

II. LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

Salah satu penelitian yang berkaitan dengan gelombang bunyi yaitu penelitian yang dilakukan oleh (Lubis A. M. dan Lizalidiawati, 2005). Penelitian ini menggunakan tabung *kund* sebagai penentuan panjang gelombang. Tahapan metode resonansi tersebut adalah gelombang bunyi yang dihasilkan berasal dari audio sinyal generator melalui *loudspeaker* kemudian dilewatkan dari tabung *kund*. Selanjutnya dengan menggeser batang yang terdapat di dalam tabung *kund*, maka akan terjadi resonansi. Kelebihan dari alat ini adalah mampu menampilkan bentuk gelombang yang tidak dapat tampak oleh mata pada layar osiloskop, namun kekurangan alat ini adalah standard deviasi yang diperoleh masih cukup baik.

Penelitian di atas memperoleh data rata-rata kecepatan gelombang bunyi 340,337 m/s. Frekuensi yang digunakan pada penelitian tersebut berkisar antara 1-12 kHz. Untuk hasil ini menunjukkan ketelitian yang tinggi dengan tingkat error 0,56%. Dengan desain alat yang telah dibuat oleh peneliti, didapatkan hubungan panjang gelombang bunyi linier terhadap periode gelombang, dengan menggunakan **Persamaan (2.1)**.

$$\lambda = 340,22T + 0.0004 \quad (2.1)$$

Penelitian selanjutnya mengenai penentuan kecepatan gelombang bunyi adalah yang dilakukan oleh Puspitasari dkk, (2012) dengan menggunakan metode *delay time* pada alat *Science Workshop 750 Interface*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kecepatan gelombang mekanik kompresi P (v_p) pada batuan palimanan, yaitu antara 2045,93– 2207,53 m/s, batuan lempung 1812,62 – 1952,34 m/s, dan batuan konglomerat 419,11 – 429,06 m/s. Semakin keras dan membulat pori-pori suatu batuan maka kecepatan gelombang mekanik yang merambat pada batuan semakin besar dan semakin besar *delay time* yang merambat pada batuan maka nilai kecepatan gelombang mekanik semakin kecil. Kelebihan alat yang digunakan pada penelitian ini adalah mampu menyimpan dan mengukur kecepatan gelombang bunyi pada layar komputer. Kekurangan alat ini adalah sumber bunyi yang dihasilkan tidak seluruhnya merambat pada batuan, namun ada yang terlepas keluar batuan (Puspitasari dkk, 2012).

Penelitian yang sama dilakukan oleh Ery Wahyuni dkk, 2007 yaitu mengenai analisis mode gelombang suara dengan mode resonansi. Getaran suara dihasilkan dari *loudspeaker* yang digunakan untuk *men-drive* ruangan, mode akan muncul ketika terjadi resonansi antar partikel udara dalam ruangan dengan *loudspeaker*. *Loudspeaker* digunakan sebagai sumber suara yang diletakkan pada sudut ruang. Sedangkan *microphone* untuk mengukur tekanan suara pada setiap titik dalam ruang. Dari hasil penelitian pada ruang kotak dengan ukuran 79 cm x 60 cm x 66 cm yang terbuat dari kaca setebal 5 mm diperoleh tiga jenis mode yakni mode *axial*, mode *tangensial*, dan mode *oblique*. Mode *axial* yang diperoleh pada penelitian ini dengan mode (1,0,0) frekuensi 226 Hz, mode (0,1,0) frekuensi 300 Hz dan mode (0,0,1) frekuensi 274 Hz. Kelebihan penelitian ini adalah mampu

menghitung frekuensi dengan menggunakan mode-mode gelombang yang dihasilkan pada ruang kotak dengan program matlab. Kekurangan dari penelitian ini adalah ketidakmampuan menghitung resonansi jika menggunakan kaca yang terlalu tebal dan ruang kotak terlalu besar.

Penelitian yang berkaitan dengan peristiwa resonansi lainnya adalah penelitian yang dilakukan oleh Iqbal S. R. dan Majeed H. M. A. (2013). Penelitian ini mengenai resonansi gelombang berdiri dengan diameter tabung yang berbeda, dengan tipe pipa terbuka. Pengukuran dilakukan untuk menghitung besar nilai X , yaitu jarak antar simpul pada gelombang. Pada penelitian ini data ditampilkan pada alat PASCO 750 *interface* yang sebelumnya sumber bunyi dideteksi dengan menggunakan sensor suara. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah X sebesar 0,486 sehingga hasil tersebut tidak cocok dengan penelitian yang sebelumnya yaitu sebesar 0,33. Dalam penelitian ini, kelebihan yang dapat dilihat adalah variasi diameter tabung yang digunakan lebih kecil dari penelitian sebelumnya, kekurangannya adalah nilai X yang diperoleh masih lebih besar dari penelitian yang sebelumnya yaitu X sebesar 0,486.

B. Karakteristik Sistem Pengukuran

1. Kalibrasi

Kalibrasi adalah serangkaian kegiatan yang membentuk hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh instrument alat ukur dengan nilai-nilai yang sudah diketahui yang berkaitan dari besaran yang diukur dalam kondisi tertentu. Metode dalam pengkalibrasian alat ukur antara lain simulasi dan perbandingan. Metode kalibrasi perbandingan banyak digunakan dalam proses kalibrasi yaitu dengan

membandingkan standar alat ukur (*kalibrator*) terhadap beban ukur yang dipakai, kemudian dilakukan perhitungan deviasi berdasarkan standar yang berlaku (Wurdiyanto dan Pujadi, 2010). Dengan kalibrasi kondisi alat ukur dan bahan ukur dapat dijaga tetap sesuai dengan spesifikasinya. Semua jenis alat ukur perlu dikalibrasi, baik alat ukur besaran pokok (panjang, massa, waktu, arus listrik, suhu, jumlah zat, intensitas cahaya), luas, isi, kecepatan, tekanan, gaya, frekuensi, energi, gaya dan sebagainya.

2. Ketelitian (*Accuracy*)

Ketelitian atau *accuracy* didefinisikan sebagai ukuran seberapa jauh hasil pengukuran mendekati harga sebenarnya. Ukuran ketelitian sering dinyatakan dengan dua cara, atas dasar perbedaan atau kesalahan (*error*) terhadap harga yang sebenarnya (Fraden, 1996). Ketelitian dari sebuah sistem yang lengkap bergantung pada ketelitian individual dari elemen peraba (*sensing element*) primer dan elemen sekunder. Bila A_{cc} adalah ketelitian seluruh sistem, maka

$$A_{CC} = \frac{a_o}{a} \times 100\% \quad (2.2)$$

keterangan:

a_o = nilai terukur pada alat ukur dan

a = nilai acuan (referensi).

3. Kecermatan atau Keterulangan (*Precision/Repeatability*)

Adalah seberapa jauh alat ukur dapat mengulangi hasilnya untuk memperoleh harga yang sama. Dengan kata lain, alat ukur belum tentu akan dapat memberikan hasil yang sama jika diulang, meskipun harga besaran yang diukur tidak berubah. Hal di atas berarti bahwa jika suatu mikrometer menghasilkan angka 0,0002 mm,

dan hasil yang sama akan diperoleh kembali meskipun pengukuran diulang-ulang, dikatakan bahwa mikrometer tersebut sangat cermat (Fraden, 1996).

$$er = \frac{\Delta}{S} \times 100\% \quad (2.3)$$

keterangan:

$er = error$ (ketidakpastian hasil pengukuran);

$\Delta =$ selisih nilai pengukuran;

$S =$ nilai acuan.



Gambar 2.1 Hubungan akurasi dengan presisi (Samadikun dkk, 1989)

4. Resolusi

Resolusi adalah nilai perubahan terkecil yang dapat dirasakan oleh alat ukur. Sebuah alat ukur dikatakan mempunyai resolusi tinggi/baik jika alat tersebut mampu mengukur perubahan nilai besaran fisis untuk skala perubahan yang semakin kecil. Sebagai contoh voltmeter dengan skala 1 mV tentu mempunyai resolusi yang lebih baik dibandingkan dengan voltmeter skala 1 volt (Fraden, 1996).

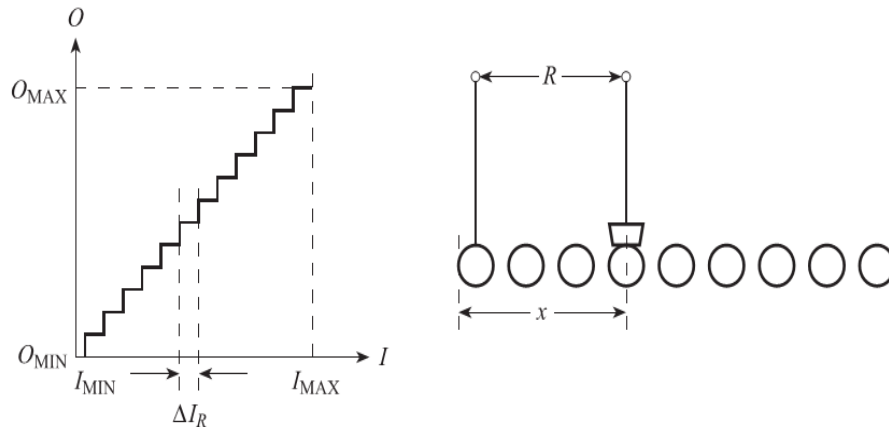
$$Resolusi = \frac{FS}{G \cdot 2^n} \times 100\% \quad (2.4)$$

keterangan:

$FS =$ skala penuh (*Full Scale*);

$G = Gain$ (penguat);

$n =$ bit ADC.



Gambar 2.2 Kurva resolusi (Samadikun dkk, 1989)

5. Sensitivitas (*Sensitivity*)

Sensitivitas adalah perbandingan antara perubahan pada *output* terhadap perubahan pada *input*. Pada alat ukur yang linier, sensitivitas adalah tetap. Linieritas didefinisikan sebagai kemampuan untuk mereproduksi karakteristik input secara simetris. Dapat dirumuskan sebagai

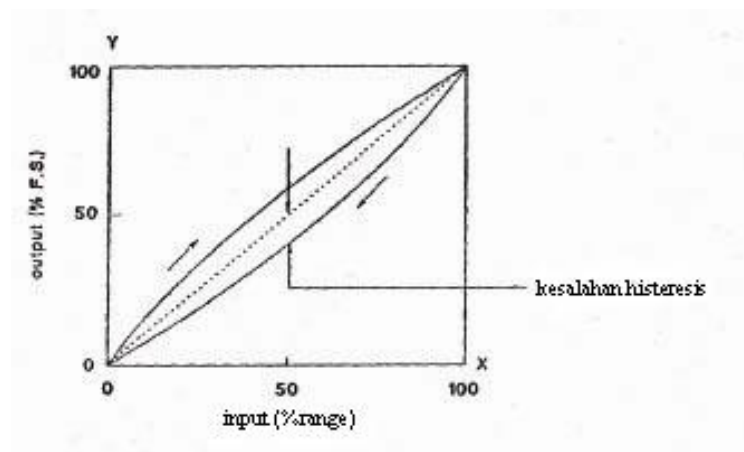
$$y = mx + c \quad (2.5)$$

Dengan y *output*, x *input*, m kemiringan dan c titik potong. Dalam beberapa hal harga sensitivitas yang besar menyatakan pula keunggulan dari alat ukur yang bersangkutan. Alat ukur yang terlalu sensitif adalah sangat mahal, sementara belum tentu bermanfaat untuk tujuan yang kita inginkan (Fraden, 1996).

6. Histeresis

Perbedaan maksimum pada output pembacaan selama kalibrasi alat ukur adalah histeresis. **Gambar 2.3** menunjukkan lengkung histeresis tersebut. Histeresis maksimum adalah *range* harga input terbesar yang kemungkinan memberikan *output* sama. Kesalahan dapat terjadi pada detektor pertama, indikator analog dan alat perekam. Kesalahan direduksi dengan perencanaan alat yang lebih sesuai,

pemilihan komponen mekanik, sifat fleksibel besar, dan memakai bahan yang menggunakan pengerjaan panas (*heat treatment*) yang tepat. Harga histerisis biasanya dinyatakan sebagai presentase *output* skala penuh yang diukur pada daerah 50% dari skala penuh tersebut. Lihatlah pada **Gambar 2.3** histerisis yang diperoleh apabila jangkauan (*range*) lebih kecil dari pada skala histerisis total (dalam skala penuh) (Samadikun dkk, 1989).



Gambar 2.3 Histeresis (Samadikun dkk, 1989)

C. Gelombang Bunyi

Bunyi adalah gelombang yang dihasilkan oleh getaran mekanis dan merupakan hasil perambatan energi. Bunyi juga merupakan gelombang longitudinal yang merambat melalui medium. Medium atau zat perantara ini berupa zat cair, padat, gas. Batas frekuensi bunyi yang dapat didengar oleh telinga manusia kira-kira dari 20 Hz sampai 20 kHz. Gelombang dengan frekuensi diatas 20 kHz disebut dengan gelombang ultrasonik dan gelombang dengan frekuensi dibawah 20 Hz disebut dengan gelombang infrasonik (Sutrisno,1984).

Bunyi adalah energi gelombang yang berasal dari sumber bunyi, yaitu benda yang bergetar. Gelombang bunyi adalah gelombang longitudinal sehingga mempunyai

sifat-sifat dapat dipantulkan (*reflection*), dapat dibiaskan (*refraction*), dapat dilenturkan (*diffraction*), dan dapat dibiaskan (*interferention*). Bunyi memiliki hubungan antara kecepatan perambatan (v) dalam m/det, dan frekuensi (f) dalam Hertz, serta panjang gelombang (λ) dalam m. Secara matematis hubungan tersebut dinyatakan pada **Persamaan (2.6)**.

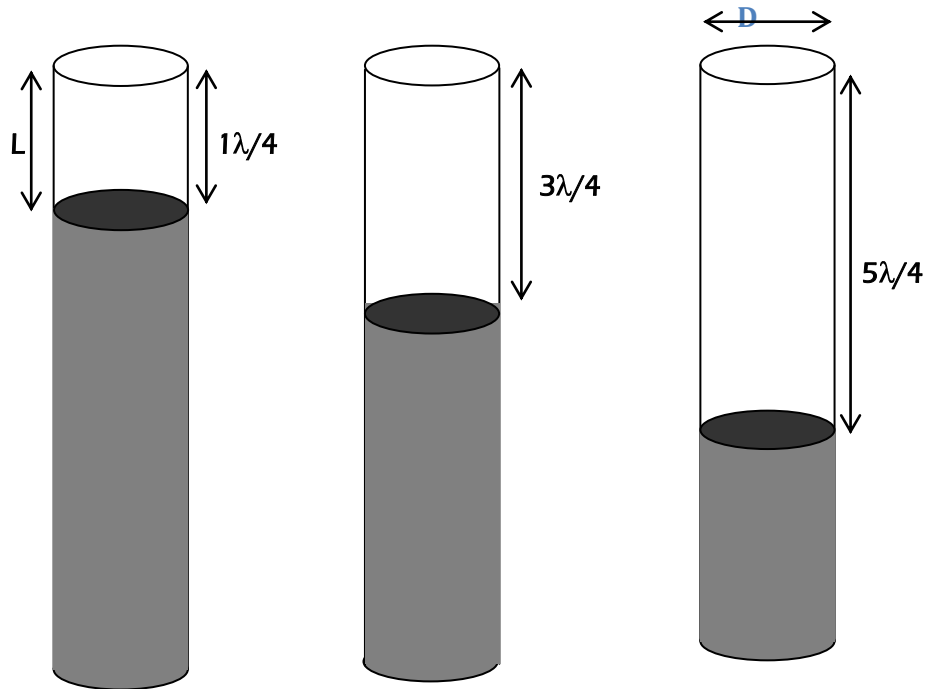
$$v = f \cdot \lambda \quad (2.6)$$

Kecepatan perambatan gelombang bunyi berupa konstanta $v = 340$ m/det (Sutrisno, 1984).

D. Resonansi

Resonansi merupakan peristiwa ikut bergetarnya sebuah benda karena bergetarnya benda lain yang memiliki frekuensi alamiah sama. Contoh lain yang lebih dramatis adalah kaca-kaca rumah akan bergetar bahkan mungkin saja pecah ketika pesawat udara melintas cukup rendah di atas rumah, hal ini karena frekuensi alamiah kaca bersesuaian dengan frekuensi gelombang suara pesawat yang melintas.

Pengamatan fenomena resonansi ini dapat dilakukan dengan menggunakan tabung resonator yang panjang kolom udaranya dapat kita atur dengan menaikkan atau menurunkan permukaan air dalam tabung tersebut (Lubis dan Lizalidiawati, 2005). Apabila sebuah sumber gelombang bunyi dengan frekuensi tertentu dijajarkan dari atas tabung (misalnya sebuah garputala) maka resonansi terjadi pada saat panjang kolom udara $\frac{1}{4}\lambda$, $\frac{3}{4}\lambda$, $\frac{5}{4}\lambda$ dan seterusnya, seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Resonansi pada kolom udara tabung resonator (Giancoli, 2001)

Pipa organa tertutup yang ditunjukkan pada **Gambar 2.4** merupakan sebuah contoh dari bunyi yang berasal dari sebuah kolom udara yang bergetar. Jika salah satu ujung sebuah tabung atau pipa terbuka maka gelombang longitudinal dapat dihasilkan tabung tersebut. Secara umum hubungan panjang kolom resonansi (L) dengan panjang gelombang (λ) seperti dituliskan pada **Persamaan (2.7)**.

$$L = \frac{2n+1}{4} \lambda \quad (2.7)$$

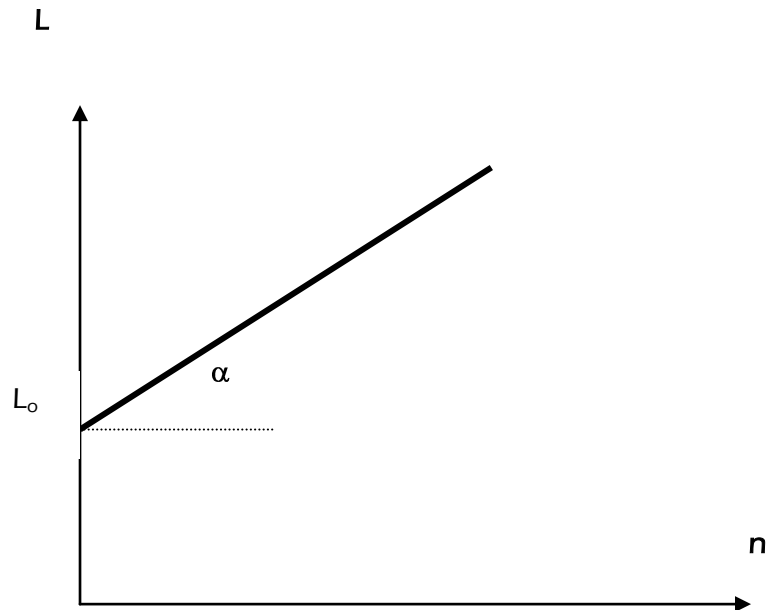
dengan $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

Dengan nilai n merupakan nilai resonansi bunyi ke- n , **Persamaan (2.7)** di atas dapat berlaku untuk ukuran diameter tabung bagian dalam (D) yang lebih kecil dari panjang gelombang sumber bunyi (Giancoli, 2001). Untuk diameter tabung yang lebih kecil maka **Persamaan (2.7)** di atas harus dikoreksi dengan suatu nilai, yang disebut e sehingga:

$$L = \frac{2n+1}{4} \lambda - e \quad (2.8)$$

Nilai e ini sekitar $0,6D$. Secara eksperimen, nilai koreksi “ e ” ini ditentukan dari grafik (hasil *least square*) antara L dengan n pada **Persamaan (2.9)**

$$L = \frac{1}{2} \lambda n + \frac{1}{4} \lambda - e \quad (2.9)$$



Gambar 2.5 Grafik L terhadap n . (Giancoli, 2001)

Dari metode *Least Square*, didapatkan bahwa kemiringan kurva adalah $\lambda/2$, dan titik potong dengan sumbu vertikal adalah $\lambda/4 - e$ (Giancoli, 2001).

E. Sensor Ultrasonik

Sensor merupakan peralatan yang digunakan untuk mengubah besaran fisis (panas, magnetis, mekanik, dan lain-lain) menjadi besaran elektrik. Gelombang ultrasonik adalah gelombang mekanik longitudinal dengan frekuensi lebih dari 20kHz (Lindawati, 2012). Besarnya daya (P) radiasi dan gelombang ultrasonik menyatakan laju besarnya energi gelombang yang melewati bidang. Intensitas didefinisikan sebagai besarnya daya (P) persatuan luas penampang (A) dinyatakan

dalam satuan watt/m². Perbandingan intensitas gelombang bunyi (I) dengan intensitas acuan (I_0) untuk gelombang ultrasonik menyatakan taraf intensitas gelombang (TI) dengan satuan decibel (dB) seperti ditunjukkan pada **Persamaan (2.10)**.

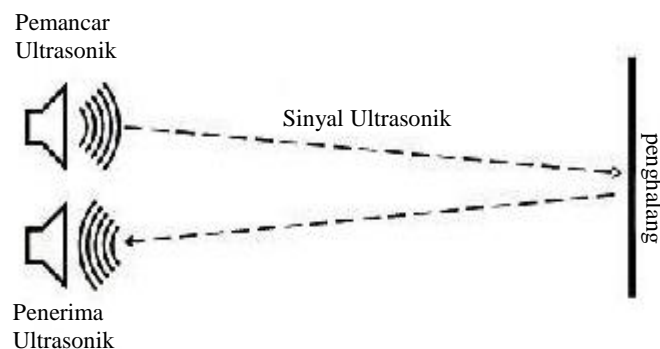
$$TI = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (2.10)$$

dimana; TI = Taraf Intensitas (dB)

$$I_0 = \text{intensitas acuan} = 10^{12} \text{ W m}^{-2}$$

$$I = \text{Intensitas bunyi (W m}^{-2}\text{)}$$

Sensor ultrasonik merupakan sensor yang bekerja berdasarkan prinsip pemantulan gelombang suara, dimana sensor ultrasonik terdiri dari rangkaian pemancar ultrasonik (*transmitter*) dan rangkaian penerima ultrasonik (*receiver*). (Hani, 2010). Pemancar ultrasonik merupakan rangkaian yang memancarkan sinyal sinusoidal yang berfrekuensi lebih dari 20 kHz, sedangkan penerima ultrasonik merupakan rangkaian transduser yang menerima sinyal dari pemancar ultrasonik dan melalui proses filterisasi (Lindawati, 2012).



Gambar 2.6 Prinsip Pematulan Gelombang Ultrasonik (Hani, 2010)

Prinsip kerja dari sensor ultrasonik adalah sinyal yang dipancarkan oleh pemancar ultrasonik. Memiliki frekuensi diatas 20 kHz, biasanya frekuensi yang digunakan untuk mengukur jarak benda adalah 40 kHz. Sinyal yang dipancarkan tersebut kemudian akan merambat sebagai sinyal/gelombang bunyi dengan kecepatan bunyi yang berkisar 340 m/s. Sinyal tersebut kemudian akan dipantulkan dan diterima kembali oleh penerima ultrasonik. Setelah sinyal tersebut diterima oleh penerima ultrasonik, maka sinyal tersebut akan diproses untuk menghitung jaraknya. Jarak dihitung berdasarkan **Persamaan (2.11)**.

$$S = \frac{340 \cdot \Delta t}{2} \quad (2.11)$$

Dimana S adalah jarak antara sensor ultrasonik dengan bidang pantul, dan t adalah selisih waktu antara pemancaran gelombang ultrasonik sampai diterima kembali oleh bagian penerima ultrasonik.

Sensor ultrasonik dapat disebut sebagai sensor jarak. Salah satu sensor jarak adalah Parallax PING))) *ultrasonic range finder* yang merupakan sebuah sensor pengukur jarak tanpa kontak langsung. Kemampuan pengukuran jarak dari sensor ultrasonik pada medium udara adalah 2 cm (0.8 inches) sampai 3 m (3.3 yards) dengan cepat rambat 343 m/s selama 200 μs (Muchlis, 2010). Sensor PING))) memancarkan gelombang ultrasonik berdasarkan kontrol dari mikrokontroler.

Sensor PING))) bekerja berdasarkan prinsip pantulan gelombang suara, dimana sensor akan memancarkan gelombang suara yang kemudian menangkap pantulannya kembali dengan perbedaan waktu sebagai dasar pengindraannya. Perbedaan waktu antara gelombang suara yang dipancarkan dengan ditangkapnya kembali gelombang suara tersebut adalah berbanding lurus dengan jarak atau

tinggi objek yang memantulkannya. Keluaran dari sensor PING))) adalah variable lebar pulsa yang sesuai dengan jarak ke target (Nasron, 2011). Jenis objek yang dapat dideteksi adalah objek padat, cair, butiran maupun tekstil (Fraden, 1996). Suatu rangkaian pemancar dan penerima gelombang ultrasonik tidak dibahas secara detail, karena rangkaian tersebut sudah merupakan suatu kesatuan dari sensor PING))). Sensor ini memiliki 3 pin, yang masing-masing dihubungkan ke *Ground*, V_{cc} (5V) dan pin I/O (SIG) dihubungkan ke mikrokontroler.



Gambar 2.7 Konfigurasi Sensor PING))) (Yunidar, 2009)

F. Sensor Mikrofon

Sensor mikrofon merupakan salah satu sensor yang sangat sensitif terhadap suara terutama frekuensi suara tertentu yang dapat ditangkap. Mikrofon dapat disebut *mic* (mike) dan merupakan salah satu transduser atau sensor elektrik yang mengkonversi suara menjadi sinyal listrik. Mikrofon digunakan dalam berbagai aplikasi seperti telepon, perekam tape, dan rekaman *audio engineering* (Somawirata dan Subagio, 2010). Dilihat dari sudut peninjauannya jenis mikrofon dapat dibedakan menjadi tiga.

1. Mikrofon arang

Mikrofon bekerja berdasar perubahan resistansi R.

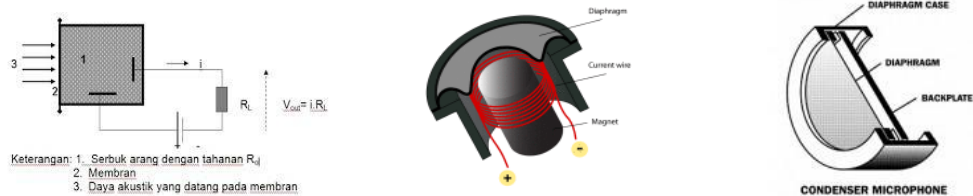
2. Mikrofon elektrodinamis

Mikrofon yang bekerja berdasar perubahan induktansi L.

3. Mikrofon kondensator

Mikrofon yang bekerja berdasar perubahan kapasitor C.

Berikut ini adalah beberapa contoh gambar skema dari jenis-jenis transduser mikrofon di atas.



(a) Mikrofon arang (b) Mikrofon elektrodinamik (c) Mikrofon kondensator

Gambar 2.8 a, b dan c merupakan jenis-jenis transduser mikrofon (Somawirata dan Subagio, 2010)

Sistem dari rangkaian elektronik ini merupakan sistem yang menggunakan suatu mikrofon sebagai sistem sensor yang akan aktif bila mendapatkan sinyal dentuman. Resistansi mikrofon terdiri dari dua komponen yaitu r_o dimana resistansi mikrofon tanpa adanya sinyal tekanan udara dan r yaitu perubahan resistansi disekitar r_o yang disebabkan oleh tekanan suara. Semakin keras suara yang diterima oleh mic condensor maka resistansi yang dihasilkan semakin kecil. Apabila gelombang suara berbentuk *sinusoida*, maka V_{out} juga berbentuk sinusoida (Malvino,1989). Dengan sensor mikrofon ini, maka diperlukan penguat yang besar yaitu *Op-Amp*. Bentuk dari *Mic Condensor* (tranduser mikrofon) adalah seperti pada **Gambar 2.9**.



Gambar 2.9 Mic condenser (Tranduser Mikrofon) (Somawirata dan Subagio, 2010)

Mic condenser (Tranduser mikrofon) mempunyai sensitifitas kepekaan suara -35 ± 4 dB ($0 \text{ dB} = 1 \text{ V/pa}$, 1kHz). Dalam pengoperasiannya tegangan maksimal yang diberikan untuk *mic condenser* adalah 10 V, sedangkan dalam penggunaan standart membutuhkan tegangan 2 V dengan impedansi sekitar 2,2 k Ω , arus maksimal 0.5 mA, *sensitivity reduction* sekitar -3 dB pada tegangan 1.5 V. spesifikasi dari *mic condenser* dapat dilihat pada **Tabel 2.1** berikut ini.

Tabel 2.1 Karakteristik Sensor Mikrofon

No	Karakter	Nilai
1.	Sensitivitas	-35 ± 4 dB ($0 \text{ dB} = 1 \text{ V/Pa}$, 1 kHz)
2.	Impedansi	Kurang dari 2.2 k Ω
3.	Directivity	Omnidirectional
4.	Frekuensi	20-20.000 Hz
5.	Maksimal Voltage	10 V
6.	Standard Voltage	2 V
7.	Standard Arus	Mak. 2 mA
8.	Sensitivitas reduksi	Di bawah -3 dB pada 1,5 V
9.	S/N rasio	Lebih dari 62 dB

G. Mikrokontroler ATMega8535

Mikrokontroller AVR merupakan keluarga mikrokontroler keluaran Atmel yang dibuat berdasarkan *architecture RISC (Reduced Instruction Set Computing)*.

Untuk meningkatkan kecepatan, AVR telah berhasil menggabungkan *fast*

access register file dan *single cycle instruction* dengan 32 register x 8 bit. 32 register AVR dapat mengeksekusi beberapa instruksi sekali jalan (*single cycle*), hal ini yang membuat AVR relatif lebih cepat bila dibandingkan dengan mikrokontroler 8 bit lainnya. Enam dari 32 register dapat digunakan sebagai *indirect address register pointer* 16 bit untuk pengalamatan *data space*, yang memungkinkan penghitungan alamat yang efisien. AVR mempunyai kecepatan dari 0-16 MHz. AVR sangat efisien dalam *addressing code* karena AVR dapat mengakses program memori dan data memori. AVR secara umum terbagi menjadi dua yaitu *high-voltage* dan *low-voltage*. Varian ATmega tersebut dapat dilihat pada akhiran nomor seri setiap AVR seperti tipe ATmega 8535 dan ATmega 8535L. Setiap tipe yang berakhiran L merupakan versi *low-voltage* dari AVR yang artinya AVR tersebut dapat bekerja pada tegangan 2,7 V (Riantiningsih, 2009).

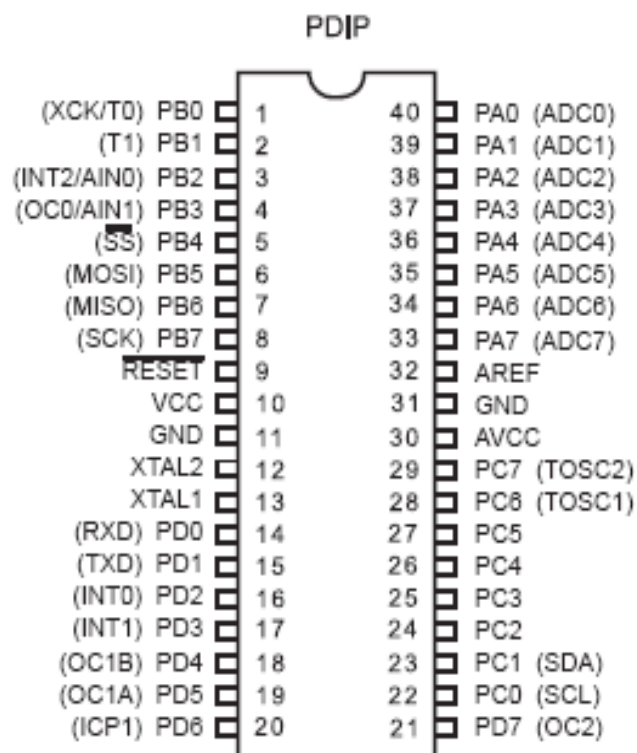
1. Arsitektur Mikrokontroler ATmega8535

Mikrokontroler ATmega 8535 merupakan keluarga dari mikrokontroler AVR sehingga fitur-fitur dasar mikrokontroler AVR dimiliki oleh ATmega 8535. Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan, mikrokontroler AVR dan ATmega 8535 bisa dikatakan hampir sama. Penjelasan dari masing-masing pin dari ATmega 8535 adalah sebagai berikut (Iswanto, 2008).

- a) Pin 1 sampai 8 (Port B) merupakan port parallel 8 bit dua arah (*bit-directional*) dengan resistor *pull-up* internal. Port B dapat difungsikan untuk berbagai keperluan *general purpose* dan *special feature* yaitu:
1. PB7 : SCK (*SPI Bus Serial Clock*)
 2. PB6 : MISO (*SPI Bus Master Input /Slave Output*)

3. PB5 : MOSI (*SPI Bus Master Output /Slave Input*)
 4. PB4 : SS (*SPI Slave Select Input*)
 5. PB3 : AIN1 (*Analog Comparator Negatif Input*)
OC0 (*Output Compare Timer/Counter 0*)
 6. PB2 : AIN0 (*Analog Comparator Positif Input*)
INT2 (*External Interupt 2 input*)
 7. PB1 : T1 (*Timer/Counter 1 External Counter Input*)
 8. PB0 : T0 (*Timer/Counter 0 External Counter Input*)
CK (*USART External Clock Input/Output*)
- b) Pin 9 (*reset*) jika terdapat minimum *pulse* pada saat *active low*.
- c) Pin 10 (V_{CC}) dihubungkan ke V_{cc} (2,7 – 5,5 Volt).
- d) Pin 11 dan 31 (GND) dihubungkan ke V_{ss} atau *Ground*.
- e) Pin 12 (XTAL 2) adalah pin masukan ke rangkaian osilator *internal*. Sebuah osilator kristal atau sumber osilator luar yang dapat digunakan.
- f) Pin 13 (XTAL 1) adalah pin keluaran ke rangkaian osilator *internal*. Pin ini dipakai bila menggunakan osilator kristal.
- g) Pin 14 sampai 21 (Port D) adalah 8 bit dua arah (*bi-directional I/O*) port dengan resistor *pull-up* internal. Selain sebagai I/O 8 bit juga dapat digunakan untuk *general purposee* dan *special feature seperti*:
1. PD7: OC2 (*Output Compare Timer /Counter 2*)
 2. PD6: ICP1 (*Timer /Counter 1 Input Capture*)
 3. PD5: OC1A (*Ouput Compare A Timer /Counter 1*)
 4. PD4: OC1B (*Output Compare B Timer /Counter1*)
 5. PD3: INT1 (*External Interrupt 1 Input*)

6. PD2: INT2 (*External Interrupt 0 input*)
 7. PD1: TXD (*USART transmit*)
 8. PD0: RXD (*USART receive*)
- h) Pin 22 sampai 29 (Port C) adalah 8 bit dua arah (*bi-directional I/O*) port dengan resistor *pull-up* internal. Selain sebagai I/O 8 bit juga dapat digunakan untuk *general purpose* dan *special feature* seperti:
1. PC7: TOSC2 (*Timer Oscillator 2*)
 2. PC6: TOSC1 (*Timer Oscillator 1*)
 3. PC1: SDA (*Serial Data Input /Output, I²C*)
 4. PC0: SCL (*Serial Clock, I²C*)
- i) Pin 30 adalah Avcc pin penyuplai daya untuk port A dan A/D *converter* dan dihubungkan ke V_{cc}. Jika ADC digunakan maka pin ini dihubungkan ke Vcc dengan *low pas filter*.
- j) Pin 32 adalah A_{REF} pin yang berfungsi sebagai referensi untuk pin analog jika A/D *Converter* digunakan.
- k) Pin 33 sampai 40 (Port A) adalah 8-bit dua arah (*bi-directional I/O*) port dengan resistor *pull-up* internal. Selain sebagai I/O 8 bit, port A juga dapat berfungsi sebagai masukan 8 channel ADC (Winoto, 2010).

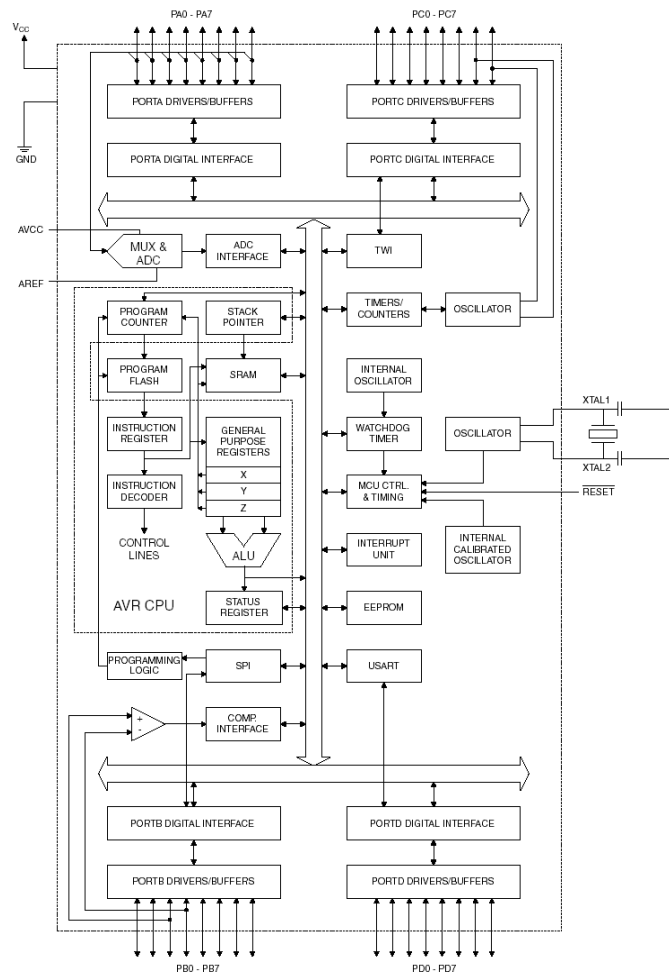


Gambar 2.10 Konfigurasi Pin Mikrokontroler AVR ATmega 8535 (Iswanto, 2008)

Keistimewaan dari AVR ATmega 8535:

1. 8 bit CPU sebagai pusat pengendalian aplikasi.
2. Mempunyai 130 instruksi.
3. 32 register umum yang terhubung dengan ALU (*Arithmetic Logic Unit*).
4. Kemampuan memproses instruksi sampai 16 MIPS (*Million Instruction Per Second*) pada 18 MHz.
5. Memiliki 8 Kbyte untuk *Flash* dalam untuk menyimpan program dan dapat ditulis ulang hingga 10.000 kali.
6. Memiliki 512 Bytes EEPROM dengan *endurance*: 100000 *Write/Erase Cycles*.
7. Memiliki 512 Bytes Internal SRAM (*Static Random Access Memory*) digunakan untuk menyimpan data sementara dari program flash.

8. ADC (*Analog To Digital Converter*) internal dengan *fidelitas* 10 bit sebanyak 8 channel.
9. 32 jalur I/O (*Input/Output*) yang terpisah dalam empat port yaitu port A, port B, port C, dan Port D.
10. 16 bit *timer/counter* dan 8 bit *timer/counter*.
11. *Full Duplex Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter* (USART).
12. RTC (*Real Time Clock*) dengan osilator terpisah.
13. SPI (*Serial Peripheral Interface*) untuk komunikasi serial yang memiliki kecepatan yang relatif tinggi pada jarak dekat.
14. Enam pilihan *mode sleep* dengan menghemat penggunaan daya listrik.
15. *Watchdog timer* yang dapat diprogram dengan osilator internal.
16. Dapat beroperasi pada tegangan 2,7 – 5,5 V (Riantiningsih, 2009).

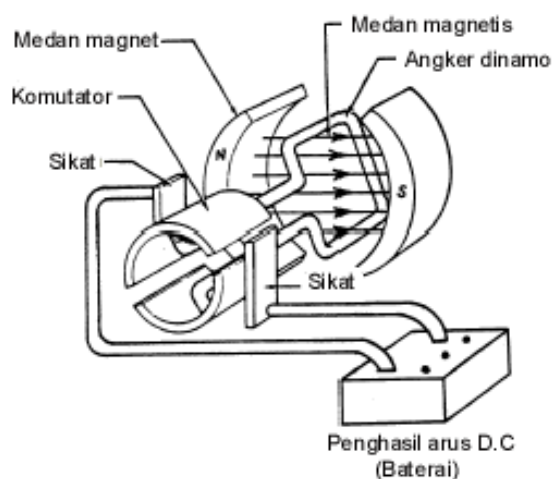


Gambar 2.11 Arsitektur ATmega 8535 (Riantiningsih, 2009).

H. Motor DC

Motor DC atau motor arus searah merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik (Gunawan dkk, 2002). Motor DC memerlukan catu daya searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Kumparan medan pada motor DC disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar) (Rahayuningtyas, 2009). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar pada medan magnet, maka akan timbul tegangan (GGL) yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik. Prinsip kerja dari

arus searah adalah membalik *phasa* tegangan dari gelombang yang mempunyai nilai positif dengan menggunakan komutator, dengan demikian arus yang berbalik arah dengan kumparan jangkar yang berputar dalam medan magnet. Bentuk motor paling sederhana memiliki kumparan satu lilitan yang bisa berputar bebas di antara kutub-kutub magnet permanen (Rahayuningtyas, 2009).

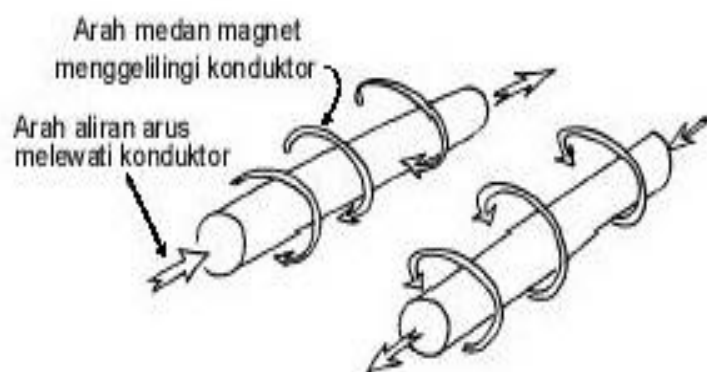


Gambar 2.12. Motor DC Sederhana (Rahayuningtyas, 2009)

Catu tegangan DC dari baterai menuju ke lilitan melalui sikat yang menyentuh komutator, dua segmen yang terhubung dengan dua ujung lilitan. Kumparan satu lilitan pada **Gambar 2.12** disebut angker dinamo. Angker dinamo adalah sebuah komponen yang berputar di antara medan magnet.

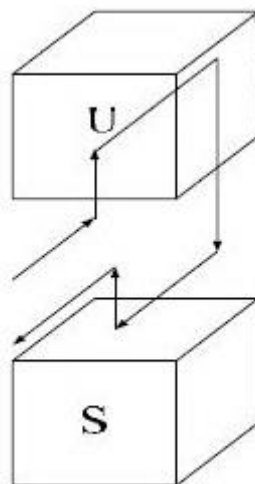
1. Prinsip Dasar Kerja Motor DC

Jika arus lewat pada suatu konduktor, maka timbul medan magnet di sekitar konduktor. Arah medan magnet ditentukan oleh arah aliran arus pada konduktor. Medan magnet yang membawa arus mengelilingi konduktor dapat dilihat pada **Gambar 2.13**.



Gambar 2.13 Medan magnet yang membawa arus mengelilingi konduktor
(Rahayuningtyas, 2009)

Aturan gengaman tangan kanan dapat dipakai untuk menentukan arah garis fluks magnetik di sekitar konduktor. Genggam konduktor dengan tangan kanan dengan jempol mengarah pada arah aliran arus, maka jari-jari anda akan menunjukkan arah garis fluks magnetik. Medan magnet hanya terjadi di sekitar sebuah konduktor apabila ada arus yang mengalir pada konduktor tersebut. Jika konduktor berbentuk U (angker dinamo) yang diletakkan di antara kutub utara dan selatan maka medan magnet konduktor akan berinteraksi dengan kutub medan magnet (Harifuddin, 2008). Pada motor DC, daerah kumparan medan yang dialiri arus listrik akan menghasilkan medan magnet yang melingkupi kumparan jangkar dengan arah tertentu. Konversi dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya berlangsung melalui medan magnet, dengan demikian medan magnet selain berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan energi, sekaligus sebagai tempat berlangsungnya proses perubahan energi (Asnil dan Husnaini, 2010), daerah tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2.14**



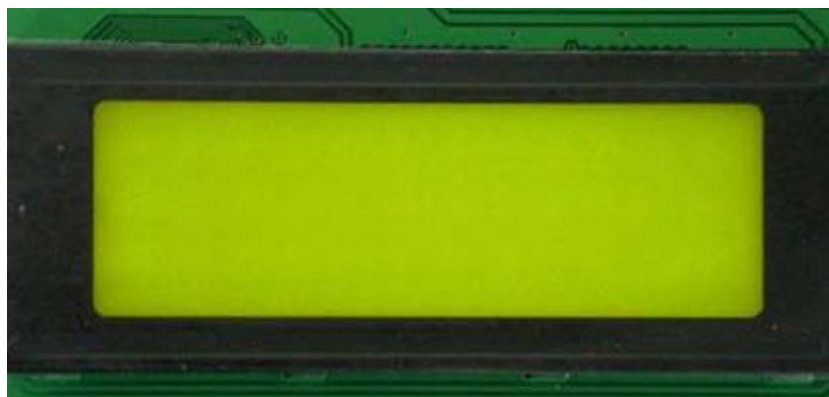
Gambar 2.14 Prinsip kerja motor DC (Rahayuningtyas, 2009)

Agar proses perubahan energi mekanik dapat berlangsung secara sempurna, maka tegangan sumber harus lebih besar dari pada tegangan gerak yang disebabkan reaksi lawan. Dengan memberi arus pada kumparan jangkar yang dilindungi oleh medan maka menimbulkan perputaran pada motor (Gunawan dkk, 2002).

I. *Liquid Crystal Display (LCD)*

Liquid Crystal Display atau LCD adalah alat tampilan yang biasa digunakan untuk menampilkan karakter ASCII sederhana, dan gambar pada alat-alat digital seperti jam tangan, kalkulator dan lain lain (Syamsuddin, 2008). LCD merupakan sebuah modul yang digunakan untuk menampilkan data. Bentuk fisik dari LCD akan tampak seperti pada **Gambar 2.15**. Salah satu jenis LCD adalah LM004L merupakan modul LCD dengan tampilan 20x4 (20 kolom x 4 baris) dengan konsumsi daya rendah. Modul LCD terdiri dari sejumlah *memori* yang digunakan untuk *display*. Semua teks yang kita tuliskan ke modul LCD disimpan dalam *memori* dan modul LCD secara berurutan membaca *memori* untuk menampilkan teks ke modul LCD (Syarif, 2005). Alamat awal karakter adalah 00H dan alamat

akhir adalah 39H untuk baris pertama. Jadi, alamat awal pada baris kedua dimulai dari 40H. Jika ingin meletakkan suatu karakter pada baris kedua kolom pertama, maka harus diatur pada alamat 40H. Jadi meskipun LCD yang digunakan 2x16 atau 2x24 atau bahkan 2x40, maka penulisan programnya sama saja. Keterangan pin pada modul LCD karakter 4x20 seperti pada **Tabel 2.2**



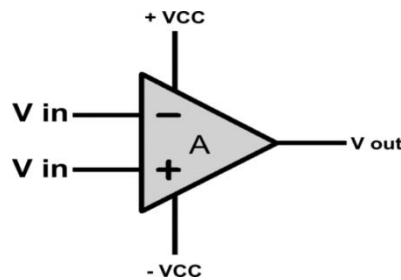
Gambar 2.15 Modul LCD Karakter 4x20 (Winoto, 2010).

Tabel 2.2 Pin dan Fungsi LCD 4x20

PIN	Name	Level	Function
1	Vss	0V	Ground
2	Vdd	5V	Supply voltage for logic
3	V0	(Variabel)	Operating voltage for LCD
4	RS	H/L	H: Data, L: Instruksion Code
5	R/W	H/L	H: Read (MPU->Module), L: White (MPU->Module)
6	E	H,H>L	Chip enable signal
7	DB0	H/L	Data bit 0
8	DB1	H/L	Data bit 1
9	DB2	H/L	Data bit 2
10	DB3	H/L	Data bit 3
11	DB4	H/L	Data bit 4
12	DB5	H/L	Data bit 5
13	DB6	H/L	Data bit 6
14	DB7	H/L	Data bit 7
15	LED+	-	Anode of Led Backlight
16	LED-	-	Cathode of Led Backlight

J. Penguat Operasional (*Op-Amp*)

Dalam sistem kontrol sering kali keluaran dari sensor nilainya tidak sesuai dengan yang diharapkan. Oleh karena itu perlu adanya pengelolah sinyal agar keluaran dari sensor seperti yang diharapkan. Penguat operasional (*Operational Amplifier*) merupakan komponen elektronika yang berfungsi untuk memperkuat sinyal arus searah (*DC*) maupun arus bolak-balik (*AC*). Pada prinsipnya penguat operasional hanya bekerja sebagai penguat sinyal bukan penguat daya. Penguat operasional terdiri atas transistor, resistor dan kapasitor yang dirangkai dalam rangkaian terpadu (*integrated circuit*) (Allo, 2013). Simbol *Op-Amp* ditunjukkan pada **Gambar 2.16**. Dimana V_{in} merupakan masukan sinyal, V_{out} keluaran sinyal, A besar penguatan dan V_{CC} sumber tegangan.



Gambar 2.16 Simbol *Op-Amp* (Allo, 2013)

Karakteristik *Op-Amp* yang ideal adalah:

1. Faktor penguat tidak terhingga.
2. Tidak memiliki *offset*, maksudnya adalah bila masukan nol maka keluaran juga nol.
3. Impedansi masukan tidak terhingga.
4. Impedansi keluaran nol.
5. Lebar *bandwidth* tidak terhingga.

6. *Rise time* nol.
7. Tidak mudah terpengaruh oleh perubahan tegangan sumber maupun perubahan suhu.

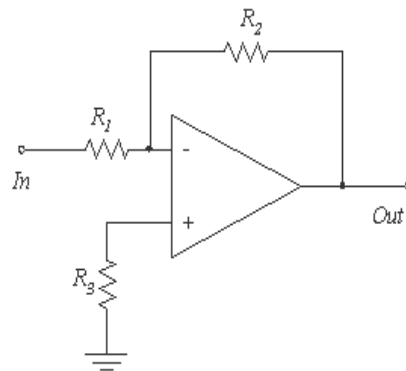
Pada kenyataannya dalam pembuatan *Op-Amp* memiliki keterbatasan sehingga tidak ada *Op-Amp* yang ideal. *Op-Amp* yang ada hanyalah *Op-Amp* yang mendekati ideal karena karakteristik *Op-Amp* adalah sebagai berikut:

1. Faktor penguat terbatas kurang lebih 100.000 kali.
2. Terdapat *offset* dimana saat masukan bernilai nol tegangan keluaran tidak nol.
3. Impedansi masukan cukup tinggi namun terbatas sampai kira-kira ratusan kilo ohm saja.
4. Impedansi keluaran rendah namun terbatas puluhan sampai ratusan ohm.
5. *Rise time* tidak nol.
6. Kerja *Op-Amp* terpengaruh perubahan sumber tegangan dan perubahan suhu.

Dalam penggunaannya *Op-Amp* dibagi menjadi dua jenis yaitu penguat linier dan penguat tidak linier. Penguat linier merupakan penguat yang tetap mempertahankan bentuk sinyal masukan. Sedangkan penguat tidak linier merupakan penguat yang bentuk sinyal keluarannya tidak sama dengan bentuk sinyal masukannya (Somawirata dan Subagio, 2010).

1. Penguat *Inverting*

Rangkaian penguat *inverting* ditunjukkan pada **Gambar 2.17**. Penguat ini memiliki ciri khusus yaitu sinyal keluaran memiliki beda fasa sebesar 180° . Rangkaian pada Gambar 2.5 menggunakan sumber tegangan simetri yaitu $+V_{CC}$, $-V_{CC}$ dan ground.



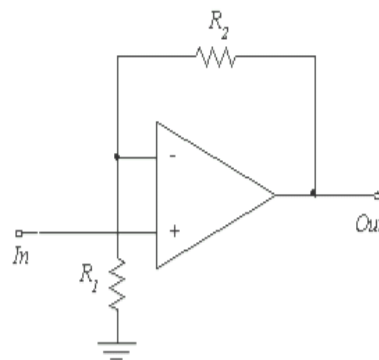
Gambar 2.17 Penguat *inverting* (Edisantoso, 2013).

Penguatan rangkaian penguat *inverting* berdasarkan pada **Persamaan (2.11)** berikut:

$$V_{out} = -V_{in} \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \quad (2.11)$$

2. Penguat *Non-Inverting*

Penguat *non-inverting* memiliki ciri khusus yaitu sinyal output adalah sefasa dengan sinyal masukan. Rangkaian ini ditunjukkan oleh **Gambar 2.18**.



Gambar 2.18 Penguat *Non-Inverting* (Edisantoso, 2013).

Penguatan dari rangkaian penguat jenis ini adalah berdasarkan pada **Persamaan (2.12)** berikut:

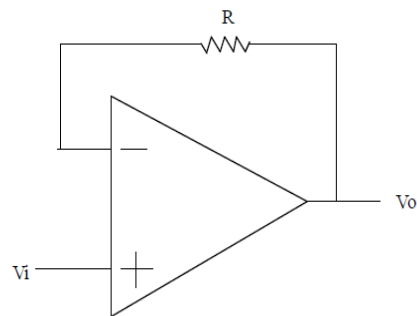
$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) \quad (2.12)$$

3. Buffer

Rangkaian *buffer* adalah rangkaian yang inputnya sama dengan hasil outputnya.

Dalam hal ini seperti rangkaian *common collector* yaitu berpenguatan 1 (satu).

Rangkaiannya seperti pada **Gambar 2.19**.



Gambar 2.19 Rangkaian *buffer* (Edisantoso, 2013)

Nilai R yang terpasang gunanya untuk membatasi arus yang dikeluarkan. Besar nilainya tergantung dari indikasi dari komponennya, biasanya tidak dipasang alias arus dimaksimalkan sesuai dengan kemampuan *Op-Amp*-nya (Edisantoso, 2009).