II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terkait

Penelitian tentang mengukur massa jenis zat cair sudah pernah dilakukan oleh beberapa peneliti. Jannah (2013) dengan menggunakan sampel zat cair yaitu minyak goreng, melakukan sistem pengukuran massa jenis dengan menggunakan sensor LDR sebagai *receiver*, LED sebagai *transmitter* dan perhitungan massa jenis menggunakan bantuan program *Visual Basic 6.0* yang ditampilkan ke monitor PC. Penelitian serupa juga pernah dilakukan oleh El Munir (2008) dengan merancang alat ukur massa jenis oli berbasis mikrokontroler dan hasilnya alat ini dapat mendeteksi perubahan temperatur dan tekanan, sehingga perubahan massa jenis oli terdeteksi. Penelitian sejenis juga telah dilakukan oleh Kartika (2009) dengan menggunakan metode Mohr. Dalam penelitiannya Kartika membuat alat ukur yang dapat digunakan secara otomatis untuk mengukur massa jenis zat cair sama seperti neraca Mohr yaitu alat ukur seperti timbangan yang memanfaatkan keadaan lengan neraca yang akan berubah-ubah saat beban sebelum dimasukkan dan sesudah dimasukkan ke dalam suatu zat cair. Penelitian tentang mengukur massa jenis suatu zat cair khususnya menggunakan prinsip *Archimedes* juga sudah pernah dilakukan oleh Nurlaili dkk (2010). Pada penelitiannya, metode pengambilan

data yang dilakukan masih secara manual dan proses perolehan nilai massa jenis air dan minyak tanah dilakukan dengan perhitungan berdasarkan rumus $\rho_f = \frac{n.m_b}{\Delta h.A}$. Penelitian tersebut menggunakan tabung reaksi sebagai benda yang dicelupkan kedalam zat cair, gotri sebagai massa beban agar tabung reaksi berdiri secara vertikal, bejana sebagai wadah yang menampung zat cair, serta kertas skala untuk mengukur perubahan volume. Pengukuran volume tabung reaksi terlebih dahulu diukur dengan mengukur diameternya. Penggunaan rumus $\rho_f = \frac{n.m_b}{\Delta h.A}$ menghasilkan massa jenis untuk air dari penelitian yang dilakukan adalah sebesar 1,054 gr/cm^3 dan massa jenis untuk minyak tanah adalah 0,778 gr/cm^3. Sedangkan besarnya massa jenis air yang terdapat dalam buku literature adalah 1,00 gr/cm^3 dan massa jenis minyak tanah adalah 0.80 gr/cm^3.

B. Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian ini merancang sebuah alat yang dapat digunakan untuk melakukan pengukuran massa jenis dari suatu zat cair berdasarkan hukum *Archimedes* namun dengan sistem mekanik yang berbeda. Kemajuan teknologi yang semakin berkembang membuat peneliti melakukan monitoring volume sampai akuisisi data dengan memanfaatkan piranti elektronik yaitu mikrokontroler dan sensor fotodioda. Sensor ini digunakan sebagai detektor pencatat volume benda apung yang tercelup. Mikrokontroler sebagai prosesor untuk akuisisi data, menghitung massa jenis, dan menampilkan pada layar

LCD. Melalui penelitian ini diharapkan dapat menyempurnakan penelitian sebelumnya dan memperoleh data yang memiliki tingkat akurasi tinggi.

C. Teori Dasar

1. Massa Jenis

Massa jenis (*density*) suatu zat adalah kuantitas konsentrasi zat dan dinyatakan dalam massa persatuan volume. Nilai massa jenis suatu zat dipengaruhi oleh temperatur. Semakin tinggi temperatur, kerapatan suatu zat semakin rendah karena molekul molekul yang saling berikatan akan terlepas. Kenaikan temperatur menyebabkan volume suatu zat bertambah, sehingga massa jenis dan volume suatu zat memiliki hubungan yang berbanding terbalik. Secara matematika massa jenis dinyatakan dengan persamaan:

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{2.1}$$

keterangan:

ρ = massa jenis air (kg/m^3);
m = massa benda (kg);
V = volume benda (m^3).

Massa jenis beberapa zat cair ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Massa Jenis Zat Cair

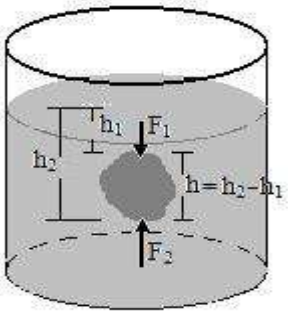
Zat Cair	**Massa Jenis (kg/m^3)**
Air (4^oC)	1000
Air es	920
Minyak tanah	800
Alkohol	800

(Tripler, 1996).

2. Hukum Archimedes

Hukum Archimedes berbunyi *"Ketika sebuah benda tercelup seluruhnya atau sebagian di dalam zat cair, zat cair akan memberikan gaya ke atas (gaya apung) pada benda, dimana besarnya gaya ke atas (gaya apung) sama dengan berat zat cair yang dipindahkan."* (Halliday, 1987).

Gaya apung terjadi karena adanya perbedaan tekanan fluida pada kedalaman yang berbeda, tekanan fluida bertambah terhadap kedalaman. Semakin dalam fluida (zat cair), semakin besar tekanan fluida tersebut. Ketika sebuah benda dimasukkan ke dalam fluida, maka akan terdapat perbedaan tekanan antara fluida pada bagian atas benda dan fluida pada bagian bawah benda. Fluida yang terletak pada bagian bawah benda memiliki tekanan yang lebih besar daripada fluida yang berada di bagian atas benda. Perhatikan Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Menghitung gaya apung

Gambar 2.1 menunjukkan fluida yang berada di bagian bawah benda memiliki tekanan yang lebih besar daripada fluida yang terletak pada bagian atas benda. Hal ini disebabkan karena fluida yang berada di bawah benda memiliki kedalaman yang lebih besar daripada fluida yang berada di atas benda ($h_2 > h_1$).

Besarnya tekanan fluida pada kedalaman h_2 adalah :

$$P_2 = \frac{F_2}{A} \rightarrow F_2 = P_2 A = \rho g h_2 A \qquad (2.2)$$

Besarnya tekanan fluida pada kedalaman h_1 adalah :

$$P_1 = \frac{F_1}{A} \rightarrow F_1 = P_1 A = \rho g h_1 A \qquad (2.3)$$

Selisih antara F_2 dan F1 merupakan gaya total yang diberikan oleh fluida pada benda, yang dikenal dengan istilah gaya apung. Besarnya gaya apung adalah sebagai berikut.

$F_{apung} = F_2 - F_1$

$F_{apung} = (\rho g h_2 A) - (\rho g h_1 A)$

$F_{apung} = \rho g A (h_2 - h_1)$

$F_{apung} = \rho_f g A h$

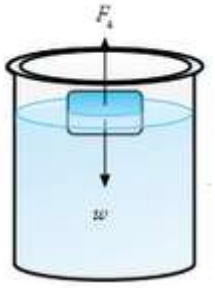
$$F_{apung} = \rho_f g V \qquad (2.4)$$

keterangan

F_1= gaya yang diberikan oleh fluida pada bagian atas benda;
F_2= gaya yang diberikan oleh fluida pada bagian bawah benda;
A= luas permukaan benda;
ρ_f = massa jenis fluida (kg/m^3);
g = Percepatan grafitasi bumi (m/det^2);
V= volume benda yang tercelup dalam fluida (m^3) (Giancoli, 2001).

a. Perhitungan Massa Jenis Zat Cair Menggunakan Hukum Archimedes

Prinsip Archimedes berlaku sama baiknya untuk benda-benda yang terapung dalam keadaan setimbang. Umumnya benda dapat terapung pada fluida jika massa jenisnya lebih kecil dari massa jenis fluida tersebut. Keadaan kesetimbangan, yaitu ketika terapung, gaya apung (F_a) pada benda mempunyai besar yang sama dengan berat benda (W), F_a= W, dengan W adalah berat benda. Gambar 2.2 menunjukkan benda mengapung dalam keadaan setimbang.



Gambar 2.2 Benda mengapung dalam keadaan setimbang F_a= W

Berdasarkan hukum Newton I, bila suatu benda dalam keadaan diam (setimbang), maka resultan gaya yang bekerja pada benda haruslah sama dengan nol.

$$\Sigma F = 0$$

$$Fa - W_b = 0$$

$$Fa = W_b \quad (2.5)$$

Persamaan untuk gaya berat benda adalah sebagai berikut.

$$W_b = m \,.g \quad (2.6)$$

Substitusikan persamaan (2.1) ke persamaan (2.6) maka diperoleh:

$$W_b = \rho_b \,.g \,.V_b \quad (2.7)$$

Berdasarkan hukum Archimedes bahwa besarnya gaya keatas yang dikerjakan fluida pada benda adalah sama dengan berat fluida yang dipindahkan oleh benda. Jika disubtitusi persamaan (2.4) dan persamaan (2.7) ke persamaan (2.5) maka diperoleh:

$$\rho_f \,.g \,.V_{bf} = \rho_b \,.\, g \,.V_b$$

$$\rho_f \,.\, V_{bf} = \rho_b \,.\, V_b$$

$$\rho_f = \frac{V_b}{V_{bf}} \rho_b \quad (2.8)$$

keterangan.

Fa = gaya ke atas (N);
W_b = gaya berat benda (N);
V_{bf} = volume benda yang tercelup dalam fluida (m^3);
V_b = volume benda seluruhnya (m^3) (Halliday, 1987).

Persamaan 2.8 merupakan inti dari penerapan rumus hukum Archimedes untuk mengukur massa jenis zat cair yang digunakan pada penelitian ini dan sebagai dasar dalam pembuatan alat ukur massa jenis zat cair.

3. Sensor

Sensor adalah piranti atau komponen elektronika yang digunakan untuk mengubah besaran fisik menjadi besaran elektris sehingga bisa dianalisa dengan menggunakan rangkaian listrik (Warsito, 2010).

Ada dua jenis sensor, yaitu sensor aktif dan sensor pasif. Sensor pasif adalah sensor yang tidak memerlukan *power supply* pada saat bekerja, outputnya muncul akibat adanya rangsangan atau dikatakan sensor pasif apabila energi yang dikeluarkan seluruhnya dari sinyal masukan. Misalnya: *thermocouple*, *piezoelectric*, *microphone*. Sedangkan sensor aktif yaitu sensor yang memerlukan *power supply* dari luar agar sensor tersebut dapat berfungsi atau memiliki sumber energi tambahan yang digunakan untuk output sinyalnya. Adapun sinyal input hanya memberikan kontribusi yang kecil terhadap daya keluaran. Sensor optik atau cahaya adalah sensor yang mendeteksi perubahan cahaya yang mengenai benda atau ruangan. Contoh; *photocell*, *phototransistor*, *photodiode*, *photovoltaic*, *photomultiplier*, *pyrometer optic*, (Fraden, 2004).

4. Fotodioda

Fotodioda merupakan piranti semikonduktor sambungan p-n yang dirancang untuk beroperasi bila dibiaskan dalam keadaan terbalik untuk mendeteksi cahaya. Ketika energi cahaya dengan panjang gelombang yang sesuai jatuh pada sambungan fotodioda, arus mengalir dalam rangkaian eksternal. Komponen ini kemudian akan bekerja sebagai generator arus, yang arusnya sebanding dengan intensitas cahaya itu. Cahaya diserap di daerah

penyambungan atau daerah intrinsik menimbulkan pasangan elektron hole yang mengalami perubahan karakteristik elektris ketika energi cahaya melepaskan pembawa muatan dalam bahan itu, sehingga menyebabkan berubahnya konduktivitas. Energi cahaya yang besarnya lebih besar dari energi ikat elektron dalam bahan, akan melepaskan elektron yang menyebabkan fotodioda menghasilkan tegangan jika terkena cahaya, seperti ditunjukkan dengan rumus dibawah ini.

$$E_g = \frac{h.c}{\lambda} \qquad (2.9)$$

atau

$$E_g = h.f \qquad (2.10)$$

keterangan

Eg= Energi foton;

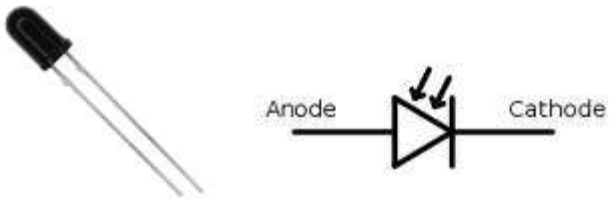
h= Potensial ionisasi (4,136x10-^{15} eV);

c= Kecepatan cahaya (3x10^{8} m/s);

λ= Panjang gelombang cahaya (m) (Fraden, 2004).

Fotodioda dibuat dari semikonduktor dengan bahan yang populer adalah silicon (Si) atau galium arsenida (GaAs). Material ini menyerap cahaya dengan karakteristik panjang gelombang mencakup 2500 Å - 11000 Å untuk silicon dan 8000 Å – 20,000 Å untuk GaAs. Ketika sebuah foton (satu satuan energi dalam cahaya) dari sumber cahaya diserap, hal tersebut membangkitkan sebuah elektron dan menghasilkan sepasang pembawa muatan tunggal, sebuah elektron dan sebuah hole, dimana suatu hole adalah

bagian dari kisi-kisi semikonduktor yang kehilangan elektron. Gambar 2.3 menunjukkan bentuk fisis (a) dan simbol (b) fotodioda.

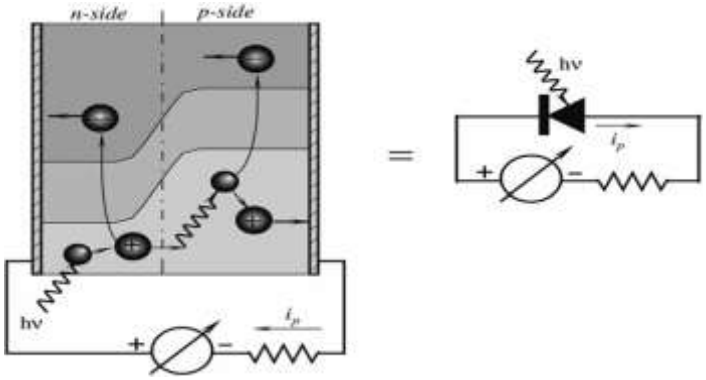


(a) (b)

Gambar 2.3 Bentuk fisis fotodioda (a), simbol fotodioda (b)

a. Prinsip Kerja Fotodioda

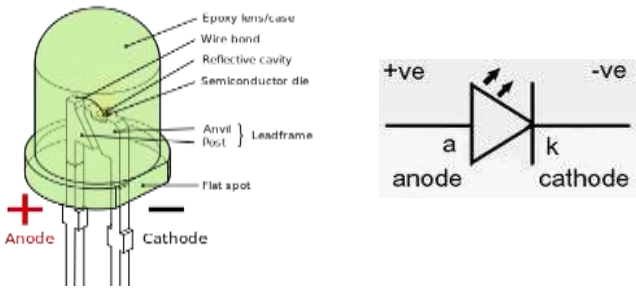
Fotodioda merupakan sebuah dioda dengan sambungan p-n yang dipengaruhi cahaya dalam kerjanya. Adanya perubahan intensitas cahaya mengakibatkan aliran arus pun dapat berubah. Jika intensitas cahaya semakin tinggi maka semakin tinggi pula arus yang mengalir, sedangkan resistansinya menurun. Proses operasi pada fotodioda dapat dijelaskan sebagai berikut; apabila sambungan p-n adalah *forward biased* (sisi positif baterai dihubungkan dengan sisi positif fotodioda) kemudian diarahkan pada cahaya dengan frekuensi yang sesuai, peningkatan arus akan sangat kecil seperti halnya arus yang dihasilkan oleh keadaan gelap (*dark current*). Jika sambungan p-n adalah *reverse biased* maka arus akan meningkat secara cepat. Gambar 2.4 menunjukkan reverse biased pada fotodioda.



Gambar 2.4 *Reverse biased* pada fotodioda (Fraden, 2004).

5. LED

LED adalah salah satu jenis dioda yang memiliki 2 kutub yaitu anoda dan katoda. Dalam hal ini LED akan menyala bila ada arus listrik mengalir dari anoda menuju katoda. Pada penelitian ini, LED yang digunakan adalah LED warna merah dengan besarnya arus yang melewatinya tidak boleh lebih dari 50 mA dan pada tegangan 1,8 V. Pemasangan kutub LED tidak boleh terbalik karena apabila terbalik kutubnya maka LED tersebut tidak akan menyala. Gambar 2.5 merupakan gambar untuk LED dan simbolnya.



Gambar 2.5 LED dan simbolnya

Semakin tinggi arus yang mengalir pada led maka semakin terang pula cahaya yang dihasilkan, namun perlu diperhatikan bahwa menurut karakter warna, arus yang mengalir tidak lebih dari 50mA . Jika melebihi 50 mA maka led akan terbakar. Untuk menjaga agar LED tidak terbakar perlu kita gunakan resistor sebagai pembatas arus listrik yang dirangkai secara seri dengan LED.

$$R_L = \frac{(Vcc - Vf)}{I} \qquad (2.11)$$

Keterangan:

RL = Hambatan pada resistor (Ω)

VCC = Sumber tegangan DC (V)

Vf = Tegangan maju LED (V)

I= Kuat arus pada LED (A) (Kasap, 2001).

Masing-masing warna LED memerlukan tegangan maju untuk dapat menyalakannya. Tabel 2.2 merupakan tabel tegangan maju untuk setiap warna.

Tabel 2.2 Tegangan maju untuk setiap warna LED (Kasap, 2001)

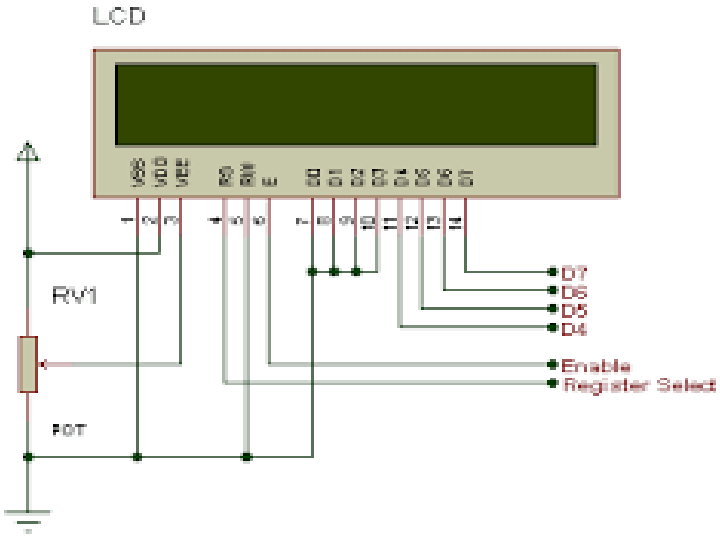
Warna	Tegangan Maju (Vf)
Infra Merah	1,2V
Merah	1,8V
Jingga	2,0V
Kuning	2,2V
Hijau	3,5V
Biru	3,6V
Putih	4,0V

a. Cara Kerja LED

LED merupakan keluarga dari dioda yang terbuat dari semikonduktor. Cara kerjanya hampir sama dengan dioda yang memiliki dua kutub yaitu kutub positif (P) dan kutub negatif (N). LED hanya akan memancarkan cahaya apabila dialiri tegangan maju (bias forward) dari anoda menuju ke katoda. Ketika LED dialiri tegangan maju atau bias forward yaitu dari anoda (P) menuju ke katoda (K), kelebihan elektron pada tipe N material akan berpindah ke wilayah yang kelebihan hole (lubang) yaitu wilayah yang bermuatan positif tipe P. Saat elektron berjumpa dengan hole akan melepaskan photon dan memancarkan cahaya monokromatik (satu warna) (Eko, 2012).

6. LCD

LCD adalah sebuah display dot matrix yang difungsikan untuk menampilkan tulisan berupa angka atau huruf sesuai dengan yang diinginkan (sesuai dengan program yang digunakan untuk mengontrolnya). Pada penelitian ini digunakan LCD dot matrix dengan karakter 16x2, sehingga kaki-kakinya berjumlah 16 pin. Gambar 2.6 menunjukkan konfigurasi pin LCD.



Gambar 2.6 Konfigurasi pin LCD

(Amarylis, 2010).

a. Fungsi Pin LCD

Modul LCD berukuran 16 karakter x 2 baris dengan fasilitas backlighting memiliki 16 pin yang terdiri dari 8 jalur data, 3 jalur kontrol dan jalur-jalur catu daya, dengan fasilitas pin yang tersedia maka lcd 16 x 2 dapat digunakan secara maksimal untuk menampilkan data yang dikeluarkan oleh mikrokontroler, secara ringkas fungsi pin-pin pada LCD dituliskan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Konfigurasi Pin LCD

No	Pin	Fungsi
1	Vss	GND
2	Vcc	5V
3	VLC	LCD *Contras Voltage*
4	RS	Register *Select*; H: Data Input; L: *Instruction Input*
5	RD	H: *Read*; L: *Write*
6	EN	*Enable Signal*
7	D0	Data Bus
8	D1	Data Bus
9	D2	Data Bus
10	D3	Data Bus
11	D4	Data Bus
12	D5	Data Bus
13	D6	Data Bus
14	D7	Data Bus
15	V+ BL	Positif *Backlight Voltage*
16	V- BL	Negatif *Backlight Voltage*

Sedangkan secara umum pin-pin LCD diterangkan sebagai berikut .

a. Pin 1 dan 2

Merupakan sambungan catu daya, Vss dan Vdd. Pin Vdd dihubungkan dengan tegangan positif catu daya, dan Vss pada 0V atau ground.

b. Pin 3

Pin 3 merupakan pin kontrol Vee, yang digunakan untuk mengatur kontras display. Idealnya pin ini dihubungkan dengan tegangan yang bisa dirubah untuk memungkinkan pengaturan terhadap tingkatan kontras *display* sesuai dengan kebutuhan, pin ini dapat dihubungkan dengan variable resistor sebagai pengatur kontras.

c. Pin 4

Pin 4 merupakan Register Select (RS), masukan yang pertama dari tiga command kontrol input. Dengan membuat RS menjadi *high*, data karakter dapat ditransfer dari dan menuju modulnya.

d. Pin 5

Read/Write (R/W), untuk memfungsikan sebagai perintah *write* maka R/W *low* atau menulis karakter ke modul. R/W *high* untuk membaca data karakter atau informasi status dari register-nya.

e. Pin 6

Enable (E), input ini digunakan untuk transfer aktual dari perintah-perintah atau karakter antara modul dengan hubungan data. Ketika menulis ke *display*, data ditransfer hanya pada perpindahan *high* atau *low*. Tetapi ketika membaca dari *display*, data akan menjadi lebih cepat tersedia setelah perpindahan dari *low* ke *high* dan tetap tersedia hingga sinyal *low* lagi.

f. Pin 7-14

Pin 7 sampai 14 adalah delapan jalur data/data bus (D0 sampai D7) dimana data dapat ditransfer ke dan dari *display*.

g. Pin 16

Pin 16 dihubungkan kedalam tegangan 5 Volt untuk memberi tegangan dan menghidupkan lampu latar (*Backlight*) LCD (Heryanto, 2008).

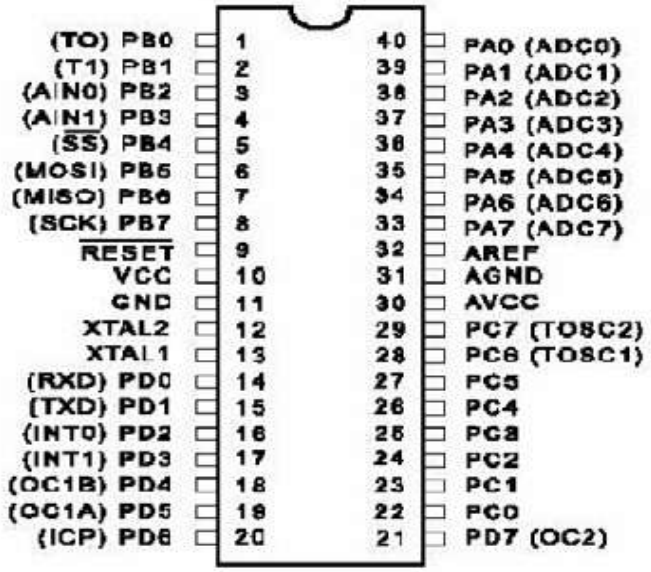
7. Mikrokontroler ATMEGA 8535

Mikrokontroler adalah sebuah sistem mikroprosesor dimana di dalamnya sudah terdapat CPU, RAM, ROM, I/O, *Clock* dan peralatan internal lainnya yang sudah saling terhubung dan terorganisasi (teralamati) dengan baik oleh pabrik pembuatnya dan dikemas dalam satu *chip* yang siap dipakai (Winoto, 2010). Mikrokontroler AVR berteknologi RISC (*Reduced Instruction Set Computing*). Secara umum, AVR dikelompokkan menjadi 4 kelas, yaitu keluarga ATtiny, keluarga AT90Sxx, keluarga ATMega dan keluarga AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing adalah kapasitas memori, *peripheral* dan fungsinya. Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan bisa dikatakan hampir sama (Wardhana, 2006). Gambar 2.7 merupakan bentuk fisik mikrokontroler ATMega 8535.

Gambar 2.7 Mikrokontroler ATMega 8535 (Soni, 2011).

7.1 Konfigurasi Pin ATMega8535

Konfigurasi pin dari mikrokontroler ATMega8535 sebanyak 40 pin dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Konfigurasi pin ATMega 8535.

Berdasarkan gambar 2.9 dapat dijelaskan secara fungsional konfigurasi pin ATMega8535 sebagai berikut.

a. VCC berfungsi sebagai input sumber tegangan (+)
b. Port A (PA7 … PA0) berfungsi sebagai input analog dari ADC (Analog to Digital Converter). Port ini juga berfungsi sebagai port I/O dua arah, jika ADC tidak digunakan.
c. Port B (PB7 … PB0) berfungsi sebagai port I/O dua arah. Port PB5, PB6 dan PB7 juga berfungsi sebagai MOSI, MISO dan SCK yang dipergunakan pada proses downloading.
d. Port C (PC7 … PC0) berfungsi sebagai port I/O dua arah.
e. Port D (PD7 … PD0) berfungsi sebagai port I/O dua arah. Port PD0 dan PD1 juga berfungsi sebagai RXD dan TXD, digunakan untuk komunikasi serial.

f. RESET pada pin 9 merupakan reset dari AVR. Jika pada pin ini diberi masukan low selama minimal 2 *machine cycle* maka sistem akan di-reset.

g. XTAL1 adalah masukan ke *inverting oscillator amplifier* dan input ke *internal clock operating circuit.*

h. XTAL2 adalah output dari *inverting oscillator amplifier*.

i. AVcc adalah kaki masukan tegangan bagi A/D Converter. Kaki ini harus secara eksternal terhubung ke Vcc melalui *lowpass filter*.

j. AREF adalah kaki masukan referensi bagi A/D Converter. Untuk *operasionalisasi* ADC, suatu level tegangan antara AGND dan Avcc harus diberikan ke kaki ini.

k. AGND adalah kaki untuk analog *ground.* Hubungkan kaki ini ke GND, kecuali jika *board* memiliki *analog ground* yang terpisah (Wardhana, 2006).