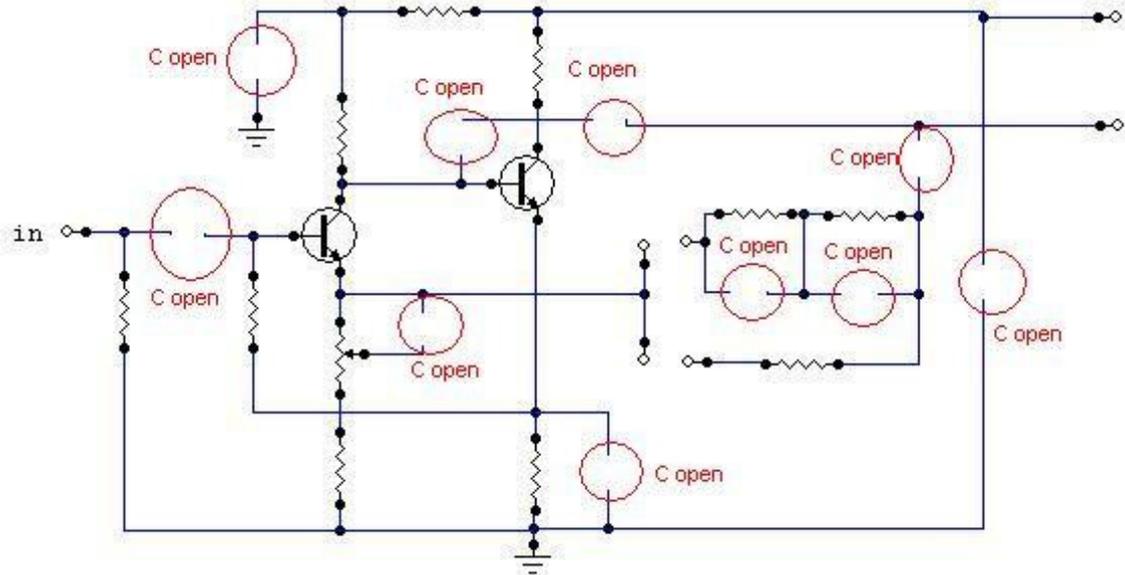
#### Analisa DC :

Pengujian penguat pada saat C terbuka (open)

Fungsi analisa DC :

1. menetapkan titik kerja
2. menentukan pergeseran titik kerja karena pengaruh suhu

Rangkaian :



1.  $V_{CC} = 9 \text{ V}$
2.  $V_{C2} = \frac{1}{2} V_{CC} = 4 \frac{1}{2} \text{ V}$
3.  $I_{C2} = \frac{V_{CC} - V_{C2}}{R_{C2}} = \frac{9 - 4 \frac{1}{2} \text{ V}}{4700 \text{ ohm}} = 0.957 \text{ mA} \approx 1 \text{ mA}$
4.  $V_{BE2} = 640 \text{ mV} = 0.64 \text{ V}$  ( fungsi  $I_C = 1 \text{ mA}$  )
5.  $h_{FE} = 250 = \beta_2$
6.  $V_{E2} = I_{E2} \cdot R_{E2} = I_{C2} \cdot R_{E2} = 1 \text{ mA} \cdot 680 \text{ ohm} = 0.68 \text{ V}$
7.  $V_{C1} = V_{E2} + V_{BE2} = 0.68 \text{ V} + 0.64 \text{ V} = 1.32 \text{ V}$
8.  $I_{C1} = \frac{V_{CC} - V_{C1}}{R_6 + R_{C1}} = \frac{9\text{V} - 1.32\text{V}}{4700 + 120000} = \frac{7.68\text{V}}{124700 \text{ ohm}} = 60 \text{ mA}$
9.  $\beta_1 = 225$
10.  $I_{B1} = \frac{I_{C1}}{\beta_1} = \frac{60}{225} = 0.26 \text{ A}$
11.  $I_{B2} = \frac{I_{C2}}{\beta_2} = \frac{1 \text{ mA}}{250} = 0.004 \text{ mA}$
12.  $V_{BE1} = 790 \text{ mV} = 0.79 \text{ V}$

Analisa AC :

Penghitungan penguatan dan bandwith :

Sinyal input < VB atau diatur sampai outputnya tidak cacat

$$Av = 20 \log V_{out}/V_{in}$$

## 4.2 Penguat Tengah

### Tone

Tone merupakan rangkaian pengatur nada (frekuensi) yang meliputi frekuensi rendah, tengah, tinggi. Tone aktif terdapat penguatan dan umpan balik sedangkan tone pasif tidak ada penguatan.

$$Av = Z_{out} / Z_{in} \dots\dots\dots(kali)$$

### Frekuensi Rendah

Analisa :

POSISI	RANGKAIAN	PENGUATAN ( $A_v$ )
min		$A_v = R_2 / R_1 + (P//XC_1)$
mid		$A_v = (\frac{1}{2} P//XC_2) + R_2 / (\frac{1}{2} P//XC_1) + R_1$
max		$A_v = (P//XC_2) + R_2 / R_1$

Contoh soal :

$F = 100 \text{ Hz}$  ;  $R1, R2 = 10k$  ;  $C1, C2 = 1\mu$  ;  $P = 100k$

$XC = 1 / 2\pi F C$

$= 1 / 6.28 \times 100 \times 1.10^{-6}$

$= 15923.5 \text{ ohm} \approx 16k$

$Z_{\text{paralel}} = 100k // 16k = 13793 \text{ ohm} \approx 14k$

Min :  $A_v = 10k / 10k + (100k // 16k) = 10k / 10k + 13793 \text{ ohm} = 10k / 23793 = 0.41$

Mid :  $A_v = (1/2 \cdot 100k // 16k) + 10k / (1/2 \cdot 100k // 16k) + 10k = 1$

Max :  $A_v = (100k // 16k) + 10k / 10k$   
 $= 13793 + 10k / 10k = 2.37$

### Frekuensi Tengah

Analisa :

POSISI	RANGKAIAN	PENGUATAN ( $A_v$ )
Min		$A_v = R2 / (Z_p + R1)$
Mid		$A_v = (1/2 Z_p + R2) / (1/2 Z_p + R1)$
Max		$A_v = (Z_p + R2) / R1$

Contoh Soal :

$F = 1Khz$  ;  $C = 100n$  ;  $R1, R2 = 10k$  ;  $P = 100k$

$XC = 1 / 6.28 \times 1000 \times 10.10^{-9} = 15923.5 \text{ ohm} \approx 16k$

$Z_p = 16k \cdot 100k / 16k + 100k = 13793 \approx 14k$

Min

$$A_v = 10k / 14k + 10k = 0.41$$

Mid

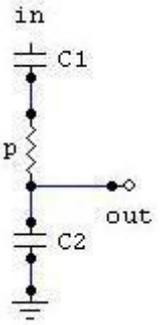
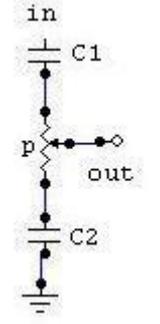
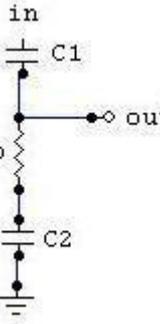
$$A_v = (\frac{1}{2} 14k + 10k) / (\frac{1}{2} 14k + 10k) = 1$$

Max

$$A_v = 14k + 10k / 10k = 2.4$$

### Frekuensi Tinggi

Analisa :

POSISI	RANGKAIAN	PENGUATAN ( $A_v$ )
Min		$A_v = X_{C2} / P + X_{C1}$
Mid		$A_v = (\frac{1}{2} P + X_{C2}) / (\frac{1}{2} P + X_{C1})$
Max		$A_v = P + X_{C2} / X_{C1}$

Contoh soal :

$$F = 10\text{kHz} ; C1, C2 = 1\text{n} ; P = 100\text{k}$$

$$X_C = 1 / 6,28 \times 10^4 \times 10^{-9} = 159235.6 \text{ ohm} = 160 \text{ k}$$

Min

$$A_v = 160k / (100k + 160k) = 0.6$$

Mid

$$A_v = 1$$

Max

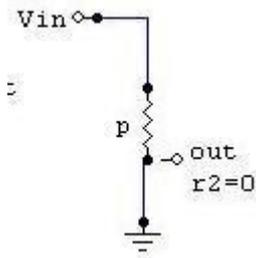
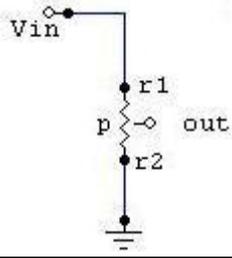
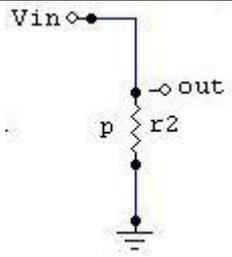
$$A_v = (100k + 160k) / 160k = 1.625$$

### Volume

Adalah rangkaian pengatur level output tegangan.

$$V_{out} = (R_1 V_{in}) / (R_1 + R_2)$$

Analisa :

POSISI	RANGKAIAN	Vout
Min		$(R_2 \cdot V_{in}) / P$
Mid		$(R_1 V_{in}) / (R_1 + R_2)$
Max		$(R_2 \cdot V_{in}) / P$

Contoh soal :

$$V_{in} = 100\text{mV}_{p-p} ; P = 100\text{k}$$

$$\text{Min} = 0 \cdot 100\text{mV} / 100\text{k} = 0$$

$$\text{Mid} = (50\text{k} \cdot 100\text{mV}) / (50\text{k} + 50\text{k}) = 50\text{mV}_{p-p}$$

$$\text{Max} = 100\text{k} \cdot 100\text{mV} / 100\text{k} = 100\text{mV}_{p-p}$$

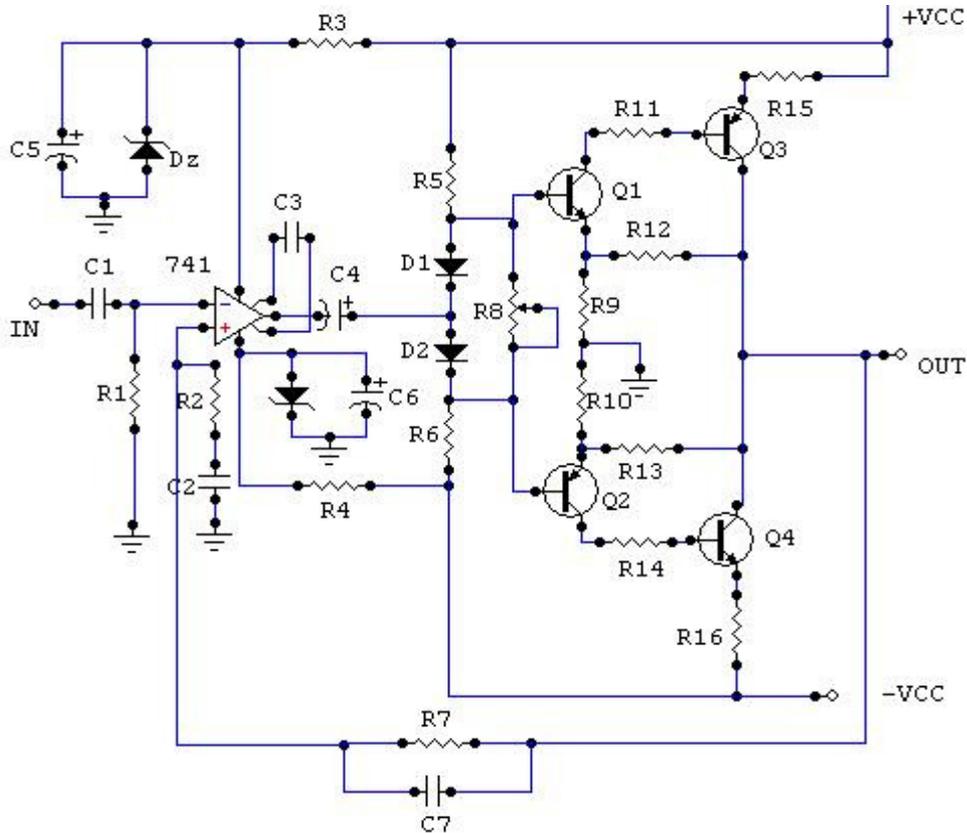
### 4.3 Penguat Akhir (power-amp)

Rangkaian yang dapat menggetarkan speaker. Macam-macam power :

#### 1. OCL

Output Capacitor Less. Memakai rangkaian filter RC atau langsung transistor komplemen dan tegangan ganda, sering disebut SEPP.

Rangkaian :



Keterangan :

C1,4 = coupling

C3 = null offset

R1 = Zin

R2,C2 = filter

R7,C7 = feed back negative (boot strap) mempertinggi Zin

R3,4 = pembatas arus

R5,6,9,10,11,12,13,14,15,16 = bias transistor

Dz = stabilizer

D1,D2,R8 = pengatur crosstalk (penghilang crossover)

Q1,2 = buffer

Q3,4 = power

IC = driver

Analisa :

1. mengukur tegangan VCC
2. Vout harus 0 V
3. menghilangkan crossover

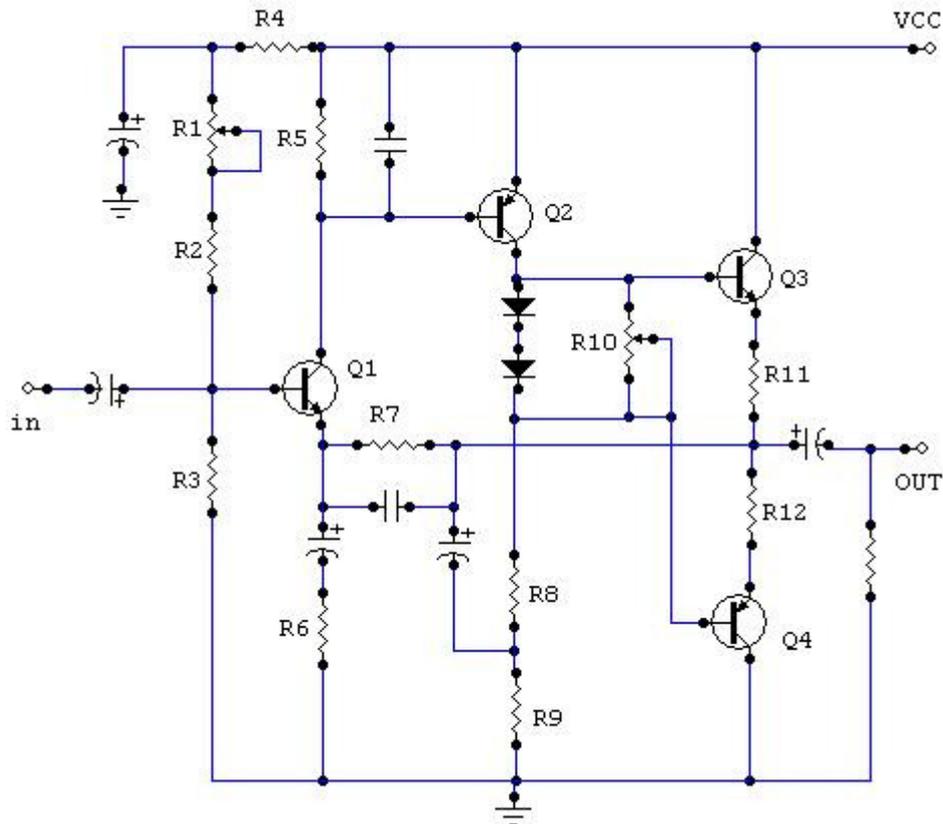
$$P_{eff} = \frac{VCC^2}{8 RL} \quad \text{untuk satu tegangan}$$

$$P_{eff} = \frac{4 VCC^2}{8 RL} \quad \text{untuk dua tegangan}$$

## 2. OTL

Output Transformer Less. Menggunakan transistor komplemen, outputnya menggunakan kapasitor sering disebut dengan nama SPP (single Push Pull)

Rangkaian :



Analisa :

1. Tes VCC
2. Vout harus 0 V, bila masih ada tegangan maka berilah resistor ke ground
3. ukurlah tegangan  $V_a = V_{TT} =$  Tegangan titik tengah maka  $V_{TT} = \frac{1}{2} V_{CC}$  dengan mengatur R1
4. menghilangkan crossover dengan cara mengatur R10
5.  $V_{BB} = 1V$  dengan 2 transistor  $V_{BE} = 0.5 + 0.5 = 1$
6. R1 dapat diganti dengan zener 1V

Perhitungan OTL

$$X_C = R_L (4-8) \text{ Ohm}$$

$$1 / 2\pi F C = R_L$$

$$C_{out} = 1 / 2 \pi F R_C$$

$$F_b = 1 / 2\pi C_{out} R_L$$

$$= 1 / 6,28.2200 \times 10^{-6} .8$$

$$= 10^6 / 110328 = 9,05 \text{ Hz}$$

9,05 Hz terlalu kecil maka  $R_L$  harus = 4 ohm dan  $C_8$  harus setengah  $\frac{1}{2} C_8$

$$C_8 = 1000 - 2200\mu F$$

Analisa DC

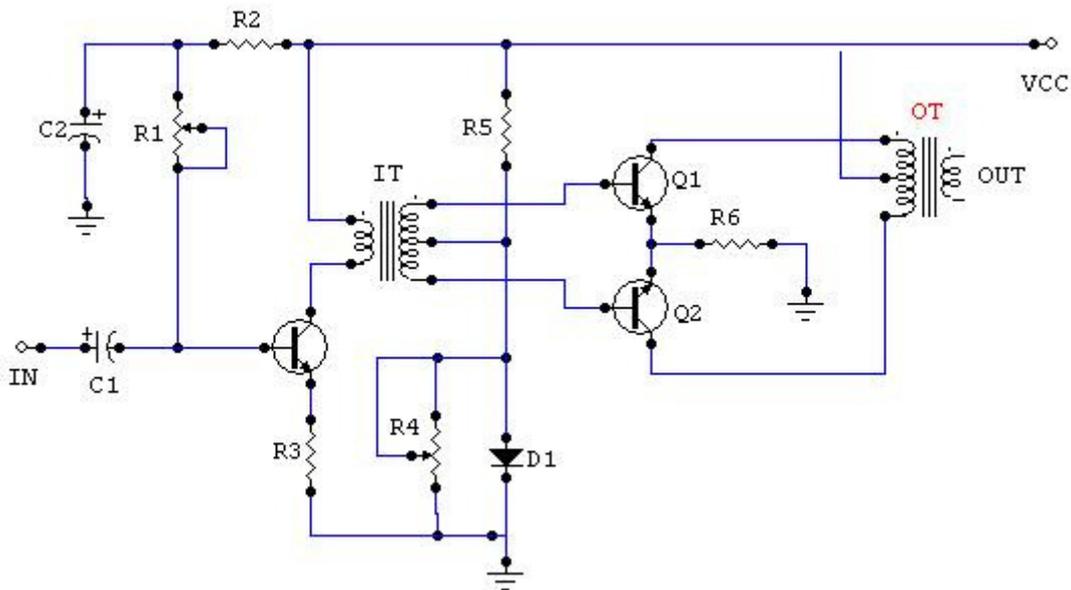
$$1. V_{TT} = \frac{1}{2} V_{CC} = 6V$$

$$2. V_{B1} = V_{TT} + V_{BE3} = 6V + 0,5V = 6,5V$$

3.  $V_{B2} = V_{TT} - V_{BE4} = 6V - 0,5V = 5,5V$
4.  $V_{BB} = V_{B1} - V_{B2} = 6,5V - 5,5V = 1V$
5.  $V_{C1} = V_{CC} - V_{BE2}$
6.  $V_{B1} = (R_3 \cdot V_{CC}) / (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) = 5,5V$
7.  $V_{E1} = V_{B1} + V_{BE1} = 5,5V + 0,5V = 6V$
8.  $V_{C1} = V_{CC} - V_{BE2} = 12 - 0,5 = 11,5V$
9.  $I_C = (V_{CC} - V_{C1}) / R_s = 0,5 / 1800 = 0,2 \text{ mA}$
10.  $I_B = I_C / \beta = 0,2 / 10 = 0,02 \text{ mA}$

### 3. DEPP

Dual Ended Push Pull. Penguat akhir ini menggunakan IT dan OT serta tegangan tunggal. Rangkaian :



Keterangan

IT = impedansi input

OT = impedansi output

Analisa :

$V_{out}$  harus 0V

### 4. BTL

Balance To Transformer Less. Dengan menggabungkan 2 penguat (stereo) menjadi satu penguat, menggunakan rangkaian umpan balik, pembalik fasa.

Rangkaian :

----[no pic]----

Analisa :

$V_{out} = 0V$

$F_a = 1 / 2 \pi RC$

### 5. Penguat Linier (IC)

Penguat akhir terintegrasi yang mempunyai penguatan linier terhadap VCC.

Rangkaian :

----[no pic]-----

Analisa :

Vout harus = 0V, bila tidak 0 dapat dishortkan dengan R

Mengatur output IC pin 8 dan 10 agar  $\frac{1}{2}$  VCC dengan cara mengatur R1 dengan trimpot

### Perhitungan Daya (watt) dan Frekuensi Batas

Daya merupakan perkalian antara tegangan dan arus yang dihasilkan oleh suatu penguat akhir.

Satuan- satuan daya :

a)  $P_{maks} : VCC^2 / 8 RL \dots\dots(\text{watt}) \quad VCC > RL$

b)  $P_{effektif} : P_{maks} / 2 \dots\dots(\text{watt})$

c)  $P_{PMPO}$  (peak music power output) :  $8 P_{maks} \dots\dots(\text{watt PMPO})$  daya tertinggi dr musik

d)  $P_{rated} : P_{maks} / 3 \dots\dots(\text{watt})$  Accu

Suatu penguat akhir mempunyai tegangan catu 15V, Speaker 4 Ohm (RL), C 50uF

a.  $P_{maks} : 15^2 / 8 \cdot 4 = 225 / 32 = 7.03 \text{ watt}$

b.  $P_{eff} : 7.03 \text{ watt} / 2 = 3.51 \text{ watt}$

c.  $P_{PMPO} : 8 \cdot 7.03 = 56.24 \text{ watt PMPO}$

d.  $P_{Prated} : P_{maks} / 3 = 7.03 / 3 = 2.34 \text{ watt}$

### Menentukan Frekuensi Batas

$$X_c = R_L$$

$$1 / 2\pi F C = R_L$$

$$1 = R_L \cdot 2\pi F C$$

$$F = 1 / R_L \cdot 2\pi C$$

$$= 1 / 2\pi R_L C$$

$$F = 1 / 2\pi \times 4 \times 50\mu\text{F}$$

$$= 1 / 2\pi \times 4 \times 50 \cdot 10^{-6} \text{ F}$$

$$= 7961.78 \text{ Hz}$$

## **OPERATIONAL AMPLIFIER**

1. Karakteristik OP-AMP
2. Rangkaian Dasar OP-AMP
3. Summing Circuit
4. Filter Aktif
5. Signal Generator dan Detector

## 5.1 KARAKTERISTIK OP-AMP

Operational Amplifier merupakan amplifier multiusage dengan dua masukan (inverting dan non-inverting) dan satu keluaran. Sebagai amplifier ideal op-amp mempunyai karakteristik sbb:

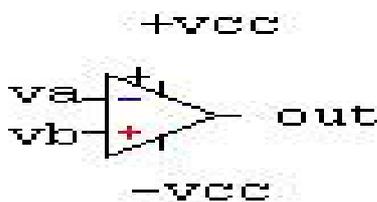
Ditentukan oleh umpan balik dan mempunyai sifat :

- 3.3 Penguatan tegangan besar ( $A_v$ )
- 3.4 Penguatan arus besar ( $A_i$ )
- 3.5 Penguatan daya besar ( $A_p$ )
- 3.6 Impedansi input besar ( $Z_{in}$ )
- 3.7 Impedansi output kecil ( $Z_{out}$ )
- 3.8 Band Width besar ( $BW$ )

Cirinya mempunyai tegangan +, tegangan - dan ground. Mempunyai input inverting dan non inverting

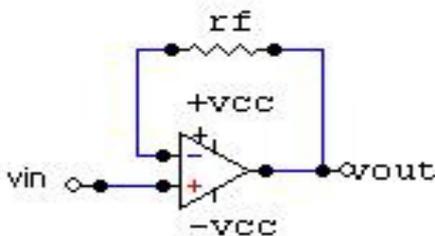
### Mode Penguatan pada OP-AMP

#### a. Mode loop terbuka



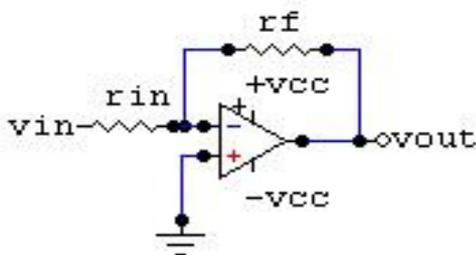
Penguatan ini mempunyai  $A_v$  max  
 $V_{out} = (v_b - v_a) 90\% V_{CC}$

#### b. Mode loop tertutup



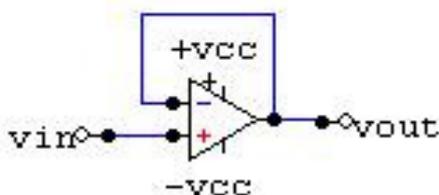
Rangkaian ini mempunyai penguatan  $A_v < \max$

#### c. Mode penguatan terkendali



Mempunyai penguatan  
 $A_v = R_f / R_{in}$   
 $V_{out} = - (R_f / R_{in}) V_{in}$

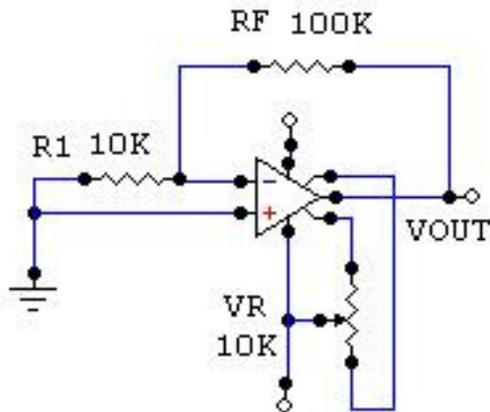
#### d. Mode Penguatan Satu



$V_{out} = V_{in}$   
 $A_v = 1$   
 $V_{out} = A_v \cdot V_{in}$   
 $= 1 \cdot v_{in}$   
 $V_{out} = V_{in}$

### OFFSET NULL

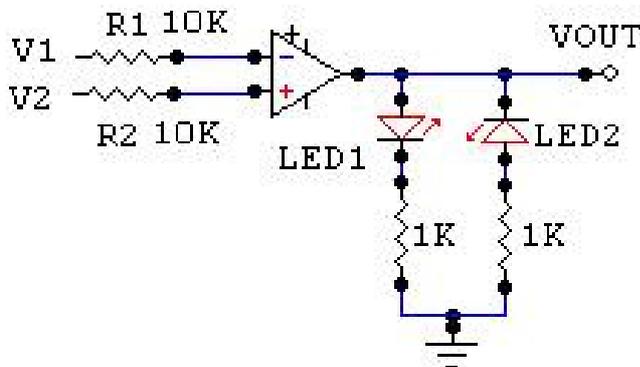
Menjaga agar tegangan keluaran dari OP-AMP tetap bernilai nol.



Rangkaian ini dirangkai dalam rangkaian inverting yang menghubungkan R1 sebagai tahanan input ke ground. RF yang berfungsi sebagai tahanan umpan balik merupakan selisih antara output dan input sebagai gain. Pin 1 dan 5 sebagai offset null terhubung oleh suatu tahanan variable. Output VR ini terhubung dengan VCC. Dimana pada saat VR diputar kekiri tahanan akan membesar dan merupakan tegangan offset negative, sedangkan pada saat diputar ke kanan ini merupakan tegangan offset positive.

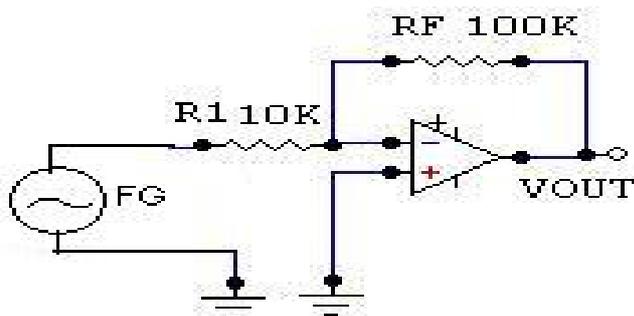
### COMPARATOR

Cara kerja Open-Loop Gain dari suatu OP-AMP dimana dengan adanya perbedaan tegangan input-inputnya akan menyebabkan tegangan output berada dalam keadaan saturasi yaitu  $\pm V_{sat}$  sama dengan  $\pm 90\%$  tegangan catu.

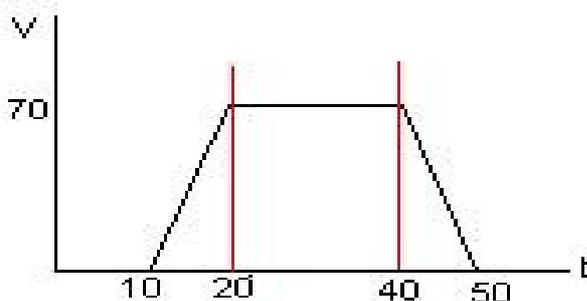


Rangkaian ini berfungsi sebagai pembandingan dua buah tegangan yang masuk melalui 2 buah tegangan terminal input op-amp. Apabila tegangan V2 lebih besar dari V1 maka tegangan yang akan keluar pada Op-amp merupakan tegangan positif, jadi led 1 akan menyala karena led 1 terforward keadaan sebaliknya jika output merupakan negative maka led 2 akan menyala ( $- < 0$ )

### SLEW RATE



Hubungan input dan output pada tanggapan frekuensi loop tertutup OP-AMP Dengan rangkaian ini dapat diketahui laju perubahan maksimal pada output op-amp yaitu perubahan tegangan per perubahan waktu  $\Delta V / \Delta t$ . Apabila input yang diberikan dari function generator berupa signal kotak maka output yang akan di dapat akan terjadi perubahan berupa signal kotak yang menyerupai segitiga tumpul.

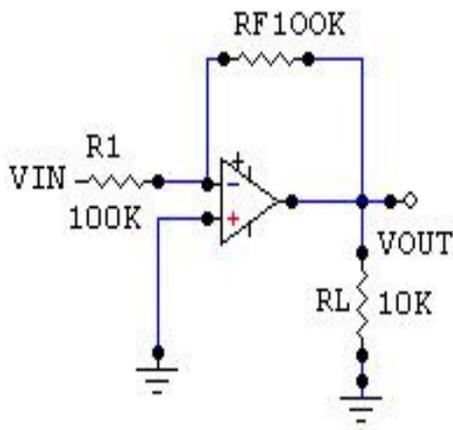


$$A_v = 70 ; A_t = 10$$

$$SR = A_v / A_t = 70 / 10 = 7 \text{ v/s}$$

## 5.2 RANGKAIAN DASAR OP-AMP

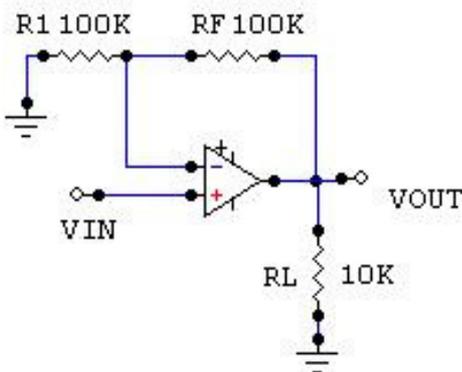
### a. Inverting OP-AMP



Penguatan yang outputnya berbeda fasa  $180^\circ$  dengan inputnya, jika input positif maka output akan menjadi negative.

$$V_{out} = - (R_f / R_1) V_{in}$$

### b. non-inverting

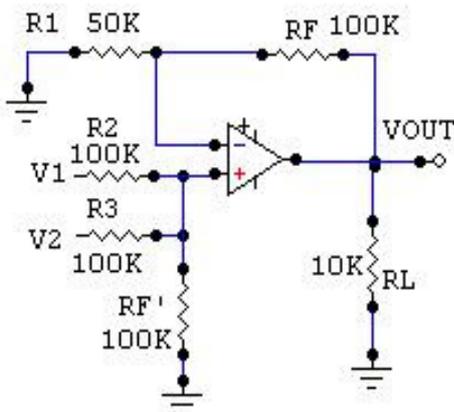


Penguatan yang outputnya sama dengan input tidak ada membalikan fasa

$$V_{out} = V_{in} (1 + R_f / R_{in})$$

## 5.3 SUMMING CIRCUIT

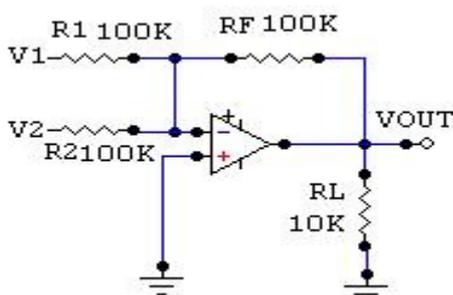
### a. Direct Adder



Rangkaian ini mempunyai input pada kaki non-inverting dan syarat untuk rangkaian ini adalah  $R_f = R_1 = R_2$  atau semua resistor semua sama maka

$$V_{out} = V_1 + V_2$$

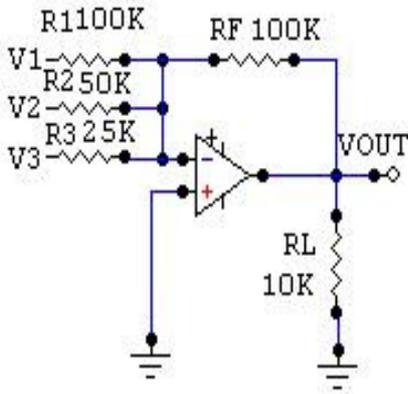
### b. Inverting Adder



Sebagai penjumlah atau mixer. Rangkaian ini mempunyai input pada kaki inverting maka output akan berbeda fasa  $180^\circ$  dengan inputnya

$$V_{out} = - (R_f / R_1 \cdot V_1 + R_f / R_2 \cdot V_2)$$

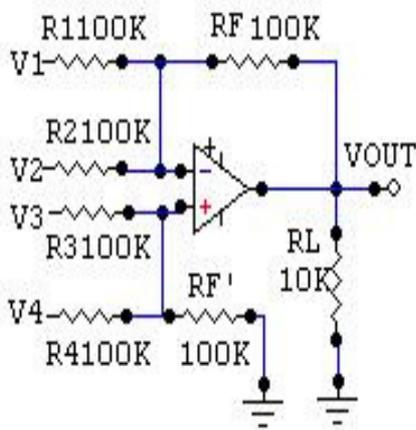
c. Scalling Adder



Hampir sama dengan Inv Add hanya saja disini terdapat penguatan berskala

$$V_{out} = - (R_f / R_1 \cdot V_1 + R_f / R_2 \cdot V_2 + R_f / R_3 \cdot V_3)$$

d. Adder Subtractor



mempunyai inputan pada kedua kaki inverting dan non-inverting. Syarat pada penguatan ini adalah penguatan pada kaki inverting maupun non-inverting harus sama

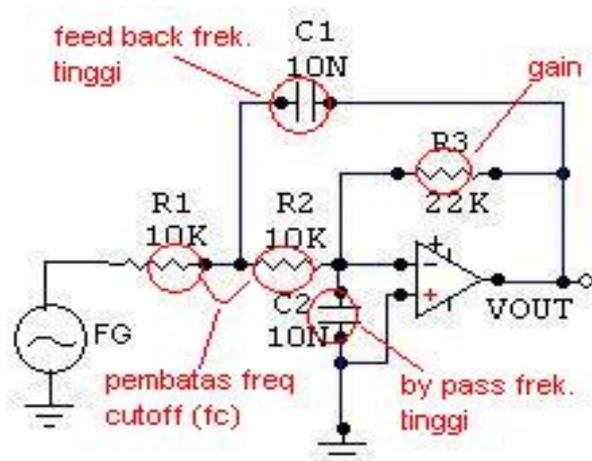
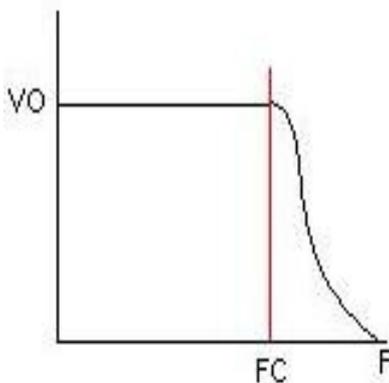
$$V_{out} = - (R_f / R_1 \cdot V_1 + R_f / R_2 \cdot V_2) + (R_f' / R_3 \cdot V_3 + R_f' / R_4 \cdot V_4)$$

5.4 FILTER AKTIF

Fungsi rangkaian filter untuk menyaring, menahan atau melewatkan frekuensi tertentu. Rangkaian filter dapat dibuat dari komponen pasif maupun aktif. Macam-macam rangkaian filter akan dijelaskan sebagai berikut :

a. LPF (Low Pass Filter)

LPF akan melewatkan frekuensi rendah atau dengan kata lain low pass filter akan memberikan tegangan keluaran yang konstan dari DC hingga frekuensi cutoff (frekuensi 0.707 atau frekuensi - 3dB) seperti di tunjukan dalam dibawah ini.



$$F_c = 1 / (2\pi \sqrt{R1.R2.C1.C2})$$

Contoh soal :

$$R1=R2=100k$$

$$C1=100n$$

$$C2=10n$$

$$R3=1M$$

$$F_c = 1 / (2\pi \sqrt{100k.100k.100 \times 10^{-9}.10 \times 10^{-9}})$$

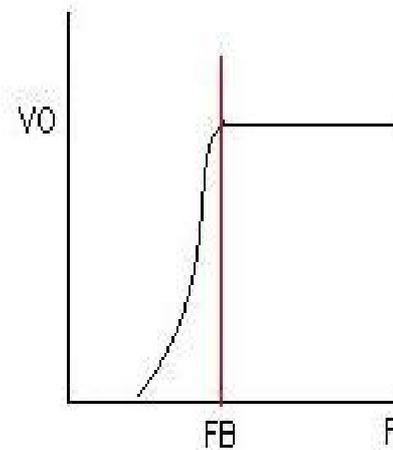
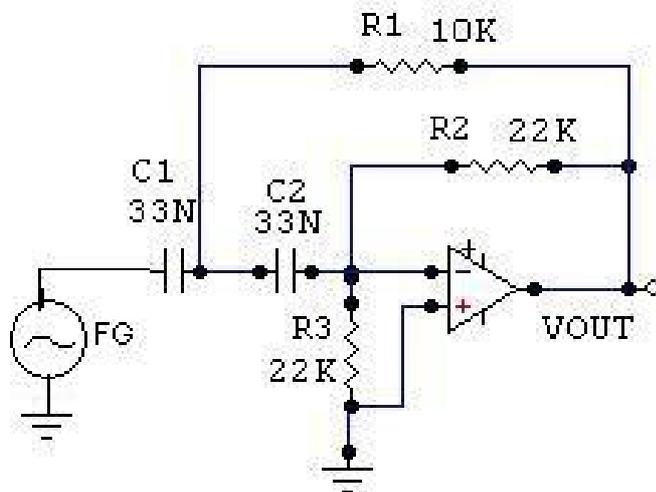
$$1 / (2\pi \sqrt{10^5k.10^5k.10^{-7}.10^{-8}})$$

$$1 / (2\pi \sqrt{10^{10}k.10^{-15}F})$$

$$1 / (6,28 \sqrt{10^{-5}}) = 50,35 \text{ Hz}$$

### b. HPF (High Pass Filter)

Rangkaian filter yang berfungsi untuk melewatkan frekuensi tinggi. Kebalikan dari LPF, yaitu melewatkan frekuensi diatas frekuensi cutoff



$$F_c = 1 / (2\pi \sqrt{R1.R3.C1.C2})$$

Contoh soal :

$$F_c = 10kHz$$

$$R1=5k$$

$$R2=100k$$

$$R3=10k$$

$$C1=C2=?$$

$$10kHz = 1 / (2\pi \sqrt{5k.10k.C1.C2})$$

$$10kHz = 1 / (2\pi \sqrt{5 \times 10^3.10^4.C})$$

$$10kHz = 1 / (6,28 \times 7,07.10^3 \times C)$$

$$10^4 = 1 / 44399,6 \times C$$

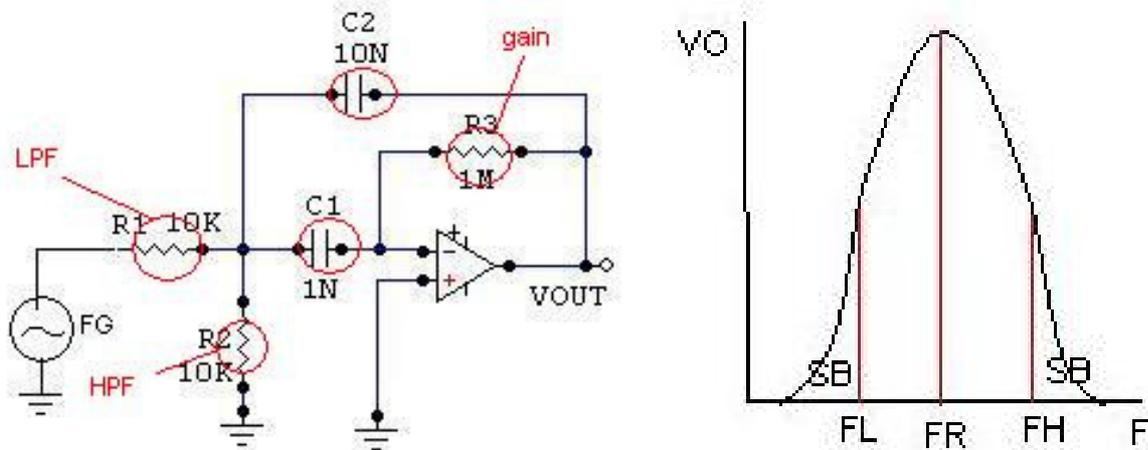
$$1 = 10^4 \times 44399,6 \times C$$

$$1 = 443996000 \cdot C$$

$$C = 1 / 443996000 = 0,000000002 \text{ F} = 2nF$$

c. BPF (Band Pass Filter)

Rangkaian yang melewatkan frekuensi pada daerah tertentu dan meredam frekuensi di luar daerah tsb.



Batas-batas dari frekuensi yang dilewatkan pada bpf adalah FL sampai dengan FH, sedangkan tegangan antara FL dan FH adalah frekuensi resonansi atau frek. Cutoff

$$F_c = F_r = 1 / (2\pi \sqrt{R_p \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2}) \quad (\text{Hz})$$

$$R_p = R_1 // R_2 \quad (\text{ohm})$$

$$Q = (\text{quality}) = 0,5 \sqrt{R_3 // R_p}$$

$$BW = F_c / Q \quad (\text{Hz})$$

$$\text{Frekuensi batas atas} = F_a = F_c + BW/2$$

$$\text{Frekuensi batas bawah} = F_b = F_c - BW/2$$

$$\text{Daerah kerja} = F_b \text{ s/d } F_a$$

Contoh soal :

$$R_1 = R_2 = 10k$$

$$C_1 = C_2 = 1\mu F$$

$$R_3 = 100k$$

$$R_p = R_1 // R_2 = 10k \cdot 10k / (10k + 10k) = 5k$$

$$F_c = 1 / (2\pi \sqrt{5 \times 10^3 \cdot 10^5 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-6}})$$

$$F_c = 1 / (6,28 \sqrt{5 \cdot 10^8 \cdot 10^{-12}})$$

$$F_c = 1 / (6,28 \sqrt{5 \cdot 10^{-4}})$$

$$F_c = 1 / (6,28 \cdot 22,36 \times 10^{-3})$$

$$F_c = 10^3 / 140,42$$

$$F_c = 7,12 \text{ Hz}$$

$$Q = 0,5 \sqrt{100k/5k} = 0,5 \sqrt{20} = 0,5 \cdot 4,472 = 2,236$$

$$BW = 7,12 / 2,236 = 3,18$$

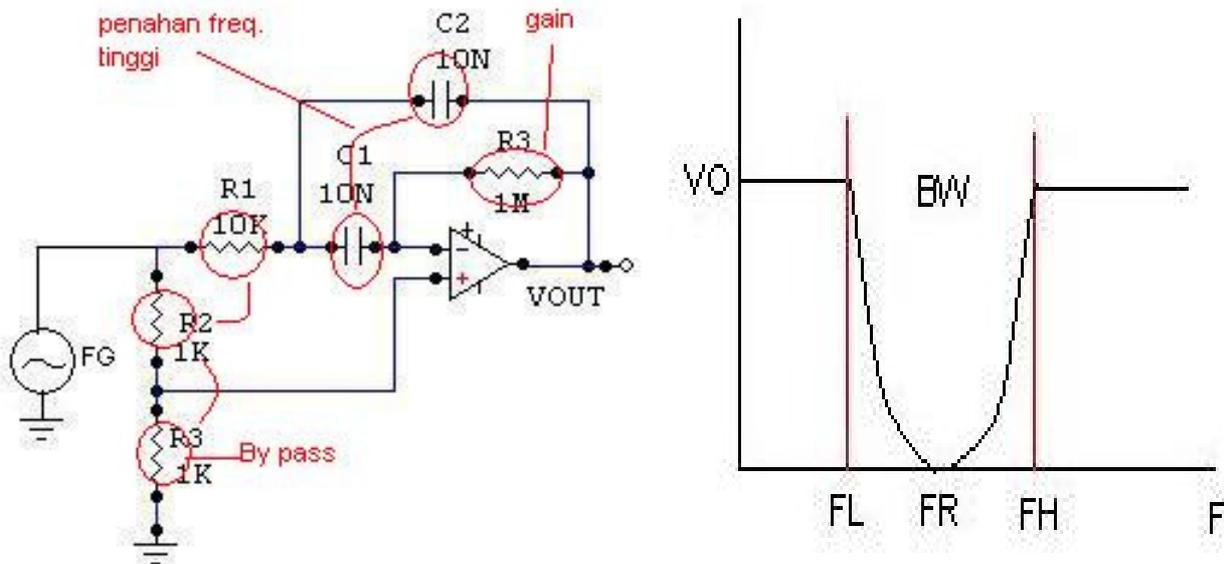
$$F_a = 7,12 + 3,18 / 2,236 = 8,71 \text{ Hz}$$

$$F_b = 7,12 - 3,18 / 2,236 = 5,53 \text{ Hz}$$

$$DK = F_b \text{ s/d } F_a = 5,53 \text{ Hz sampai dengan } 8,71 \text{ Hz}$$

d. BRF (Band Reject Filter)

Kebalikan dari BPF yaitu meredam frekuensi tertentu dan melewatkan frekuensi luar.



$$F_c = F_r = 1 / (2\pi \sqrt{R_f \cdot R_1 \cdot C_1 \cdot C_2}) \quad (\text{Hz})$$

$$Q = (\text{quality}) = 0,5 \sqrt{R_f / R_1}$$

$$F_L = F_c - BW/2$$

$$F_H = F_c + BW/2$$

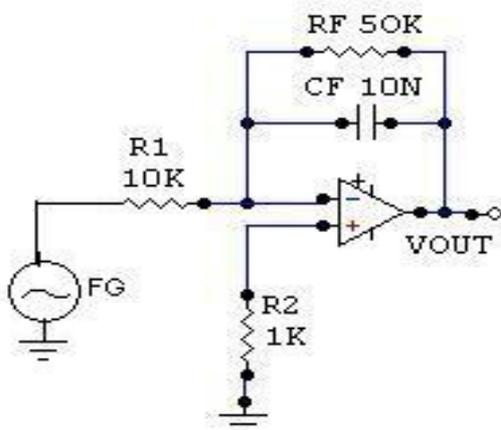
$$BW = F_c / Q$$

### 5.5 SIGNAL GENERATOR DAN DETECTOR

Rangkaian pembentuk gelombang adalah merubah bentuk signal secara keseluruhan. Generator siganla dikelompokan berdasarkan bentuk gelombang yang dibangkitkan sedangkan osilator ditentukan berdasarkan kemampuannya dalam mempertahankan amplitude dan frekuensi keluaran tetap atau dekat pada nilai yang ditetapkan dalam perancangan. Generator gelombang persegi termasuk osilator yang disebut sebagai multivibrator seperti Schmitt Triggered.

a. Integrator

Rangkaian Op-amp yang dapat merubah signal kotak menjadi signal segitiga. Dimana outputnya merupakan perkalian antara tegangan input dengan perubahan waktu dimana signal output berbentuk pulsa akan dirubah menjadi signal segitiga, signal segitiga di rubah menjadi sinus dengan pergeseran fasa sebesar 180°



$$V_{out} = 1 / R_{in} CF \int d V_{in} dt$$

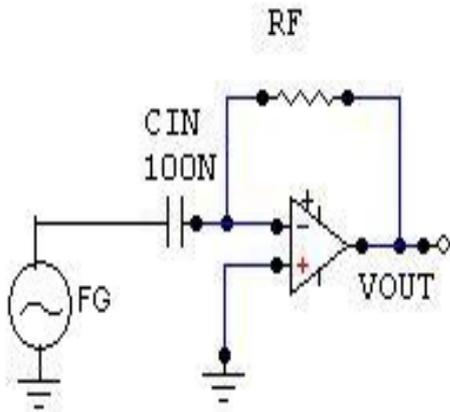
$$V_{out} = V_{in} \cdot \Delta t / 2 R C$$

$$V_{out} = V_{in} \cdot A_v$$

$$A_v = 1 / WRC = 1 / 2\pi F R C$$

b. Diferensiator

Rangkaian diferensiator merupakan rangkaian yang dapat mengubah sinyal segitiga menjadi sinyal kotak atau pulsa dan sinyal kotak menjadi gelombang cerat, sinyal sinus menjadi sinus 4. terjadi pergeseran fasa dimana besar tegangan outputnya dipengaruhi oleh perubahan waktu terhadap perubahan tegangan input.



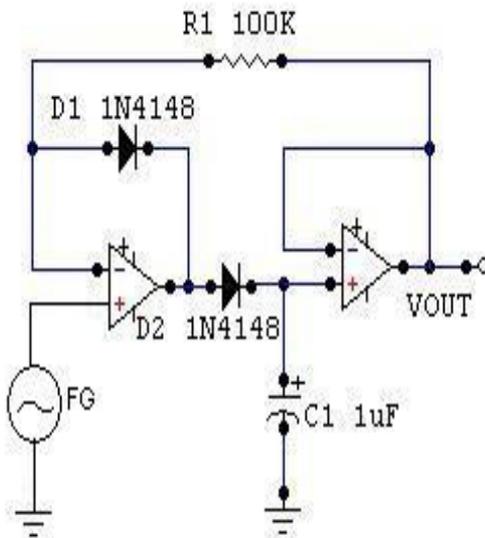
$$V_{out} = 2 RC \cdot \Delta V_{in} / \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{1}{2} T$$

$$\Delta v = V_{out} / V_{in} = WRC = 2 \pi F R C$$

c. PEAK DETECTOR

Rangkaian yang digunakan untuk mendeteksi tegangan tertinggi yang masuk pada op-amp



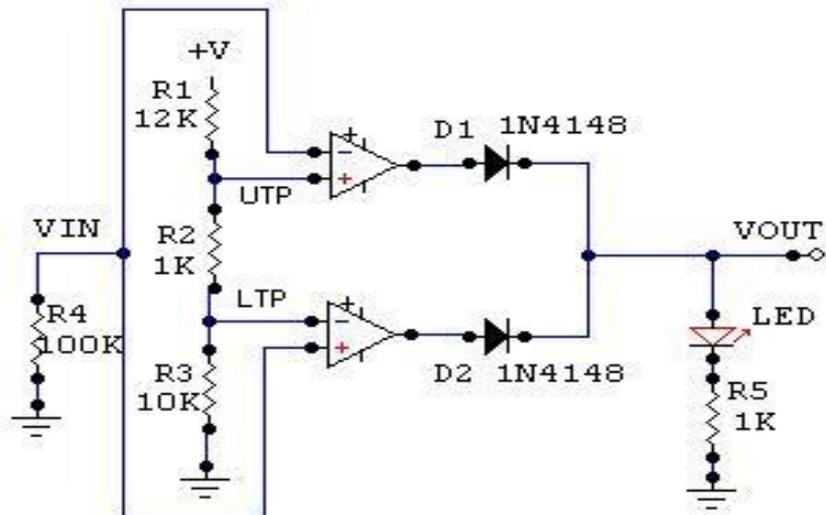
d. WINDOW COMPARATOR

Menggunakan rangkaian pembandingan yang berfungsi sebagai input. UTP (Upper Trip Point) dan LTP (Lower Trip Point). Output yang dihasilkan merupakan penjumlahan dari 2 output yang dihasilkan op-amp tsb.

UTP = Nilai tegangan masukan yang menyebabkan tegangan output naik dari rendah ke tinggi.

LTP = Nilai tegangan masukan yang menyebabkan tegangan output turun dari tinggi ke rendah.

Hysterisis = Selisih antara UTP dengan LTP



$$V_A = UTP = \frac{R_2 + R_3 \cdot V}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$V_B = LTP = \frac{R_3 \cdot V}{R_1 + R_2 + R_3}$$

-----[SEKIAN]-----