

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Gelombang Ultrasonik

Ditinjau dari arah rambat dan getarnya, gelombang bunyi termasuk dalam gelombang longitudinal, dimana arah rambatnya sama dengan arah getarnya. Karena untuk merambatnya gelombang bunyi selalu memerlukan zat antara (medium), maka selama rambatannya gelombang selalu disertai getaran zat antara yang dilaluinya. Yang dimaksud getaran zat antara ialah pergeseran atom-atom atau molekul-molekul zat dari kedudukan setimbangnya. Hal ini menyebabkan *getaran tekanan*, yaitu terbentuknya daerah yang tekanannya berbeda dengan daerah sekitarnya. Perubahan tekanan inilah yang dirambatkan sebagai gelombang bunyi. Keras lemahnya bunyi yang dihasilkan tergantung dari amplitudo yang dapat berupa perbedaan maksimum tekanan atmosfer.

Menurut frekuensinya, gelombang akustik dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu:

1. Gelombang Infrasonik yaitu gelombang akustik yang berfrekuensi sangat rendah sehingga tidak dapat didengar oleh manusia. Batas tertinggi frekuensi gelombang ini adalah sekitar 20 Hz (trismobudi,2000)
2. Gelombang Sonik yaitu gelombang akustik yang dapat didengar oleh manusia atau sering disebut bunyi, karena frekuensinya berada diantara batas ambang

pendengaran manusia. Batas bawah dan batas atas frekuensi gelombang suara ini masing-masing adalah 20 Hz dan 20 KHz (trismobudi 2000).

3. Gelombang Ultrasonik yaitu gelombang akustik berfrekuensi diatas 20 KHz, seperti halnya gelombang infrasonik, gelombang Ultrasonik juga tidak dapat didengar oleh manusia.

Seperti yang telah disebutkan diatas, gelombang Ultrasonik adalah gelombang akustik yang mempunyai frekuensi di atas 20 KHz. Batas tertinggi frekuensi gelombang ultrasonik ini masih belum dapat ditentukan dengan jelas. Yang dapat diketahui adalah daerah-daerah dengan frekuensi tertentu yang biasa dipakai dalam berbagai macam penggunaan. Gelombang ultrasonik termasuk jenis gelombang longitudinal, yaitu gelombang yang arah getarnya searah dengan arah perambatannya, pada gelombang longitudinal yang merambat adalah rapatan dan renggangan. Perambatan rapatan dan renggangan dapat terjadi pada semua zat. Karena itu gelombang longitudinal dapat terjadi dalam zat cair dan zat padat dan gas. Gelombang ultrasonik juga termasuk jenis gelombang mekanik, yaitu gelombang yang memerlukan medium perambatan

Jeda waktu antara penembakan gelombang ultrasonik dan penerima gelombang pantul adalah sebanding dengan  $\frac{1}{2}$  jarak antara sensor dan pemantulnya. Dengan mengatur jarak antara pemancar dan penerima yang cukup dekat maka akan diperoleh sudut pantul yang kecil, dengan demikian jarak (s) tidak terpengaruh oleh sudut pantul tersebut. Jarak dapat diketahui melalui perkalian konstanta kecepatan suara di udara 340 m/s dengan waktu tempuh gelombang pantul kemudian dibagi dua. Dibagi 2 karena gelombang ultrasonik

tersebut menempuh jarak saat dipancarkan dan saat diterima kembali (Koselan, 2001). Hubungan tersebut dapat dilihat dalam persamaan (2.1)

$$s = v \cdot t / 2 \quad (2.1)$$

dimana:

$s$  = jarak (m)

$v$  = kecepatan rambat gelombang (m/s)

$t$  = waktu rambat gelombang (s)

### 2.1.1 Cepat Rambat Gelombang Suara di Udara

Kecepatan rambat bunyi berbeda pada setiap medium. Di udara pada temperature  $0^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 1 atm, maka kecepatan bunyi adalah 331 m/s (giancolli, 1997).

Besarnya cepat rambat gelombang suara di udara dapat ditentukan dengan rumus:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (2.2)$$

Dimana:

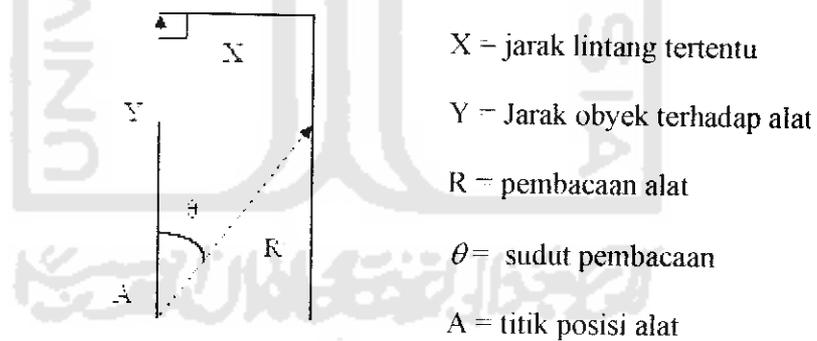
$v$  = kecepatan rambat gelombang (m/s)

$B$  = modulus elastik ( $\text{N}/\text{m}^2$ )

$\rho$  = kerapatan bahan ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

Besarnya kecepatan tergantung pada modulus elastis  $B$ , dan kerapatan bahan  $\rho$ . Untuk helium yang kerapatannya lebih kecil dari kerapatan udara tetapi modulus elastiknya tidak berbeda banyak, maka besarnya kecepatan tiga kali lebih besar dibanding kecepatan gelombang suara di udara.

Ketika gelombang longitudinal mengalir di dalam fluida, daerah yang rapat suatu saat akan lebih panas sedikit dari daerah yang renggang. Jumlah panas yang diteruskan persatuan waktu dan persatuan luas tergantung daya hantar kalor fluidanya. Faktor sudut pengukuran dalam medium udara mempengaruhi parameter perambatan gelombang bunyi yang dipancarkan, dengan posisi sudut  $\theta$  yang cukup besar maka mengidentifikasi nilai jarak antara bagian perapatan dan perenggangan yang tidak harmonik, hal tersebut terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Posisi alat ukur dengan  $\theta$  sebagai sudut pembacaan cepat rambat gelombang suara diudara

Maka untuk mengukur jarak dengan tepat, adalah penting untuk meninjau kembali faktor temperatur yaitu :

$$V = (331 + 0.6 T) \text{m/s} \quad (2.3)$$

Dengan T adalah temperature dalam  $^{\circ}\text{C}$ . dari persamaan 2.2 terlihat bahwa cepat rambat gelombang suara diudara bertambah sebesar  $0,6T$  untuk setiap derajat celcius pertambahan suhu. Dengan mengambil nilai asumsi, misalkan saat  $T = 20^{\circ}\text{C}$ , maka kecepatan rambat gelombang suara di udara menjadi:

$$\begin{aligned} V &= [331 + (0.6)(20)] \text{m/s} \\ &= 343 \text{ m/s} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Kecepatan bunyi untuk berbagai macam medium ditunjukkan pada tabel 2.1. nilai ini bergantung juga pada suhu medium, ini penting sekali terutama untuk gas (udara).

Tabel 2.1. Cepat rambat bunyi pada berbagai macam medium pada tekanan 1 atm dan temperatur  $20^{\circ}\text{C}$

Medium	Kecepatan (m/s)
Udara	343
Udara ( $0^{\circ}\text{C}$ )	331
Helium	1005
Hidrogen	1300
Air	1440

Panjang gelombang suara berubah sebagai fungsi dari kecepatan suara dan frekuensi, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (2.5).

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2.5)$$

dimana:

$\lambda$  = panjang gelombang (m)

$v$  = kecepatan suara (m/s)

$f$  = frekuensi (Hz)

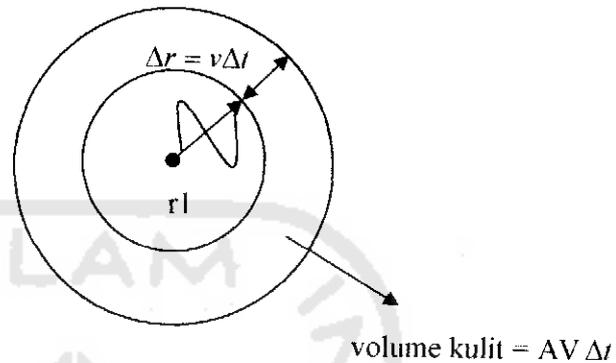
### 2.1.2 Gelombang Tiga Dimensi

Pada sensor ultrasonik gelombang yang dipancarkan merupakan gelombang tiga dimensi. Gelombang-gelombang bergerak keluar ke semua arah, dan muka gelombang merupakan permukaan-permukaan bola konsentrik. Jika sumber titik memancarkan gelombang secara seragam ke semua arah, energi pada jarak  $r$  dari sumber akan terdistribusi secara seragam pada kulit bola yang berjari-jari  $r$  dan luas  $4\pi r^2$ . jika  $P$  adalah daya yang dipancarkan oleh sumber, daya persatuan luas pada jarak  $r$  dari sumber akan menjadi  $P/4\pi r^2$ . daya rata-rata persatuan luas yang datang tegak lurus terhadap arah penjaran disebut intensitas (Tipler, 1998)

$$I = \frac{P_{rata-rata}}{4\pi r^2} \quad (2.6)$$

Satuan intensitas adalah watt per meter kuadrat. Intensitas gelombang tiga dimensi bervariasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari sumber titik. Ada hubungan sederhana antara intensitas gelombang dan energi persatuan volume

dalam medium yang membawa gelombang. Bentuk gelombang bola yang mencapai jari-jari  $r$  dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Gelombang bola yang mencapai jarak  $r$

Volume didalam jari-jari  $r$  mengandung energi karena partikel-partikel dalam daerah itu beresilasi dengan gerak harmonik sederhana. Daerah diluar  $r$  tidak mengandung energi karena gelombang belum mencapai daerah itu. Setelah selang waktu singkat  $\Delta t$ , gelombang bergerak melewati  $r$  dengan suatu jarak pendek  $\Delta r = v \Delta t$ . energi total dalam medium bertambah sebesar energi dalam kulit bola dengan luas permukaan  $A$ , perubahan jarak  $v \Delta t$ , dan volume  $\Delta v = A \cdot v \Delta t$  (Tipler, 1998). Energi tambahan dalam kulit bola adalah:

$$\Delta E = \eta \Delta v \quad (2.7)$$

Dengan  $\eta$  adalah energi rata-rata persatuan volume dalam kulit bola yang mengandung energi. Laju pertambahan energi adalah daya yang lewat kedalam kulit bola. Sumber energi ini berada dipusat bola yang merupakan asal radiasi

gelombang. Energi gelombang bunyi di udara adalah energi osilasi molekul udara yang bergetar dengan gerak harmonik sederhana sepanjang arah penjalaran gelombang.

## 2.2 Sensor Ultrasonik

Tranduser adalah suatu alat yang dapat merubah suatu besaran fisis ke besaran fisis lainnya, sedangkan sensor memiliki arti yang lebih sempit dari tranduser, yaitu alat yang dapat merubah suatu besaran fisis ke suatu besaran elektronik. Sehingga dapat dikatakan bahwa sensor itu adalah tranduser juga tapi tidak sebaliknya. Sebagai contoh mikrofon dan loud speaker yang memancarkan dan menerima suara dapat disebut sebagai tranduser, tetapi keduanya tidak dapat dikatakan sebagai sensor.

Secara umum aplikasi tranduser tidak dapat dipisahkan dari sistem sensor. Sistem sensor akan mengolah lebih lanjut besaran elektronik yang dihasilkan oleh sensor sehingga dapat dibaca atau dihitung dalam suatu ukuran yang diinginkan bahkan dalam besaran lainnya. Pada penelitian ini akan dibahas tentang pembuatan alat ukur jarak digital yang menggunakan tranduser ultrasonik. Secara garis besar sistem ini dapat digambarkan pada diagram berikut.



Gambar 2.3. Proses pengolahan data menggunakan tranduser ultrasonik

Pada gambar 2.3(a) sebuah transduser merubah besaran listrik menjadi suatu sinyal ultrasonik yang dipancarkan ke suatu benda pada jarak tertentu, kemudian terlihat pada gambar 2.3(b) gelombang ultrasonik yang dipancarkan tadi akan dipantulkan kembali menuju transduser yang akan merubah besaran gelombang menjadi besaran elektrik. Transduser ini biasanya terbuat dari bahan piezoelektrik. Bahan piezoelektrik adalah suatu bahan yang bila mendapat tekanan, maka kedua sisi permukaannya akan timbul tegangan listrik. Oleh karena bahan tersebut juga merupakan kapasitor dengan konstanta dielektrik tertentu, maka pada kedua permukaannya akan timbul perbedaan tegangan listrik. Peristiwa ini disebut efek piezoelektrik langsung, sebaliknya bila kedua permukaan bahan piezoelektrik diberi tegangan listrik, maka akan timbul tekanan pada kedua permukaannya. Oleh karena bahan piezoelektrik juga merupakan bahan elastik dengan bahan elastik tertentu, maka tebal bahan ini akan berubah. Peristiwa ini disebut efek piezoelektrik balik. Bila tegangan listrik yang diberikan merupakan tegangan sinusoidal dengan frekuensi tertentu maka kedua permukaan juga akan bergetar dengan frekuensi yang sama. Kedua efek tersebut diatas menyebabkan bahan piezoelektrik dapat dipakai sebagai pemancar maupun sebagai penerima. Dalam penggunaannya bahan piezoelektrik dapat juga digunakan sebagai transduser gelombang ultrasonik. Untuk keperluan ini harus ditentukan terlebih dahulu frekuensi berapa yang dipakai, bagaimana karakteristiknya serta responnya terhadap pengaruh lingkungan.

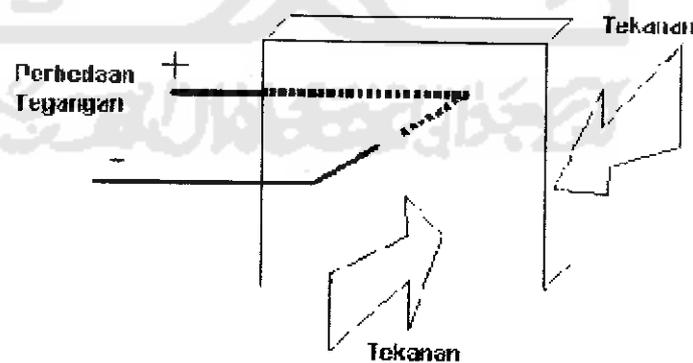
Adapun sifat dari piezoelektrik adalah sebagai berikut :

Sifat piezoelektrik langsung

- Bila pelat piezoelektrik diberi tekanan, maka akan timbul muatan listrik pada kedua permukaannya
- Pelat juga merupakan kapasitor dengan konstanta dielektrik tertentu, timbul beda tegangan

Sifat piezoelektrik balik

- Bila pelat piezoelektrik diberi tegangan listrik, maka kedua permukaannya mendapat tekanan
- Pelat juga merupakan bahan elastik dengan konstanta elastik tertentu, tebalnya akan berubah
- Bila tegangan listrik yang diberikan merupakan tegangan sinusoidal dengan frekuensi tertentu, maka permukaan plat akan bergetar dengan frekuensi yang sama.

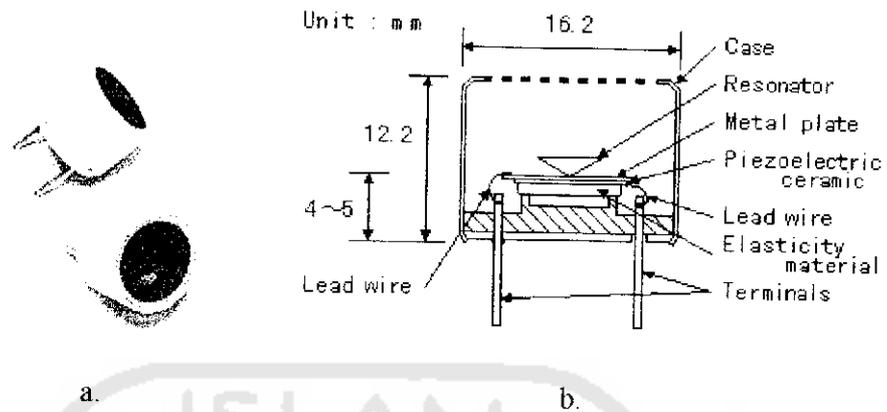


Gambar 2.4. Sifat bahan piezoelektrik

Dengan sifat tersebut piezoelektrik dapat berperan sebagai transducer dan sensor. Waktu yang dihabiskan antara pengiriman sinyal ultrasonik dengan penerimaan sinyal ultrasonik diberi nama *time of flight* (TOF). Dengan mengetahui TOF, dan mengetahui kecepatan gelombang ultrasonik di udara maka kita dapat menghitung jarak yang telah ditempuh oleh ultrasonik, sehingga tentunya jarak antara transducer terhadap benda adalah setengahnya. Tentunya pengukuran ini akan dipengaruhi banyak hal seperti kemiringan permukaan benda, kerefleksian permukaan, perubahan suhu dan lain-lain.

Sensor ultrasonik secara umum digunakan untuk suatu pengungkapan tak sentuh yang beragam seperti aplikasi pengukur jarak. Alat ini secara umum memancarkan suatu pancaran pendek gelombang suara ultrasonik menuju suatu target yang memantulkan balik gelombang ke arah sensor. Kemudian sistem mengukur waktu yang diperlukan untuk pemancaran gelombang sampai kembali ke sensor dan menghitung jarak target dengan menggunakan kecepatan suara dalam medium. Lebar daya jangkauan dari sensor ultrasonik yang ada dipasaran dibedakan satu sama lain atas konfigurasi internal, pengaruh terhadap lingkungan dan karakteristik elektroniknya. Secara akustik juga sensor ultrasonik beroperasi pada frekuensi yang berbeda. (Nazar, 1999).

Pola sorot yang dipancarkan oleh sensor ultrasonik ke medium yang berada didepannya tergantung pada diameter sensor dan panjang gelombangnya sehingga sensor yang sama dapat mempunyai pola sorot yang berbeda bila memancarkan gelombang ultrasonik ke medium yang berlainan (Trisnobudi, 2000).



Gambar 2.5 (a) Bentuk fisik sensor ultrasonik (b) Diagram internal susunan sensor ultrasonik.

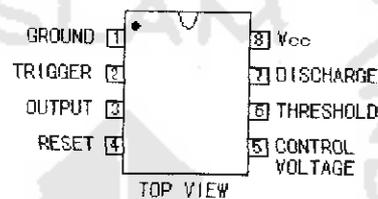
Tabel 2.2 menjelaskan lebih detail karakteristik dari sensor ultrasonik. Karakteristik sensor ultrasonik yang ada dipasaran dibedakan satu sama lainnya, hal ini yang menyebabkan beberapa sensor dapat digunakan untuk beberapa aplikasi khusus.

Tabel 2.2. Spesifikasi sensor ultrasonik

Karakteristik	Nilai
Frekuensi resonansi (KHz)	40
Sensitivitas (dB)	64
Diameter (mm)	16.2
Tinggi (mm)	12.2

### 2.3 IC LM555

IC LM555 merupakan IC yang sering digunakan sebagai pewaktu, osilator, penghasil sumber sinyal kotak dengan frekuensi osilasi tertentu. IC ini juga dapat digunakan sebagai osilator pada waktu transmisi pulsa dan sebagai osilator dari frekuensi resonansi sensor ultrasonik.

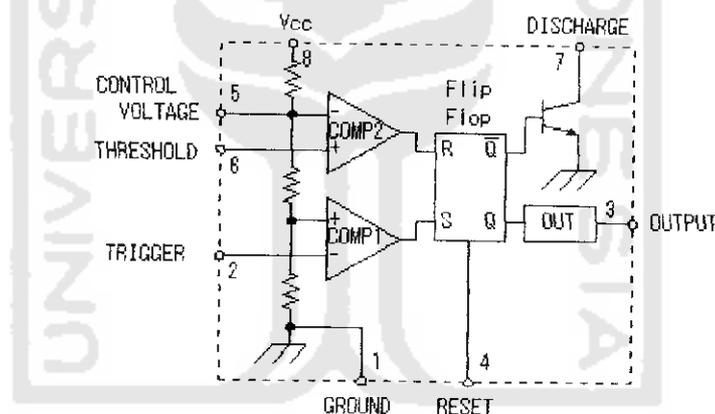


Gambar 2.6. IC LM555

IC LM555 pada gambar 2.6 sebagai *multivibrator*. *Multivibrator* adalah suatu rangkaian elektronika yang pada waktu tertentu hanya mempunyai satu dari dua tingkat tegangan keluaran, kecuali selama masa transisi. Peralihan (*switching*) diantara kedua tingkat tegangan keluaran tersebut terjadi secara cepat. Dua keadaan tingkat tegangan keluaran *multivibrator* tersebut, yaitu *stable* dan *quasistable*.

Kondisi *stable* apabila rangkaian *multivibrator* tidak akan mengubah tingkat tegangan keluarannya ke tingkat lain jika tidak ada pemicu (*trigger*) dari luar rangkaian. Kondisi *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  $T$ , yang lamanya ditentukan oleh komponen-komponen

penyusun rangkaian *multivibrator* tersebut. Kondisi *multivibrator astable* apabila kedua tingkat tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian *multivibrator* tersebut adalah *quasistable*. Rangkaian tersebut hanya mengubah keadaan tingkat tegangan keluarannya diantara dua keadaan, masing-masing keadaan memiliki periode yang tetap. Rangkaian *multivibrator* tersebut akan bekerja secara bebas dan tidak lagi memerlukan pemicu. Tegangan keluaran *multivibrator* ini ditunjukkan oleh komponen-komponen penyusun rangkaian tersebut. Ketika rangkaian *multivibrator* mengalami peralihan diantara dua tingkat tegangan keluarannya maka keadaan tersebut disebut sebagai keadaan *unstable* atau kondisi transisi.



Gambar 2.7. Blok diagram internal IC LM555

IC LM555 pada gambar 2.7 terdiri dari rangkaian pembanding tegangan, *flip-flop* dan transistor untuk *discharge*. Komposisinya sangat sederhana, tetapi IC ini memiliki banyak keunggulan. Tiga buah resistor internal dihubungkan secara seri dan tegangan *power supply* ( $V_{cc}$ ) yang terukur terbagi menjadi tiga bagian,  $1/3$  tegangan *power supply* diberikan ke terminal input positif ada pembanding

(COMP1) dan  $2/3$  tegangan *power supply* diberikan ke terminal input negatif pembanding (COMP2). Saat tegangan pada terminal *trigger* kurang dari  $1/3$  tegangan *power supply*, terminal S *flip-flop* (FF) menjadi level H (tinggi) dan FF berada dalam kondisi *set*. Saat tegangan pada terminal *threshold* lebih dari  $2/3$  tegangan *power supply*, terminal R *flip-flop* menjadi level H (tinggi) dan FF berada dalam kondisi *reset*.

Waktu osilasi pulsa keluaran dari IC LM555 dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

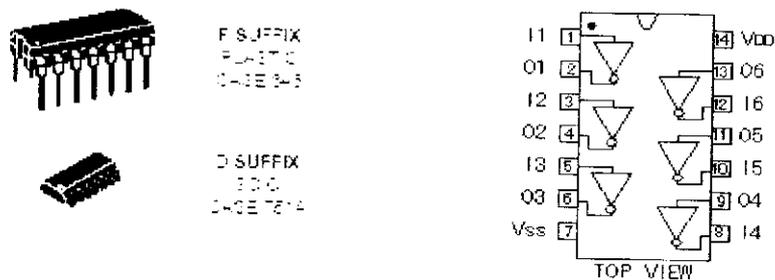
$$\text{Timer low } T_L = 0.693 \times R_2 \times C \quad (2.8)$$

$$\text{Timer high } T_H = 0.693 \times (R_1 + R_2) \times C \quad (2.9)$$

$$\text{Frekuensi } f = \frac{1,44}{(R_1 + R_2) \times C} \quad (2.10)$$

#### 2.4 IC *Inverter* MC14069

IC MC14069 adalah IC CMOS dengan enam buah *inverter* yang ada didalamnya, sebuah *inverter* (pembalik) adalah gerbang dengan satu sinyal masukan dan satu sinyal keluaran, dan keadaan keluarannya selalu berlawanan dengan keadaan masukannya. Simbol logika *inverter* diperlihatkan dalam gambar 2.8.



gambar 2.8. Simbol logika inverter

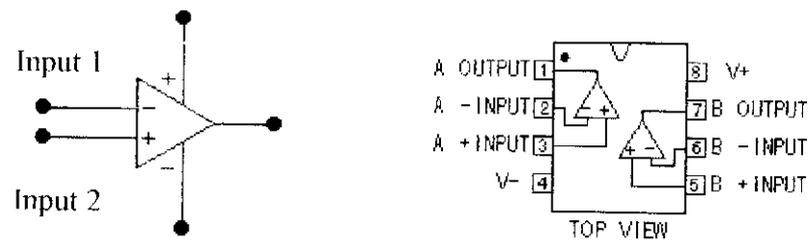
Masukan rendah menghasilkan keluaran tinggi, dan masukan tinggi akan menghasilkan keluaran rendah. Tabel 2.3 menyajikan informasi serupa dalam bentuk biner, biner 0 bersesuaian dengan tegangan rendah dan biner 1 mewakili tegangan tinggi (Malvino, 1983).

Tabel 2.3. Input dan output biner pada sebuah *inverter*

Vin	Vout
0	1
1	0

### 2.5 Operational Amplifier

IC *op-amp* adalah piranti *solid-state* yang mampu mengindera dan memperkuat sinyal masukan baik DC maupun AC. Symbol *op-amp* standard dinyatakan dengan sebuah segitiga, seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Simbol skematis op-amp standar

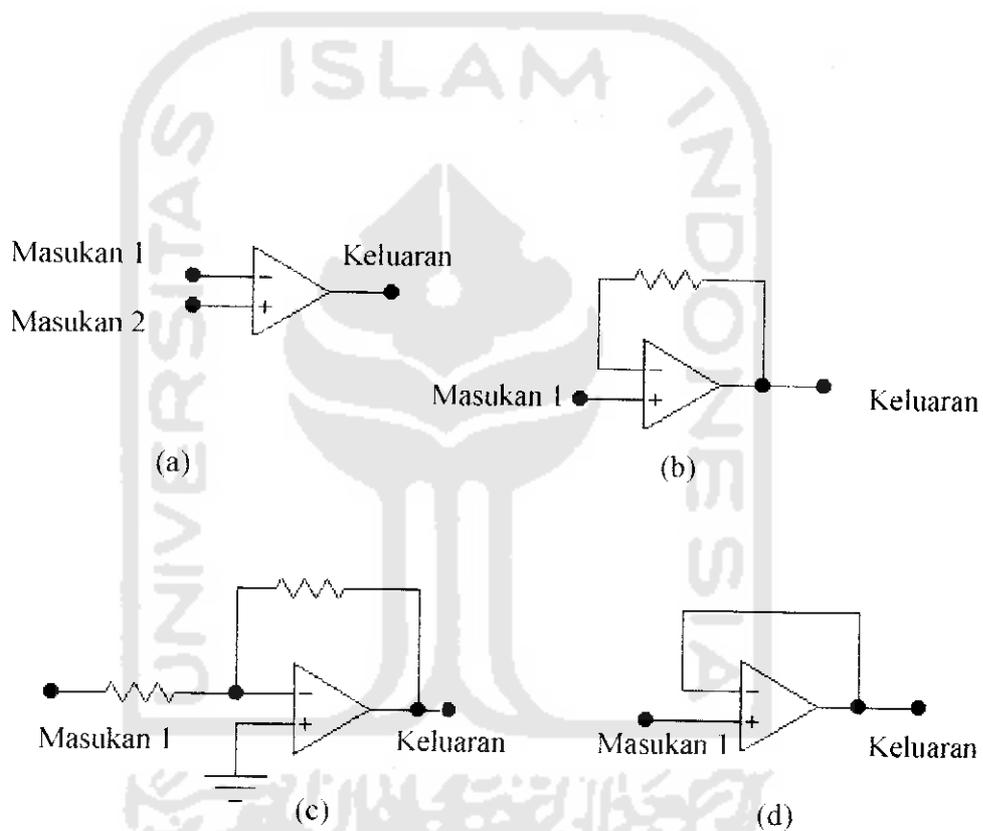
Pada gambar 2.9 terdapat terminal-terminal *inverting* dan *non inverting*. Masukan membalik dinyatakan dengan tanda minus (-). Tegangan DC atau AC yang dikenakan pada masukan ini akan digeser fasanya  $180^{\circ}$  pada keluaran. Masukan tak membalik dinyatakan dengan tanda positif (+). Bagian atas segitiga adalah terminal catu daya (+) dan (-). Tegangan DC atau AC yang diberikan pada masukan ini akan sefasa dengan keluaran. Terminal keluaran diperlihatkan pada bagian puncak segitiga.

Keserbagunaan *op-amp* dibuktikan dalam penerapan pada berbagai tipe rangkaian dalam modus umpan balik, seperti diperlihatkan dalam gambar 2.9. komponen-komponen luar digunakan untuk memberikan umpan balik keluaran pada masukan membalik. Umpan balik akan menstabilkan rangkaian pada umumnya dan menurunkan *noise*. Penguatan tegangan ( $A_v$ ) akan lebih kecil dari pada penguatan maksimum dalam modus *loop* terbuka.

Penguatan *loop* tertutup harus dapat dikendalikan pada suatu nilai tertentu dalam rangkaian praktis. Dengan menambahkan sebuah resistor  $R_{in}$  pada masukan membalik seperti pada gambar 2.10, penguatan *op-amp* dapat diatur.

Perbandingan resistansi  $R_f$  terhadap  $R_{in}$  menentukan penguatan tegangan rangkaian dan besarnya dapat dihitung menurut rumus:

$$A_v = -\frac{R_f}{R_{in}} \quad (2.11)$$



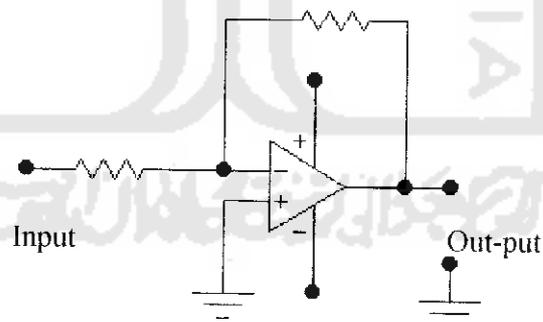
Gambar 2.10. (a). Modus *loop* terbuka ( $A_v = \text{maks}$ ); (b). Modus *loop* tertutup ( $A_v < \text{maks}$ ); (c). Penguatan terkontrol ( $A_v = -R_f/R_{in}$ ); (d) penguatan satu ( $A_v = 1$ )

Tanda (-) menunjukkan bahwa rangkaian *op-amp* merupakan konfigurasi membalik, tanda ini diabaikan dalam perhitungan. Misalkan,  $R_{in} = 10 \text{ Kohm}$  dan  $R_f = 100 \text{ Kohm}$ , maka  $A_v = 10$ . tegangan 0,01 V akan menghasilkan tegangan

keluaran 0,1 V. Salah satu fungsi yang penting diingat adalah polaritas masukan terhadap keluaran, tegasnya dikatakan bahwa bila masukan membalik lebih positif dibandingkan dengan masukan tak membalik, maka keluaran akan negatif. Demikian pula, jika masukan membalik lebih negatif dibandingkan dengan masukan tak membalik, maka keluaran akan positif.

### 2.5.1 Penguat Membalik (*Inverting Gain Amplification*)

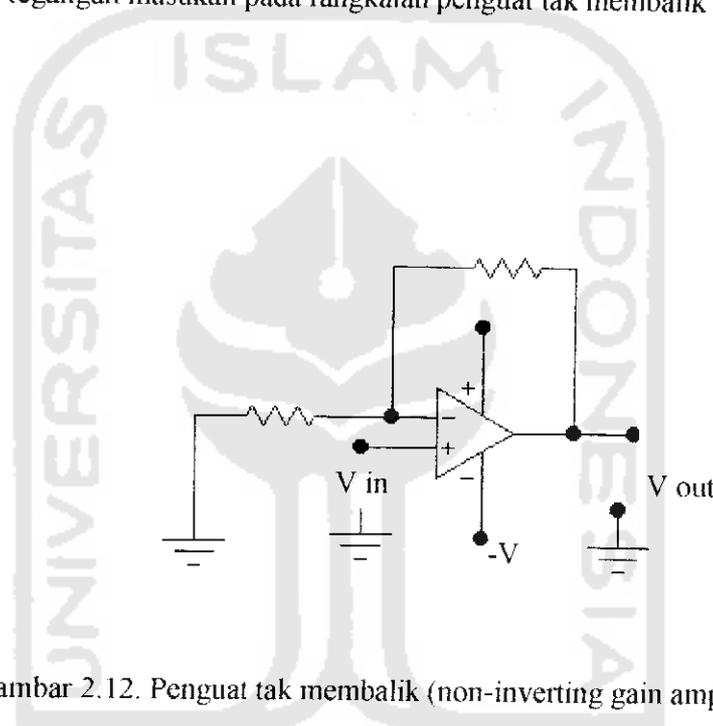
Penyusunan *loop* tertutup seperti Gambar 2.11 disebut umpan balik negatif. Tegangan dengan fase yang berlawanan pada keluaran dibalikkan lagi pada masukan membalik, sehingga cenderung melawan tegangan masukan aslinya. Tegangan DC atau AC yang diberikan pada masukan ini akan digeser fasanya  $180^{\circ}$  pada keluaran.



Gambar 2.11. Penguat membalik (inverting gain amplification)

### 2.5.2 Penguat tak Membalik (*non-inverting gain amplification*)

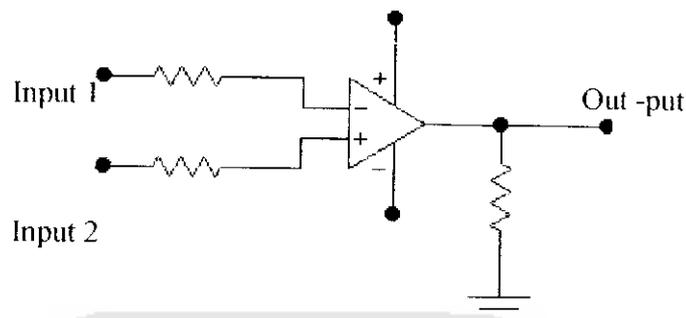
*Op-amp* dapat digunakan sebagai penguat tak membalik sebagaimana terlihat pada gambar 2.12. dalam konfigurasi tersebut umpan balik yang digunakan untuk mengatur penguatan tetap diberikan pada masukan membalik, tapi  $V_{in}$  diberikan pada masukan tak membalik. Tegangan keluaran akan sefasa dengan tegangan masukan pada rangkaian penguat tak membalik



Gambar 2.12. Penguat tak membalik (*non-inverting gain amplification*)

### 2.6 Pembanding (*Comparator*)

Pembanding tegangan akan membandingkan tegangan sebuah masukan dengan tegangan masukan lainnya. Gambar 2.13 menunjukkan pembanding tegangan sederhana.



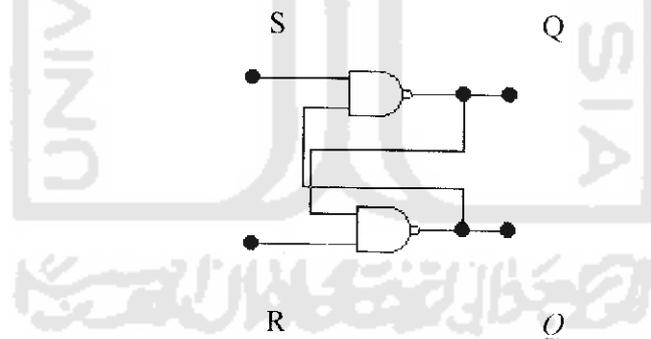
Gambar 2.13. Diagram skematik pembanding tegangan

Konfigurasi yang paling sederhana dalam modus *loop* terbuka, ada sedikit perbedaan tegangan diantara kedua masukan yaitu akan mengayunkan *op-amp* kedalam saturasi. Arah saturasi ditentukan oleh polaritas sinyal masukan. Bila tegangan masukan membalik lebih positif dibandingkan tegangan masukan tak membalik, keluaran akan berayun menuju saturasi negatif ( $-V_{sat}$ ), bila tegangan masukan membalik lebih negatif dibandingkan tegangan masukan tak membalik, keluaran akan menuju saturasi positif ( $+V_{sat}$ ). Dengan mengacu pada gambar 2.13, bahwa dengan +1 V pada masukan membalik dan +2 V pada masukan tak membalik, maka pada masukan pertama lebih negatif dibandingkan dengan masukan kedua. Karena itu keluaran akan menuju saturasi positif. Bila tegangan masukan tersebut dibalik (+2 V pada masukan membalik dan +1 V pada masukan tak membalik) atau masukan membalik lebih positif 1 V terhadap masukan tak membalik, maka keluaran akan menuju saturasi negatif. Bila polaritas dan amplitudo kedua masukan sama, keluaran akan nol.

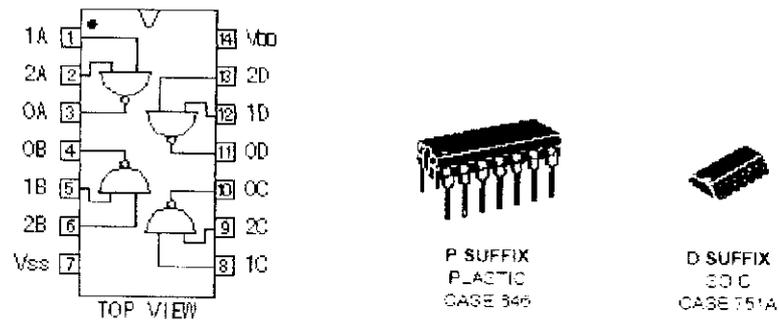
## 2.7 IC 4001 NAND

IC 4001 adalah IC gerbang NAND. Ada empat gerbang yang tersusun didalamnya. Dalam penggunaannya IC gerbang NAND sering digunakan sebagai flip-flop. *Flip-flop* adalah piranti yang memiliki dua keadaan stabil, piranti ini akan tetap bertahan pada salah satu dari dua keadaan, sampai adanya pemicu yang membuatnya berganti keadaan (Malvino,1983).

Rangkaian logika *flip-flop* RS diperlihatkan pada gambar 2.14. *flip-flop* R-S mempunyai dua masukan, yang diberi label Q dan  $\bar{Q}$ . Pada *flip-flop*, keluaran selalu berlawanan, atau komplementer. Dengan kata lain, bila keluaran Q = 1, maka keluaran  $\bar{Q}$  = 0, dan sebagainya. Huruf "S" dan "R" pada keluaran *flip-flop* R-S seringkali disebut sebagai masukan *set* dan *reset*.



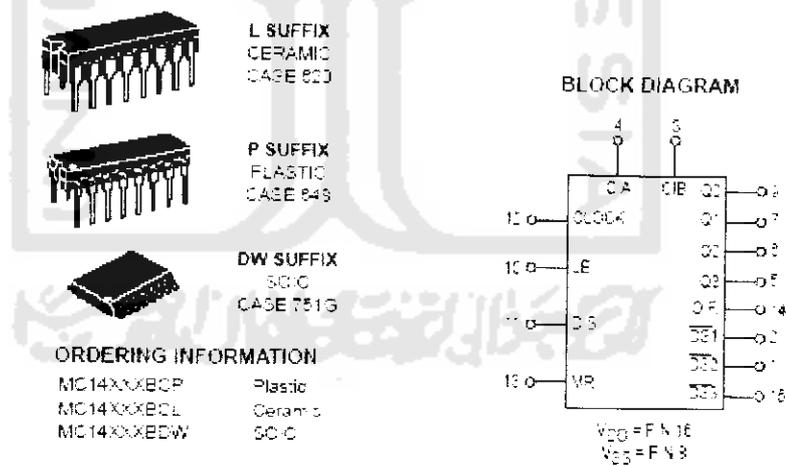
Gambar 2.14. Rangkaian flip-flop R-S yang menggunakan gerbang NAND



Gambar 2.15. IC 4011 dengan berbagai macam tipe kemasan

### 2.8 IC BCD (Binary Code Decimal) Counter 4553

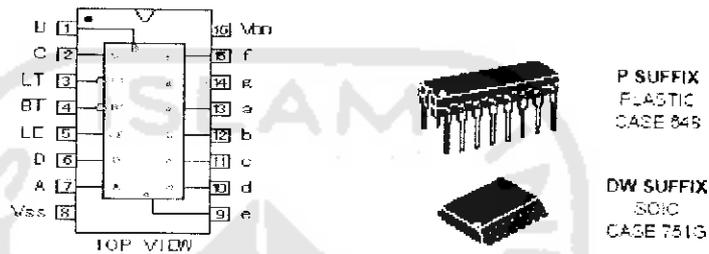
IC 4553 adalah IC BCD counter 3 digit. Susunan konfigurasi terminal-terminal masukan dan keluarannya diperlihatkan pada gambar 2.16.



Gambar 2.16. IC MC 14553 BCD counter dengan berbagai macam tipe kemasan

2.9 IC MC 14511 (BCD to 7 segment LED Decoder)

IC 4511 membuat sinyal untuk mengendalikan 7 LED *segment* dengan input dari IC 4553 (*binary coded decimal code*). Susunan konfigurasi terminal-terminal masukan dan keluarannya diperlihatkan pada gambar 2.17.



Gambar 2.17. IC decoder 4551 dengan berbagai macam tipe kemasan

Tabel 2.4. Tabel kebenaran input dan output IC decoder 14511

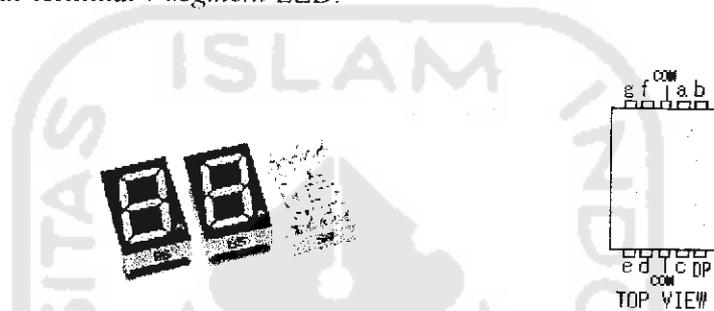
TRUTH TABLE

Inputs							Outputs							
LE	BI	LT	D	C	B	A	a	b	c	d	e	f	g	Display
X	X	0	X	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	8
X	0	1	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	2
0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	3
0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	4
0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	5
0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	9
0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Blank
1	1	1	X	X	X	X								*

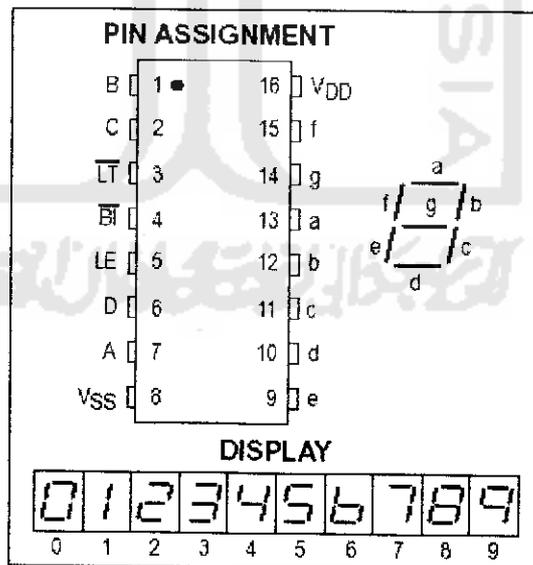
X = Don't Care  
 \* Depends upon the BCD code previously applied when LE = 0

**2.10 Sevent Segment LED**

Hasil pengukuran ditampilkan dalam 7 *segment* LED, hal ini dikarenakan 7 *segment* LED dapat menampilkan hasil pengukuran berupa angka. Kontrol pada tampilan dilakukan dengan menampilkan fungsi kontrol pada BCD *counter* yaitu pada sisi katoda LED. Gambar 2.18 menjelaskan bentuk fisik dan konfigurasi terminal-terminal 7 *segment* LED.



Gambar 2.18. Sevent Segment LED



Gambar 2.19. Mode IC 14511 sebagai tampilan pada *sevent segment*