

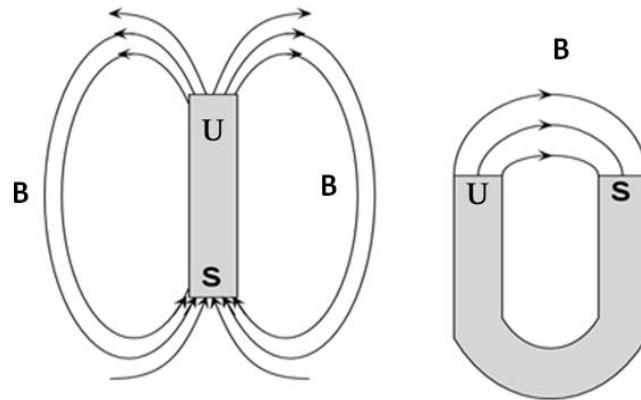
## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Kemagnetan

Magnet adalah benda yang dapat menarik suatu benda tertentu misalnya besi atau baja yang ada di dekatnya. Setiap magnet terdiri atas dua bagian yang mempunyai daya tarik terbesar. Pada magnet batang, daya tarik terbesar terdapat pada ujung-ujung magnet tersebut. Bagian magnet yang daya tariknya terbesar disebut kutub magnet. Oleh karena itu, setiap magnet mempunyai dua buah kutub yaitu kutub utara dan kutub selatan. Apabila kutub utara dengan kutub selatan didekatkan akan tarik-menarik, sedangkan kutub utara apabila didekatkan dengan kutub utara akan tolak-menolak. Kutub selatan apabila didekatkan dengan kutub selatan akan terjadi tolak-menolak. Atau dengan kata lain kutub senama tolak-menolak, tidak senama tarik-menarik.

Sifat kemagnetan suatu benda digolongkan menjadi dua golongan yaitu benda magnetik dan benda non magnetik. Benda magnetik yaitu benda-benda yang dapat ditarik oleh magnet sedangkan benda nonmagnetik yaitu benda-benda yang tidak dapat ditarik oleh magnet. Di dalam percobaan yang lebih teliti diperoleh penggolongan benda yang terdiri atas ferromagnetik, paramagnetik, dan diamagnetik. Ferromagnetik adalah benda yang ditarik kuat oleh magnet dan paramagnetik adalah benda yang ditarik lemah oleh magnet sedangkan diamagnetik adalah benda yang tidak dipengaruhi oleh magnet, contoh benda ferromagnetik antara lain besi, baja, nikel, kobalt dan berbagai logam campuran yang lain. Sedangkan contoh benda diamagnetik adalah bismut dan timah, aluminium, serta stainless (Ganawati, 2012).

Suatu magnet (misalnya magnet batang) akan menimbulkan medan magnet di sekitarnya. Arah garis magnetik ( $B$ ) adalah dari kutub utara ( $U$ ) menuju kutub selatan ( $S$ ) seperti pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Arah medan magnet

Yang dimaksud medan magnet ialah suatu daerah yang masih dipengaruhi oleh magnet. Semakin jauh kita berada dari magnet, semakin cepat gaya magnet tersebut menghilang. Dengan kata lain berbanding terbalik dengan kuadrat dari jaraknya. Untuk menyatakan adanya medan magnet selalu bergantung pada garis gaya. Semakin rapat garis gaya ini berarti semakin besar medan magnetnya (Daryanto, 2004).

Adanya medan magnet di dalam ruang dapat ditunjukkan dengan mengamati pengaruh yang ditimbulkan yaitu:

1. Bila di dalam ruang tersebut ditempatkan benda magnetik maka benda tersebut mengalami gaya.
2. Bila di ruang tersebut terdapat partikel bermuatan, maka partikel tersebut mengalami gaya.

Medan magnet merupakan besaran vektor, adapun kuat atau lemahnya medan magnet tersebut dipengaruhi oleh intensitas magnetik ( $\vec{H}$ ) dan induksi magnetik ( $\vec{B}$ ), hubungan antara intensitas magnetik dan induksi magnetik adalah sebagai berikut :

$$\vec{B} = \mu_o \vec{H} \quad \dots\dots\dots(1)$$

Di mana:

$\vec{B}$  = induksi magnetik, satuan dalam SI = Weber/m<sup>2</sup> atau Tesla

$\vec{H}$  = intensitas magnetik (Watt/m<sup>2</sup>)

$\mu_o$  = permeabilitas =  $4\pi \times 10^{-7}$  Wb/A.m (udara)

Sebagai contohnya pada selembar kertas atau di atas sebuah pelat gelas kita taburkan serbuk besi. Jika di sebelah pelat tadi ditempatkan sebuah magnet, maka serbuk besi tadi akan mendapat pengaruh medan magnet yang selanjutnya membentuk garis-garis gaya magnet (spektrum magnet). Dalam teori kemagnetan lukisan ini disebut spektrum magnet (Suryatmo, 1995).

### **B. Medan Magnet di Sekitar Kawat Berarus**

Medan magnet adalah daerah di sekitar magnet yang masih merasakan adanya gaya magnet. Jika sebatang magnet diletakkan dalam suatu ruang, maka terjadi perubahan dalam ruang ini yaitu dalam setiap titik dalam ruang akan terdapat medan magnetik. Arah medan magnetik di suatu titik didefinisikan sebagai arah yang ditunjukkan oleh kutub utara jarum kompas ketika ditempatkan pada titik tersebut. Pada tahun 1820, seorang profesor Denmark, Hans Christian Oersted (1777-1851) melalui suatu percobaan menemukan bahwa arus listrik (muatan yang

bergerak) dapat menimbulkan medan magnetik. Penemuan Oersted ini telah membuka wawasan baru mengenai hubungan listrik dan magnet, yaitu bahwa suatu muatan listrik dapat berinteraksi dengan magnet ketika muatan itu bergerak. Penemuan ini membangkitkan kembali teori tentang “muatan” magnet, yaitu bahwa magnet terdiri dari muatan listrik. Ampere mengusulkan bahwa sesungguhnya batang magnet yang statis (diam) itu terdiri dari muatan-muatan listrik yang senantiasa bergerak.

Selanjutnya dari hasil percobaan menggunakan kompas, dapat diketahui bahwa medan magnet melingkar disekitar kawat berarus dengan arah yang dapat kita tentukan dengan aturan tangan kanan. Caranya adalah, dengan menggenggam sebuah kawat menggunakan tangan kanan sedemikian rupa sehingga ibu jari diibaratkan menunjuk arah arus. Arah putaran genggam keempat jari menunjukkan arah medan magnet. Secara matematis, kuat medan magnet disuatu titik di sekitar kawat berarus listrik dapat dihitung dengan persamaan :

$$B_r = k \frac{I}{r} \dots\dots\dots(2)$$

Di mana :

$$k = 2 \times 10^{-7} \text{ NA}^{-2}$$

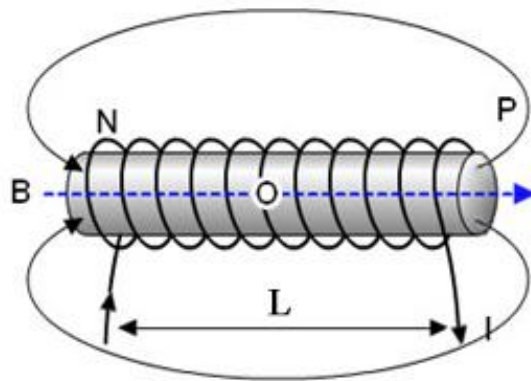
$B_r$  = Induksi magnetik pada titik r (Wb/m<sup>2</sup> =T)

I = Kuat arus listrik (Ampere)

r = Jarak dari arus listrik (Meter)

### **C. Solenoida**

Solenoida merupakan lilitan kawat yang dibentuk secara spiral sehingga berbentuk silinder. Dalam ilmu fisika dijelaskan bahwa setiap kawat konduktor yang dialiri oleh arus listrik maka akan menimbulkan medan magnet di sekitar kawat tersebut. Sama halnya yang terjadi ketika sebuah solenoida dialiri arus listrik maka akan menghasilkan medan magnet. Arah medan magnet yang ditimbulkan tergantung pada arah arus yang di alirkan. Arah medan magnet dapat ditentukan melalui kaidah tangan kanan. Medan magnet yang terdapat di dalam solenoida merupakan penjumlahan vektor. Semakin banyak jumlah lilitan maka semakin banyak medan magnet yang ditimbulkan. Arah arus listrik yang dialirkan pada kawat solenoida menentukan arah medan magnetnya, cara menentukan arah medan magnet pada solenoida dapat menggunakan kaidah tangan kanan.



**Gambar 2.** Arah medan magnet pada solenoida

Besarnya medan magnet pada titik O solenoida dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$B_o = \frac{\mu_o I N}{L} \dots\dots\dots(3)$$

Di mana :

$B_o = \text{medan magnet pada pusat solenoida (Tesla)}$

$\mu_o = \text{permeabilitas ruang udara} = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$

$I = \text{kuat arus listrik (Ampere)}$

$N = \text{jumlah lilitan dalam solenoida}$

$L = \text{panjang solenoida (Meter)}$

Sedangkan besarnya medan magnet pada titik P solenoida dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$B_p = \frac{1}{2} \frac{\mu_o I N}{L} \dots\dots\dots(4)$$

Di mana :

$B_p = \text{medan magnet pada ujung solenoida (Tesla)}$

$\mu_o = \text{permeabilitas ruang hampa} = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m (udara)}$

$I = \text{kuat arus listrik dalam ampere (Ampere)}$

$N = \text{jumlah lilitan dalam solenoida}$

$L = \text{panjang solenoida dalam meter (Meter)}$

#### **D. Medan Elektromagnetik**

Medan magnet, medan listrik dan medan elektromagnetik terjadi karena pergerakan arus listrik, sedangkan listrik statis hanya menghasilkan medan listrik. Selain itu, perubahan medan magnet juga dapat menghasilkan medan listrik. Medan magnet yang bergerak dapat menginduksi arus listrik bolak-balik (AC) dan sebaliknya arus listrik ini juga dapat menghasilkan medan magnet. Interaksi antara medan magnet dan medan listrik tersebut menghasilkan medan elektromagnetik.

Jadi, medan elektromagnetik dihasilkan oleh medan listrik dan medan magnet. Medan elektromagnetik dapat dihasilkan dari arus bolak-balik (AC). Medan listrik dihasilkan oleh muatan listrik yang muncul ketika potensial listrik muncul dan menginduksi arus listrik. Medan elektromagnetik dapat dibedakan berdasarkan frekuensi :

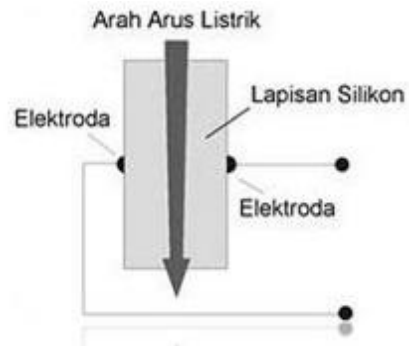
1. *Extremely Low Frequency* 50 Hz - 60 Hz, sumbernya antara lain aliran listrik pada kabel dan peralatan elektronik.
2. *Extremely Medium Frequency* 0 Hz - 300 Hz, sumbernya antara lain medan elektromagnetik alam, MRI, elektro industrial.
3. *Radio Frequency* 100 kHz – 300 GHz, sumbernya antara lain gelombang TV, radio dan *microwave oven*.
4. *Intermediate Frequency* 300 Hz – 300 GHz, sumbernya antara lain detektor metal, *hands free*.

Medan listrik berasal dari tegangan listrik dan dapat dihasilkan walaupun tidak terdapat tidak ada aliran listrik sehingga medan listrik tetap ada walaupun listrik dalam keadaan mati. Kekuatan medan listrik diukur berdasarkan satuan volt per ampere. Kekuatan medan listrik semakin lemah bila semakin jauh dari sumbernya dan kebanyakan material bangunan dapat menahan medan listrik dalam kekuatan tertentu. (Cheria, 2009)

## **E. Prinsip Kerja Sensor Efek Hall**

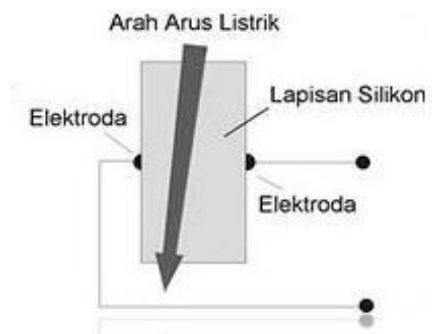
Sensor Efek Hall ini terdiri dari sebuah lapisan silikon yang berfungsi untuk mengalirkan arus listrik. Sensor Efek Hall tampak seperti pada Gambar 3 dan Gambar 4, hanya terdiri dari sebuah lapisan silikon dan dua buah elektroda pada masing-masing sisi dari lapisan silikon. Hal ini akan menghasilkan perbedaan tegangan ketika lapisan silikon ini dialiri arus listrik. Bila tidak ada medan magnet yang dideteksi maka arah arus listrik yang mengalir pada silikon tersebut akan

tepat di tengah lapisan silikon dan akan menghasilkan tegangan 0 Volt karena tidak ada beda tegangan antara elektroda sebelah kiri dan elektroda sebelah kanan.



**Gambar 3.** Arah arus listrik sensor efek hall tanpa pengaruh medan magnet

Bila terdapat medan magnet yang terdeteksi oleh sensor Efek Hall maka arah arus listrik yang mengalir pada lapisan silikon akan berbelok mendekati atau menjauhi sisi elektroda yang dipengaruhi oleh medan magnet.



**Gambar 4.** Arus listrik sensor efek hall ketika merespon medan magnet

Ketika arus yang melalui lapisan silikon tersebut mendekati sisi elektroda sebelah kiri maka akan terjadi beda potensial pada hasil keluarannya. Semakin besar kekuatan medan magnet yang dideteksi oleh sensor Efek Hall akan menyebabkan pembelokan arah arus listrik pada lapisan

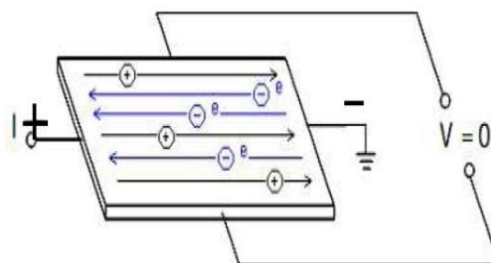


silikon tersebut juga akan semakin besar dan beda potensial yang dihasilkan di antara kedua sisi elektroda pada lapisan silikon sensor Efek Hall juga akan semakin besar.

Arah pembelokan arus listrik pada lapisan silikon ini dapat digunakan untuk mengetahui atau mengidentifikasi polaritas atau kutub medan magnet pada sensor Efek Hall. Sensor Efek Hall ini dapat bekerja jika hanya salah satu sisi elektroda pada sensor Efek Hall dipengaruhi oleh medan magnet. Jika kedua sisi silikon dipengaruhi oleh medan magnet maka arah arus listrik pada lapisan silikon tidak akan mengalami pembelokan.

#### **F. Sensor Medan Magnet Dengan Prinsip Efek Hall**

Efek Hall adalah suatu peristiwa berbeloknya aliran listrik (elektron) dalam pelat konduktor karena adanya pengaruh medan magnet, dan gaya Lorentz merupakan prinsip kerja dari sensor Efek Hall. Ketika sebuah penghantar konduktor berbentuk pelat yang dialiri arus listrik seperti pada Gambar 5, arus listrik tersebut menyebabkan muatan positif bergerak menuju kutub negatif dari sumber arus dan muatan negatif bergerak menuju kutub positif dari sumber arus. Pada Gambar 5 tersebut juga menunjukkan bahwa tegangan yang terdapat di antara kedua kutub tersebut adalah sebesar 0 Volt. Bila pelat penghantar diberi medan magnet seperti Gambar 6 yang arahnya tegak lurus ke arah dalam, maka muatan pada pelat akan mengalami Gaya Lorentz dan dapat dihitung menggunakan persamaan 5.



**Gambar 5.** Efek Hall pada pelat konduktor tanpa pengaruh medan magnet

$$F = qv \times B \quad \dots\dots\dots(5)$$

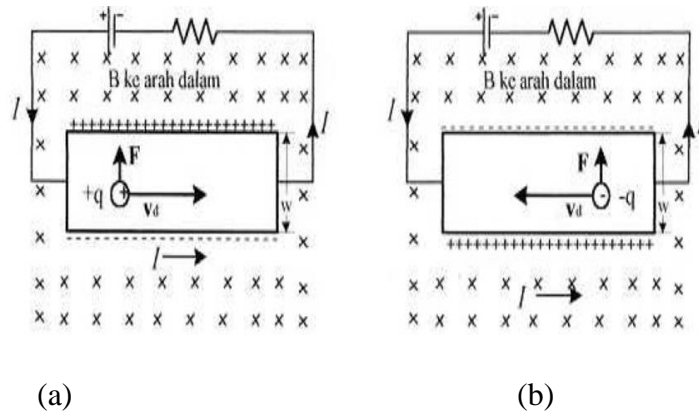
Di mana :

F = Gaya Lorentz (Newton)

q = besarnya muatan (Coulomb)

v = kecepatan elektron (Meter/second)

B = medan magnet (Tesla)



**Gambar 6.** Efek Hall pada pelat konduktor yang dipengaruhi medan magnet

Pada Gambar 6 (a) terlihat bahwa muatan positif mengalami Gaya Lorentz ke arah atas seolah-olah pada bagian atas pelat akan berjajar muatan positif (kutub positif) dan pada bagian bawah berkumpul muatan negatif (kutub negatif), sedangkan pada Gambar 6 (b) menunjukkan bahwa muatan negatif mengalami Gaya Lorentz ke arah atas dan seolah-olah muatan negatif berjajar di bagian atas pelat (kutub negatif) dan pada bagian bawah berkumpul muatan positif (kutub positif). Oleh karena itu akan timbul beda potensial pada penghantar. Besarnya beda potensial ini merupakan tegangan Hall ( $V_H$ ) dan nilai tegangan ini dinyatakan dengan :

$$V_H = K_H \frac{I_H B}{nqw} \dots\dots\dots(6)$$

Di mana :

$V_H$  = Tegangan Hall (Volt)

$K_H$  = Konstanta Hall

$I_H$  = Arus Listrik Pada pelat (Ampere)

$B$  = Medan Magnet (Tesla)

$n$  = densitas muatan

$q$  = besarnya muatan (Coulomb)

$w$  = tebal pelat penghantar (Meter)

Konstanta Hall pada setiap bahan akan berbeda termasuk pada perak dan wolfram, disebabkan karena jenis pembawa muatan yang berbeda, jika perak jenis pembawa muatannya adalah positif (*hole*) sedangkan wolfram jenis pembawa muatan negatif (elektron).

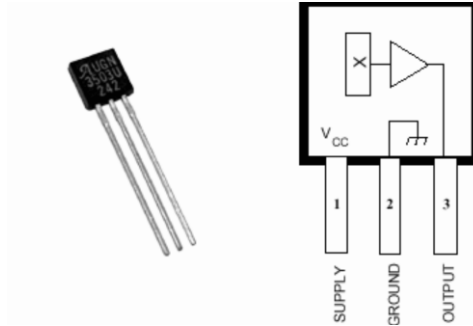
### **G. Sensor Efek Hall UGN3503**

Salah satu jenis dari sensor Efek Hall adalah UGN 3503. Sensor ini membutuhkan *supply* daya sebesar 4,5 Volt sampai dengan 6 Volt. Sensor UGN3503 ini mempunyai 3 buah pin yang tersusun seperti pada Gambar 7, dan setiap pin memiliki fungsi yang berbeda-beda yaitu :

Pin 1 : VCC, pin tegangan suplai

Pin 2 : GND, pin ground

Pin 3 : Vout, pin tegangan output.



**Gambar 7.** Blok diagram UGN 3503

Di dalam sensor ini sudah dibangun sebuah penguat *internal* yang memperkuat sinyal dari rangkaian sensor dan menghasilkan tegangan output setengah tegangan *supply*. Pada sensor ini jika mendapat pengaruh medan magnet dengan polaritas kutub utara maka akan menghasilkan pengurangan pada tegangan output sebaliknya jika terdapat pengaruh medan magnet dengan polaritas kutub selatan maka akan menghasilkan peningkatan tegangan pada outputnya. Sensor ini dapat merespon perubahan kekuatan medan magnet mulai kekuatan medan magnet yang statis maupun kekuatan medan magnet yang berubah-ubah.

## **H. Mikrokontroler ATmega8535**

AVR merupakan seri mikrokontroler CMOS 8-bit buatan Atmel, berbasis arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computer*). Hampir semua instruksi dieksekusi dalam satu siklus *clock*. AVR mempunyai 32 register *general-purpose*, *timer/counter* fleksibel dengan *mode compare*, *interrupt* internal dan eksternal, serial UART, *programmable Watchdog Timer*, dan *mode power saving*. Beberapa diantaranya mempunyai ADC dan PWM internal. AVR juga mempunyai *In System Programmable Flash on-chip* yang mengijinkan memori program untuk diprogram ulang dalam sistem menggunakan hubungan serial SPI. Chip AVR yang digunakan dalam penelitian

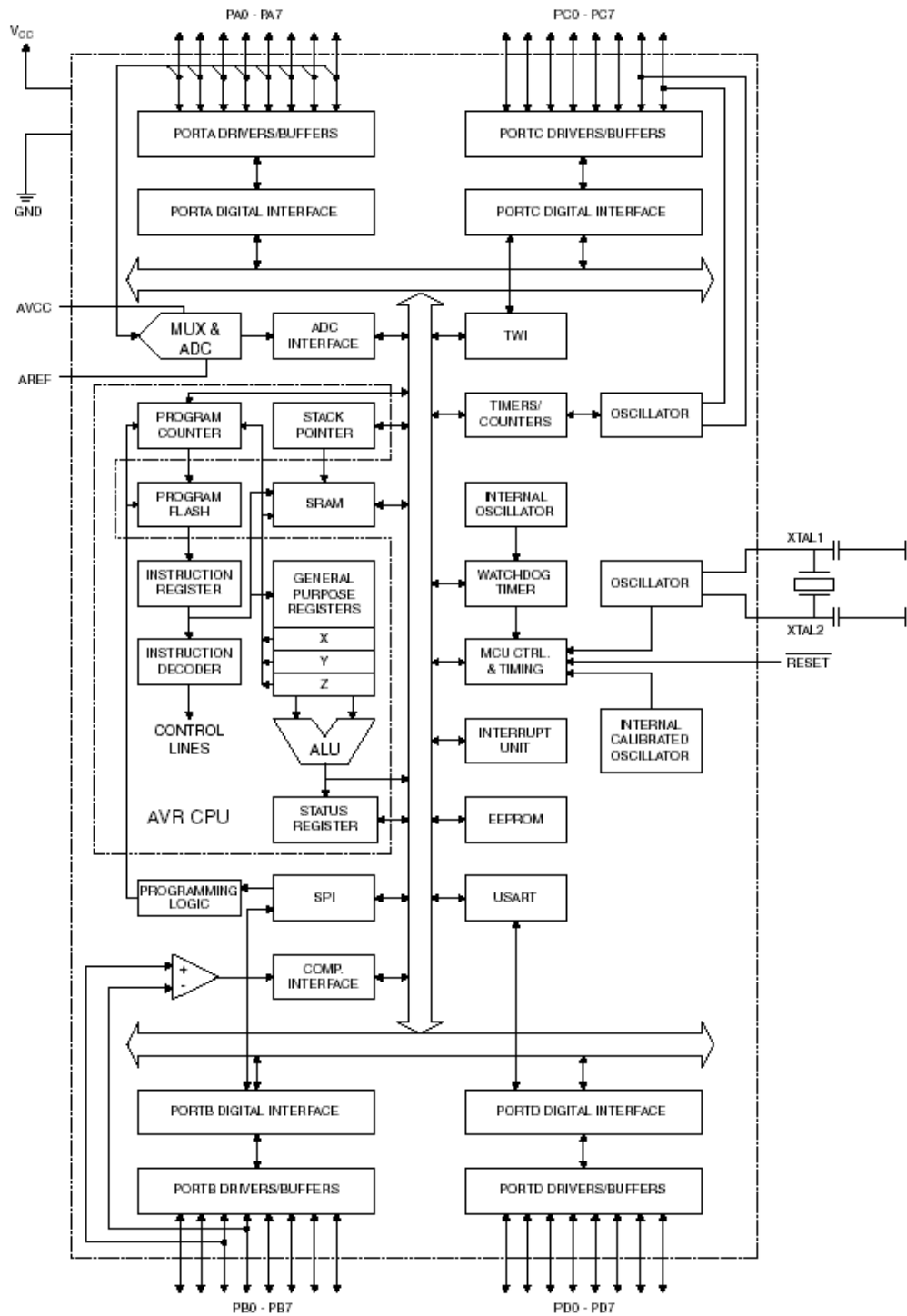
ini adalah ATmega8535. ATmega8535 adalah mikrokontroler CMOS 8-bit daya rendah berbasis arsitektur RISC yang ditingkatkan. Kebanyakan instruksi dikerjakan pada satu siklus *clock*, ATmega8535 mempunyai *throughput* mendekati 1 MIPS per MHz membuat desainer sistem untuk mengoptimasi konsumsi daya versus kecepatan proses. Secara umum AVR dikelompokkan menjadi 4 kelas yaitu :

- ATtiny
- ATmega
- AT90Sxx
- AT86RFxx

Perbedaan yang terdapat pada masing-masing kelas adalah kapasitas memori, *peripheral*, dan fungsinya. Dalam hal arsitektur maupun instruksinya, hampir tidak ada perbedaan sama sekali. Dalam hal ini ATmega8535 dapat beroperasi pada kecepatan maksimal 16MHz serta memiliki 6 pilihan mode sleep untuk menghemat penggunaan daya listrik. Secara garis besar, arsitektur mikrokontroler ATmega8535 terdiri dari :

- 32 saluran I/O (Port A, Port B, Port C, dan Port D)
- 10 bit 8 Channel ADC (*Analog to Digital Converter*)
- 4 channel PWM
- 6 Sleep Modes : *Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby and Extended Standby*
- 3 buah *timer/counter*
- *Analog comparator*
- *Watchdog timer dengan osilator internal*

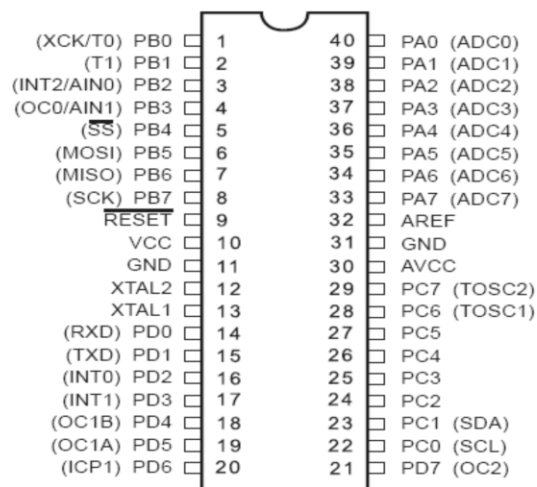
- 512 byte *SRAM*
- 512 byte *EEPROM*
- 8 kb *Flash memory dengan kemampuan Read While Write*
- *Unit interupsi (internal & eksternal)*
- Port antarmuka SPI8535 “*memory map*”
- Port USART untuk komunikasi serial dengan kecepatan maksimal 2,5Mbps
- 4.5 sampai 5.5V *operation*, 0 sampai 16MHz



**Gambar 8.** Arsitektur ATmega8535

Secara umum pinout ATMega8535 adalah sebagai berikut :

- VCC = pin masukan catu daya
- GND = pin *ground*
- Port A (PA0 – PA7) = pin I/O (*bidirectional*), pin ADC
- Port B (PB0 – PB7) = pin I/O (*bidirectional*), pin *timer/counter*, *analog comparator*, SPI
- Port C (PC0 – PC7) = pin I/O (*bidirectional*), TWI, *analog comparator*, *Timer Oscilator*
- Port D (PD0 – PD7) = pin I/O (*bidirectional*), *analog comparator*, *interupsi eksternal*,  
USART
- RESET = pin untuk me-reset mikrokontroler
- XTAL1 & XTAL2 = pin untuk *clock eksternal*
- AVCC = pin *input* tegangan ADC
- AREF = pin *input* tegangan referensi ADC

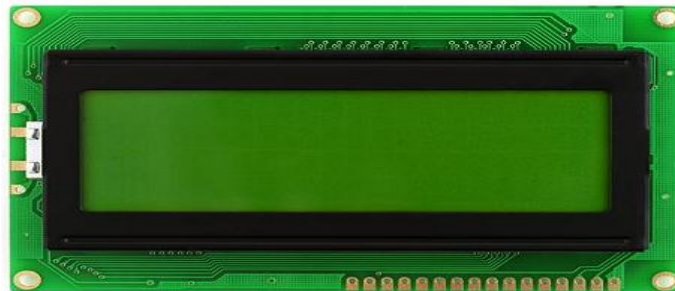


**Gambar 9.** Pinout ATMega8535 (Atmel 2010)



## I. LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD merupakan sebuah modul yang digunakan untuk menampilkan data, bentuk fisik dari LCD nampak seperti pada Gambar 10. Modul LCD tersebut banyak digunakan karena tidak terlalu sulit didapatkan di pasaran dan tampilannya cukup menarik. Salah satu jenis LCD adalah LM004L merupakan modul LCD dengan tampilan 20x4 (20 kolom x 4 baris) dengan konsumsi daya yang rendah. Modul LCD terdiri dari sejumlah *memory* yang digunakan untuk *display*. Semua teks yang kita tuliskan ke modul LCD disimpan didalam *memory* ini, dan modul LCD secara berturutan membaca *memory* ini untuk menampilkan teks ke modul LCD itu sendiri. Alamat awal karakter 00H dan alamat akhir 39H. Jadi, alamat awal di baris kedua dimulai dari 40H. Jika ingin meletakkan suatu karakter pada baris ke-2 kolom pertama, maka harus diset pada alamat 40H. Jadi meskipun LCD yg digunakan 2x16 atau 2x24 atau bahkan 2x40, maka penulisan programnya sama saja. Keterangan pin di modul LCD karakter 20x4 seperti pada tabel 1.



**Gambar 10.** Modul LCD karakter 20x4

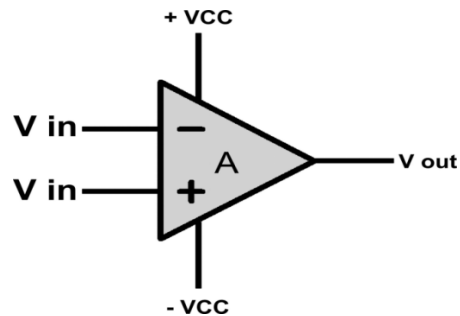
**Tabel 1.** Pin dan fungsi LCD

PIN	Name	Function
1	VSS	Ground Voltage
2	VCC	+5 Volt
3	VEE	Contrast Voltage
4	RS	Register 0 = Intruction Register I = Read Mode
5	R/W	Read/Write, to choose write or read mode 0 = write mode I = read mode
6	E	Enable 0 = Start to lacht data to LCD character I = Dissable
7-10	DB0-DB3	Data Bus 0-3
11-14	DB4-DB7	Data Bus 4-7
15	BPL	Black Plane Light
16	GND	Ground Voltage

#### **J. Penguat Operasional (*Op-Amp*)**

Dalam sistem kontrol sering kali keluaran dari sensor nilainya tidak sesuai dengan yang diharapkan. Oleh karena itu perlu adanya pengolah sinyal agar sinyal keluaran dari sensor dapat kita olah terlebih dahulu agar keluarannya seperti yang diharapkan. Penguat operasional atau sering disebut *Op-Amp* 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 dan dikemas dalam rangkaian terpadu (*integrated circuit*).

Simbol *Op-Amp* ditunjukkan pada Gambar 9. Dimana  $V_{in}$  merupakan masukan sinyal,  $V_{out}$  keluaran sinyal,  $A$  besar penguatan dan  $V_{CC}$  sumber tegangan.



**Gambar 11.** Simbol *Op-Amp*

Karakteristik *Op-Amp* yang ideal adalah kondisi *Op-Amp* yang sesuai dengan teori yaitu :

1. Faktor penguat tidak terhingga.
2. Tidak memiliki *offset*, 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 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 tinggi namun terbatas.
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, yang termasuk dalam penguat ini antara lain penguat non *inverting*, penguat *inverting*, penjumlah, penguat diferensial dan penguat instrumentasi. Sedangkan penguat tidak linier merupakan penguat yang bentuk sinyal keluarannya tidak sama dengan bentuk sinyal masukannya, diantaranya komparator, *integrator*, diferensiator, pengubah bentuk gelombang dan pembangkit gelombang. Untuk menangani penguatan dari sensor biasanya digunakan penguat linier yang tidak mengubah bentuk sinyal namun hanya memperkuat sinyal saja.

## **K. Uji Non Destruktif**

Uji non destruktif atau NDT (*Non Destructive Test*) merupakan sebuah metode yang digunakan untuk mengetahui kondisi suatu objek tanpa harus merusak objek tersebut. Uji non destruktif yang umum digunakan adalah sebagai berikut :

### a. *Visual and Optical Testing (VT)*

Metode ini dilakukan dengan cara melihat benda yang diuji menggunakan mata untuk mengetahui apakah terjadi kesalahan atau kerusakan pada benda tersebut. Metode ini juga dapat dilakukan dengan menggunakan alat bantu berupa kamera dan perlengkapan komputer untuk membantu penglihatan dan menjangkau tempat-tempat yang sulit dilihat secara langsung.

b. *Ultrasonic Testing (UT)*

Metode ini dilakukan dengan menggunakan bantuan gelombang suara berfrekuensi tinggi yang ditransmisikan pada benda uji untuk mendeteksi kerusakan pada benda tersebut. Teknik pengujian yang paling umum digunakan adalah *pulse-echo*, dimana suara ditembakkan ke dalam benda uji dan refleksi (*echo*) dari ketidaksempurnaan *internal* atau permukaan geometris akan dipantulkan kembali ke *receiver*.

c. *Magnetic Particle Testing (MT)*

Metode ini dilakukan dengan menginduksi medan magnet pada benda uji yang bersifat *ferromagnetic* dan kemudian menaburkan partikel besi pada permukaan uji (partikel kering atau dilarutkan dalam cairan). Cacat pada permukaan dan dekat-permukaan (*subsurface*) akan mengganggu aliran medan magnet di dalam benda uji dan mengakibatkan beberapa garis magnet bocor keluar di permukaan. Partikel besi akan tertarik dan terkonsentrasi di lokasi kebocoran fluks magnet. Hal ini menghasilkan indikasi cacat pada permukaan material.

d. *Electromagnetic Testing (ET)*

Ada beberapa metode pengujian elektromagnetik contohnya adalah pengujian arus *eddy*. Dalam pengujianya, arus listrik dihasilkan dalam material uji akibat perubahan medan magnet.

Kekuatan arus *eddy* ini dapat diukur. Cacat pada benda uji menyebabkan interupsi pada aliran arus *eddy*, interupsi inilah yang diamati oleh Inspektor sebagai indikasi adanya cacat atau perubahan lainnya pada benda uji. Arus *eddy* juga dipengaruhi oleh konduktifitas elektrik dan sifat permeabilitas dari benda uji.