

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1. Transistor

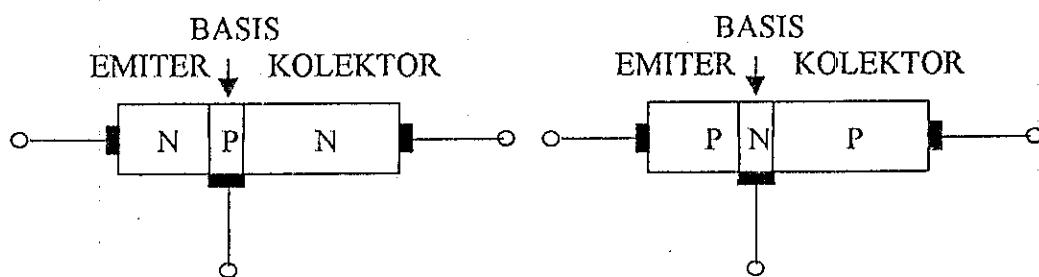
Konduktor adalah penghantar listrik yang baik, kebalikannya adalah isolator dan penghantar yang mempunyai sifat antara konduktor dan isolator disebut semikonduktor.

Bahan semikonduktor yang banyak dipakai pada komponen-komponen elektronika ialah silikon dan germanium, di antaranya untuk pembuatan dioda dan transistor.

Atom-atom silikon/germanium yang bergabung untuk membentuk benda padat, akan tersusun di dalam suatu struktur tiga dimensi teratur yang disebut kristal. Kristal silikon/germanium murni, yakni kristal yang hanya tersusun atas atom-atom silikon/germanium dapat diberi tak murnian (atom-atom pengotor). Silikon/germanium mempunyai 4 buah elektron valensi (elektron-elektron yang terletak pada kulit terluar). Silikon/germanium tipe-P ialah silikon/germanium murni yang diberi campuran atom-atom tak murnian bervalensi 3, sedangkan silikon/germanium tipe-N ialah silikon/germanium murni yang diberi campuran atom-atom tak murnian bervalensi 5(Millman,1971).

Suatu transistor silikon/germanium terdiri atas kristal-kristal silikon /germanium yang memiliki satu lapisan tipe-N diapit di antara dua lapisan tipe-P, kemungkinan lain ialah satu lapisan tipe-P diapit di antara dua lapisan tipe-N. Transistor yang disebut pertama dikenal dengan nama transistor PNP dan transistor

kedua disebut NPN. Antara lapisan tipe-P dan tipe-N terdapat suatu potensial yang disebut potensial penghalang (*barier*), besarnya 0,5-0,7 volt untuk silikon dan 0,1-0,3 volt untuk germanium(Millman,1971;Malvino,1984).



Gambar 2.1 Tiga daerah transistor. Transistor NPN dan PNP(Malvino,1984)

Gambar 2.1 menunjukkan skema sebuah kristal NPN dan PNP. Emiter diberi tak murnian sangat banyak, berfungsi untuk mengemisikan atau menginjeksikan elektron ke dalam basis. Basis hanya diberi sedikit tak murnian dan mempunyai lapisan sangat tipis, berfungsi melewatkannya sebagian besar elektron-elektron yang diinjeksikan emiter ke kolektor. Kolektor mempunyai tingkat tak murnian di antara basis dan emiter tapi mempunyai lapisan paling tebal. Kolektor bertugas mengumpulkan atau menangkap elektron-elektron dari basis(Malvino,1984).

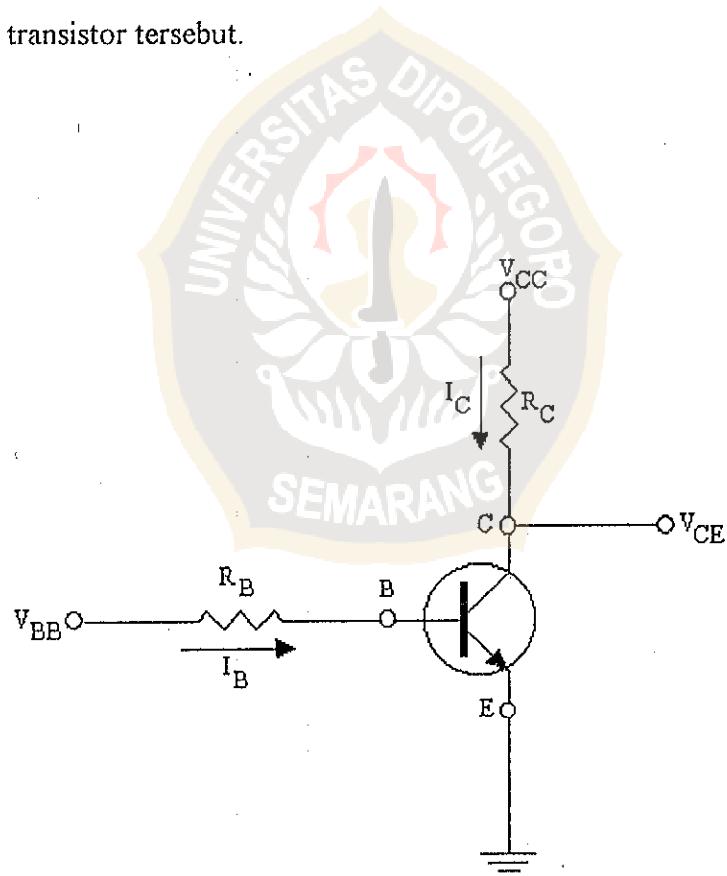
Suatu rangkaian transistor seperti pada Gambar 2.2 disebut rangkaian emiter bersama (*common emitter*), karena kaki emiter ditanahkan dan terhubung pada rangkaian masukan juga rangkaian keluarannya.

Rangkaian emiter bersama banyak dimanfaatkan sebagai penguat arus, karena menghasilkan arus keluaran yang besar ( $I_C$ ) hanya dengan arus masukan

kecil ( $I_B$ ). Perbandingan antara  $I_C$  dan  $I_B$  menunjukkan seberapa besar penguatan arus suatu transistor. Besarnya penguatan arus transistor, biasa dilambangkan dengan  $\beta_{dc}$ , sehingga:

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B} \text{ (Millman, 1971)} \quad (2-1)$$

Suatu cara untuk mengetahui gambaran kerja suatu transistor ialah dengan membuat grafik yang menghubungkan arus dan tegangannya, sehingga diketahui karakteristik transistor tersebut.



Gambar 2.2 Rangkaian emiter bersama(Millman,1971)

Kurva karakteristik transistor ada dua macam, yakni kurva karakteristik masukan (kurva basis) dan kurva karakteristik keluaran (kurva kolektor). Kurva basis mempunyai absis  $I_B$  (arus basis) dan ordinat  $V_{BE}$  (tegangan antara basis dan emiter). Setiap lengkungan pada kurva basis dihasilkan untuk  $V_{CE}$  (tegangan kolektor ke emiter) yang konstan. Kurva kolektor mempunyai absis  $V_{CE}$  dan ordinat  $I_C$  (arus kolektor). Setiap lengkungan pada kurva kolektor dihasilkan untuk  $I_B$  yang konstan. Gambar 2.3 menunjukkan sebuah kurva basis dan Gambar 2.4 menunjukkan sebuah kurva kolektor transistor.

Kurva pada Gambar 2.4 memperlihatkan bahwa jika  $I_B$  naik maka  $I_C$  akan ikut naik. Ini menunjukkan  $I_B$  yang kecil mengendalikan  $I_C$  yang besar.

Kurva kolektor terbagi menjadi 3 daerah, yakni aktif, jenuh (*saturation*) dan putus (*cut off*). Daerah aktif berada pada bagian lengkung kurva dimulai dari titik tegangan lutut (*knee*, yakni tegangan saat  $I_C$  mulai konstan), merupakan daerah kerja jika transistor akan digunakan sebagai penguat. Pada daerah aktif ini,  $I_C$  sangat sensitif terhadap perubahan  $I_B$ . Daerah jenuh terletak antara titik pusat dan titik tegangan lutut. Adanya tegangan lutut ini disebabkan oleh potensial penghalang (*barrier*). Daerah putus terletak sepanjang lengkung kurva untuk  $I_B = 0$ , ini berarti untuk membuat suatu transistor terputus perlu diberi  $I_B = 0$ . Dua kondisi yang berbeda jelas pada karakteristik keluaran transistor, yakni kondisi jenuh dan putus transistor dimanfaatkan untuk pembuatan rangkaian-rangkaian digital (Millman, 1971).

Rangkaian emiter bersama pada Gambar 2.2 dapat dianalisa sebagai berikut:

Pada simpul B-E terdapat arus  $I_B$  yang besarnya:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \text{ (Millman, 1971)} \quad (2-2),$$

nilai  $V_{BE}$  berada dalam orde beberapa persepuluhan volt dan dapat berbeda-beda untuk setiap transistor. Secara umum,  $V_{BE}$  di daerah aktif, berharga 0,7 volt untuk transistor silikon dan 0,2 volt untuk transistor germanium(Millman,1971). Saat berada di daerah jenuh, nilai  $V_{BE}$  selalu berubah seiring dengan perubahan  $V_{CE}$ , dihubungkan dengan persamaan

$$V_{BE} = V_{CE} - V_{CB} \text{ (Millman,1971)} \quad (2-3)$$

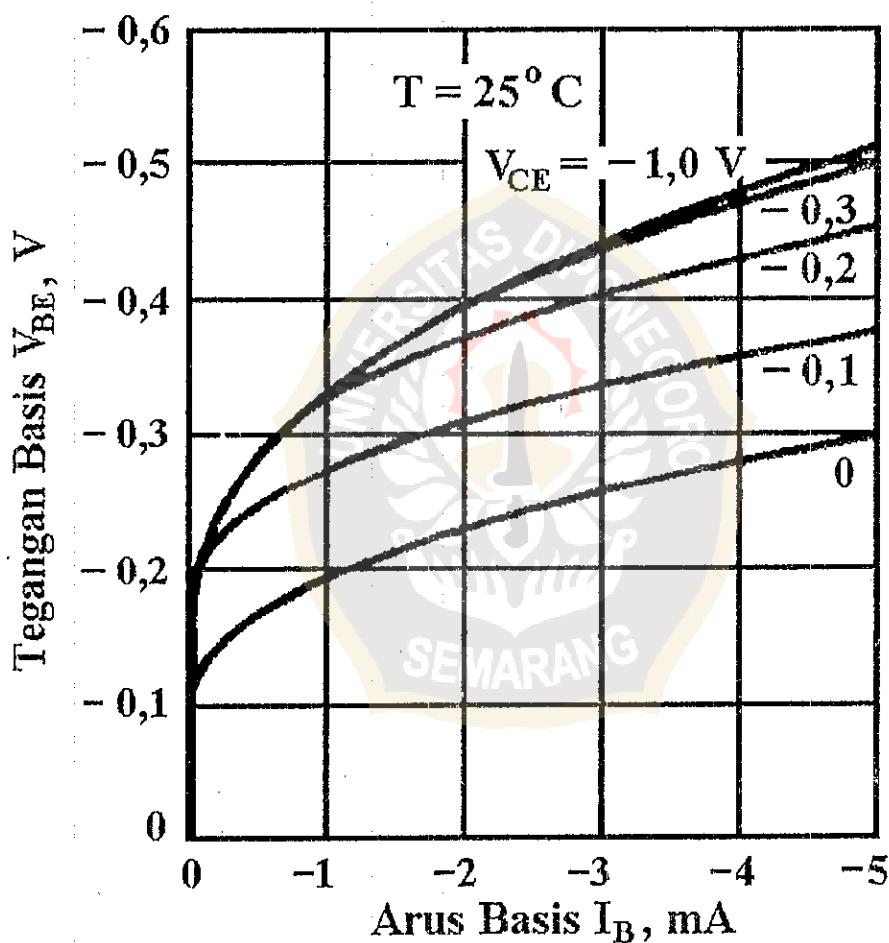
Arus  $I_C$  yang terdapat pada simpul C-E ialah

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} \text{ (Millman,1971)} \quad (2-4).$$

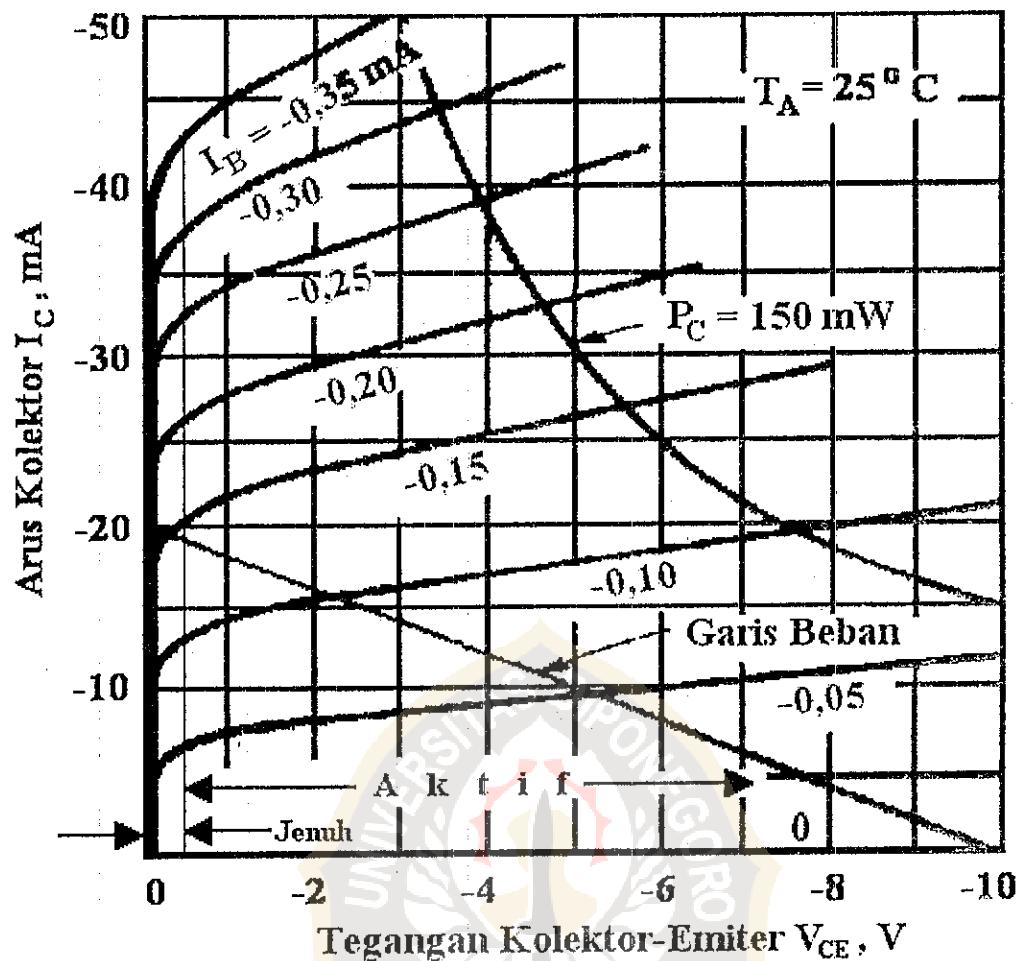
Pada daerah jenuh,  $I_C$  berubah secara linier terhadap perubahan  $V_{CE}$ , sehingga transistor hanya berfungsi sebagai suatu tahanan dari pada suatu penguat(Millman,1971). Besarnya tahanan pada daerah jenuh ini dapat ditentukan dengan

$$R_{CS} = \frac{V_{CES}}{I_C} \text{ (Millman,1971)} \quad (2-5)$$

indeks  $s$  menunjukkan *saturation* (jenuh). Pada daerah aktif, perubahan-perubahan  $V_{CE}$  sudah tidak berpengaruh lagi pada  $I_C$ .  $I_C$  hanya bergantung pada  $I_B$  dan dihubungkan secara linier melalui persamaan (2-1)(Millman,1971).



Gambar 2.3. Kurva karakteristik masukan transistor (kurva basis)(Millman,1971)



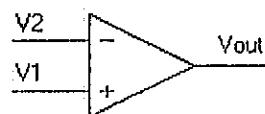
Gambar 2.4. Kurva karakteristik keluaran transistor (kurva kolektor)(Millman,1971)

## 2.2. Penguat Operasional (Op-amp)

Piranti ini memiliki batas tegangan besar sekali, yakni sekitar 100.000, impedansi masuk khas  $2 \text{ M}\Omega$  dan impedansi keluar  $75 \Omega$ (Malvino,1984).

Gambar 2.5 menunjukkan simbol op-amp. Ada dua macam sinyal masukan pada op-amp, yakni masukan membalik dan masukan tak membalik. Masukan membalik diberi tanda negatif, untuk menunjukkan adanya pembalikan fasa pada

keluarannya. Masukan tak membalik mempunyai sifat yang berlawanan dengan masukan membalik(Malvino,1984).



Gambar 2.5. Simbol op-amp(Malvino,1984)

Persamaan umum tegangan keluaran sebuah op-amp ialah:

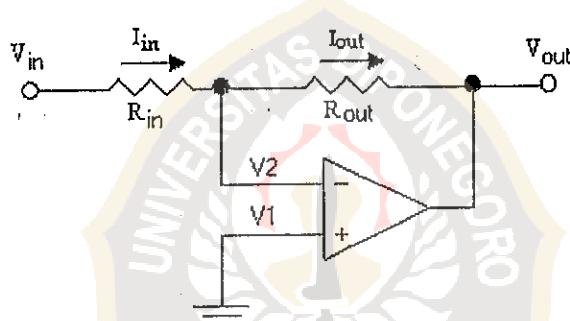
$$V_{out} = A(V_1 - V_2) \quad (\text{Malvino,1984}) \quad (2-6)$$

dengan  $A$  adalah bati tegangan simpal terbuka,  $V_1$  adalah tegangan pada masukan tak membalik,  $V_2$  tegangan pada masukan membalik dan  $V_{out}$  adalah tegangan keluarannya.

Jika  $V_1$  dan  $V_2$  ditanahkan, seharusnya berdasarkan persamaan (2-6), tegangan keluaran  $V_{out} = 0$ , tetapi ternyata selalu muncul  $V_{out}$  yang berharga  $\pm 2$  mV. Tegangan yang muncul ini dikenal sebagai tegangan offset keluaran. Munculnya tegangan yang tidak dikehendaki ini diakibatkan oleh nilai-nilai  $V_{BE}$  yang berbeda untuk transistor yang terhubung ke  $V_1$  dan transistor yang terhubung ke  $V_2$ . Selisih  $V_{BE}$  antara kedua transistor tersebut dikenal dengan nama tegangan offset masukan. Sebenarnya tegangan offset masukan berharga kecil sekali, tapi karena bati tegangan simpal terbuka op-amp berharga besar sekali (100.000),

menyebabkan tegangan offset masukan akan diperkuat dan menghasilkan tegangan offset keluaran yang cukup besar(Malvino,1984).

Suatu cara yang umum dan paling baik yang digunakan untuk mengatasi tegangan offset keluaran ialah menggunakan rangkaian umpan balik negatif, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.6. Tegangan offset keluaran sebagian diumpulkan kembali ke masukan membalik, sehingga setelah diperkuat akan menghasilkan kembali tegangan offset keluaran yang berbeda fasa dengan sebelumnya, akibatnya kedua tegangan yang berbeda fasa ini akan saling menghilangkan(Malvino,1984).



Gambar 2.6. Rangkaian op-amp umpan balik negatif(Malvino,1984)

Impedansi masuk op-amp yang berorde megaohm, jauh lebih besar dibandingkan  $R_{out}$  dan  $R_{in}$ , menyebabkan arus masukan  $I_{in} \approx \frac{V_{in}}{R_{in}}$  hampir semuanya mengalir melalui  $R_{out}$  menjadi  $I_{out}$ . Hanya sebagian kecil saja arus yang mengalir ke dalam op-amp, sehingga bisa diambil pendekatan  $I_{out} \approx I_{in}$ , dan jumlah tegangan-tegangan melingkari rangkaian menjadi

$$V_{out} - I_{in}R_{out} + (V_1 - V_2) = 0 \quad (\text{Malvino, 1984}) \quad (2-7)$$

atau dengan bantuan persamaan (2-6), didapat hasil

$$V_{out} - I_{in}R_{out} + \frac{V_{out}}{A} = 0 \quad (2-8)$$

dan dengan sedikit perubahan akan menjadi

$$\frac{V_{out}}{I_{in}} = \frac{ARout}{1+A} \quad (2-9).$$

Bila simpal terbuka A jauh lebih besar dari pada 1, sehingga persamaan (2-9) dapat disederhanakan menjadi

$$\frac{V_{out}}{I_{in}} \approx R_{out} \quad (2-10),$$

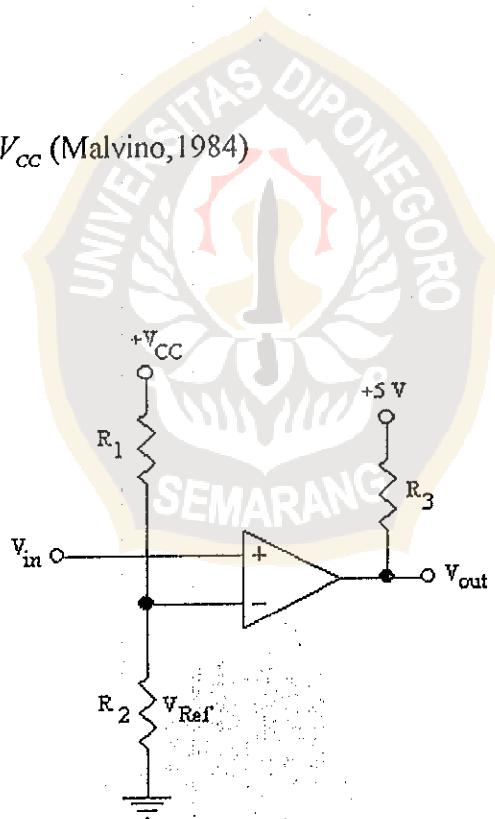
atau  $V_{out} = -I_{in}R_{out}$  (tanda – menunjukkan pembalikan fasa) (Malvino, 1984)(2-11).

Terkadang, dalam suatu rangkaian op-amp, tegangan offset keluaran tidaklah menjadi hal yang mengganggu bagi daya guna rangkaian, sehingga tahanan umpan balik tidak diperlukan lagi. Hal ini terlihat seperti pada Gambar 2.7, yang merupakan rangkaian pembanding op-amp.

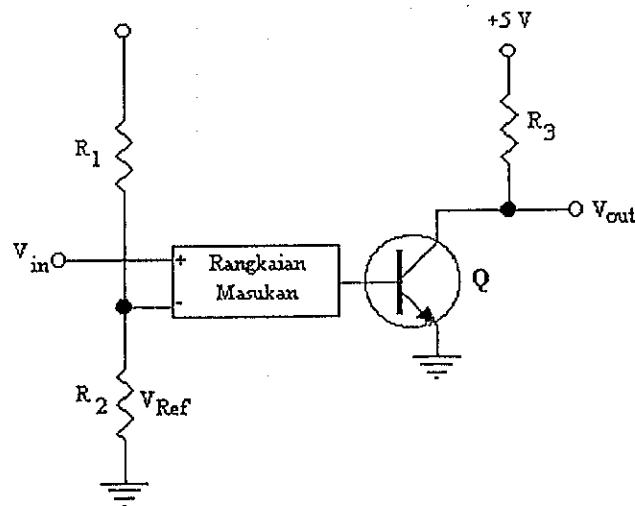
$V_{out}$  pada rangkaian pembanding op-amp hanya akan mengeluarkan tegangan rendah atau tinggi, tergantung pada  $V_{in}$  dan  $V_{Ref}$ . Cara kerja rangkaian pembanding op-amp dapat dijelaskan oleh Gambar 2.7. Jika  $V_{in}$  lebih besar dari pada  $V_{Ref}$ , maka kaki basis transistor Q akan mendapat tegangan rendah ( $\approx 0$ ), sehingga transistor Q terputus dan tegangan +5 V yang dikenakan pada tahanan  $R_3$  akan muncul pada  $V_{out}$ . Sebaliknya, jika  $V_{in}$  lebih kecil dari pada  $V_{Ref}$ , maka transistor Q jenuh, dan kolektor seolah terhubung singkat dengan emiter (tanah), sehingga  $V_{out}$  menjadi rendah(Malvino,1984).

Harga  $V_{ref}$  dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$V_{Ref} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \text{ (Malvino,1984)} \quad (2-12).$$

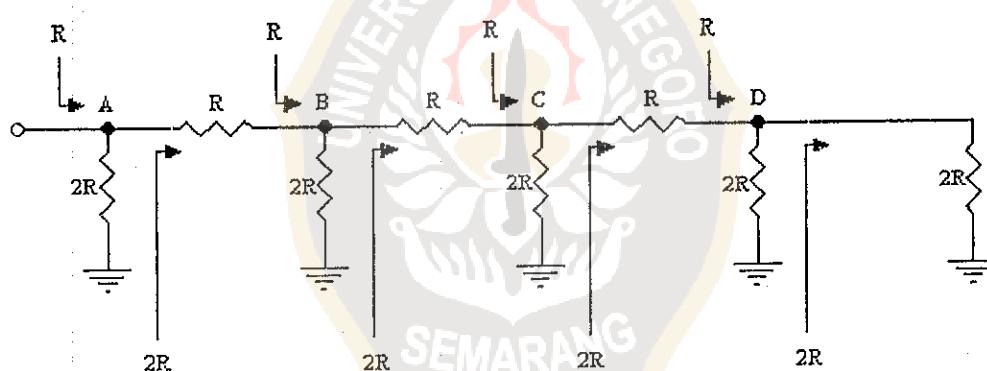


Gambar 2.7. Rangkaian pembanding op-amp(Malvino,1984)



Gambar 2.8. Rangkaian ekuivalen pembanding op-amp(Malvino,1984)

### 2.3. Pengubah Digital ke Analog (DAC)



Gambar 2.9. Rangkaian tangga R-2R(Malvino, 1983)

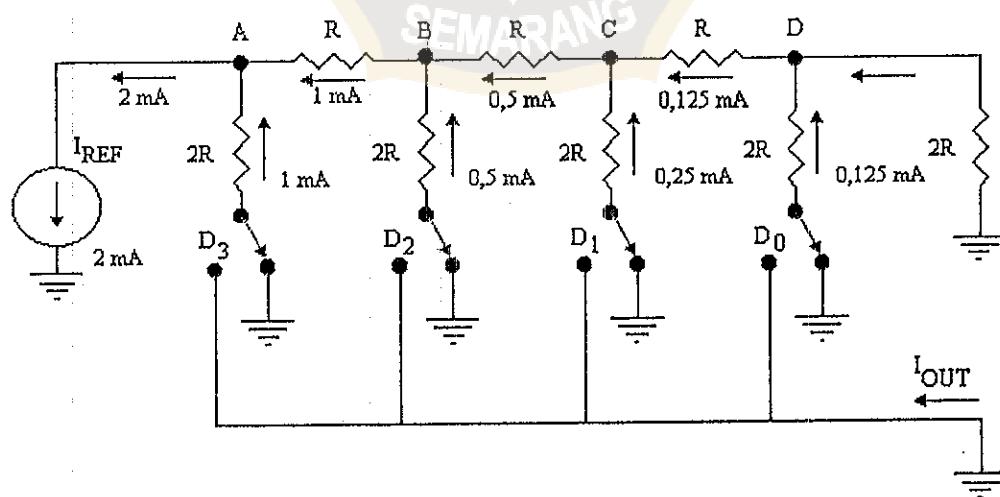
Rangkaian tangga R-2R adalah suatu metode yang digunakan untuk membuat rangkaian DAC. Gambar 2.9 memperlihatkan rangkaian tangga R-2R. Hal menarik yang ada pada rangkaian ini ialah nilai hambatannya pada titik-titik yang berbeda selalu R atau 2R. Dua buah hambatan pada simpul D membentuk susunan paralel dan dapat direduksi menjadi hambatan bernilai R. Selanjutnya, di

sebelah kanan titik C terdapat dua hambatan berharga R yang tersusun secara seri dan dapat direduksi menjadi  $2R$ . Jika pereduksian rangkaian ini dilanjutkan sampai titik terakhir, yakni titik A, kejadian seperti di atas akan terulang terus sampai hanya tersisa sebuah hambatan berharga  $R$ (Malvino,1983).

Sifat rangkaian R-2R yang demikian dapat dimanfaatkan untuk membuat rangkaian pembagi arus yang memiliki bobot biner. Gambar 2.10 memperlihatkan rangkaian tersebut. Jumlah semua arus yang mempunyai bobot biner akan menghasilkan arus keluaran ekuivalen analognya. Inilah sebenarnya inti rangkaian DAC(Malvino,1983). Arus  $I_{out}$  dapat dihitung menggunakan persamaan

$$I_{out} = \left( D_{n-1} + 2^{-1} D_{n-2} + \dots + 2^{1-n} D_0 \right) \frac{I_{REF}}{2} \quad (2-13)$$

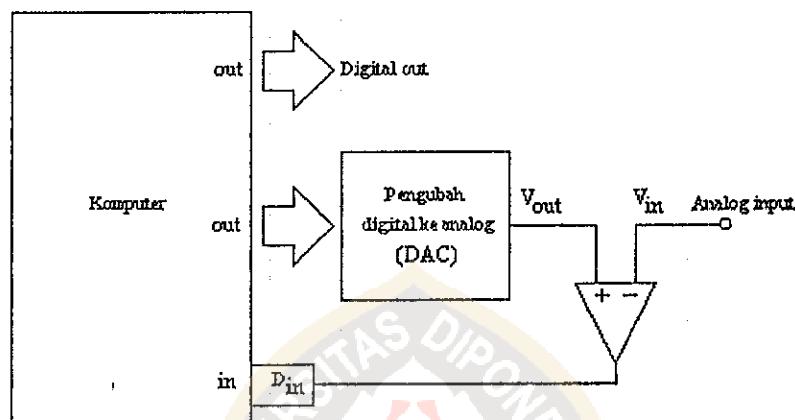
dengan n menunjukkan banyaknya bit, dan  $D_n$  dapat bernilai 1 atau 0 tergantung posisi bit ke-n.



Gambar 2.10. Pengubah digital ke analog dengan metode R-2R(Malvino, 1983)

#### 2.4. Pengubah Analog ke Digital (ADC)

Metode aproksimasi berturut-turut (*successive-approximation method*) digunakan secara luas untuk membuat rangkaian ADC. Gambar 2.11 memperlihatkan skematik rangkaian ADC yang menggunakan metode tersebut.



Gambar 2.11 Pengubah analog ke digital dengan aproksimasi berturut-turut(Goody,1992)

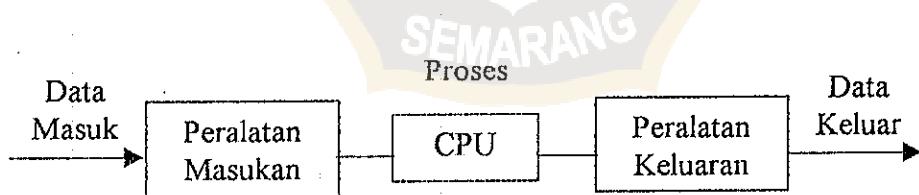
Mula-mula, komputer mengirimkan data dengan MSB tinggi ke rangkaian DAC, yaitu 1000. Kemudian, DAC akan mengubah data digital tersebut menjadi tegangan  $V_{out}$ . Bila  $V_{out}$  ini lebih besar dari pada  $V_{in}$ , keluaran rendah sinyal pembanding akan menyebabkan  $D_{in}$  reset, sehingga komputer akan mereset MSB (mengubah MSB menjadi 0). Di pihak lain, jika  $V_{out}$  kurang dari  $V_{in}$ , keluaran tinggi sinyal pembanding akan menyebabkan  $D_{in}$  set, sehingga komputer akan tetap membiarkan MSB dalam keadaan set. Andaikan dalam operasi tersebut MSB tidak direset, nilai tersebut merupakan bit pertama hasil konversi yang akan dikirimkan ke Digital Out. Operasi berikutnya akan memasang bit di sebelah kanan MSB, dan

memberikan keluaran digital 1100. Akibatnya,  $V_{out}$  akan menghasilkan kembali nilai tegangan tertentu dan akan dibandingkan dengan  $V_{in}$ . Seperti semula, bit ini akan diset atau direset tergantung keluaran op-amp pembanding. Bit-bit selanjutnya akan dites juga dan hasilnya satu-persatu dikirimkan ke Digital Out(Goody,1992).

## 2.5. Port Paralel Printer Adapter

Sebuah sistem komputer melakukan segala macam tugas yang diberikan berdasarkan kendali dari suatu unit yang disebut *Central Processing Unit* (CPU). CPU berperan untuk mengatur lalu lintas data yang begitu padat, mengolah dan kemudian mengirimkan hasilnya ke berbagai peralatan masukan dan keluaran dengan ketelitian dan kecepatan yang sangat tinggi. Sebuah CPU, sebenarnya berintikan sebuah mikroprosesor.

Secara sederhana, Gambar 2.12 menunjukkan bahwa CPU menerima data dari peralatan masukan, kemudian mengolah data tersebut di dalam mikroprosesor dan hasilnya dikirimkan ke peralatan keluaran.



Gambar 2.12. Proses pengolahan data oleh sebuah komputer(Triebel,1992)

Peralatan masukan bermacam-macam jenisnya, di antaranya ialah papan ketik (*keyboard*), dan mouse. Sedangkan peralatan keluaran dapat berupa layar monitor dan pencetak (*printer*).

Komunikasi antara CPU dan peralatan masukan-keluaran dilakukan melalui suatu antarmuka (*interface*). Setiap jenis peralatan, mempunyai antarmuka yang berbeda-beda sesuai dengan fungsi dan karakteristiknya masing-masing. Sebagai contoh, antarmuka untuk pencetak, dikenal dengan sebutan LPT1. LPT1 bekerja secara paralel, berarti pengiriman dan pengambilan data secara per delapan bit.

Berdasarkan fungsinya, LPT1 terbagi menjadi 3, yaitu(Triebel,1992):

1. *Data Port* (DP), mempunyai alamat 378h (heksadesimal). DP berfungsi sebagai jalur masuk/keluar 8 bit data.
2. *Printer Status* (PS), mempunyai alamat 379h. PS hanya dapat digunakan untuk membaca data dari luar. Jadi, data dari komputer tidak bisa dikirimkan ke luar melalui PS. PS0-PS2 tidak bisa digunakan. PS3-PS6 bersifat normal dan PS7 bersifat *inverting* (logika rendah akan dibaca tinggi dan logika tinggi akan dibaca rendah).
3. *Printer Control* (PC), mempunyai alamat 37Ah. PC digunakan sebagai jalur kendali dari dan ke komputer. PC4-PC7 tidak bisa digunakan. PC2 bersifat normal, sedangkan sisanya *inverting*.