

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Benda Cair (Cairan)

Benda cair tidak dapat mempertahankan bentuk yang tetap melainkan mengambil bentuk tempat yang ditempatinya, selain itu benda cair tidak dapat langsung ditekan dan perubahan volume yang cukup signifikan terjadi jika diberikan gaya yang besar (Giancoli A, 2001).

Setiap zat cair memiliki massa jenis (  $\rho$  ) yang didefinisikan sebagai massa persatuan volume:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

dimana  $m$  adalah massa benda (kg) dan  $V$  merupakan volumenya ( $m^3$ ). Massa jenis merupakan sifat khas dari suatu zat. Massa jenis beberapa zat cair dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1.** Massa jenis beberapa zat cair (Giancoli A, 2001).

No.	Zat Cair	Massa Jenis ( $\rho$ ) $kg/m^3$
1	Air (4°C)	$1,00 \times 10^3$
2	Air Laut	$1,025 \times 10^3$
3	Alkohol, Ethyl	$0,79 \times 10^3$
4	Bensin	$0,68 \times 10^3$

## **B. Indeks Bias**

Pada awalnya, oleh Newton, cahaya dipandang sebagai pancaran partikel-partikel halus dan pada tahap berikutnya, oleh Huygens, cahaya dipandang sebagai gelombang elastis longitudinal di dalam medium ether yang mengisi seluruh ruang kosong. Dari eksperimen yang dilakukan oleh Heinrich Hertz di sekitar pertengahan abad 19 yang lalu, cahaya diyakini sampai sekarang sebagai gelombang elektromagnetik yang menjalarnya tidak memerlukan medium. Sehingga teori-teori Newton dan Huygens maupun hipotesis adanya ether jadi runtuh, disanggah sepenuhnya dan terjabarkan berdasarkan teori gelombang elektromagnetik (Soedoyo, 2004).

Cahaya berjalan menempuh garis lurus pada berbagai keadaan. Anggapan yang masuk akal ini mengarah kemodel berkas dari cahaya. Model ini menganggap bahwa cahaya berjalan dalam lintasan yang berbentuk garis lurus yang disebut berkas cahaya. Sebenarnya berkas merupakan idealisasi, dimaksudkan untuk merepresentasikan sinar cahaya yang sangat sempit. Ketika kita melihat sebuah benda, menurut model berkas, cahaya mencapai mata kita dari setiap titik pada benda, walaupun berkas cahaya meninggalkan setiap titik dengan banyak arah, biasanya hanya satu kumpulan kecil dari berkas-berkas ini yang dapat memasuki mata.

Laju cahaya dalam udara hampa adalah  $2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$  yang biasa dibulatkan menjadi  $3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$ . Laju ini berlaku untuk semua gelombang elektromagnetik, termasuk cahaya tampak (Giancoli B, 2001).

Di udara, laju tersebut hanya sedikit lebih kecil. Pada benda transparan lainnya, seperti kaca dan air, kelajuannya selalu lebih kecil dibanding di udara hampa. Sebagai contoh, di air cahaya merambat kira-kira dengan laju  $\frac{3}{4} c$ . Perbandingan laju cahaya di udara hampa ( $c$ ) dengan laju pada materi tertentu ( $v$ ) disebut indeks bias ( $n$ ) dari materi tersebut:

$$n = \frac{c}{v} \quad (2)$$

Indeks bias tidak pernah lebih kecil dari 1 (artinya,  $n \geq 1$ ) dan nilainya untuk berbagai materi diberikan pada Tabel 2.2 dengan cahaya yang digunakan yaitu cahaya kuning dengan  $\lambda = 589 \text{ nm}$  (Giancoli B, 2001).

**Tabel 2.2.** Indeks bias dengan sumber cahaya kuning yang memiliki  $\lambda = 589 \text{ nm}$  (Giancoli B, 2001).

No.	Medium	$n = c/v$
1	Air	1,333
2	Alkohol Etil	1,36
3	Kaca Kuarsa lebur	1,46
4	Kaca Korona	1,52

Cahaya merambat lebih lambat pada suatu zat dibandingkan dengan di udara hampa dapat dijelaskan pada tingkat atomik sebagai akibat serapan dan pemancaran kembali cahaya oleh atom-atom dan molekul-molekul pada bahan tersebut (Giancoli B, 2001).

Ketergantungan indeks bias mutlak ( $n_m$ ) setiap larutan terhadap massa jenis larutan atau prosentase padatan/zat terlarutnya ( $P$ ) ternyata memiliki bentuk yang sama sehingga dapat dimodelkan dengan:

$$n_m = 0,001P + 1,3293 \quad (3)$$

Bentuk umum ketergantungan ini tidak dimiliki oleh  $n_m$  terhadap konsentrasi larutan ( $P$ ) (Roniyus, 2005).

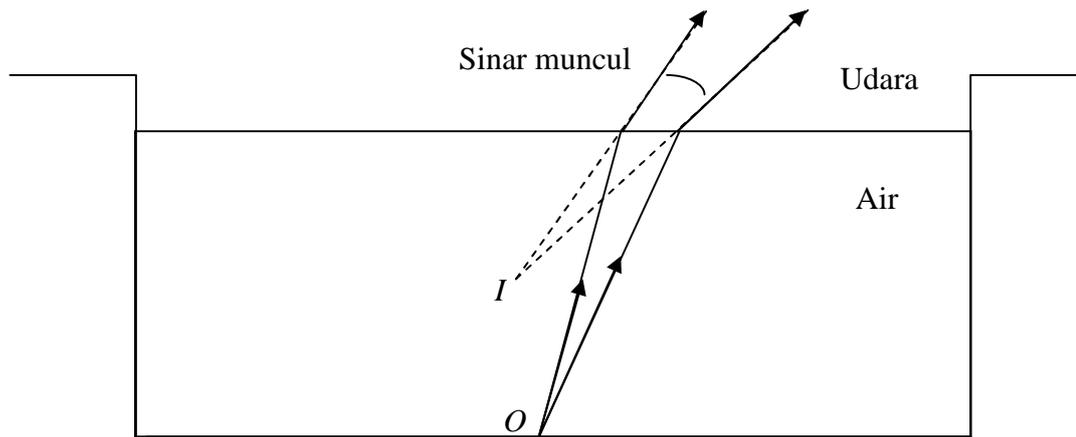
### **C. Hukum Snellius**

Hukum-hukum snellius mendasari kaidah-kaidah optika geometris dalam alat-alat optik maupun sistem optik. Hukum-hukum itu tak lain ialah kaidah-kaidah yang berkenaan dengan pemantulan dan pembiasan sinar-sinar cahaya sebagai berikut:

1. Sinar datang, garis normal, sinar terpantul dan sinar terbias, semuanya terletak pada satu bidang datar.
2. Sudut pantul sama dengan sudut datang.
3. Perbandingan antara sinus sudut datang dan sinus sudut bias adalah tetap, tak tergantung besar sudut datang.

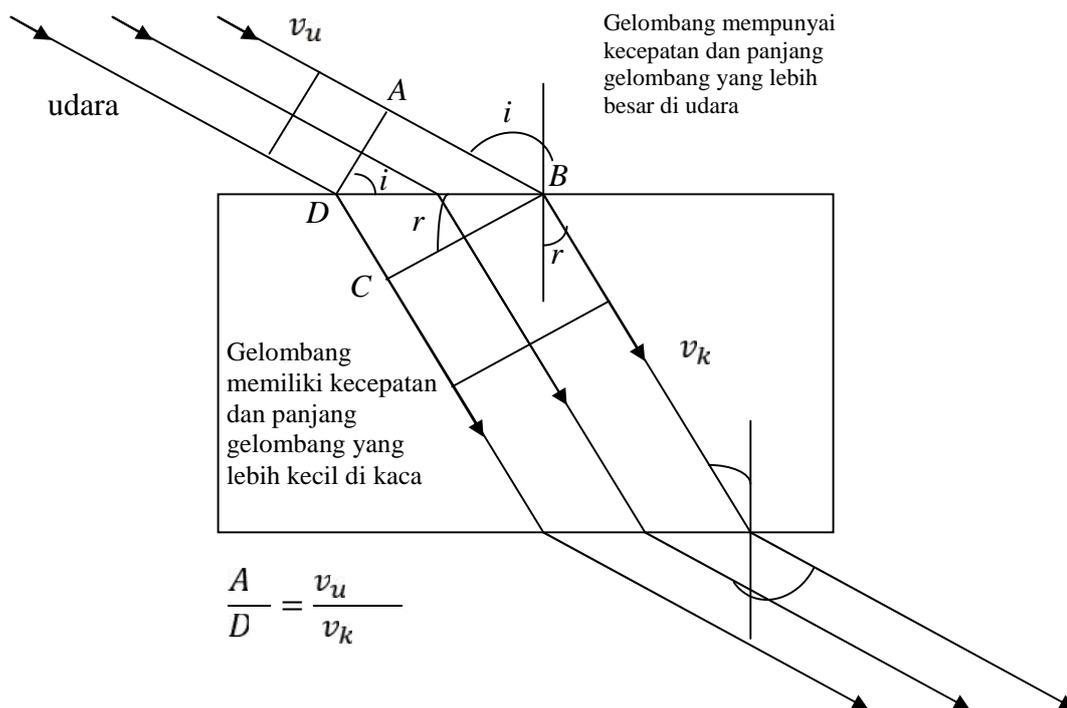
Adapun yang disebut sudut datang ialah sudut antara arah normal, yakni arah tegak lurus bidang batas dan arah sinar datang, dan sudut pantul ialah sudut antara arah normal dan arah sinar terpantul. Sedang yang dimaksud sudut bias ialah sudut antara arah normal dan arah sinar terbias (Soedjojo, 2004).

Jika kita melihat ke bawah dasar kolam renang, air terlihat dangkal. Ini disebabkan cahaya dari titik pada bagian bawah kolam dibiaskan di permukaan dari air ke udara sehingga muncul ke arah yang baru seperti Gambar 2.1.



**Gambar 2.1.** Cahaya dari O di dasar kolam renang dibiaskan di permukaan air.

Gambar 2.1 menunjukkan apa yang terjadi ketika sinar melintasi permukaan air dari udara ke kaca. Sinar paralel tetap berada dalam balok sisi paralel, tapi air mengubah arah di persimpangan permukaan. Perubahan arah disebabkan oleh perubahan kecepatan cahaya ketika melewati batas dari udara ke gelas yang bergerak lebih lambat. Ada juga perubahan panjang gelombang ketika gelombang cahaya masuk ke kaca dari udara. Sebuah gelombang bergerak lebih lambat memasuki kaca mulai ditangkap oleh gelombang berikutnya yang masih di udara. Kemudian memasuki gelombang berikutnya ke kaca dan dua gelombang bergerak pada kecepatan baru tapi dengan pemisahan yang lebih kecil.



**Gambar 2.2.** Sinar sisi paralel dibiaskan saat melewati kaca.

Kecepatan cahaya tergantung pada substansi yang dilewatinya, sehingga berkas cahaya pada Gambar 2.2 keluar dari kaca menuju udara, kecepatan menyimpang jauh dari normal saat melintasi permukaan. Pada persimpangan dari kaca kembali ke udara, cahaya kembali ke panjang gelombang aslinya.

Pada Gambar 2.2 gelombang di udara mencapai A dan D pada saat yang sama (waktu tempuh yang sama). Ketika cahaya berjalan sepanjang AB, saat itu juga cahaya bergerak sepanjang DC pada kaca. Jadi rasio (kecepatan cahaya di udara/kecepatan cahaya dalam gelas) dapat ditulis persamaan sebagai:

$$\frac{A}{D} = \frac{A \times B}{B \times D} = \frac{v_u}{v_k} \quad (4)$$

Dimana  $AB/BD = \sin i$  pada Gambar 2.2, dan  $CD/BD = \sin r$  sehingga persamaan (4) menjadi (Harrison, 1999):

$$\frac{v_u}{v_k} = \frac{s}{s} \frac{i}{r} = n \quad (5)$$

Persamaan (5) merupakan persamaan yang digunakan untuk mencari nilai indeks bias pada medium kaca dengan perbandingan kecepatan cahaya di udara dan kecepatan cahaya di medium kaca. Persamaan ini dapat digunakan pada medium lain yang mampu dilewati oleh cahaya tampak (transparan).

#### D. Viskositas

Fluida yang riil memiliki gesekan internal yang besarnya tertentu yang disebut viskositas. Viskositas ada pada zat cair maupun gas dan pada intinya merupakan gaya gesekan antara lapisan-lapisan yang bersisian pada fluida pada waktu lapisan-lapisan tersebut bergerak satu melewati lainnya. Pada zat cair, viskositas terutama disebabkan oleh gaya kohesi antara molekul. Pada gas, viskositas muncul dari tumbukan antar molekul.

Fluida yang berbeda memiliki besar viskositas yang berbeda misalnya sirup lebih kental (lebih viskos) daripada air dan minyak lemak lebih kental daripada minyak mesin. Viskositas fluida yang berbeda dapat dinyatakan secara kuantitatif oleh koefisien viskositas ( $\eta$ ) (Giancoli A, 2001).

**Tabel 2.3.** Koefisien viskositas untuk berbagai fluida (Giancoli A, 2001).

No.	Fluida	Koefisien Viskositas ( $\eta$ ) Pa.s
1	Air (0 °C)	$1,8 \times 10^{-3}$
2	Air (20 °C)	$1,0 \times 10^{-3}$
3	Air (100 °C)	$0,3 \times 10^{-3}$
4	Alkohol, Ethyl (20 °C)	$1,2 \times 10^{-3}$
5	Oli Mesin (SAE 10)	$200 \times 10^{-3}$

Ada beberapa metoda yang dapat digunakan untuk mengukur viskositas cairan yaitu metoda bola jatuh (*falling ball*), bola bergulir (*rolling ball*), pipa kapiler, rotasi silinder kosentris (*couette*), rotasi kerucut-plat, pelat paralel dan *ford-cup* (Walters, 1996). Khusus untuk benda berbentuk bola, gaya gesekan fluida secara empiris dirumuskan sebagai persamaan:

$$F_s = 6\pi \quad (6)$$

dengan menyatakan koefisien kekentalan (viskositas),  $r$  adalah jari-jari bola (m), dan  $v$  adalah kecepatan relatif bola terhadap fluida (m/s). Persamaan (6) pertama kali dijabarkan oleh Sir George Stokes tahun 1852, sehingga disebut *hukum Stokes* (Sears, 1994).

Dengan mengukur kecepatan bola dalam fluida dan rapat massa telah diketahui, maka viskositas fluida dapat ditentukan. Untuk memperoleh nilai viskositas fluida, Persamaan (6) dapat diubah dalam bentuk Persamaan (7).

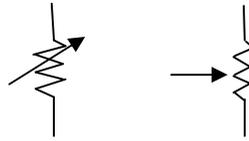
$$\eta = \frac{2r^2 g(\rho_b - \rho_f)}{9v} \quad (7)$$

dengan  $g$  adalah gravitasi bumi ( $m/s^2$ ),  $\rho_b$  adalah massa jenis bola ( $kg/m^3$ ) dan  $\rho_f$  adalah massa jenis cairan ( $kg/m^3$ ) (Budianto, 2008).

### **E. Potensiometer**

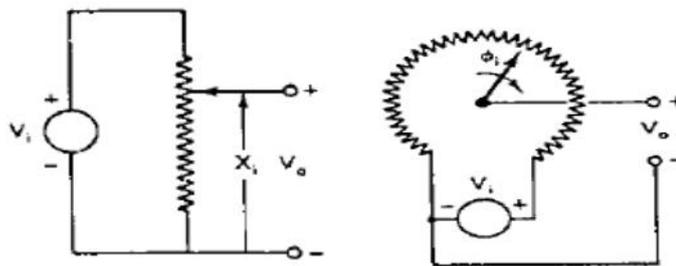
Potensiometer adalah transduser elektromekanik yang mengubah energi mekanik ke energi listrik (Kuo, 1995). Selain itu potensiometer juga dapat diartikan sebagai sebuah alat elektromekanik yang mengandung elemen tahanan yang dihubungkan dengan sebuah kotak geser yang dapat bergerak. Gerakan kontak

geser menghasilkan suatu perubahan tahanan yang bisa linier atau putar. Elemen tahanan yang digunakan dapat berupa komposisi karbon atau *wirewound* (Novrian, 2008).



**Gambar 2.3.** Simbol – simbol potensiometer.

Potensiometer terdiri dari sebuah kontak yang dapat menyapu pada hambatan lilitan kawat. Pergeseran kontak inilah yang menyebabkan terjadinya perubahan hambatan pada terminal-terminal kontak. Jika pada potensiometer dihubungkan dengan sebuah sumber tegangan maka perubahan hambatan tersebut menghasilkan perubahan tegangan keluaran.



**Gambar 2.4.** Rangkaian potensiometer (a) Translasi (b) Rotasi (Tompkins and Webster, 1992).

Gambar 2.4 memperlihatkan potensiometer yang digunakan pada pengukuran pergeseran translasi dan rotasi. Jika sumber tegangan pada potensiometer adalah  $V_i$  dan hambatan kontak terhadap terminal positif dan negative masing-masing adalah  $R_1$  dan  $R_2$  serta hambatan totalnya adalah  $R_1 + R_2$  maka tegangan keluaran potensiometer  $V_o$  adalah :

$$V_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_i \quad (8)$$

#### ***F. Light Dependent Resistor (LDR)***

Sensor adalah peralatan yang digunakan untuk mendeteksi ataupun mengukur besaran dari sesuatu. Sensor umumnya dikategorikan menurut apa yang diukur dan sangat berperan penting dalam proses pengendalian manufaktur modern (Tugino, 2006).

Sensor yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Light Dependent Resistor (LDR)*, merupakan resistor yang bergantung terhadap cahaya. Prinsip kerja LDR yaitu ketika ada energi foton dari cahaya sebesar  $hf$ , yang melebihi energi gap semikonduktor dan mengenai permukaan semikonduktor maka elektron yang berada di pita valensi mengalami transisi ke pita konduksi serta merta meningkatkan *hole* di pita valensi.

Akibat transisi elektron ke pita konduksi inilah mengakibatkan kenaikan konduktivitas bahan semikonduktor dan sebaliknya resistansinya menjadi berkurang. Jadi, resistansi LDR ketika di ruang gelap sangat besar dan di ruang terang menjadi sangat kecil (Dally, 1993).

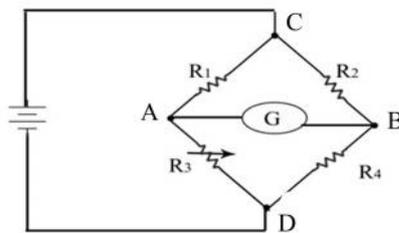
Bahan sensor LDR umumnya terbuat dari *cadmium sulfide (CdS)*, *cadmium selenid (CdSe)* atau *cadmium sulfoselenid (CdSSe)* yang dilapiskan diatas substrat keramik dengan pola zigzag. Pola zigzag dimaksudkan agar daya tangkap permukaan sensor LDR maksimum menerima cahaya (Jones, 1995).



**Gambar 2.5.** Sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) (google.com).

### G. Jembatan Wheatstone

Rangkaian jembatan wheatstone mempunyai empat lengan resistor beserta sebuah sumber tegangan dan sebuah detektor nol yang biasanya adalah galvanometer atau alat ukur arus lainnya seperti pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6.** Rangkaian jembatan wheatstone (cooper, 1999).

Arus melalui galvanometer bergantung pada beda potensial antara titik A dan B. Jembatan disebut seimbang bila beda potensial pada titik A dan B sama. Jika kondisi tersebut terpenuhi maka tidak ada arus yang mengalir melalui galvanometer. Kondisi ini terjadi bila tegangan dari titik C ke A sama dengan tegangan dari titik C ke B atau dengan mendasarkan ke terminal lainnya, jika tegangan dari titik D ke A sama dengan tegangan dari titik D ke B. Jadi jembatan adalah seimbang jika:

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \quad (9)$$

Jika arus galvanometer adalah nol, kondisi-kondisi berikut akan dipenuhi:

$$I_1 = I_3 = \frac{V}{R_1 + R_3} \quad (10)$$

dan

$$I_2 = I_4 = \frac{V}{R_2 + R_4} \quad (11)$$

Dengan menggabungkan persamaan (9), (10) dan (11) dan menyederhanakannya diperoleh

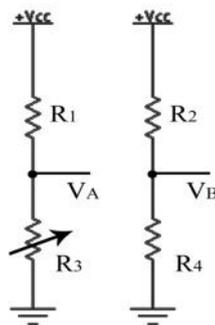
$$\frac{R_1}{R_1 + R_3} = \frac{R_2}{R_2 + R_4} \quad (12)$$

atau

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 \quad (13)$$

Persamaan (13) merupakan bentuk kesetimbangan dalam jembatan wheatstone (Cooper, 1999).

Dari persamaan (13) inilah dasar untuk menjadikan jembatan wheatstone sebagai rangkaian pengkondisi sinyal. Jika salah satu lengan resistor diganti dengan resistor berupa sensor LDR dan ketiga lengan resistor lainnya digantikan dengan resistor variabel yang nilainya sama, maka kita dapat mengukur setiap perubahan hambatan sensor yang disebabkan oleh cahaya yang datang pada sensor LDR.



**Gambar 2.7.** Lengan-lengan jembatan wheatstone yang disederhanakan.

Dari Gambar 2.6 rangkaian jembatan wheatstone disederhanakan lagi menjadi seperti Gambar 2.7 yang masing-masing lengan dicatu tegangan yang sama.

Tegangan di A ( $V_A$ ) adalah:

$$V_A = \frac{R_3}{R_3 + R_1} V_i$$

Sedangkan tegangan di B ( $V_B$ ) adalah:

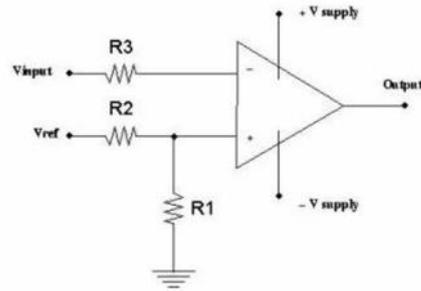
$$V_B = \frac{R_4}{R_4 + R_2} V_i$$

Secara praktik untuk mempermudah mencari ketiga nilai resistor maka diganti menjadi resistor variabel agar dapat diatur sesuai dengan nilai yang diinginkan dalam kesetimbangan jembatan wheatstone.

## H. Komparator

Op-amp adalah rangkaian elektronik serba guna yang dirancang dan dikemas khusus, sehingga dengan menambahkan komponen luar sedikit saja, sudah dapat dipakai untuk berbagai keperluan. Rangkaian komparator hanya terdiri dari satu op-amp. Komparator digunakan untuk membandingkan tegangan keluaran pada sensor dengan tegangan pembanding sehingga dihasilkan sinyal digital. Sinyal digital digunakan sebagai masukan pada rangkaian mikrokontroler.

Prinsip kerja dari komparator adalah sebagai pembanding antara dua input dengan salah satu input dipakai sebagai acuan atau referensi. Apabila tegangan input lebih besar dari tegangan referensi (misal tegangan referensi di terminal *inverting*), maka nilai keluaran op-amp akan menjadi *high* (sebesar nilai + Vcc). Begitupun sebaliknya, jika tegangan input lebih kecil dibandingkan tegangan referensi, maka op-amp akan mengeluarkan tegangan *low* (- Vcc).



**Gambar 2.8.** Rangkaian komparator (google.com).

Titik perpindahan dari sebuah pembanding ialah harga tegangan masuk pada saat keluaran beralih keadaan (dari rendah ketinggi atau sebaliknya). Bila tegangan input lebih besar daripada tegangan accu, tegangan keluarannya tinggi, (Barmawi, 1985).

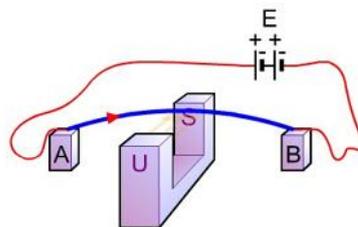
$$v_r = \frac{R_2}{R_2 + R_1} v_c \quad (9)$$

Jika  $R = R_1 = R_2$ , maka

$$v_r = \frac{1}{2} v_c \quad (10)$$

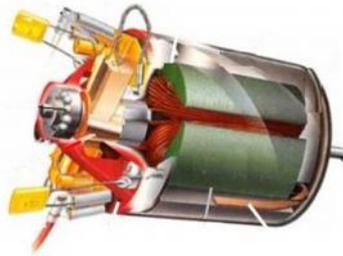
## I. Motor

Motor adalah sebuah alat yang mengubah energi listrik menjadi tenaga mekanik. Prinsip kerja dari motor listrik ini adalah menggunakan gaya lorentz, yaitu gaya yang membuat sebuah kawat yang dialiri listrik bergerak jika didekatkan dengan medan magnet yang homogen.



**Gambar 2.9.** Kawat yang dialiri listrik.

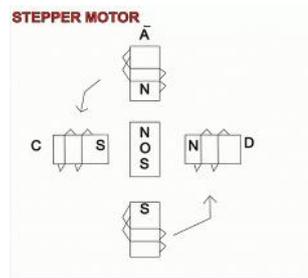
Pada Gambar 2.9, kawat akan melengkung jika dialiri listrik yang menimbulkan gaya Lorentz yang membuat kawat menjadi melengkung ke atas. Kemudian jika kawat yang dialiri listrik dibuat menjadi kumparan dan kumparan tersebut berada di dalam medan magnet yang homogen maka kumparan tadi akan berputar. Pada motor listrik bagian yang berputar disebut rotor dan bagian yang diam (statis) disebut stator, pada bagian rotor inilah terdapat kumparan yang mengakibatkan rotor berputar.



**Gambar 2.10.** Motor listrik.

Semakin banyak kumparannya maka semakin cepat putaran rotornya. Motor listrik dikelompokkan menjadi beberapa macam tergantung cara putar motornya diantaranya adalah motor servo, motor DC dan motor stepper (Primaja, 2010). Pada penelitian ini, penulis menggunakan motor stepper.

Motor stepper adalah motor yang arah putarnya per langkah atau "*step by step*". Untuk mengontrol ini dibutuhkan lebih dari 2 pin. Berbeda dengan motor DC, motor stepper ini pada bagian rotornya terdiri dari magnet yang solid sedangkan pada bagian statornya terdapat beberapa kumparan.



**Gambar 2.11.** Fase magnet motor stepper.  
(<http://www.123circuits.com/stepper.jpg>).



**Gambar 2.12.** Motor stepper (<http://image.made-in-china.com>).

Cara mengontrol motor stepper ini adalah dengan memberikan tegangan pada pin pin yang tersedia misalnya pada Gambar 2.11 adalah pada pin a, b, c dan d. Supaya motor stepper dapat berputar maka proses pemberian tegangan pada pin pin tersebut adalah secara bergantian. Perputaran motor stepper ini ada 2 jenis yaitu langkah penuh (*full step*) dan setengah langkah (*half step*) (Primaja, 2010).

### 1. *Fullstep*

Logika yang harus diberikan ke motor stepper supaya bisa berputar dengan mode *full step* seperti pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4.** Logika *full step* motor stepper.

No.	A	B	C	D
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	OFF	ON	OFF	OFF
3	OFF	OFF	ON	OFF
4	OFF	OFF	OFF	ON

## 2. *Half step*

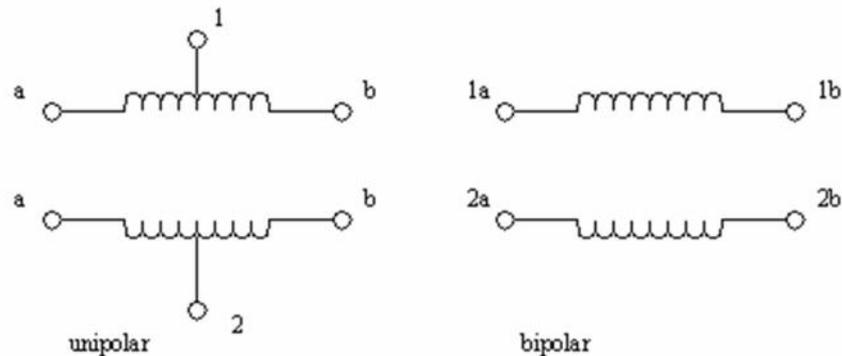
Logika yang harus diberikan ke motor stepper supaya bisa berputar dengan mode *half step* seperti pada Tabel 2.5.

**Tabel 2.5.** Logika *half step* motor stepper.

No.	A	B	C	D
1	ON	OFF	OFF	ON
2	ON	ON	OFF	OFF
3	OFF	ON	ON	OFF
4	OFF	OFF	ON	ON

Motor stepper hanya digunakan untuk aplikasi-aplikasi yang biasanya cukup menggunakan torsi yang kecil, seperti untuk penggerak piringan disket atau piringan CD. Motor stepper merupakan motor DC yang tidak memiliki komutator. Ada dua tipe motor stepper yaitu motor stepper bipolar dan uni-polar. Pada motor stepper uni-polar arus yang mengalir melalui koil hanya satu arah. Sedangkan pada motor stepper bipolar arus mengalir melalui koil dalam dua arah. Motor stepper unipolar dapat difungsikan untuk perputaran *half step* dan *full step*.

Sedangkan motor stepper bipolar hanya dapat difungsikan untuk perputaran *full step* saja (Zamora, 2005). Motor stepper tipe unipolar memiliki 5 atau 6 kabel/kaki motor sedangkan untuk jenis bipolar umumnya hanya memiliki 4 kable/kaki motor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 (Azikin, 2005).



**Gambar 2.13.** Kaki Motor stepper unipolar dan bipolar (www.plcer.net).

Motor stepper memiliki suatu cakupan luas tentang resolusi bersudut yaitu untuk motor stepper dengan besar sudut  $90^\circ$  untuk setiap langkahnya merupakan tipe motor stepper bipolar, sedangkan motor stepper unipolar mempunyai resolusi tinggi dengan rentang dari  $0,72^\circ$  sampai  $1,8^\circ$  dalam setiap langkah dengan suatu pengontrol yang sesuai, motor stepper yang memiliki magnet yang paling permanen dapat bergerak dalam *half step*, dan beberapa pengontrol mampu menangani langkah-langkah kecil atau langkah-langkah mikro (Sulaiman, 2003).

Untuk menjalankan dan menghentikan motor cukup dengan menerapkan pulsa digital yang hanya terdiri atas tegangan positif atau nol (*ground*) pada salah satu terminal lainnya dicatu dengan tegangan positif konstan pada bagian ditengahnya. Untuk motor stepper dengan lilitan bipolar, diperlukan sinyal pulsa yang berubah-ubah dari positif ke negative dan sebaliknya. Jadi pada setiap terminal lilitan (A dan B) harus dihubungkan dengan sinyal yang mengayun dari positif ke negative

dan sebaliknya. Karena dibutuhkan rangkaian pengendali yang agak lebih kompleks dari pada rangkaian pengendali untuk motor unipolar. Motor stepper bipolar memiliki keunggulan dibandingkan dengan motor stepper unipolar dalam hal torsi, lebih besar untuk ukuran yang sama (Mujiman, 2008).

Untuk menentukan besarnya ukuran pergerakan dari mekanika pemindai yaitu untuk satu putaran pada motor stepper, telah melakukan pengukuran menggunakan jangka sorong dengan nilai ketelitian 0,05 mm yaitu untuk 200 langkah pada motor stepper diperoleh jarak sebesar 4,7375 cm sehingga untuk satu langkah motor stepper dengan sudut  $1,8^\circ$  diperoleh jarak 0,0236875 cm (Pramono, 2009).

Motor stepper merupakan motor yang mengubah pulsa listrik yang diberikan menjadi gerakan rotor yang diskrit disebut step. Misalnya jika satu derajat per langkah (step) maka motor tersebut memerlukan 360 pulsa untuk bergerak sebanyak satu putaran (pada intinya motor stepper mengubah pulsa listrik menjadi suatu perpindahan gerak yang tertentu secara rotasi). Ukuran kerja dari stepper biasanya diberikan dalam jumlah langkah per putaran per detik (Anonymous A, 2010).

Karakteristik yang membedakan motor stepper dengan motor biasa, antara lain adalah:

- a. Motor stepper mempunyai torsi yang tinggi pada kecepatan putar yang rendah.
- b. Dalam keadaan diam kumparan tetap ada arus, sehingga rotor berada dalam keadaan mencengkeram.

- c. Motor stepper dapat dioperasikan dengan dengan ketepatan posisi yang tinggi untuk kecepatan yang rendah, sehingga tidak ada langkah yang hilang selama terjadi perputaran.
- d. Pengoperasian motor stepper kompatibel dengan teknik kontrol digital sehingga dapat dihubungkan dengan komputer.

(Johnson, 1998).

#### **J. Mikrokontroler AT8535**

Mikrokontroler adalah suatu keping IC dimana terdapat mikroprosesor dan memori program ROM (*Read Only Memory*) serta memori serba guna RAM (*Random Access Memory*), bahkan ada beberapa jenis mikrokontroler yang memiliki fasilitas ADC, PLL, EEPROM dalam satu kemasan. Penggunaan mikrokontroler dalam bidang kontrol sangat luas dan populer (Riantiningsih, 2009).

Atmel sebagai salah satu vendor yang mengembangkan dan memasarkan produk mikroelektronika telah menjadi suatu teknologi standard bagi para perancang sistem elektronika masa kini. Dengan perkembangan terakhir, yaitu generasi AVR (*Alf and Vegard's Risc Processor*), para perancang sistem elektronika telah diberi suatu teknologi yang memiliki kapabilitas yang amat maju, tetapi dengan biaya ekonomis.

Mikrokontroler AVR memiliki arsitektur RISC (*Reduce Instruction Set Computing*) 8 bit, dimana semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit (*16-bits word*) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 (satu) siklus *clock* (Iswanto, 2008). RISC adalah teknologi kombinasi antara *hardware* (perangkat

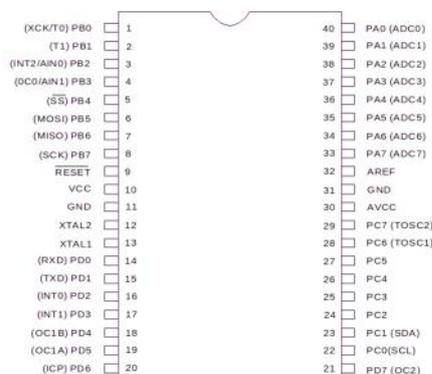
keras) dan *software* (perangkat lunak) pada mikrokontroler yang bertujuan untuk mempercepat mikrokontroler dalam melaksanakan suatu instruksi. Dalam RISC, suatu instruksi dibuat sederhana agar CPU dalam mikrokontroler dapat melaksanakan instruksi tersebut dengan hanya *1-clock oscillator*, yang berarti lebih cepat dan lebih efisien dibandingkan teknologi pendahulunya CISC (*Complex Instruction Set Computer*) (Anonimous B, 2010).

Mikrokontroler ATmega 8535 memiliki fitur-fitur utama, seperti berikut (Iswanto,2008) :

1. Saluran I/O sebanyak 32 buah yaitu port A, port B, port C dan port D.
2. ADC 10 bit sebanyak 8 saluran.
3. Tiga unit *Timer/Counter* dengan kemampuan perbandingan.
4. CPU yang terdiri atas 32 buah register.
5. *Watchdog Timer* dengan osilator *internal*.
6. SRAM sebesar 512 *byte*.
7. Memori *flash* sebesar 8 *kbyte* dengan kemampuan *read while write*.
8. Unit interupsi internal dan eksternal.
9. Port antarmuka SPI.
10. EEPROM sebesar 512 *byte* yang dapat diprogram saat operasi.
11. Antarmuka komparator analog.
12. Port USART untuk komunikasi serial.

AT8535 memiliki teknologi RISC dengan kecepatan maksimal 16 MHz membuat AT8535 lebih cepat dibandingkan dengan varian MCS51. Dengan varian yang

lengkap tersebut, membuat AT8535 sebagai mikrokontroler yang *powerfull* (Riantiningsih, 2009).



**Gambar 2.14.** Pinout mikrokontroler ATmega 8535

Konfigurasi pin ATmega 8535 seperti pada Gambar 2.14 adalah:

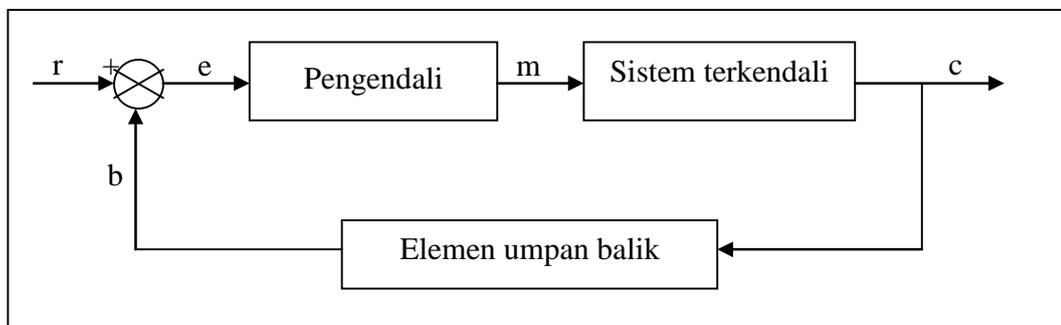
1. VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai pin masukan catu daya.
2. GND merupakan pin ground.
3. Port A (PA0...PA7) merupakan pin I/O dua arah dan pin masukan ADC.
4. Port B (PB0...PB7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus yaitu *Timer/Counter*, Komparator analog dan SPI.
5. Port C (PC0...PC7) merupakan pin I/O dua arah dan pin khusus yaitu TWI, Komparator analog dan *Timer oscillator*.
6. Port D (PD0...PD7) merupakan pin I/O dua arah dan pin khusus yaitu koparator analog, intrupsi eksternal dan komunikasi serial.
7. RESET merupakan pin yang digunakan untuk mereset mikrokontroler.
8. XTL1 dan XTL2 merupakan pin untuk masukan clock eksternal.
9. AVCC merupakan pin masukkan untuk tegangan ADC.
10. AREF merupakan pin masukkan tegangan referensi ADC.

(Riantiningsih, 2009).

## K. Sistem Pengendali

Sistem pengendali tidak terlepas dari kerja mekanik dan elektrik. Oleh karena itu, perlu dipelajari berbagai proses yang terjadi, seperti kendali loop tertutup dan kendali loop terbuka. Dengan demikian dapat diketahui gambaran kerjanya secara jelas.

Kendali loop tertutup merupakan sebuah sistem yang mengukur kesalahan, kemudian menggunakan kesalahan tersebut untuk membetulkan proses yang telah terjadi. Diagram blok kendali loop tertutup digambarkan seperti pada Gambar 2.15. Tanda panah menunjukkan arah aliran informasi. Di dalam berbagai sistem, informasi dikirim sebagai sinyal elektronik. Pada kenyataannya apa yang berada di dalam kotak-kotak bisa berupa sebuah perangkat lain seperti peralatan mesin, komputer, rangkaian elektronik dan sebagainya.



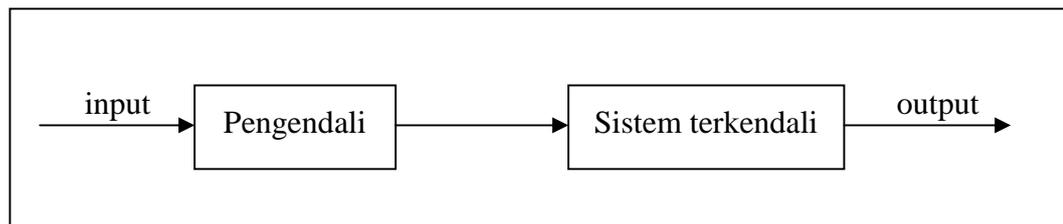
**Gambar 2.15.** Diagram blok untuk kendali loop tertutup.

Huruf  $r$  merupakan singkatan dari masukan referensi yang menentukan suatu nilai yang diharapkan bagi sistem yang dikendalikan tersebut. Lingkaran dengan silang di dalamnya disebut titik penjumlahan. Di dalam diagram Gambar 2.15 tampak bahwa terdapat dua sinyal yang masuk ke titik penjumlahan tersebut, yaitu sinyal  $r$  dan sinyal  $b$ . Huruf  $b$  adalah umpan balik dari keluaran. Keluaran dari titik

penjumlahan adalah sinyal kesalahan ( $e$ ). Nilai  $e$  adalah selisih dari  $r$  dan  $b$ . dengan kata lain, sinyal kesalahan  $e$  adalah perbedaan antara apa yang diinginkan dengan apa yang dihasilkan.

Kotak pengendali menerima sinyal kesalahan dan menghasilkan sinyal kontrol  $m$ . sistem pengendalian menjadi lengkap setelah sinyal keluaran  $c$  diumpankan kembali ketitik penjumlahan.

Gambaran sistem pengendalian sinyal terbuka diperlihatkan pada Gambar 2.16. Pengendalian loop terbuka lebih sederhana dan lebih murah, tetapi hanya sesuai untuk situasi dimana semua pengaruh dapat diperkirakan serta tidak tergantung dari faktor-faktor luar (Sugiri, 2006).



**Gambar 2.16.** Diagram blok untuk kendali terbuka