II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Medan Magnet

Medan magnet adalah medan gaya yang konservatif, sebagaimana usaha oleh muatan magnet yang bergerak dari satu titik ke titik lainnya tak tergantung lintasan yang ditempuhnya, khususnya usaha dari satu titik kembali ke titik itu lagi adalah nol. Menurut hasil tersebut, usaha sepanjang garis gaya sekeliling arus listrik tidaklah nol melainkan sama dengan arus yang dikelilinginya. Hal ini tentu disebabkan oleh sifat rotasional garis gaya medan magnet arus listrik. Namun demikian, menurut Ampere, karena sifat konservatif medan magnet, usaha dari satu titik ke titik itu lagi, meskipun tidak sepanjang garis gaya, akan sama dengan arus yang dikelilinginya (Soedojo, 2000).

Medan magnet dapat dihasilkan tidak hanya oleh sebatang magnet alami, namun juga dapat dihasilkan dari listrik, hal ini ternyata karena sebuah muatan yang bergerak akan menghasilkan medan magnet di sekitarnya. Gejala ini pertama kali ditemukan oleh Oersted ketika secara tak sengaja mengamati penyimpangan jarum kompas karena kawat berarus listrik di dekatnya. Oersted mengamati bahwa jika arus listrik berarah ke kanan, maka kutub utara kompas akan bergerak menjauhi kawat (Ishaq, 2007).

Medan magnet dapat dihasilkan dari suatu muatan listrik q yang bergerak dengan kecepatan v. Medan magnet yang dihasilkan pada jarak r dari muatan bergerak q adalah sebesar :

$$B_r = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q(v\times\hat{r})}{r^2} \qquad (2.1)$$

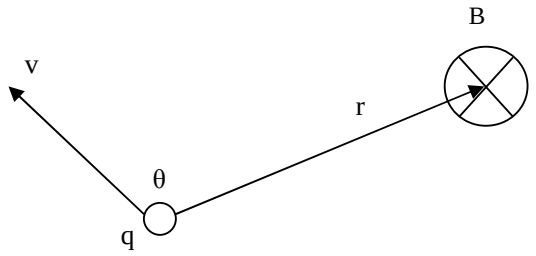
Dimana :

B_r : medan magnet yang dihasilkan (Tesla)

μ_0 : konstanta permeabilitas udara yang besarnya $4\pi \times 10^{-7}\ N/A^2$

r : jarak dari muatan terhadap titik di mana medan magnet diukur (meter)

$\hat{r}$: vektor satuan arah tegak lurus permukaan perkalian vektor v dan r



Gambar 2.1. Arah medan magnet yang dihasilkan dari sebuah muatan listrik yang bergerak

Karena medan magnet dapat timbul pada muatan yang bergerak, maka dapat dipastikan bahwa kawat berarus listrik akan menimbulkan medan magnet, hal ini karena arus merupakan muatan listrik yang bergerak. Arah dari medan magnet dapat dilihat melalui aturan-tangan-kanan. Aturan-tangan-kanan berarti : jika empat jari tangan kanan kita mengepal dan dengan ibu jari menunjukkan arah arus listrik pada kawat, maka keempat jari yang mengepal tersebut menunjukkan arah medan magnet di sekitar kawat berarus (Ishaq, 2007).

Kuat medan magnet arus listrik merupakan jumlah dari kontribusi masing-masing bagian atau elemen panjang arus listrik itu. Biot-Savart berpendapat bahwa kuat medan magnet itu berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya dari elemen arus dengan arah menyilang tegak lurus arah elemen tersebut. Kecuali sebanding dengan panjang elemen arus sebagaimana kelihatan dari tempat mana kuat medan magnet itu (Soedojo,2000).

Berdasarkan sifat kemagnetannya magnet dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu:

1. Magnet permanen.

   Magnet permanen adalah suatu bahan yang dapat menghasilkan medan magnet yang besarnya tetap tanpa adanya pengaruh dari luar atau disebut magnet alam karena memiliki sifat kemagnetan yang tetap. Magnet permanen dibuat orang dalam berbagai bentuk dan dapat dibedakan menurut bentuknya menjadi :

   a. Magnet batang
   b. Magnet ladam (sepatu kuda)
   c. Magnet jarum
   d. Magnet silinder
   e. Magnet lingkaran

2. Magnet sementara

   Magnet sementara adalah suatu bahan yang hanya dapat menghasilkan medan magnet yang bersifat sementara. Medan magnet sementara dihasilkan dengan cara mengalirkan arus listrik atau digosok-gosokkan dengan magnet alam. Bila suatu bahan pengantar dialiri arus listrik,

besarnya medan magnet yang dihasilkan tergantung pada besar arus listrik yang dialirkan. Medan magnet sementara yang digunakan dalam praktek kebanyakan dihasilkan oleh arus dalam kumparan yang berinti besi. Agar medan magnet yang dihasilkan cukup kuat, kumparan diisi dengan besi atau bahan sejenis besi dan sistem ini dinamakan elektromagnet. Keuntungan elektromagnet adalah bahwa kemagnetannya dapat dibuat sangat kuat, tergantung dengan arus yang dialirkan. Dan kemagnetannya dapat dihilangkan dengan memutuskan arus listriknya.

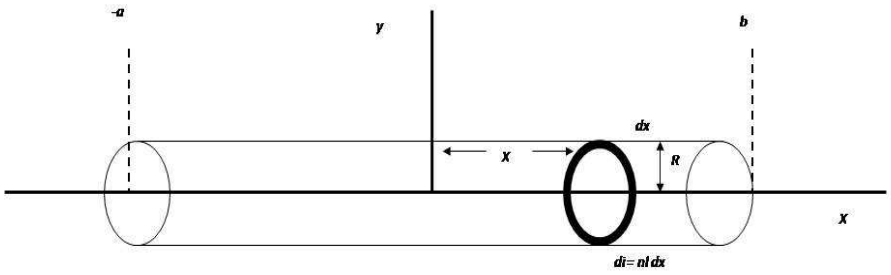
B. Induktor

1. Solenoida Biasa

Solenoida adalah induktor yag terdiri dari gulungan kawat yang kadang di dalamnya dimasukkan sebuah batang besi berbentuk silinder dengan tujuan memperkuat medan magnet yang dihasilkan (Ishaq, 2007). Solenoida merupakan kawat berbahan konduktor yang disusun sehingga membentuk kumparan (koil) dan dapat dialiri arus listrik. Kuat medan magnet di dalam (sumbu) solenoida jauh lebih besar bila dibanding dengan di luar solenoida. Solenoida disebut ideal bila medan magnet di dalam solenoida bersifat homogen dan di luarnya nol (Jati dan Priyambodo, 2010).

Solenoida digunakan untuk menghasilkan medan magnetik kuat, seragam dalam daerah yang dikelilingi oleh simpalnya. Perannya dalam magnetisme analog dengan kapasitor keping sejajar dalam elektrostatik, dalam hal bahwa kapasitor itu menghasilkan medan listrik yang kuat di antara platnya. Solenoida yang digulung

rapat dapat dianggap sebagai sederetan kawat berarus melingkar yang ditempatkan berdampingan dan membawa arus yang sama. Medan magnetik solenoida pada dasarnya adalah medan magnetik dari sederetan N lilitan arus identik yang ditempatkan berdampingan (Tipler, 1996). Sehingga di dalam solenoida, garis-garis medan magnet ini hampir sejajar dengan sumbunya dan tersusun rapat, hal ini menandakan medan magnet yang dihasilkan kuat dan seragam. Sedangkan diluar solenoida dihasilkan garis-garis medan magnet yang kurang rapat, garis-garis ini memancar dari satu ujung dan mengumpul pada ujung lain. Hal ini menandakan medan magnet yang dihasilkan lemah (Young dan Freedman, 1999).



Gambar 2.2. Geometri untuk menghitung medan magnetik di dalam solenoida pada sumbunya

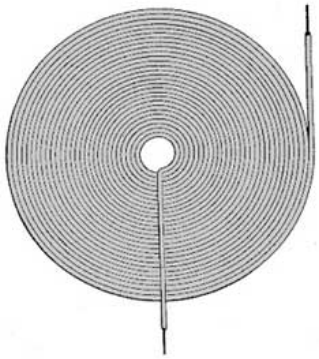
Pada Gambar 2.2 jika titik asalnya berada di salah satu ujung solenoid, a ataupun b akan sama dengan nol. Dengan demikian, jika ujung lainnya itu relative jauh dibandingkan dengan jari-jarinya, satu dari suku di dalam tanda kurung pada persamaan $B = \frac{1}{2}\mu_0 nI\left(\frac{b}{\sqrt{b^2+R^2}} + \frac{a}{\sqrt{a^2+R^2}}\right)$ sama dengan nol dan yang lainnya sama dengan 1, sehingga $B \approx \mu_0 nI$. Dengan demikian, besaran **B** di suatu titik di dekat salah satu ujung solenoida panjang adalah kira-kira setengah besarannya di titik-titik di dalam solenoida yang jauh dari ujungnya.

2.Koil Datar

Sensor kumparan induksi (disebut juga sensor koil, antena magnetik) adalah salah satu sensor magnetik yang terlama dan dikenal baik. Hasil fungsi transfer *V= f(B)* dari hukum induksi Faraday saperti berikut :

$$V = -n.\frac{d\Phi}{dt} = -n.A.\frac{dB}{dt} = -\mu_0.n.A.\frac{dH}{dt} \quad (2.2)$$

Dimana Φ adalah fluks magnet yang melewati kumparan dengan luas A dan jumlah putaran n. Prinsip operasi dari sensor koil umumnya diketahui, namun dengan rincian dan sebagaimana yang telah diketahui hanya untuk spesialisasi. Contohnya, sinyal output yang diketahui berupa sinyal output (V), sebuah sensor koil tergantung pada tingkat perubahan kerapatan fluks (dB/dt), sehingga penerapan pada integrasi diperlukan. Meskipun demikian, ada beberapa metode yang digunakan, memungkinkan mendapatkan hasil proporsional dari kerapatan fluks (B). Secara luas diketahui bahan sensitivitas kumparan harus memiliki sejumlah besar area yang aktif dan bergantian. Namun, proses optimasi kinerja koil diragukan karena banyaknya kasus.



Gambar 2.3. Elemen koil datar

Gambar 2.3 menunjukkan perkembangan elemen koil datar. Prinsip fisika dari koil datar berdasarkan pada arus eddy. Induktansi koil datar berubah karena gangguan dari material konduktif dalam medan magnetik sehingga menghasilkan pusaran arus. Suatu cincin dengan sumbu yang sama diganti setiap putaran gulungan dengan radius mendekati radius dari putaran yang sama.

Medan magnetik disekitar koil datar akan timbul ketika suatu aliran arus listrik melewatinya. Gaya magnetik pada suatu koil datar ini disebabkan karena elektron pada gaya ini berpindah lagi dan menghasilkan arus induktansi. Arus induktansi menghasilkan medan induktansi magnetik disekitar material konduktor dan dipengaruhi oleh sumber medan magnetik, sehingga total medan magnetik dipengaruhi oleh sumber medan magnetik (induktansi diri) dan medan induktansi magnetik (induktansi bersama) (Djamal dkk,2011). Dalam kasus dengan sampel terbatas, koil dengan diameter kecil akan meningkatkan konsentrasi melalui penurunan volume yang dibutuhkan untuk mengisi kumparan (Rainey, 2007).

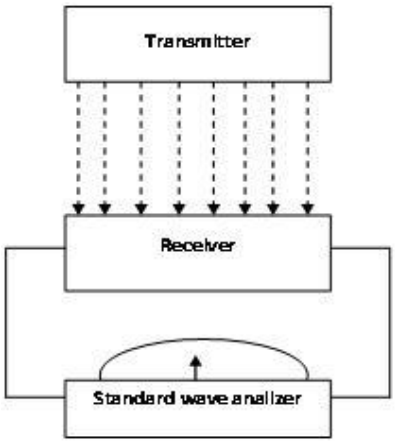
C. Detektor

Detektor adalah alat yang bekerja dengan getaran magnetik secara otomatis yang digunakan untuk mengetahui atau menemukan adanya benda logam, gelombang radio dan untuk mencatat perubahan suhu atau tekanan udara setempat. Secara umum detektor dibagi menjadi dua yaitu deteksi dengan kontak langsung dan deteksi dengan tidak kontak langsung. Beberapa detektor yang termasuk dalam jenis deteksi dengan tidak kontak langsung adalah *photoelectric, proximity* dan *ultrasonic*. *Proximity* memiliki dua tipe yaitu *Inductive Proximity* dan *Capacitive Proximity*. *Inductive Proximity* bekerja berdasarkan perubahan induktansi apabila

ada obyek metal yang berada dalam daerah kerjanya dan hanya dapat mendeteksi benda yang terbuat dari metal dengan jarak deteksi tertentu dari sensor.

Detektor logam adalah sebuah alat yang berfungsi sebagai pendeteksi setiap keberadaan logam-lagam. Detektor logam akan berkerja atau mengindikasi apabila terdapat logam yang melewati sensor. Sensor yang digunakan adalah sepasang koil yang berperan sebagai generator coil (Transmiter) dan receiver koil. Alat ini juga dilngkapi dengan aksesoris-aksesoris sebagai indikator keberadaan logam yang terdeteksi oleh sensor tersebut. Aplikasi detektor logam yaitu untuk membantu dalam *deteksi* dari *ranjau darat*, senjata seperti pisau atau senjata di bandara, dalam harta berburu atau dalam *arkeologi*, *dan* membantu dalam mendeteksi benda asing dalam makanan. Beberapa faktor yang mempengaruhi sensitivitas detektor logam adalah efek produk, ukuran dan jenis kontaminan logam, dan logam detektor ukuran gawang/*aperture*.

Prinsip kerja metal detektor adalah gelombang elektromagnet yang membentuk medan elektromagnet pada satu atau beberapa koil. Ada beberapa buah koil yang dimanfaatkan sebagai pemancar gelombang dan penerima gelombang, dimana pada kondisi standart, gelombang yang diterima mempunyai standart tertentu dan ini yang biasa disebut "*balance*" pada detektor logam. Deskripsi tersebut bisa ditunjukkan seperti Gambar 2.4.



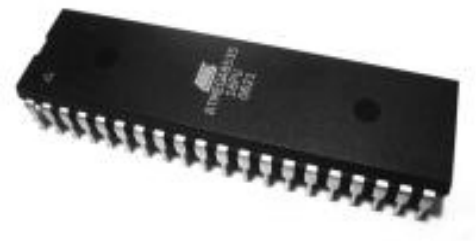
Gambar 2.4. Prinsip Kerja Metal Detektor

Jika benda logam melewati detektor logam, maka gelombang yang ada menjadi terganggu dan *standart wave analyzer* akan memberitahukan bahwa ada ketidak seimbangan gelombang. Detektor logam memberitahu kita bahwa ada benda bersifat logam yang lewat. Untuk logam yang mempunyai sifat magnetik metal, medan elektromagnet yang diterima receiver akan bertambah. Sedangkan logam yang bersifat non magnetik metal, maka medan elektromagnet yang diterima receiver akan berkurang.

D. Mikrokontroler AVR ATMEGA8535

Mikrokontroler AVR ATMega8535 AVR merupakan seri mikrokontroler CMOS 8-bit buatan Atmel, berbasis arsitektur RISC (Reduced Instruction Set Computer) yang ditingkatkan (Saputra, 2010). Dimana semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit (16-bits word) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 siklus *clock* (Gambar 2.5), berbeda dengan instruksi MCS 51 yang membutuhkan 12 siklus *clock*. Tentu saja itu terjadi karena kedua jenis mikrokontroler tersebut memiliki arsitektur yang berbeda. AVR berteknologi RISC (*Reduced Instruction Set*

Computing), sedangkan seri MCS 51 berteknologi CISC (*Complex Instruction Set Computing*) (Budiharto dan Rizal. 2007).



Gambar 2.5. Mikrokontroler AVR ATMega8535.

Secara umum, AVR dapat dikelompokan menjadi 4 kelas, yaitu keluarga ATtiny, keluarga AT90Sxx, keluarga ATMega dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, peripheral, dan fungsinya. Perbedaannya hanya pada fasilitas dan I/O yang tersedia serta fasilitas lain seperti ADC, dan lain sebagainya. Salah satu contohnya adalah AVR ATMega8535.

1. Spesifikasi Mikrokontroler ATmega8535

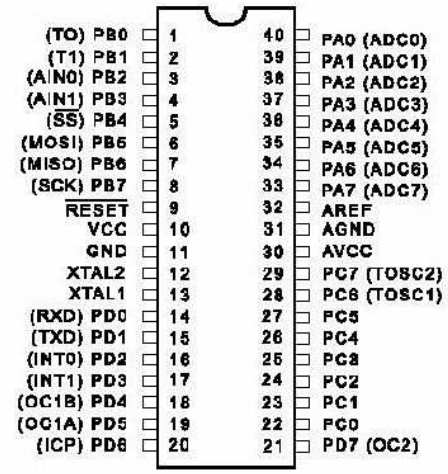
Spesifikasi sebuah mikrokontroler Atmega8535 adalah seperti berikut:

1) Saluran I/O sebanyak 32 buah, yaitu port A, port B, port C, dan port D.
2) Kecepatan maksimal 16 MHz
3) ADC (Analog to Digital Converter) 10 bit sebanyak 8 channel
4) Tiga buah Timer/counter dengan kemampuan membandingkan
5) CPU yang terdiri dari 32 buah register.
6) Watchdog Timer dengan isolator internal
7) SRAM sebesar 512 byte.
8) Memori Flash sebesar 8Kb dengan kemampuan Read While Write.

9) Unit interupsi internal dan eksternal.
10) Port antarmuka SPI.
11) EEPROM sebesar 512 byte yang dapat diprogram saat operasi.
12) Antarmuka komparator analog.
13) Port USART untuk komunikasi serial

2. Penjelasan Fungsi Pin Mikrokontroller AVR ATMEGA8535

Mikrokontroller ini memiliki 40 konfigurasi pin seperti digambarkan pada Gambar 2.6. Fungsi dari tiap-tiap pin dapat dikelompokkan menjadi sumber tegangan, kristal, kontrol dan input-output. Disamping itu Mikrokontroler ini dapat ditambahkan sebuah minimum memori eksternal atau komponen eksternal lain. Dari kedelapan *line* dapat digunakan sebagai suatu unit yang berhubungan ke perangkat parallel seperti printer, pengubah digital ke analog, dan sebagainya, atau tiap *line* dapat mengoperasikan sendiri ke perangkat single bit seperti saklar, LED, transistor, solenoid, motor, dan speaker.



Gambar 2.6 .Konfigurasi Kaki IC Mikrokontroler AVR ATMEGA8535 (Winoto, 2008)

Berikut adalah penjelasan fungsi tiap kaki yang biasa ada pada seri mikrokontroler AVR Atmega8535 yaitu :

a. Pin 1 sampai 8

Ini adalah port B yang merupakan 8-bit port I/O. Setiap pinnya dapat menyediakan member arus 20mA dan dapat mengendalikan display LED secara langsung. *Data Direction Register port B* (DDRB) harus disetting terlebih dahulu sebelum port B digunakan. Bit – bit DDRB diisi 0 jika ingin memfungsikan pin – pin port B yang bersesuaian sebagai input, atau diisi 1 jika sebagai output. Pin- pin port B juga memiliki untuk fungsi -fungsi alternatif khusus seperti yang terdapat dalam tabel berikut :

Tabel 2.1. Fungsi – fungsi Alternatif port B

Port pin	Fungsi Alternatif
PB0	T0 = timer/counter 0 external counter input
PB1	T1 = timer/counter 0 external counter input
PB2	AIN0 = analog comperator positif input
PB3	AIN1 = Analog comperator negative input
PB4	SS = SPI slave input
PB5	MOSI = SPI bus master output/ slave input
PB6	MISO = SPI bus master input / slave output
PB7	SCK = SPI bus serial clock

b. Pin 9

Merupakan masukan reset (aktif tinggi), pulsa transisi dari rendah ke tinggi akan me-reset Mikrokontroler ini.

c. Pin 10

Merupakan positif sumber tegangan yang diberi symbol VCC.

d. Pin 11

Merupakan *ground* sumber tegangan yang diberi simbol GND.

e. Pin 12 dan 13

Ini merupakan masukan ke penguat osilator berpenguat tinggi. Pada Mikrokontroler in memiliki seluruh rangkaian osilator yang diperlukan pada serpih yang sama (*on chip*) kecuali rangkaian kristal yang mengendalikan frekuensi osilator. Karenanya 18 dan 19 sangat diperlukan untuk dihubungkan dengan kristal. Selain itu XTAL 1 dapat juga sebagai input untuk inverting osilator amplifier dan input ke rangkaian internal clock sedangkan XTAL 2 merupakan *output* dari *inverting oscillator amplifier*. Pin ini juga sebagai masukan clock eksternal. Suatu untuk mengeksekusi instruksi yang ada di memori. Semakin tinggi nilai kristalnya, maka semakin cepat mikrokontroler tersebut.

f. Pin 14 sampai 21

Ini adalah port D yang merupakan 8-bit port I/O. Setiap pinnya dapat menyediakan member arus 20mA dan dapat mengendalikan display LED secara langsung. Data Direction Register port D (DDRD) harus disetting terlebih dahulu sebelum port D digunakan. Bit – bit DDRD diisi 0 jika ingin memfungsikan pin – pin port B yang bersesuaian sebagai input, atau diisi 1 jika sebagai output. Pin- pin port B juga memiliki fungsi -fungsi alternatif khusus seperti yang terdapat pada Tabel 2 :

Tabel 2.2. Fungsi – fungsi Alternatif port D

Port Pin	Fungsi Alternatif
PD1	RDX (UART input line)
PD2	TDX (UART output line)
PD3	INT0 (external interrupt 0 input)
PD4	INT1 (external interrupt 1 input)
PD5	OC1B (Timer / counter1 output compareB match output)
PD6	OC1A (Timer / counter1 output compareA match output)

PD7	ICP (Timer / counter1 input capture pin)
PD8	OC2 (Timer / Counter2 output compare match output)

g. Pin 22 sampai 29

Ini adalah port C yang merupakan 8-bit port I/O. Setiap pinnya dapat menyediakan memberi arus 20mA dan dapat mengendalikan display LED secara langsung. Data Direction Register port C (DDRC) harus disetting terlebih dahulu sebelum port C digunakan. Bit– bit DDRC diisi 0 jika ingin memfungsikan pin – pin port C yang bersesuaian sebagai input, atau diisi 1 jika sebagai output. Selain itu, dua pin port C (PC6 dan PC7) juga memiliki fungsi *alternative* sebagai oscillator untuk timer / counter 2.

h. Pin 30

Merupakan masukan tegangan untuk ADC.

i. Pin 31

Merupakan *ground* sumber tegangan yang diberi simbol GND sama dengan pin 11.

j. Pin 32

Adalah AREF yang merupakan masukan referensi bagi A/D converter. Untuk operasionalisasi ADC, suatu level tegangan antara AGDN dan Avcc.

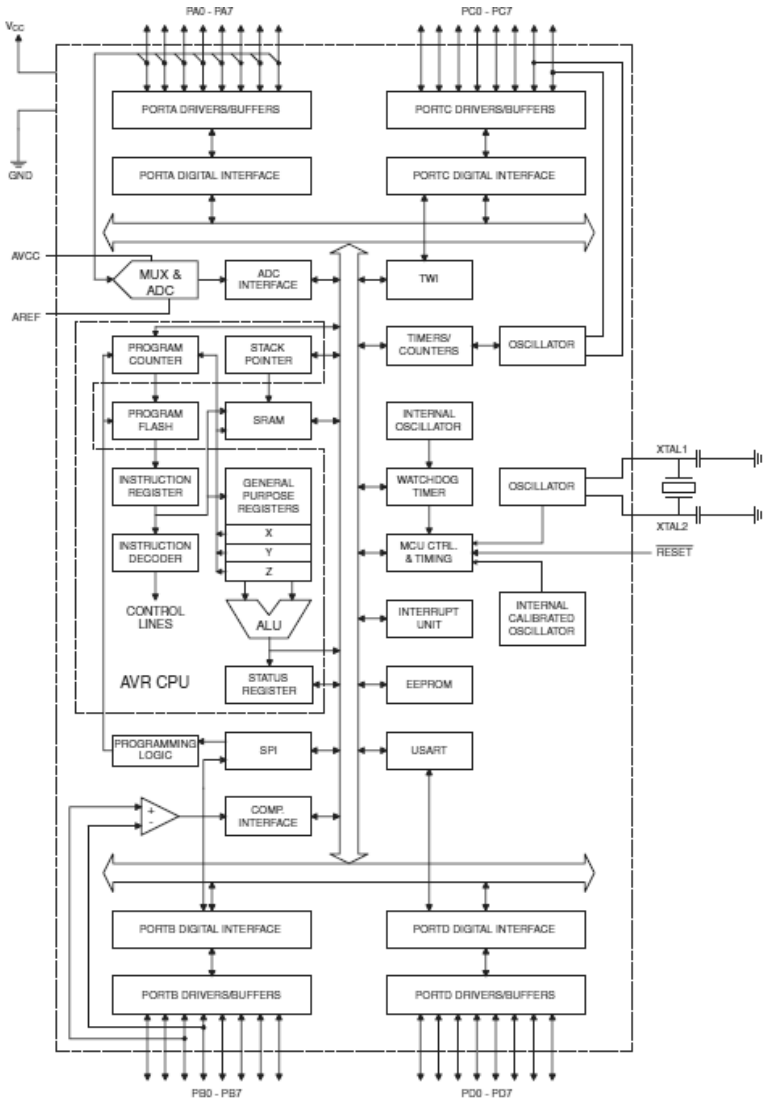
k. Pin 33 sampai 40

Ini adalah port A yang merupakan 8-bit port I/O. Setiap pinnya dapat menyediakan internal pull-up resistor (dapat diatur per bit). Output buffer port A dapat memberi arus 20mA dan dapat mengendalikan display LED secara langsung. Data Direction Register port A (DDRA) harus disetting terlebih dahulu sebelum port A digunakan. Bit – bit DDRA diisi 0 jika ingin

memfungsikan pin – pin port A yang bersesuaian sebagai input, atau diisi 1 jika sebagai output. Selain itu, kedelapan pin port A juga merupakan untuk masukan sinyal analog bagi A/D converter (Purwanto, 2009).

3. Arsitektur ATmega8535

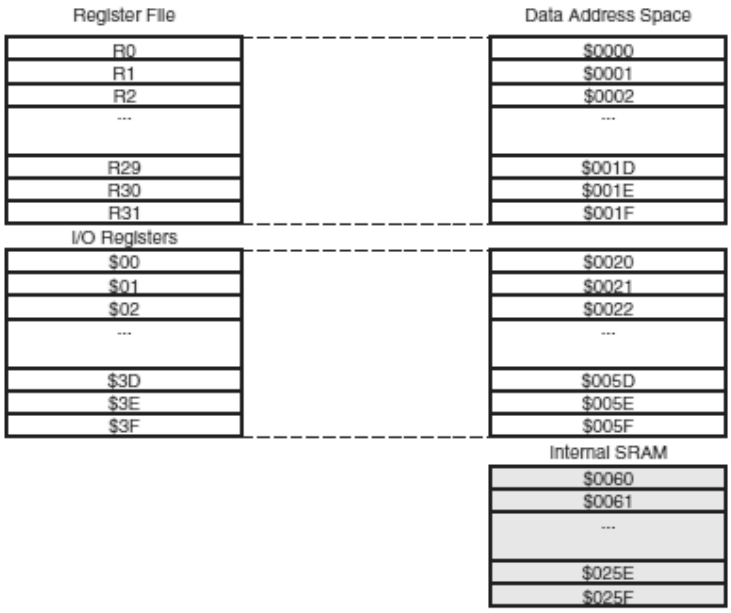
Secara umum arsitektur mikrokontoler ATmega8535 dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut ini.



Gambar 2.7. Arsitektur ATmega8535

4. Peta Memori ATmega8535

ATMega8535 memiliki ruang pengalamatan memori data dan memori program yang terpisah. Memori data terbagi menjadi 3 bagian yaitu : 32 buah register umum, 64 buah register I/O dan 512 byte SRAM internal (Adianto, 2010). Peta memori data tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Peta Memori Data ATmega8535

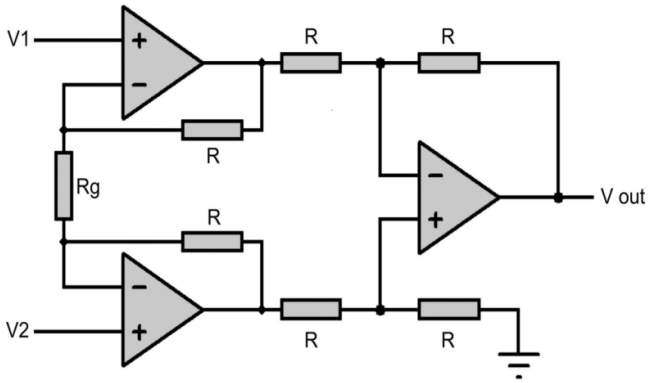
E. Penguat Instrumentasi

Rangkaian pengkondisi sinyal sangat diperlukan untuk mengadaptasikan besaran elektris dari sensor menuju penyiapan sinyal digital (Warsito dan Yuliansyah, 2004). Tugas pengkondisi sinyal yang sering dilakukan adalah penguatan (*amplification*). Op-amp dibuat dalam bentuk rangkaian terpadu atau IC (Integrated Circuit), dimana satu potong kristal silikon dengan luas kurang dari 1

mm² terkandung rangkaian penguat lengkap terdiri dari banyak transistor, dioda, resistor dan kapasitor (Sutrisno,1987).

Pada awalnya op-amp digunakan untuk rangkaian perhitungan analog, rangkaian pengaturan dan instrumentasi. Fungsi-fungsi utamanya adalah untuk melakukan operasi matematika luar (tegangan dan arus) integrasi dan penguatan (Warsito, 2003).

Penguat instrumentasi adalah salah satu dari penguat-penguat yang paling bermanfaat, cermat, dan serbaguna yang ada pada saat ini. Penguat ini dibuat dari tiga penguat dan tujuh tahanan, seperti terlihat dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9 . Penguat Instrumentasi

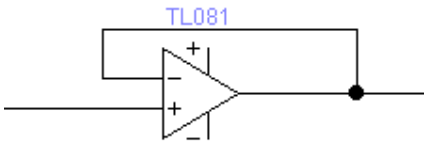
Untuk menyederhanakan analisis rangkaiannya, penguat instrumentasi sesungguhnya dibuat dengan menghubungkan sebuah penguat tersangga ke sebuah penguat diferensial dasar. Op-amp *A3* dan empat tahanan R yang sama membentuk sebuah penguat diferensial dengan gain (penguatan) sebesar 1. Yang harus digandengkan hanyalah tahanan-tahanan R saja. Untuk mengatur penguatan yang diinginkan diatur dengan mengubah-ubah nilai *Rg*. Rumusan dan rangkaian dari penguat instrumentasi dapat dilihat seperti pada persamaan:

$$V_{out} = (V_2 - V_1)\left(1 + \left(\frac{2R_1}{R_g}\right)\right) \quad (2.3)$$

Dalam versi penguat instrumentasi yang sederhana, sinyal input menggerakkan pengikut tegangan yang kemudian menggerakkan penguat diferensial. Penguat seperti ini berguna pada bagian muka dari instrumen ukur karena impedansi inputnya yang tinggi. Salah satu aplikasi dari penguat instrumentasi adalah pada rangkaian transduser. Dalam hal ini transduser adalah alat yang mengubah perubahan lingkungan menjadi perubahan tahanan.

F. Stabilitas Rangkaian Penguat/ *Butterworth*

Pemantapan bagi penguat umpan balik berarti menjaganya dari gangguan osilasi, mempertahankan penguatan sesuai dengan rancangan, dan meredam derau sampai minimum. Kapasitas liar masukan yang berasal dari masukan penguat pengawatan dapat menggoyahkan stabilitas rangkaian sehingga akan menimbulkan osilasi, untuk itu sebuah kapasitor umpan balik kecil antara 3-10 pF yang diparalel dengan resistor umpan balik dapat mengurangi persoalan yang ditimbulkan oleh kapasitansi masukan sesaat tersebut (Hughes, 1990).



Gambar 2.10. Rangkaian buffer/ penyangga

G. LED (Light Emitting Diode)

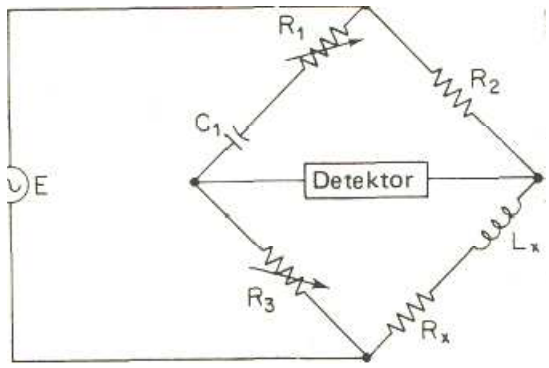
LED (Light Emitting Diode) adalah dioda semikonduktor yang mamancarkan cahaya jika dibias maju (Lister, 1988). LED (Light Emitting Diode) merupakan lampu pijar untuk berbagai aplikasi karena tahan lama, konsumsi tegangannya rendah, dan switching on-offnya cepat (Malvino, 1999). Struktur LED sama dengan dioda yaitu sambungan semikonduktor P dan N. jika sebagian semikonduktor tipe-P disambungkan dengan sebagian semikonduktor tipe-N , maka sambungan yang terbentuk akan melewatkan arus dalam satu arah dan memberikan tahanan yang cukup besar tehadap aliran arus dalam arah yang sebaliknya. Jika LED dibias maju, maka arus bias akan menyebabkan diinjeksikannya electron ke dalam bahan tipe-P dan lubang diinjeksikan ke dalam bahan tipe-N. Dinyatakan dalam tingkat energi, elektron bebas bergerak melalui daerah dekat sambungan, mereka bergabung kembali dengan lubang. Dalam proses penggabungan kembali ini, energi dilepas, sebagian dalam bentuk cahaya dan sisanya dalam bentuk panas. Efisiensi daya keluaran cahayanya sangat rendah, yakni kurang dari satu persen (Lister, 1988).

Material semikonduktor yang digunakan pada LED adalah *gallium arsenide* (GaAs), *gallium arsenide phosphide* (GaAsP), *gallium phosphide* (GaP). LED dari GaAs memancarkan radiasi inframerah, GaAsP memancarkan cahaya merah atau kuning, dan GaPmemancarkan cahaya merah atau hijau. LED biasanya digunakan untuk lampu indikator dan *display* (peraga)pada berbagai jenis instrumentasi. Satu jenis *display* yang menggunakan LED adalah *seven segment display*. LED inframerah digunakan pada sistem keamanan. Berkas cahaya LED

diarahkan pada suatu sensor yang umumnya adalah fotodioda inframerah. Ketika berkas cahaya dihalangi oleh suatu pengganggu yang melewati sumber cahaya dan sensor, maka alarm berbunyi. LED inframerah juga digunakan pada sistem remote control pada televisi dan radio (Bishop, 1995).

H. Jembatan Hay

Jembatan hay, digunakan untuk mengukur sebuah induktansi yang tidak diketahui, yang dinyatakan dalam kapasitansi yang diketahui dan lebih cocok untuk pengukuran Q tinggi (Q > 10). Pada gambar 2.11, ditunjukkan rangkaian jembatan Hay yang berbeda dari jembatan Maxwell, dimana tahanan R_1 dihubungkan seri dengan kapasitor C_1.



Gambar 2.11. Jembatan Hay

Dari gambar 2.11 didapat persamaan 2.4.

$$R_1 R_x + \frac{L_x}{C_1} = R_2 R_3 \qquad (2.4)$$