# BAB II

# TEORI PENUNJANG

# BAB II

# TEORI PENUNJANG

Pada bab ini, akan dibahas beberapa teori beserta perumusannya yang akan digunakan pada perencanaan dan pembuatan alat ini. Dan pembahasannya dapat dibagi menjadi 9 (sembilan) bagian:

① Gelombang ultrasonik

② Transduser ultrasonik

③ IC CMOS

④ LED (*Light Emitting Diode*)

⑤ Flip-flop

⑥ Osilator

⑦ Penguat (*amplifier*)

⑧ *Schmitt trigger*

⑨ *Standard deviasi.*

## 2.1 GELOMBANG ULTRASONIK

Bunyi adalah merupakan gelombang mekanis *longitudinal* di udara yang mengenai telinga dan menimbulkan sensasi pendengaran pada manusia. Gelombang bunyi dapat dijalarkan di dalam benda padat, benda cair dan gas. Partikel-partikel bahan yang mentransmisikan sebuah gelombang seperti itu berosilasi di dalam arah penjalaran gelombang itu sendiri.

Ada suatu jangkauan frekuensi yang besar di dalam yang mana dapat dihasilkan gelombang mekanis longitudinal, dan gelombang bunyi dibatasi oleh jangkauan frekuensi yang dapat merangsang telinga dan otak manusia kepada sensasi pendengaran. Jangkauan ini adalah dari 20 Hz sampai 20 KHz yang dinamakan jangkauan suara yang dapat didengar (*audible range*).

Sebuah gelombang mekanis *longitudinal* yang frekuensinya berada di bawah jangkauan pendengaran manusia disebut sebuah gelombang infrasonik (*infrasonic wave*) dan gelombang yang frekuensinya berada di atas jangkauan pendengaran manusia disebut gelombang ultrasonik (*ultrasonic wave*)[1]. Gelombang bunyi yang sederhana adalah berupa gelombang sinus yang terdiri dari frekuensi, amplitudo dan panjang gelombang.

Gelombang ultrasonik mempunyai manfaat yang begitu banyak bagi kehidupan manusia. Dan beberapa binatang menggunakannya untuk pencarian dan identifikasi makanan, untuk navigasi dan untuk mendeteksi bahaya. Contohnya adalah kelelawar, ngengat, ikan lumba-lumba, burung dan anjing. Gelombang ultrasonik banyak dipakai pada dunia kesehatan untuk diagnosa dan terapi. Pemantulan gelombang dari daerah sekitar tubuh dapat dipakai untuk mendeteksi secara luas penyimpangan keadaan tubuh seperti tumor dan kerja katup jantung.

Seperti pada cahaya, gelombang ultrasonik juga terpantul dari permukaan, terbias saat pergi dari satu medium ke medium lain yang mempengaruhi perubahan kecepatan suara, dan mengalami difraksi pada tepi permukaan atau sekitar penghalang.

---

[1]Introduction to Physics for Scientists and Engineers

### 2.1.1 Kecepatan gelombang ultrasonik

Kecepatan perambatan gelombang tergantung dari jenis gelombang, elastisitas medium, kepadatan medium dan pada beberapa kasus adalah frekuensi. Sejak gelombang ultrasonik merupakan bentuk energi yang dipancarkan sebagai gelombang tekanan (*stress wave*), kecepatan suara juga tergantung dari bentuk getarannya.

Persamaan kecepatan ultrasonik dalam udara adalah sebagai berikut:

$$v = \lambda f = \frac{\lambda}{T} \tag{2.1}$$

Di mana: $v$ = kecepatan gelombang (m/s)

$\lambda$ = panjang gelombang (m)

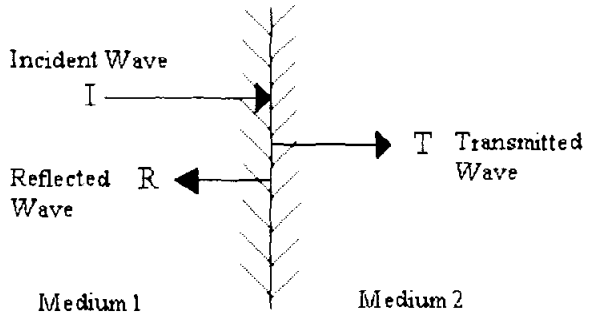
T = periode gelombang (s)

$f$ = frekuensi (Hz).

Kecepatan gelombang ultrasonik dalam udara adalah 330 m/s.

### 2.1.2 Pemancaran dan pemantulan gelombang ultrasonik

Ketika sebuah gelombang datar pada keadaan normal melewati hubungan muka antara dua media setengah tak terbatas, seperti pada Gambar 2-1, energi dari gelombang yang terjadi (*incident wave*) I dipisahkan antara sebuah gelombang terpantul R dan sebuah gelombang terpancar T. Pada batasnya, jumlah pemindahan (terpancar) sama dengan jumlah dalam medium yang lain.




Gambar 2-1 Pemancaran dan pemantulan gelombang ultrasonik

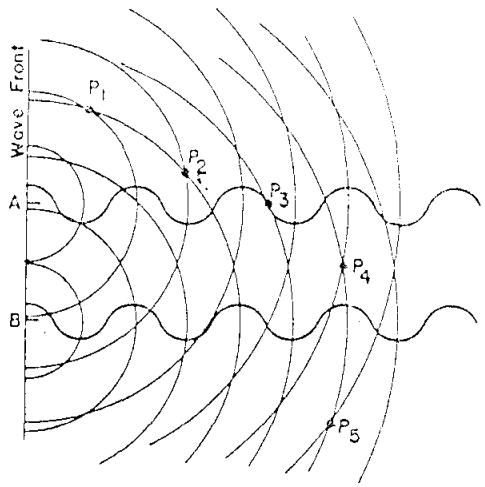
### 2.1.3 Difraksi gelombang ultrasonik

Pengertian dari difraksi/lenturan adalah pembelokkan cahaya ketika melewati sebuah penghalang. Difraksi menunjukkan perubahan dari gelombang depan (*front wave*) dalam melewati tepi dari bagian yang gelap, melewati menembus celah sempit, atau menjadi terpantul atau terpancar dari permukaan. Dalam difraksi cahaya pada tepi dari sebuah objek yang gelap, sinar kelihatannya dibelokkan, menghasilkan rumbai-rumbai cahaya dan jalur gelap atau berwarna[2]. Sebuah perubahan yang mirip dari gelombang lain (seperti suara dan gelombang elektromagnetik) yang terjadi dan menyebabkan lekukan gelombang di sekitar objek dalam jalurnya. Difraksi mencegah penggunaan keseluruhan dari sebuah gelombang depan atau membawa gelombang depan ke suatu tujuan.

Efek difraksi seringkali menjadi perhatian pada banyak penggunaan gelombang ultrasonik seperti pada pengukuran peredaman suara dalam material, pemeriksaan yang tidak merusak pada bahan material dan *under water sound* (bunyi di bawah air). Gelombang ultrasonik memancarkan gelombangnya tidak

[2] ULTRASONICS, Dale Ensminger

selalu lurus, tergantung pada permukan penghalangnya. Apabila penghalang berbentuk bola maka gelombang yang memancar kepada bola akan mengikuti bentuk bola (mengelilingi bola). Untuk menjelaskan kejadian ini, digunakan prinsip Huygens yang memperhitungkan pola radiasi dari pemancaran dengan konfigurasi yang bervariasi.




Gambar 2-2 Gambaran dari prinsip Huygens

Prinsip Huygens yang digambarkan pada Gambar 2-2 dapat dijelaskan sebagai berikut:

Gelombang berbentuk bola begetar secara sinusoida yang ditunjukkan keluar dari titik A dan B pada wave front. Kedua gelombang memiliki amplitudo dan fasa yang sama dalam arah *wave front*. Kedatangan dari kedua *wave front* baru pada titik P1 dan P4 adalah seperti keduanya berada pada fasa yang sama dan berinterferensi saling memperkuat. Pada titik P2 dan P5, terjadi perbedaan fasa

sebesar 180°, dan menyebabkan terjadinya interferensi yang saling melemahkan. Pada titik P3, gelombang dari B mendahului gelombang A sebesar 90° dan amplitudo dari gangguan pada titik ini adalah sama dengan amplitudo salah satu dari dua gelombang yang diambil secara terpisah.

### 2.1.4 Pola pemancaran

Pola pemancaran menunjukkan respon ketergantungan dari sebuah penerima (atau tekanan atau intensitas dari gelombang terradiasi), bekerja sama sebagai sebuah fungsi posisi dengan pemancar. Pola dalam sebuah bentuk datar biasanya memberikan dan memungkinkan hubungan pada salah satu dari koordinat polar atau *rectangular*. Pola pemancaran adalah fungsi dari panjang gelombang dalam medium ke dalam mana gelombang terradiasi dan dari dimensi radiasi permukaan.

## 2.2 TRANSDUSER ULTRASONIK

Energi dari gelombang ultrasonik dapat dibangkitkan dan dideteksi oleh alat yang dinamakan transduser. Transduser adalah suatu alat yang dapat mengubah suatu bentuk energi ke bentuk energi lain. Pada transduser ultrasonik terjadi perubahan energi dari energi listrik menjadi energi ultrasonik (*transmitter*) atau dari energi ultrasonik menjadi energi listrik (*receiver*)[3]. Transduser yang umum digunakan untuk membangkitkan gelombang ultrasonik adalah *piezoelectric*, *magnetostrictive*, *electromagnetic*, *pneumatic* (*whistles*).

[3] ULTRASONICS, Dale Ensminger

Transduser yang sering dipakai untuk menerima energi ultrasonik adalah *piezoelectric*, *capacitive* atau *electrostatic* dan *magnetostrictive device*.

*Piezoelectric* transduser digunakan pada seluruh jangkauan frekuensi ultrasonik untuk membangkitkan dan mendeteksi energi ultrasonik pada semua level intensitas. Transduser ini mengunakan komponen-komponen *piezoelectric*, seperti pelat tipis (membran) atau konfigurasi yang pantas yang menghasilkan suatu pengisian pada permukaan di bawah pengaruh tekanan atau perubahan dimensi saat tertuju pada suatu medan listrik. Aplikasi *piezoelectric* transduser dari pengukuran kecepatan ultrasonik yaitu pada diagnosa penyakit dan pemeriksaan yang tidak merusak pada intensitas rendah untuk membersihkan dan pengetesan pada intensitas tinggi. Alat ini menggunakan transduser jenis *piezoelectric* pada pemancar dan penerima, karena mempunyai daya deteksi yang baik pada semua level intensitas dan harganya juga terjangkau.

Transduser ultrasonik yang paling umum digunakan dari jenis *piezoelectric* ini ditinjau dari jenis bahannya adalah:

- *Barum Titanate*
- *Lithium Sulfat*
- *Quartz.*

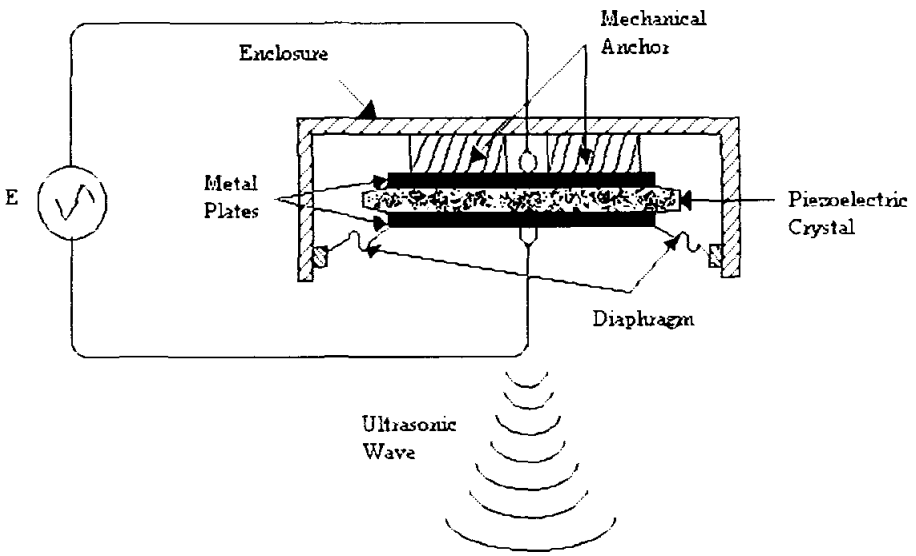
*Barium titanate* adalah salah satu kristal pembangkit sinyal ultrasonik yang paling efisien, karena *barium titanate* banyak dipakai pada alat-alat yang memerlukan *acoustic power* yang besar. Tetapi *barium titanate* mempunyai impedansi mekanik yang sangat tinggi, karena itu *barium titanate* merupakan penerima gelombang ultrasonik yang buruk.

*Lithium sulfat* sangat baik bila digunakan sebagai pembangkit gelombang ultrasonik, karena *lithium sulfat* memiliki efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan *barium titanate*. Jadi *lithium sulfat* paling cocok digunakan sebagai penerima gelombang ultrasonik dibandingkan transduser lain.

*Quartz* adalah pembangkit gelombang ultrasonik yang paling tidak efisien, tetapi *quartz* mempunyai impedansi mekanik yang lebih rendah dibandingkan dengan *barium titanate*.

Jadi idealnya *barium titanate* digunakan sebagai pembangkit gelombang ultrasonik, sedangkan sebagai penerimanya digunakan *lithium sulfat*.

Bentuk dan susunan transduser ultrasonik jenis *piezoelectric* adalah seperti pada Gambar 2-3 di bawah ini.




Gambar 2-3 *Piezoelectric* transtduser ultrasonik

## 2.3 IC CMOS

Dipilihnya IC CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) pada rangkaian ini adalah karena IC CMOS memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan IC TTL. Kelebihan-kelebihan tersebut antara lain:

a) Masukan untuk semua peralatan adalah *open circuit* dan sangat mudah digerakan.

b) Tidak memerlukan sumber arus kecuali selama ada perubahan logik masukan.

c) Perubahan logik dari *High* (1) ke *Low* (0) tepat setengah kenaikan tegangan catu, sehingga memberikan ketahanan terhadap *noise* yang baik.

d) Jangkauan tegangan catu yang lebar yaitu antara +3V sampai +18V.

e) Output yang tidak terbebani pada saat mengalami pemindahan logik dari *ground* ke catu positif, jangkauan penuh dari tegangan catu yang ada.

f) Keluaran tidak menghasilkan arus yang besar dan menghasilkan *noise* yang sangat kecil.

g) Dirancang agar waktu pemindahan (perubahan keluaran) lebih lama dari waktu *propagation* (penundaan masukan ke keluaran). Hal ini berguna untuk meredam *noise* dan *glitches* yang lebih dari pada membuat *noise* yang tidak diinginkan pada sinyal keluaran.

## 2.4 LED (Light Emitting Diode)

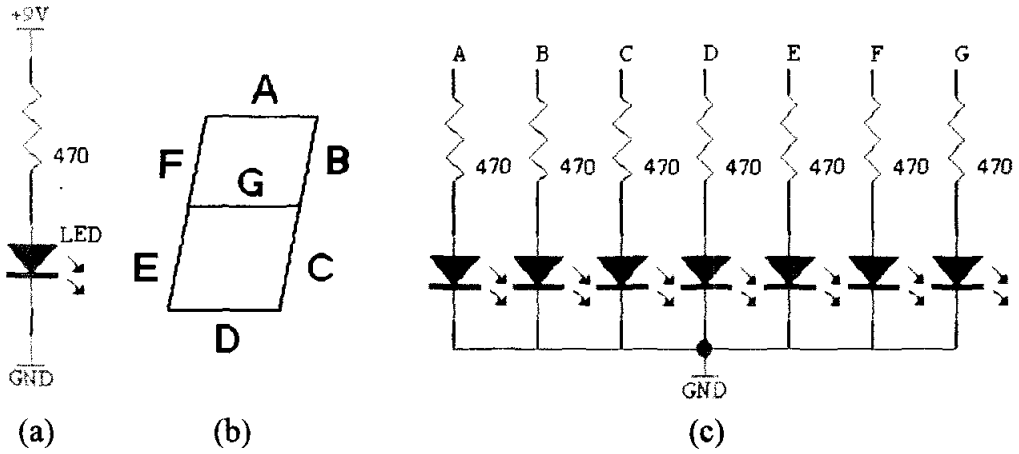
LED termasuk dalam gabungan optoelektronika. Optoelektronika adalah teknologi yang menggabungkan optika dan elektronika. LED adalah merupakan dioda yang dapat memancarkan cahaya. LED yang menghasilkan pemancaran di daerah cahaya tampak amat berguna dalam instrumentasi, alat hitung berupa *display* dan sebagainya. LED yang digunakan pada pembuatan alat ini berupa *seven segment display* yang memakai sistem *common cathode*.

Suatu LED yang menyala dapat dijelaskan sebagai berikut:

Dioda pada keadaan *forward* bias, elektron bebas melintasi persambungan dan jatuh ke dalam lubang (*hole*). Pada saat elektron ini jatuh dari tingkat energi yang lebih tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah, LED memancarkan energi. Pada dioda-dioda biasa, energi ini keluar dalam bentuk panas sedangkan pada LED energi dipancarkan sebagai cahaya.

Dioda-dioda biasa dibuat dari *silicon*, yaitu bahan buram yang menghalangi pengeluaran cahaya. LED berbeda, menggunakan unsur-unsur seperti *galium*, *arsen* dan *fosfor*. Pabrik dapat membuat LED yang memancarkan cahaya merah, hijau, kuning, biru atau infra merah (tak tampak). LED secara umum memiliki jangkauan tegangan 1,5V sampai 2,5V dan arus antara 10 mA sampai dengan 50 mA. Untuk merancang nilai tahanan-tahanan yang dipakai untuk membatasi arus pada masing-masing *segment display* digunakan rumus sebagai berikut:

$$I = \frac{V_S - V_{LED}}{R_S} \qquad (2.2)$$




Gambar 2-4 (a) Rangkaian LED (b) *Seven segment display* (c) Diagram skematik

Gambar 2-4 (b) di atas menunjukkan sebuah *seven segment display* yang terdiri dari 7 (tujuh) LED yang dirangkaikan membentuk persegi panjang dan masing-masing segment diberi nama dari A sampai G. Dengan menggunakan logik (1) dan pada masing-masing segmen dari A sampai G maka akan diperoleh bentuk *digit* yang menunjukkan angka dari 0 sampai 9 dan tentu saja tahanan seri harus dipasang untuk membatasi arus yang masuk supaya LED tidak rusak.

## 2.5 FLIP-FLOP

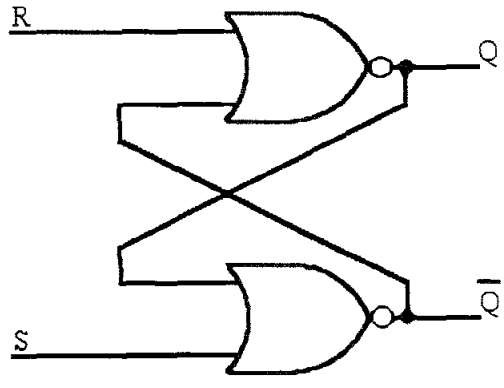
Flip-flop adalah piranti yang dapat menyimpan data-data biner, disebut juga sebagai elemen-elemen memori. Flip-flop merupakan *bistable multivibrator* yang mempunyai 2 (dua) kondisi stabil. Flip-flop akan stabil pada satu kondisi dan akan berubah ke kondisi yang lain bila ada *clock* pemicu.

Flip-flop yang digunakan pada alat ini adalah jenis *Reset-Set* flip-flop (R-S FF) yang dibentuk dari gerbang NOR yang mempunyai Tabel kebenaran sebagai berikut:

Tabel 2-1 Tabel kebenaran gerbang NOR

| A | B | OUTPUT |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 |

Rangkaian RS-FF dan Tabel kebenarannya adalah sebagai berikut:




Gambar 2-5 Rangkaian RS flip-flop

Tabel 2-2 Tabel kebenaran RS flip-flop

| R | S | Q | KETERANGAN |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | NC | No Change |
| 0 | 1 | 1 | Set |
| 1 | 0 | 0 | Reset |
| 1 | 1 | X | Pacu |

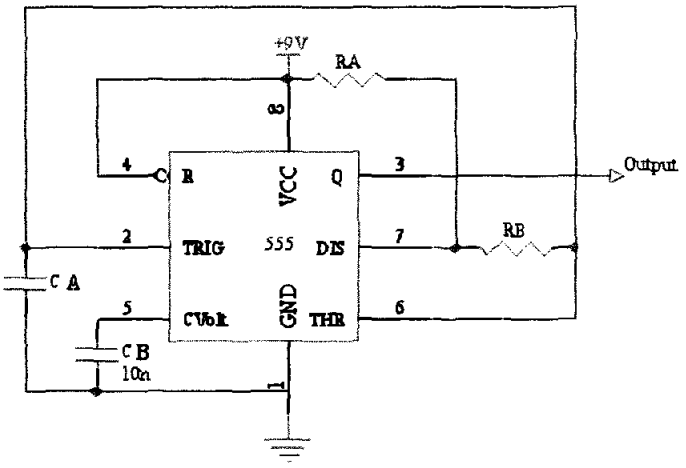
Keluaran akan *High* (1) pada saat S=1 dan R=0, saat S=0 keluaran tetap pada kondisi sebelumnya yaitu *high* (*set*). Output akan *Low* (0) atau dalam kondisi *reset* pada saat R=1.

## 2.6 OSILATOR

Osilator adalah sebuah pembangkit gelombang baik berbentuk sinus, persegi, segitiga ataupun gigi gergaji. Osilator yang dipakai pada alat ini berupa pembangkit gelombang persegi.

### 2.6.1 Osilator bergerak bebas (Astable multivibrator)

Osilator bergerak bebas atau *astable multivibrator* adalah pembangkit gelombang persegi. *Astable multivibrator* yang digunakan adalah berupa IC seri 555 yang mempunyai bentuk rangkaian seperti pada Gambar 2-6.




Gambar 2-6 *Astable multivibrator*

Cara kerja rangkaian:

Pada mulanya $C_A$ mengosongkan muatan melalui $R_B$, setelah tegangan $VC_A$ berada dibawah 1/3 VCC maka pin 7 menjadi terbuka dan membuat $C_A$ diisi muatannya melalui $R_A$ dan $R_B$. Bila $VC_A$ tepat di atas 2/3 VCC maka pin 7 menutup dan $C_A$ kembali dikosongkan muatannya melalui $R_B$. Peristiwa ini berulang terus maka terjadilah gelombang.

$C_B$ adalah merupakan kapasitor tapis yang berfungsi melewatkan gangguan atau tegangan riak dari catu daya untuk memperkecil akibat-akibatnya pada tegangan ambang. Rangkaian ini bekerja jika *reset* (pin 4) mendapat logik 1 (*High*).

Frekuensi osilasi dari osilator bergerak bebas ditentukan menurut persamaan-persamaan berikut [4]:

$$t_H = 0{,}695\ (R_A+R_B)\ C_A \quad \text{(waktu pengisian } C_A\text{)} \tag{2.3}$$

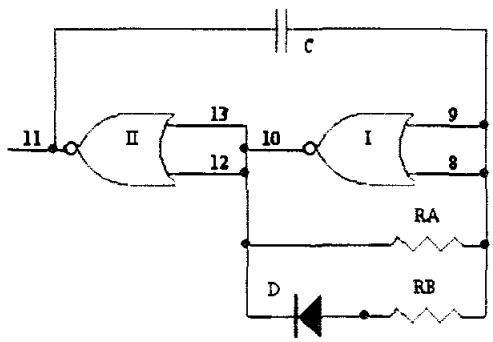
$$t_L = 0{,}695\ R_B\ C_A \quad \text{(waktu pengosongan } C_A\text{)} \tag{2.4}$$

$$T = t_H + t_L = 0{,}695\ (R_A+2R_B)\ C_A \tag{2.5}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}695\,(R_A + 2R_B)\,C_A} = \frac{1{,}44}{(R_A + 2R_B)\,C_A} \tag{2.6}$$

### 2.6.2 Osilator frekuensi rendah (LF Oscillator)

Bentuk rangkaian *LF oscillator* adalah sebagai berikut:




Gambar 2-7 Rangkaian *LF oscillator*

Rangkaian ini berfungsi untuk membangkitkan denyut pulsa pendek yaitu ± 0,01 % dari periode untuk pulsa *High* (1). Cara kerja rangkaian adalah sebagai berikut:

Pada keadaan awal pin 11, pin 8 & 9 berlogik "0" dan pin 10, 12 & 13 berlogik "1". Pada saat diberi catu maka C mengisi muatan lewat $R_A$, karena pada $R_B$ terdapat dioda. Selama proses pengisian muatan C, pin

[4] Operational Amplifier and Linear Integrated Circuits

11 berlogik "0". Setelah tegangan $V_C$ (pin 8 & 9) mencapai 2/3 $V_S$ maka muatan C dikosongkan lewat $R_B$ dan D. Selama proses pengosongan muatan C, pin 11 berlogik "1". Setelah tegangan $V_C$ (pin 8 & 9) mencapai 1/3 $V_S$ maka C kembali mengisi muatan lewat $R_A$ dan Pin 11 berlogik "0". Selama proses pengisian C, pin 11 tetap berlogik "0" sampai $V_C$ (pin 8 & 9) mencapai 2/3 $V_S$ pin 11 berubah menjadi logik "1" dan C kembali mengosongkan muatan. Peristiwa ini terjadi berganti secara terus menerus selama rangkaian diberi catu. Dengan demikian keluaran pin 11 akan berlogik "1" selama proses pengosongan muatan C lewat $R_B$ & D dan berlogik "0" selama proses pengisian muatan C lewat $R_A$. Frekuensi dari LF osilator ditentukan menurut persamaan:

$$T = \frac{1}{f} \tag{2.7}$$

$$td = 2/3\ R_B C \qquad \text{(pengosongan C)} \tag{2.8}$$

$$tc = 2/3\ R_A C \qquad \text{(pengisian C)} \tag{2.9}$$

## 2.7 PENGUAT (AMPLIFIER)

Penguat berfungsi untuk menguatkan suatu sinyal masukan dan menghasilkan suatu sinyal keluaran yang lebih besar. Penguat yang digunakan pada alat ini adalah penguat transistor. Agar sebuah transistor bekerja sebagai penguat maka diperlukan syarat-syarat sebagai berikut:

- Dioda emiter harus dibias maju (*forward*)
- Dioda kolektor harus dibias balik (*reverse*)

- Tegangan pada dioda kolektor harus lebih kecil daripada tegangan *breakdown.*

### 2.7.1 Dalil superposisi pada penguat-penguat

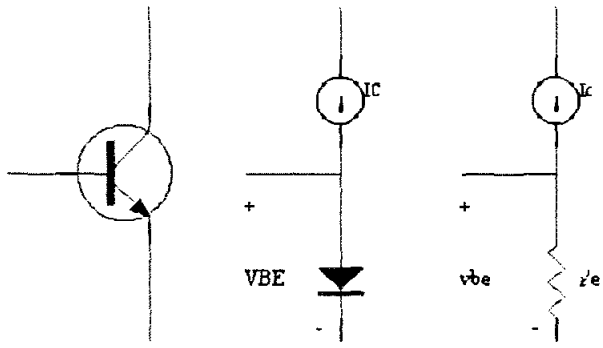
Pada penguat transistor, sumber dc menetapkan arus dan tegangan searah. Lalu sumber ac mengakibatkan ayunan-ayunan pada arus dan tegangan ini. Cara yang paling sederhana untuk menganalisa rangkaian adalah dengan membagi penelaahannya menjadi 2 (dua) bagian: analisa dc dan analisa ac.

Langkah-langkah penerapan superposisi pada rangkaian-rangkaian transistor:

1) Untuk rangkaian ekivalen dc maka sumber ac dibuat nol; ini berarti menghubung singkat sumber tegangan ac dan membuka sumber arus ac. Buka semua kapasitor. Dengan rangkaian ini, dapat dihitung semua arus dan tegangan dc yang diinginkan.
2) Untuk rangkaian ekivalen ac maka sumber dc dibuat nol; ini berarti menghubung singkat sumber tegangan dc dan membuka sumber arus dc. Hubung-singkatkan semua kapasitor penggandeng dan kapasitor pintas. Dengan rangkaian ini, dapat dihitung semua arus dan tegangan ac yang diinginkan.
3) Arus keseluruhan disetiap cabang pada rangkaian adalah jumlah arus dc dan arus ac yang mengalir pada cabang tersebut. Tegangan keseluruhan melintas setiap cabang adalah jumlah tegangan dc dan tegangan ac melintas cabang tersebut.

### 2.7.2 Tahanan AC dioda emiter

Dalam menetapkan titik kerja transistor, transistor pada Gambar 2-8(a) diganti dengan rangkaian ekivalen pada Gambar 2-8(b) yaitu model Ebers-Moll. Model Ebers-Moll ac dapat dilihat pada Gambar 2-8(c) yang mana terdapat tahanan AC dioda emiter $r'_e$. Sepanjang menyangkut sinyal ac, dioda tampak seperti tahanan yang diberikan oleh [5] :




$$r'_e = \frac{25\,\text{mV}}{I_E} \qquad (2.10)$$

(a) (b) (c)

Gambar 2-8 (a) Transistor (b) Model Ebers-Moll dc (c) Model Ebers-Moll ac

### 2.7.3 Penguat common emiter dengan prategangan umpan-balik kolektor

Pada alat ini penguat yang digunakan adalah *common* emiter dengan prategangan umpan-balik kolektor. Dipilihnya hubungan *common* emiter karena arus masukan yang kecil (basis) mengendalikan arus keluaran yang besar (kolektor). Sebagai contoh, jika $\beta$dc = 200, arus basis yang kecil menghasilkan arus kolektor yang dua ratus kali lebih besar. Lagipula, arus keluaran muncul

[5] Electronic Principles

dan berakhir dari suatu sumber arus. Ini berarti, transistor merupakan suatu pengendali sumber arus (arus basis mengendali sumber arus). $\beta$dc adalah penguatan arus pada transistor yang didefiisikan sebagai berikut:

$$\beta dc = \frac{I_C}{I_B} \tag{2.11}$$

Di mana: $I_C$ = Arus kolektor transistor

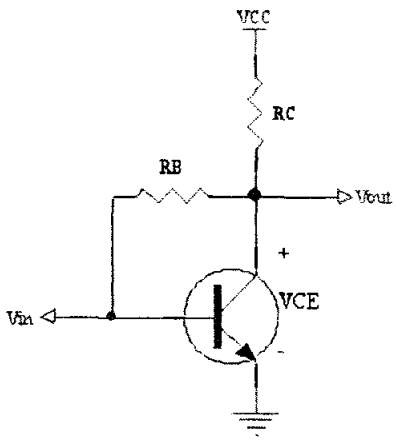
$I_B$ = Arus basis transistor.

Cara kerja umpan-balik kolektor adalah sebagai berikut:

Bila suhu naik, $\beta$dc juga naik. Ini mengakibatkan kenaikan arus kolektor. Sesaat setelah arus kolektor naik, tegangan kolektor emiter (VCE) turun (ada penurunan tegangan yang besar melintas $R_C$). Ini berarti bahwa tegangan melintas tahanan basis mengecil, dan menyebabkan penurunan arus basis. Arus basis yang mengecil menghalangi kenaikan arus kolektor yang semula.

Prategangan umpan-balik kolektor mempunyai beberapa keuntungan, diantaranya adalah sederhana karena memakai hanya 2 (dua) tahanan, tanggapan frekuensinya lebih baik dan transistornya tak dapat jenuh. Bila tahanan basisnya diturunkan, titik operasi bergerak ke arah titik jauh sepanjang garis beban dc. Tetapi tak pernah mencapai kejenuhan betapapun rendahnya nilai tahanan basis.

Bentuk rangkaian *common* emiter dengan prategangan umpan-balik kolektor adalah seperti pada Gambar 2-9.




Gambar 2-9 Penguat *common* emiter

Persamaan-persamaan yang dipakai pada penguat ini adalah:

$$VCC - (I_C + I_B)R_C - I_B.R_B - VBE = 0 \qquad (2.12)$$

$$VCC - I_C.R_C - I_B.R_B - VBE \cong 0 \qquad (2.13)$$

Karena $I_B = I_C / \beta dc$, persamaan ini digunakan untuk mencari arus kolektor $I_C$ sebagai berikut:

$$I_C \cong \frac{VCC - VBE}{R_C + \frac{R_B}{\beta dc}} \qquad (2.14)$$

Dengan nilai $R_B = \beta dc.\ R_C$ (titik kerja berada ditengah-tengah garis beban dc) maka:

$$I_C = \frac{VCC - VBE}{R_C + \frac{\beta dc.R_C}{\beta dc}}$$

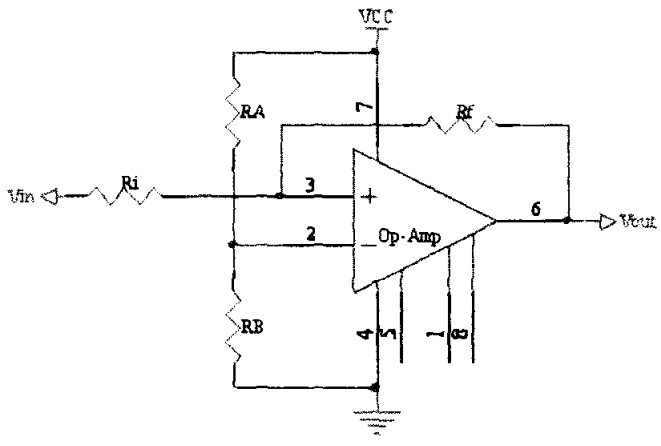
$$I_C = \frac{VCC - VBE}{2Rc} \tag{2.15}$$

Penguatan pada penguat ini diperoleh dengan rumus:

$$A = \frac{Rc}{r'_e} \tag{2.16}$$

## 2.8 SCHMITT TRIGGER

*Schmitt trigger* merupakan suatu rangkaian untuk mengatur batas-batas amplitudo tegangan masukan agar didapatkan suatu bentuk keluaran yang stabil. Bentuk rangkaian *schmitt trigger* adalah seperti pada Gambar 2-10 di bawah ini.




Gambar 2-10 Rangkaian *schmitt trigger*

Rangkaian ini pada dasarnya adalah merupakan *Non Inverting Voltage Level Detector* dengan histeresis yang mendeteksi suatu level tegangan pada batas-batasnya. Tahanan umpan-balik positif dari keluaran ke masukan (+) menunjukkan adanya histeresis dalam rangkaian dari Gambar 2-10. Vin

diterapkan melalui Ri ke masukan (+) nya, sehingga rangkaiannya tak-membalik (*Non Inverting*). Tegangan acuan Vref terdapat pada pembagi tegangan $R_A$ dan $R_B$ diterapkan ke masukan (-) nya.

Cara kerja rangkaian *schmitt trigger* adalah sebagai berikut:

Pada mulanya jika Vin menuju ke bawah tegangan ambang bawah sebesar $V_{LT}$ maka keluaran Vout adalah negatif, Vout akan terus negatif selama Vin berada di antara $V_{LT}$ dan $V_{UT}$. Setelah Vin menuju ke atas tegangan ambang atas sebesar $V_{UT}$ maka Vout beralih dari negatif menuju positif, begitu seterusnya selama Vin berada di antara $V_{UT}$ dan $V_{LT}$. Setelah Vin berada di bawah $V_{LT}$ maka Vout beralih ke negatif. Peristiwa ini terjadi berulang seterusnya. $V_{LT}$ dan $V_{UT}$ menentukan batas level tegangan yang diinginkan sehingga jika ada sinyal yang lebih atau kurang dari level tersebut maka tidak berpengaruh terhadap bentuk keluaran.

Persamaan-persamaan pada rangkaian *schmitt trigger*:

$$V_{UT} = Vref\left(1+\frac{1}{n}\right) - \frac{-Vsat}{n} \tag{2.17}$$

$$V_{LT} = Vref\left(1+\frac{1}{n}\right) - \frac{+Vsat}{n} \tag{2.18}$$

$$Vref = \left(\frac{R_B}{R_A + R_B}\right)VCC \tag{2.19}$$

## 2.9 STANDARD DEVIASI

$$\text{Harga rata-rata } \overline{X} = \frac{\sum Xi}{n} \qquad (2.20)$$

Di mana: $\overline{X}$ = Harga rata-rata

Xi = Harga yang ke-i

i = berharga dari 1 sampai ke- n.

$$\text{Persentase kesalahan } \%e = \frac{\left|\overline{X} - Y\right|}{Y} \times 100\% \qquad (2.21)$$

Di mana: %e = Persentase kesalahan (%)

Y = Harga sebenarnya.

*Standard deviasi* adalah suatu ukuran untuk menentukan besarnya penyimpangan dari harga rata-rata [6].

$$\textit{Standard deviasi } S = \sqrt{\frac{\sum\left(Xi - \overline{X}\right)^2}{n-1}} \qquad (2.22)$$

Dimana: S = *Standard deviasi* (penyimpangan)

Xi = Jarak yang diukur dengan alat sebanyak n kali

$\overline{X}$ = Harga rata-rata dari n kali pengukuran

n = Jumlah pengukuran yang dilakukan untuk suatu besaran

i = Berharga dari 1 sampai ke-n.

[6] Electronic Instruments and Measurements