

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terkait

Penelitian mengenai alat ukur curah hujan sudah dilakukan oleh beberapa peneliti. Salah satunya yang pernah dilakukan oleh Saputra (2013) yaitu perancangan dan pembuatan sensor curah hujan tipe *tipping bucket* dengan tampilan LCD. Penelitian ini menggunakan sensor *optocoupler* yang merupakan sensor optik yang berfungsi sebagai pendeteksi jatuhnya air hujan dengan sistem *tipping bucket* (jungkat-jungkit). Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor *tipping bucket* bekerja berdasarkan gerakan mekanik. Gerakannya tersebut dapat dideteksi menggunakan sistem piringan berlubang yang dibaca menggunakan komponen *optocoupler* agar dapat dirubah menjadi sinyal digital. Sinyal tersebut digunakan untuk memicu interupsi pada mikrokontroler.

Penelitian lain dilakukan oleh Raharja dan Iswanto (2010) dengan menggunakan sistem akuisisi data pada komputer. Sistem yang digunakan berupa metode *tipping bucket* dengan sensor *optocoupler*. Volume tabung yang digunakan sebesar $6,28 \text{ cm}^3$ yang akan sama dengan 6,28 ml. Bila air sebanyak 6,28 ml dituangkan ke dalam tabung penakar harus menunjukkan angka 1 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensitivitas sensor curah hujan sebesar 7 mm/jam dengan faktor kesalahan 2,8 %.

B. Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian Raharja dan Iswanto (2010) menggunakan sensor *optocoupler*. Air hujan yang jatuh melalui corong akan menuju timbangan atau lengan jungkat-jungkit. Air yang masuk ke dalam timbangan akan ditumpahkan jika berat air melebihi berat dari sekrup. Tumpahan air tersebut membuat timbangan menutup *optocoupler* sehingga tegangan *output* pada *optocoupler* sebesar *Vcc*. Tegangan keluaran *optocoupler* masuk ke dalam pembangkit pulsa berupa NAND Schmitt Trigger yang akan membangkitkan pulsa gelombang kotak. Pulsa gelombang kotak akan diteruskan ke *counter*. *Counter* mencacah sinyal gelombang kotak. Keluaran dari *counter* tersebut masuk ke dalam antarmuka. Untai antarmuka berfungsi menghubungkan komputer dengan perangkat luar. Untai antarmuka menggunakan paralel port yang cara pemasukan atau pengeluaran data secara paralel. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem jungkat-jungkit tidak bergerak ketika volume air sedikit karena lengan jungkat-jungkit tidak dapat menumpahkan air hujan yang sedikit. Sehingga volume air yang sedikit tidak terdeteksi, dan dari penelitian ini diharapkan penggunaan memori EEPROM yang lebih besar karena pada ATmega8535 memori EEPROM terlalu kecil.

Penelitian yang dilakukan Saputra (2013) pun menggunakan sensor *optocoupler* dengan tampilan LCD, penyimpanan data menggunakan sistem basis data pada komputer. Volume yang dibutuhkan untuk menuangkan *tipping bucket* pada penelitian ini sebesar 24,53 ml dan data yang disimpan pada *Data Base Microsoft Access* berupa jam, hari, bulan dan tahun serta nilai *counter*. Resolusi pengukuran pada penelitian sebesar 0,5 mm.

C. Teori Dasar

a. Alat Ukur Curah Hujan

Alat ukur curah hujan yang paling banyak dipakai adalah tipe Observatorium (Obs) atau sering disebut Ombrometer. Data yang didapatkan alat ukur ini berupa curah hujan harian. Curah hujan dari pengukuran alat ini dihitung dari volume air hujan dibagi luas mulut penakar (Mu'in, 2002).



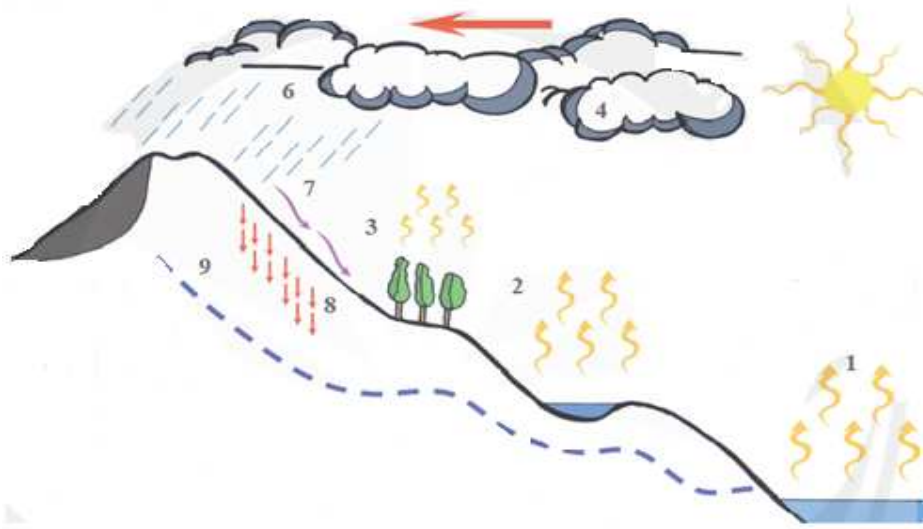
Gambar 2.1. Alat Ukur Curah Hujan (Ombrometer) (Achmadi, 2009)

Prinsip kerja alat ukur curah hujan ini, Jika curah hujan diperkirakan melebihi ukuran tabung gelas pengukur, maka kran harus ditutup dulu dan lakukan pembacaan pada tabung gelas pengukur yang sudah berisi air hujan dan dicatat pada kertas tersendiri. Air yang sudah ditakar tidak boleh dibuang, tetapi ditampung sementara di tempat lain. Hal ini dilakukan jika terjadi kesalahan atau kurang keyakinan dalam pembacaan awal masih bisa diulangi. Selanjutnya lakukan pembacaan berikutnya dari air yang tersisa melalui tabung gelas

pengukur sampai air yang ada di dalam penakar hujan habis. Hasil dari catatan yang pertama dan hasil pengukuran-pengukuran berikutnya dijumlahkan sebagai hasil pengukuran curah hujan yang terjadi pada hari pengamatan tersebut (Soekirno, 2010).

b. Siklus Hidrologi

Hujan jatuh ke tanah karena disebabkan adanya sebuah siklus yang disebut siklus hidrologi. Daur atau siklus hidrologi adalah gerakan air ke udara yang kemudian jatuh ke permukaan tanah lagi sebagai hujan atau bentuk *presipitasi* lain, dan akhirnya mengalir ke laut kembali. Siklus hidrologi, digambarkan dalam dua daur, yang pertama adalah daur pendek, yaitu hujan yang jatuh dari langit langsung ke permukaan laut, danau, sungai yang kemudian langsung mengalir kembali ke laut. Siklus yang kedua adalah siklus panjang, ditandai dengan tidak adanya keseragaman waktu yang diperlukan oleh suatu daur. Proses siklus hidrologi panjang akan di tunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Siklus Hidrologi (Soemarto,1986)

Gambar 2.2. menunjukkan proses siklus hidrologi panjang. Siklus kedua ini memiliki rute perjalanan yang lebih panjang dari pada siklus yang pertama. Proses siklus panjang adalah sebagai berikut:

1. *evaporasi*, adalah proses penguapan air laut oleh karena panas terik matahari.
2. *transpirasi*, adalah proses pengupan yang terjadi oleh karena pernapasan (*respirasi*) tumbuhan hijau.
3. *evapotranspirasi*, adalah gabungan dari proses *evaporasi* dan transpirasi. Misal, curahan yang jatuh di dahan-dahan pohon kemudian menguap bersama dengan penguapan transpirasi.
4. *kondensasi*, adalah proses perubahan wujud uap air hasil *evaporasi*, menjadi kembali ke bentuk yang lebih padat yaitu butiran-butiran air mikro yang membentuk awan. Proses *kondensasi* ini dipengaruhi oleh suhu udara, awan dapat terbentuk pada saat suhu udara dingin.
5. *moving*, pergerakan awan yang disebabkan oleh angin. Dipengaruhi oleh jenis angin, angin pantai, darat, gunung, atau lembah.
6. *presipitasi*, butiran-butiran air mikro dalam awan menjadi dinamis ketika ditekan oleh angin, sehingga menyebabkan bertabrakan. Tabrakan antar butir ini menyebabkan terjadinya curahan. Jenis curahan dipengaruhi oleh temperatur pada iklim suatu daerah, dapat berwujud air ataupun salju, atau dimungkinkan terjadi hujan es apabila suhu memungkinkan.
7. *surface run-off*, adalah limpasan permukaan. Air dari proses curahan langsung melimpas pada permukaan tanah.
8. *infiltrasi*, adalah proses meresapnya air ke dalam tanah.
9. *perkolasi*, adalah proses kelanjutan dari infiltrasi dengan gerakan air yang tegak

lurus, bergerak terus kebawah tanah hingga mencapai zona jenuh air (*saturated zone*) (Soemarto,1986).

c. Definisi Hujan

Hujan adalah jatuhnya *hydrometeor* yang berupa partikel-partikel air dengan diameter 0.5 mm atau lebih. Jika jatuhnya sampai ke tanah maka disebut hujan, akan tetapi apabila jatuhnya tidak dapat mencapai tanah karena menguap lagi maka jatuhnya tersebut disebut *Virga*. Hujan juga dapat didefinisikan dengan uap yang mengkondensasi dan jatuh ke tanah dalam rangkaian proses hidrologi (Ashari, 2010).

Curah hujan pada suatu tempat tidaklah sama. Garis pada peta yang berhubungan dari satu tempat ke tempat yang lainnya memiliki curah hujan yang sama disebut *isohyet*. Berdasarkan ukuran butiran, hujan dapat dibedakan menjadi:

- a) Hujan gerimis/*drizzle*, dengan diameter butirannya kurang dari 0,5 mm.
- b) Hujan salju/*snow* adalah kristal-kristal es yang temperatur udaranya berada di bawah titik beku (0°C).
- c) Hujan batu es merupakan curahan batu es yang turun didalam cuaca panas awan yang temperturnya dibawah titik beku (0°C).
- d) Hujan deras/*rain*, dengan curah hujan yang turun dari awan dengan nilai temperatur diatas titik beku berdiameter butiran ± 7 mm.

Berdasarkan proses terjadinya, hujan dibedakan atas:

- a) Hujan frontal merupakan hujan yang terjadi di daerah *front*, yang disebabkan oleh adanya pertemuan dua massa udara yang nilai temperturnya berbeda, yaitu massa udara panas/lembab bertemu massa udara dingin/padat yang akan menyebabkan adanya kondensasi dan

terjadilah hujan.

- b) Hujan tropis merupakan hujan yang terjadi karena udara naik disebabkan adanya pemanasan suhu yang tinggi. Peristiwa ini biasanya terdapat pada daerah tropis antara 23,5 °LU hingga 23,5° LS. Oleh karena itu disebut juga hujan tropis.
- c) Hujan orografis/naik pegunungan merupakan hujan yang terjadi karena adanya udara yang mengandung uap air dan dipaksa oleh angin mendaki lereng pegunungan yang makin ke atas makin dingin, sehingga terjadi kondensasi maka terbentuk awan dan jatuhlah air hujan. Hujan yang jatuh di lereng yang dilewatinya disebut hujan orografis, sedangkan di lereng sebelahnya bertiup angin jatuh yang kering disebut daerah bayangan hujan (Novianta, 2011).

d. Karakteristik Hujan di Indonesia

Wilayah Indonesia yang berada di sekitar garis ekuator, dicirikan oleh musim kemarau yang singkat dan musim hujan yang panjang, ini terjadi karena tempat-tempat di sekitar garis ekuator merupakan zona pertemuan dua massa udara yang berasal dari dua belahan bumi. Posisinya relatif sempit dan berada pada lintang rendah dan dikenal dengan nama *Inter-tropical Convergence Zone (ITCZ)* atau juga dikenal dengan nama ekuator panas (*heat equator*) atau *front equator (equatorial front)*. Pola curah hujan di Indonesia juga dipengaruhi oleh keberadaan deretan pegunungan. Pegunungan merupakan penghalang fisik bagi pergerakan angin. Hujan orografis akan terjadi jika udara lembab terdorong naik karena pergerakannya terhalang oleh keberadaan pegunungan, curah hujan untuk

sisi arah datang angin lembab (*wind-ward side*) akan tinggi dan pada sisi pegunungan disebelahnya (*leeward*) curah hujan akan sangat rendah. Berdasarkan pola umum terjadinya, curah hujan di Indonesia dapat dibedakan menjadi 3 tipe, yakni tipe ekuatorial, tipe monsun, dan tipe lokal.

a). Tipe Ekuatorial

Pola ini berhubungan dengan pergerakan zona konvergensi ke arah utara dan selatan mengikuti pergerakan semu matahari. Zona konvergensi merupakan pertemuan dua massa udara (angin) yang berasal dari dua belahan bumi, kemudian udaranya bergerak ke atas. Angin yang bergerak menuju satu titik dan kemudian bergerak ke atas disebut konvergensi, dan tempat terjadinya konvergensi disebut daerah konvergensi. Posisinya relatif sempit dan berada pada lintang rendah dan dikenal dengan nama *Inter-tropical Convergence Zone* (ITCZ) atau Daerah Konvergensi Antar Tropik (DKAT).

b). Tipe Monsun

Curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh tiupan angin monsun yang digerakan oleh adanya sel tekanan tinggi dan sel tekanan rendah di benua Asia dan Australia secara bergantian. Dalam bulan Desember - Januari-Februari (DJF) di Belahan Bumi Utara terjadi musim dingin akibatnya terjadi sel tekanan tinggi di Benua Asia, sedangkan di Belahan Bumi Selatan pada waktu yang sama terjadi musim panas, akibatnya terjadi sel tekanan rendah di benua Australia. Oleh karena terdapat perbedaan tekanan udara di kedua benua tersebut, maka pada periode DJF bertiup angin dari tekanan tinggi di Asia menuju ke tekanan rendah di Australia, angin ini

disebut Monsun Barat atau Monsun Barat Laut. Dalam bulan Juni-Juli-Agustus (JJA) terjadi sebaliknya, terdapat tekanan rendah di Asia dan sel tekanan tinggi di Australia, maka pada periode JJA bertiup angin dari tekanan tinggi di benua Australia menuju ke tekanan rendah di Asia, angin ini disebut Monsun Timur atau Monsun Tenggara. Monsun Barat biasanya lebih lembab dan banyak menimbulkan hujan daripada Monsun Timur. Perbedaan banyaknya curah hujan yang disebabkan oleh kedua monsun tersebut karena perbedaan sifat kejenuhan dari kedua massa udara (angin) tersebut. Pada Monsun Timur arus udara bergerak di atas laut yang jaraknya pendek, sedangkan pada Monsun Barat arus udara bergerak di atas laut dengan jarak yang cukup jauh, sehingga massa udara Monsun Barat lebih banyak mengandung uap air dan menimbulkan banyak hujan dibanding Monsun Timur.

c). Tipe Lokal

Pola curah hujan tipe lokal dicirikan dengan besarnya pengaruh kondisi setempat, yakni keberadaan pegunungan, lautan dan bentang perairan lainnya, serta terjadinya pemanasan lokal yang intensif. Faktor pembentukannya adalah naiknya udara yang menuju ke dataran tinggi atau pegunungan karena pemanasan lokal yang intensif. Tipe curah hujan ini banyak terjadi di Maluku, Papua dan sebagian Sulawesi. Tipe curah hujan ini hanya terjadi satu kali maksimum curah hujan bulanan dalam satu tahun, dan terdapat beberapa bulan kering yang bertepatan dengan bertiupnya angin Muson Barat (Tukidi, 2010).

e. Curah Hujan (Presipitasi)

Pengertian presipitasi mencakup air dalam bentuk cair dan padat (es) yang turun dari awan. Presipitasi dapat berbentuk air hujan, gerimis, salju dan batu es. Di Indonesia hujan jauh lebih sering dijumpai. Curah hujan diukur dalam inci atau milimeter dengan menggunakan alat diantaranya *pluviograph*. Jika suatu daerah pada suatu hari memiliki curah hujan sebesar 1 milimeter, berarti ketinggian tiap tetes hujan tersebut jika tidak meresap ke dalam tanah atau diuapkan ke atmosfer akan mencapai 1 mm (Yani dan Ruhimat, 2007). Curah hujan 1 (satu) milimeter artinya dalam luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air setinggi satu milimeter atau tertampung air sebanyak satu liter. Intensitas hujan adalah banyaknya curah hujan persatuan jangka waktu tertentu. Apabila dikatakan intensitasnya besar berarti hujan lebat dan kondisi ini sangat berbahaya karena berdampak dapat menimbulkan banjir, longsor dan efek negatif terhadap tanaman (Harto, 1993). Jumlah curah hujan rata-rata yang turun di berbagai tempat di Indonesia dalam setahun berkisar antara 500 mm sampai lebih dari 5.000 mm, maka sebenarnya tidak seluruh wilayah Indonesia mempunyai iklim tropis basah. Curah hujan sebesar 500 mm setahun sebenarnya sudah mendekati gurun untuk daerah panas. Ada beberapa hal yang menyebabkan terjadinya iklim “hampir gurun” di beberapa tempat di Indonesia, di antaranya adalah: (1) letak daerah di pesisir yang arah pantainya sejajar dengan arah angin, dan (2) letaknya di balik gunung atau pegunungan yang tinggi (Tukidi, 2007).

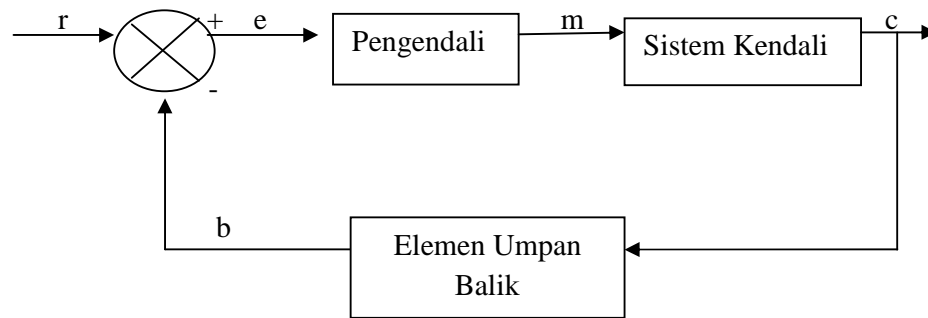
f. Sistem Kontrol

Dalam dunia industri dikenal kontrol otomatis, adapun secara bahasa diartikan mengatur dengan sendirinya artinya sesuatu yang dibutuhkan dalam proses mesin akan berjalan dengan sendirinya tanpa campur tangan orang. Sistem seperti ini sangat dibutuhkan pada mesin-mesin yang mempunyai kapasitas produksi yang cukup besar disamping itu mempunyai keuntungan yang cukup besar sebab mudah dikontrol dan efisien. Sebagai contoh, pada sistem manual untuk menjalankan sebuah pompa air harus lebih dahulu menekan tombol atau saklar sehingga pompa air bisa berputar, tetapi dengan sistem kontrol otomatis pompa air bisa hidup dengan sendirinya dengan memasang sensor tekanan pada keluaran pompa air tersebut

g. Pengendalian Loop Tertutup dan Loop Terbuka

1. Kendali Loop Tertutup

Sistem kendali dengan jaringan tertutup adalah sistem pengendalian di mana besaran keluaran memberikan efek terhadap besaran masukan sehingga besaran yang dikontrol dapat dibandingkan terhadap harga yang di inginkan melalui alat pencatat (indikator). Selanjutnya perbedaan harga yang terjadi antara besaran yang dikontrol dan penunjukan alat pencatat digunakan sebagai koreksi yang pada gilirannya merupakan sasaran pengontrolan.



Gambar 2.3. Diagram blok untuk kendali loop tertutup

Huruf r merupakan singkatan dari masukan referensi, elemen ini berfungsi mengubah besaran yang dikontrol menjadi sinyal masukan acuan (r) bagi sistem kontrol. Lingkaran silang didepan r adalah titik penjumlahan di dalam diagram di atas. Di dalam diagram di atas tampak terdapat dua sinyal yang masuk ke titik penjumlahan: r dan sinyal b (umpan balik dari keluaran). Keluaran dari titik penjumlahan adalah sinyal kesalahan (e), yang nilainya adalah selisih dari r dan b . dengan kata lain sinyal kesalahan (e) adalah perbedaan antara apa yang diinginkan dengan apa yang dihasilkan. Kotak berlabel pengendali menerima sinyal kesalahan dan menghasilkan sinyal kontrol (m). Kotak berlabel sinyal kendali adalah piranti yang sedang dikendalikan, contoh motor listrik dalam robot. Sistem kendali menjadi lengkap setelah sinyal keluaran c diumpankan kembali ke titik penjumlahan. Sebelum masuk ke titik penjumlahan, sinyal c pada umumnya (melalui kotak label umpan balik), yang berfungsi untuk mengalihkan sinyal c ke dalam bentuk yang dapat diterima ke titik penjumlahan. Sebagai contoh, c adalah posisi motor dan b adalah tegangan listrik dalam hal ini, fungsi dari elemen umpan balik adalah mengalihkan posisi mekanis menjadi volt.

2. Kendali Loop Terbuka

Sistem kendali lup terbuka adalah suatu sistem yang keluarannya tidak mempunyai pengaruh terhadap aksi kontrol. Artinya, sistem kendali terbuka keluarannya tidak dapat digunakan sebagai umpan balik dalam masukan.



Gambar 2.4. Diagram blok untuk kendali *loop* terbuka

Dalam suatu sistem kendali terbuka, keluaran tidak dapat dibandingkan dengan masukan acuan. Jadi, untuk setiap masukan acuan berhubungan dengan operasi tertentu, sebagai akibat ketetapan dari sistem tergantung kalibrasi. Dengan adanya gangguan, sistem kendali lup terbuka tidak dapat melaksanakan tugas sesuai yang diharapkan. Sistem kendali lup terbuka dapat digunakan hanya jika hubungan antara masukan dan keluaran diketahui dan tidak terdapat gangguan internal maupun eksternal (Ogata, 1991).

h. Sistem Akuisisi Data

Sistem akuisisi data dapat didefinisikan sebagai suatu sistem yang berfungsi untuk mengambil, mengumpulkan, menyiapkan dan memproses data sehingga diperoleh informasi yang dikehendaki. Dalam penelitian ini, sistem akuisisi data yang digunakan berfungsi untuk mengumpulkan informasi mengenai ketinggian curah hujan. Jenis dan mode akuisisi data yang dipilih umumnya bertujuan untuk menyederhanakan setiap langkah yang dilaksanakan pada keseluruhan proses

(Komarudin, 2008). Mode akuisisi data merupakan tata cara pengiriman data dari suatu perangkat ke perangkat lainnya (Stallings, 2001). Terdapat dua cara dalam mode akuisisi data yaitu dengan sinkron dan asinkron. Akuisisi sinkron adalah jenis akuisisi dimana kedua belah pihak, pengirim atau penerima berada pada waktu yang sinkron contoh dalam komputer. Sedangkan akuisisi asinkron merupakan akuisisi data dimana kedua belah pihak baik pengirim maupun penerima tidak perlu berada pada waktu yang sinkron (Ariyus dan Rumandri, 2008).

i. Massa

Dalam fisika, berat dari suatu benda adalah gaya yang disebabkan oleh gravitasi berkaitan dengan massa benda tersebut. Massa benda adalah tetap di mana-mana, namun berat sebuah benda akan berubah-ubah sesuai dengan besarnya percepatan gravitasi di tempat tersebut, karena berat merupakan gaya tarik gravitasi bumi pada benda (Sears dan Zemansky, 2002). Istilah massa dan berat sering dikacaukan antara satu dengan yang lainnya, massa adalah sifat dari benda itu sendiri sedangkan berat adalah gaya gravitasi yang bekerja pada sebuah benda. Berat dihitung dengan mengalikan massa sebuah benda dengan percepatan gravitasi di mana benda tersebut berada. Jika membawa benda ke bulan maka benda itu akan mempunyai berat seperenam dari beratnya di bumi karena gaya gravitasi yang lebih lemah (Giancoli, 2001). Misalnya, sebuah benda bermassa 10 kilogram akan tetap mempunyai massa 10 kilogram di bumi maupun di bulan, namun di Bumi benda tersebut akan mempunyai berat 98 Newton, sedangkan di Bulan benda tersebut akan mempunyai berat 16,3 Newton saja.

Persamaan untuk berat adalah:

$$W = mg \quad (1)$$

dari persamaan 1, maka diperoleh persamaan untuk massa adalah:

$$m = \frac{W}{g} \quad (2)$$

dimana g merupakan percepatan gravitasi, m merupakan massa benda dan w

adalah berat benda. Satuan berat dalam SI (Sistem International) adalah Newton (N).

Besaran dalam fisika dikelompokkan dalam 2 kategori yakni besaran pokok/dasar dan besaran turunan. Semua besaran fisik dapat dinyatakan dalam beberapa satuan pokok. Sistem satuan yang digunakan secara universal dalam masyarakat ilmiah adalah Sistem Internasional (SI). Penggunaan alat ukur pada setiap pengukuran sangat ditentukan oleh macam kegunaan, batas ukur dan ketelitian alat ukurnya. Sebagai contoh untuk mengukur massa suatu benda yang diperkirakan sebesar 50 kg, maka alat yang harus digunakan haruslah timbangan dengan batas ukur minimal senilai massa benda itu. Timbangan tersebut harus memiliki ketepatan pengukuran yang baik, sehingga hasil pengukuran sesuai dengan keadaan sesungguhnya (Waluyanti, 2008).

j. Tekanan

Tekanan merupakan besarnya gaya yang bekerja per satuan luas. Persamaan tekanan dapat ditunjukkan oleh persamaan 3 berikut:

$$P = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Keterangan: P = tekanan (N/m² = Pa)

F = gaya (N)

A = luas bidang tekan (m²)

dikarenakan dalam SI satuan gaya adalah N, dan satuan luas adalah m², maka satuan tekanan adalah N/m². Satuan tekanan dalam SI adalah Pascal (Pa). 1Pa = 1 N/m². Semakin besar gaya tekan yang diberikan semakin besar pula tekanan yang terjadi. Namun, semakin besar luas bidang tekan suatu benda maka semakin kecil tekanan yang terjadi. Dengan demikian, tekanan berbanding lurus dengan gaya tekan dan berbanding terbalik dengan luas bidang tekan (Giancoli, 2001).

k. Sistem Sensor

Sensor adalah piranti yang mengkonversi besaran nonelektris menjadi besaran elektris, sedangkan transduser adalah piranti yang mengkonversi suatu besaran energi tertentu ke dalam bentuk energi yang lain (Warsito, 2013).

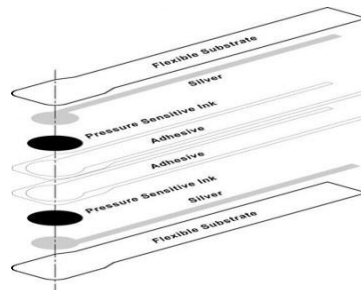
Dalam penelitian ini menggunakan sensor *flexiforce*. *Flexiforce* merupakan sensor tekan, cara kerja sensor ini dengan mengukur tekanan dan mengeluarkan besaran berupa hambatan atau ohm. Ketika pada sensor tidak ada tekanan, maka resistansinya akan dalam kondisi tinggi/besar, tetapi saat diberikan tekanan pada bagian sensitif *flexiforce* maka resistansinya akan turun/mengecil. Secara kasat mata perubahan semacam ini dapat dilihat dengan pengujian menggunakan multimeter pada dua pin terluar dari *flexiforce*. Satuan ukur yang dipakai dalam *flexiforce* adalah Lbs. Jika dikonversikan dalam satuan kilogram adalah 1kg =2,2 Lbs (Arsyati, 2013). Sensor *flexiforce* menurut Suprayudi (2013) merupakan

sebuah sensor gaya (*force*) atau beban (*load*), sensor ini berbentuk *printed circuit* yang sangat tipis dan fleksibel. Sensor *flexiforce* sangat mudah diimplementasikan untuk mengukur gaya tekan antara 2 permukaan dalam berbagai aplikasi. Sensor *flexiforce* bersifat resistif dan nilai konduktansinya berbanding lurus dengan gaya/beban yang diterimanya. Semakin besar beban yang diterima sensor *flexiforce* maka nilai hambatan *output*-nya akan semakin menurun. Pada keadaan tanpa beban, resistansi sensor ini sebesar kurang lebih 5 Mohm. Ketika diberi beban maksimum, resistansi sensor akan turun hingga kurang lebih 20 Kohm. *Rating* beban maksimum sensor *flexiforce* bermacam-macam, yaitu 1 lbs (4,4 N), 25 lbs (110 N) dan 100 lbs (440 N). Penelitian ini menggunakan jenis sensor *flexiforce* 1 lbs.

Sensor *flexiforce* pula merupakan sensor berat yang berbentuk *printed circuit* yang ultra tipis yaitu 0,008 *inch* dan fleksibel, seperti pada Gambar 2.5. *Flexiforce* terbuat dari beberapa lapisan yang dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.5. *Flexiforce* (Tekscan, 2008).



Gambar 2.6. Konstruksi Bahan Pembuatan pada *Flexiforce* (Tresna dan Pola, 2013).

Pada lapisan *flexible substrate* terbuat dari dua lapisan substrat (polyester) film yang digunakan sebagai pembungkus kemasan *flexiforce*. Kemudian dilapisi dengan lapisan silver yang terbuat dari bahan polimida, setiap lapisan terbuat dari bahan konduktif (perak), dan diikuti oleh lapisan dengan lapisan *pressure sensitive*. Untuk menggabungkan antar lapisan yang satu dengan yang lainnya, digunakan bahan *adhesive*, sehingga kedua lapisan substrat dapat dilaminasi untuk membentuk sensor gaya berat. Untuk mempermudah pemfokusan pendeteksian, maka bagian pendeteksian *flexiforce* dibuat berbentuk lingkaran. Apabila bagian pendeteksian sensor aktif, maka lapisan silver akan mengaktifkan konektor yang ada pada ujung sensor, sehingga dapat dihubungkan ke dalam rangkaian sistem minimum (Tresna dan Pola, 2013).

Sensor *flexiforce* merupakan sensor yang mengkonversi besaran fisis berupa tekanan menjadi besaran elektrik berupa resistansi. Hubungan antara besaran fisis dengan elektrik yang berdasarkan persamaan 3, maka diperoleh persamaan:

$$P = \frac{mg}{A} \quad (4)$$

Dimana g merupakan percepatan gravitasi bumi (m/s^2). Kemudian dengan menggunakan persamaan massa jenis untuk memperoleh nilai volume yang diinginkan pada penelitian.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5)$$

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (6)$$

$$P = \frac{\rho V g}{A} \quad (7)$$

Nilai resistansi yang dihasilkan oleh sensor tekan adalah :

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (8)$$

Dimana nilai ρ diperoleh dari persamaan (7) adalah konstan, pada sensor ini yang dominan melakukan perubahan adalah luas permukaan A karena panjang sensor l tidak berubah ketika terjadi tekanan pada sensor.

Nilai resistansi yang di hasilkan berbanding terbalik dengan gaya yang diberikan, sedangkan nilai konduktifitas atau sifat menghantar listrik dari sensor ini berbanding terbalik dengan resistifitas. Konduktansi diperoleh dari persamaan:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (9)$$

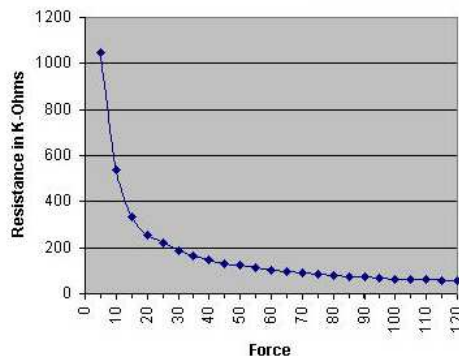
$$\rho = \frac{RA}{l} \quad (10)$$

Maka nilai konduktansi dari sensor *flexiforce* adalah:

$$\sigma = \frac{1}{\frac{RA}{l}} \quad (11)$$

$$\sigma = \frac{l}{RA} \quad (13)$$

Sensor *flexiforce* memiliki keadaan awal sebagai nilai batasan minimum yaitu sebesar 0 gram dan nilai batasan maksimum sebesar 450 gram dalam mendeteksi berat. Berat yang memiliki nilai dibawah batasan minimum tidak akan terdeteksi oleh sensor *flexiforce*. Sensor berat mengkonversikan ukuran berat ke dalam bentuk Ohm. Atau dengan kata lain bahwa berat berbanding terbalik dengan resistansi, dimana semakin besar beban berat yang dideteksi maka semakin kecil nilai resistansinya. Grafik pada Gambar 2.7 menunjukkan hubungan antara ukuran berat dengan resistansi.



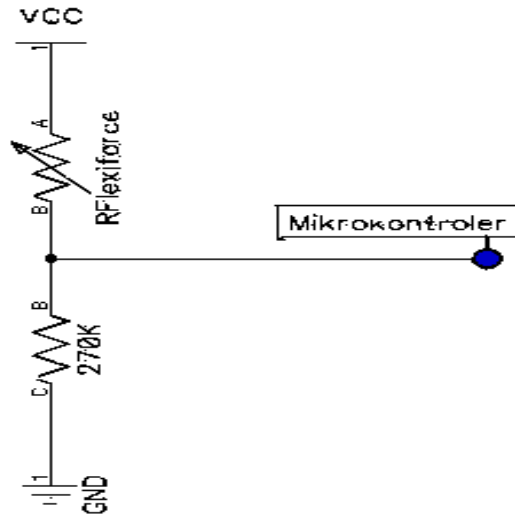
Gambar 2.7. Grafik Hubungan Antara Resistansi dengan Berat (Tekscan, 2008).

Spesifikasi sensor *flexiforce* adalah:

- 1) Memiliki range deteksi gaya hingga 100 lbs, dimana 1 lbs setara dengan 0.45359 N, sehingga jika dikonversi dalam besaran newton *flexiforce* A201 memiliki range deteksi 45,359 N.
- 2) Linearitas yang mampu dihasilkan $\pm 3\%$, dan mampu merespon perubahan gaya dengan waktu respon $<5 \mu\text{s}$.
- 3) Mampu bekerja pada rentang suhu -9°C hingga 204°C .
- 4) Namun pada sensor terjadi “*Repeatability*” dengan nilai $\pm 2,5\%$ dari *full-scale*, dengan kata lain terjadi ketimpangan pada *output* sensor.
- 5) Histerisis yang dihasilkan sebesar $\pm 4,5\%$.

Keluaran sensor ini masih berupa perubahan resistansi, untuk menjadi perubahan tegangan, tegangan masukan harus konstan yaitu sebesar $+5\text{ V}$, resistansi referensi sebesar $1\text{ k}\Omega$ sampai $100\text{ k}\Omega$, resistansi untuk sensor tidak lebih dari $5\text{ M}\Omega$, serta arus maksimal yang digunakan adalah $2,5\text{ mA}$ (Tekscan, 2008).

Rangkaian sensor *flexiforce* digambarkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Rangkaian Sensor *Flexiforce* (Tresna dan Pola, 2013)

Berdasarkan Gambar 2.8 untuk memperoleh tegangan *output* sensor maka dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$V_{out\ sensor} = \frac{R_{BC}}{R_{AB} + R_{BC}} \times V_{cc} \quad (4)$$

Di mana:

V_{out} = Tegangan *output* sensor (Volt)

R_{AB} = Resistansi R_{AB} (Ohm) = Resistansi *flexiforce*

R_{BC} = Resistansi R_{BC} (Ohm)

V_{cc} = Tegangan catu (Volt)

I. Mikrokontroler ATmega32

Mikrokontroler adalah suatu chip yang dapat digunakan sebagai pengontrol utama sistem elektronika, di dalam chip tersebut sudah ada unit pemrosesan memori *Read Only Memory* (ROM), *Random Access Memory* (RAM), *input output*, dan fasilitas pendukung lainnya (Budiharto, 2004). Pada penelitian ini digunakan

prosesor mikrokontroler *Alf And Vegard's Risc Processor* dari vendor Atmel. Tipe mikrokontroler yang digunakan berupa mikrokontroler ATmega 32 yang memiliki arsitektur *Reduced Instruction Set Computing* (RISC) dengan lebar bus data 10 bit. Bentuk fisik mikrokontroler ATmega 32 dapat dilihat pada Gambar 2.9.

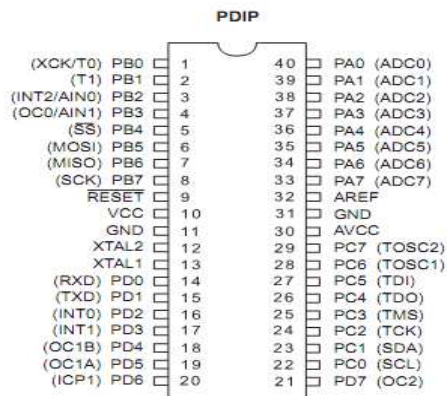


Gambar 2.9. Bentuk Fisik Mikrokontroler ATmega32 (Nana, 2014)

ATmega32 merupakan salah satu mikrokontroler buatan Atmel yang memiliki banyak kegunaan. ATmega32 memiliki empat *port* yang dapat digunakan untuk banyak masukan atau keluaran, memiliki ADC, *timer* dan fasilitas lainnya. Keuntungan lain mikrokontroler ini adalah cara pemrogramannya mudah karena tidak memerlukan *downloader* seperti mikrokontroler generasi sebelumnya (Ristantono dkk, 2012).

m. Konfigurasi pin mikrokontroler ATmega 32

Mikrokontroler memiliki beberapa *port* yang dapat digunakan sebagai *input/output* (IO). Susunan kaki standar 40 pin mikrokontroler ATmega32 seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Susunan Kaki ATmega32 (Johny, 2012)

Penjelasan konfigurasi pin pada mikrokontroler AVR ATmega32 adalah:

- a. VCC merupakan pin masukan positif catu daya.
- b. GND sebagai pin Ground.
- c. AVCC sebagai pin masukan tegangan untuk ADC.
- d. AREF sebagai pin masukan tegangan referensi.
- e. Reset merupakan pin yang digunakan untuk me-*reset* mikrokontroler.
- f. *Port A* (PA0-PA7) merupakan pin I/O dua arah dan dapat diprogram sebagai pin masukan ADC.
- g. *Port B* (PB0-PB7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu Timer/Counter, komparator analog dan SPI.
- h. *Port C* (PC0-PC7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu TWI, komparator analog, dan *Timer Osilator*.
- i. *Port D* (PD0-PD7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu komparator analog, interupsi eksternal dan komunikasi serial.
- j. XTAL 1 dan XTAL 2 sebagai pin masukan *clock* eksternal. Sumber detak (*clock*) dibutuhkan oleh mikrokontroler agar dapat mengeksekusi instruksi

yang ada di memori. Semakin tinggi nilai kristalnya, maka semakin cepat kerja mikrokontroler tersebut (Budiharto dan Rizal, 2007).

n. *Liquid Crystal Display (LCD)*

LCD adalah kristal cair pada layar yang digunakan sebagai tampilan dengan memanfaatkan listrik untuk mengubah-ubah bentuk kristal-kristal cairnya sehingga membentuk tampilan angka dan atau huruf pada layar. LCD sebagai modul penampil yang banyak digunakan karena tampilannya menarik. M1632 merupakan modul LCD matrix dengan konfigurasi 16 karakter dan 2 baris dengan setiap karakternya dibentuk oleh 8 baris pixel dan 5 kolom pixel (1 baris terakhir adalah kursor). Pada LCD tersebut terdapat register data dan register perintah. Proses akses data ke atau dari register data akan mengakses ke CGRAM, DDRAM, atau CGROM, bergantung pada kondisi *address counter* sedangkan proses akses data ke atau dari register perintah akan mengakses ke *instruction decoder* dan menentukan perintah-perintah yang dilakukan LCD (Nalwan, 2004). Rangkaian *interfacing* untuk LCD tidak banyak memerlukan komponen pendukung. Hanya diperlukan satu resistor dan satu variabel resistor untuk memberi tegangan kontras pada matriks LCD. Modul LCD ini membutuhkan daya yang kecil dan dilengkapi dengan panel LCD dengan tingkat kontras yang cukup tinggi, serta pengendali LCD CMOS yang terpasang dalam modul tersebut. Pengendali mempunyai pembangkit karakter ROM /RAM dan *display* data RAM. Semua fungsi *display* diatur oleh instruksi-instruksi, sehingga modul LCD ini dapat dengan mudah dihubungkan dengan unit mikroprosesor (Wardhana, 2006). Display karakter pada LCD diatur oleh pin EN, RS dan RW:

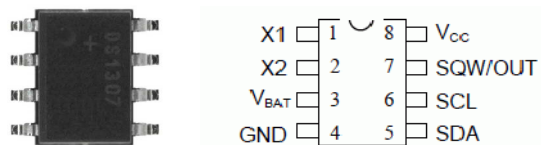
1. Jalur EN dinamakan *Enable*. Jalur ini digunakan untuk memberitahu LCD bahwa anda sedang mengirimkan sebuah data. Untuk mengirimkan data ke LCD, maka melalui program EN harus dibuat logika low “0” dan set pada dua jalur kontrol yang lain RS dan RW. Ketika dua jalur yang lain telah siap, set EN dengan logika “1” dan tunggu untuk sejumlah waktu tertentu (sesuai dengan datasheet dari LCD tersebut) dan *display* karakter pada LCD diatur oleh pin EN, RS dan RW berikutnya set EN ke logika low “0” lagi.
2. Jalur RS adalah jalur *Register Select*. Ketika RS berlogika low “0”, data akan dianggap sebagai sebuah perintah atau instruksi khusus (seperti *clear screen*, posisi kursor dan lain-lain). Ketika RS berlogika high “1”, data yang dikirim adalah data text yang akan ditampilkan pada *display* LCD.
3. Jalur RW adalah jalur kontrol *Read/Write*. Ketika RW berlogika *low* (0), maka informasi pada bus data akan dituliskan pada layar LCD. Ketika RW berlogika *high* ”1”, maka program akan melakukan pembacaan memori dari LCD. Sedangkan pada aplikasi umum pin RW selalu diberi logika low ”0”. Pada akhirnya, bus data terdiri dari 4 atau 8 jalur (bergantung pada mode operasi yang dipilih oleh *user*). Pada kasus bus data 8 bit, jalur diacukan sebagai DB0 s/d DB7 (Budiharto dan Rizal, 2007).

o. *Real Time Clock (RTC) DS1307*

Agar pencatatan pada *micro* SD teridentifikasi dengan baik, pada setiap pencatatan diperlukan waktu lokal pencatatan. Waktu lokal pencatatan dibangun menggunakan IC DS1307 (Sumiharto, 2010). DS1307 merupakan RTC buatan *Dallas-Maxim Semiconductor*. Tanggal yang dicatat atau direkam oleh DS1307 menyediakan informasi detik, menit, jam, tanggal, bulan dan tahun (Pracoyo,

2008). Akhir dari tanggal otomatis diatur untuk bulan dengan kurang dari pada 31 hari, termasuk koreksi tahun kabisat. *Clock* dapat mengoperasikan dalam format 24 jam atau 12 jam dengan indikator AM/PM (Jarín, 2008).

DS1307 tidak memiliki keterbatasan dalam penulisan ulang, tetapi DS1307 membutuhkan baterai untuk menyimpan data dan mengaktifkan jam. Apabila baterai tidak dipasang, maka semua data yang ada pada DS1307 akan hilang (Khoswanto dkk, 2004). Secara fisik DS1307 seperti pada Gambar 2.11.

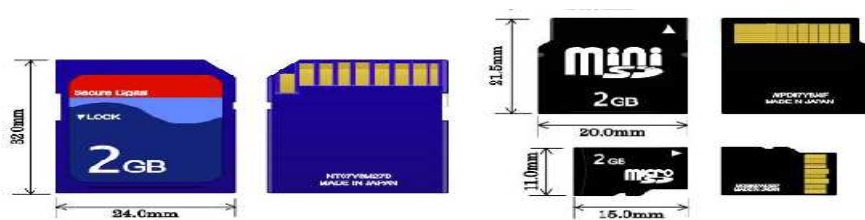


Gambar 2.11. Bentuk Fisik DS1307 Beserta Keterangan Kaki-Kakinya (Susilo, 2010).

DS1307 membutuhkan catu daya 5 volt yang dihubungkan pada kaki V_{CC} dan GND. Rangkaian utamanya hanya membutuhkan kristal eksternal 32,768 KHz yang dihubungkan pada kaki X1 dan X2 dan sebuah baterai 3 V untuk menyimpan data di *Non-Volatile Random Access Memory* (NVRAM) pada V_{BAT} dan GND. Jalur data I2C memiliki *tipe open drain*, artinya perangkat hanya bisa menarik jalur data menjadi *low*. Oleh karena itu, diperlukan resistor *pull-up* pada SDA dan SCL untuk menarik jalur data menjadi *high* ketika tidak ada perangkat yang berkomunikasi. Resistor *pull-up* adalah resistor yang dihubungkan antara jalur data dan V_{CC}, supaya secara default mendapat logika satu/*high*, ketika mendapat *trigger* maka akan berubah menjadi logika nol/*low*. Kaki SQW/OUT sendiri bisa diatur untuk menghasilkan gelombang kotak. Apabila fitur tersebut tidak digunakan, maka tidak perlu dipasang resistor (Withamana, 2009).

p. Media Penyimpanan Data

Penyimpanan data dalam penelitian ini menggunakan *Micro SD*. *Micro SD* seringkali digunakan sebagai sarana penyimpan data pada *Personal Digital Assistant* (PDA), kamera digital, dan telepon seluler (ponsel). *Micro SD* memiliki dimensi 32 mm x 24 mm x 2,1 mm (panjang x lebar x tebal). Bentuk fisik *Micro SD* ditunjukkan oleh Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Bentuk Fisik dan Dimensi SD Card, Mini SD, dan Micro SD (Stevan, 2009)

Ada tiga macam cara berkomunikasi dengan Micro SD, yaitu: 1. *One-bit SD mode*; 2. *Four-bit SD mode*; 3. *Serial Peripheral Interface* (SPI) *mode*. Cara komunikasi yang terakhir merupakan cara termudah karena protokolnya mudah dipelajari sehingga komunikasi yang umum digunakan menggunakan mikrokontroler adalah SPI (Sunardi dkk, 2009).

Format data pada Micro SD umumnya menggunakan format *File Allocation Table* (FAT). *FAT file systems* adalah sebuah sistem berkas yang menggunakan struktur tabel alokasi berkas sebagai cara dirinya beroperasi. Dengan adanya *FAT file systems* memungkinkan data disimpan dalam file yang dapat langsung dikenali oleh sistem operasi dengan format ekstensi *text document* (*.txt) sehingga data hasil rekaman dapat langsung dibaca dan dipindahkan ke dalam komputer

(Sumiharto, 2010). FAT12 digunakan untuk kapasitas 16 MB ke bawah, FAT16 digunakan untuk kapasitas 32 MB hingga 2 GB, dan FAT32 umumnya digunakan untuk kapasitas di atas 2 GB (Haryono dan Surmayono, 2006).

q. *Serial Peripheral Interface (SPI)*

SPI merupakan hubungan data serial yang standar untuk mikroprosesor, mikrokontroler dan peripheral yang dikeluarkan oleh perusahaan Motorola. Hubungan dalam SPI merupakan hubungan data serial yang *full-duplex*, *synchronous*. SPI dipakai untuk menyediakan komunikasi antara pengontrol dengan piranti peripheral. Komunikasi antara mikroprosesor dan peripheral atau *inter-processor* dapat dilakukan dengan SPI. Piranti SPI tersedia dari *shift register* sederhana untuk ADC, DAC, dan chip memori. Pengontrol yang terintegrasi dengan port SPI menyediakan hubungan ke piranti peripheral dengan port SPI. SPI mampu mengirim data hingga kecepatan 3 MHz (Susilo, 2010). Sistem SPI ini cukup fleksibel sebagai antarmuka secara langsung. Skema SPI terdiri dari SPI *Master* dan SPI *Slave* seperti yang ditunjukkan Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Skema antarmuka komunikasi SPI (Withamana, 2009).

Mode pengiriman data dengan SPI memerlukan 4 pin jalur data, yaitu *Serial Clock (SCLK)*, *Master Output/Slave Input (MOSI/SIMO)*, *Master Input/Slave Output (MISO/SOMI)* dan *Slave Select (SS)*. *Device* yang dikomunikasikan

menggunakan SPI dibedakan dalam *master* dan *slave mode*. Pada sistem penyimpanan data pada alat ukur curah hujan ini, SPI *Master* adalah mikrokontroler dan SPI *Slave* adalah *Micro SD* (Withamana, 2009).

r. Control Valve Solenoida

Valve solenoida pada penelitian ini digunakan untuk mengalirkan dan memutuskan aliran air hujan pada saat pengambilan data curah hujan. Prinsip kerja *solenoid valve* sebenarnya tidak jauh berbeda dengan cara kerja sebuah relay. Jika pada relay medan magnet yang ditimbulkan dari aliran arus pada kumparan digunakan untuk menarik lidah kontaktor, namun pada *solenoid valve* medan magnet yang ditimbulkan digunakan untuk menggerakkan katup atau klep sehingga *solenoid valve* berfungsi sebagai kran air dalam kondisi terbuka. Jadi pada saat kumparan dialiri arus listrik terjadi medan magnet di sekitar solenoid dan diantara dua solenoid ini di beri inti yang dapat bergerak bebas ke atas dan ke bawah, inti atau *core* terbuat dari bahan yang dapat ditarik oleh magnet sehingga ketika terjadi medan magnet disekitar kumparan inti tersebut tertarik ke atas. Inti yang dapat bergerak ke atas dan ke bawah ini dihubungkan dengan katup atau klep sehingga jika inti tertarik ke atas klep juga ikut tertarik ke atas yang berarti *solenoid valve* dalam keadaan terbuka. Sebaliknya, jika arus dalam kumparan dimatikan maka medan magnet di sekitar kumparan juga akan hilang dan inti besi bergerak turun karena tertekan oleh gaya pegas yang dipasang berlawanan dengan arah gaya medan magnet kumparan. Gaya pegas ini mendorong klep penutup dan menyumbat laju aliran, sehingga *solenoid valve* akan tertutup, *solenoid valve* sebenarnya merupakan gabungan dari dua unit fungsional yaitu:

- a. Solenoid (*electromagnet*) beserta inti dari *plungernya*.
- b. Badan kran yang berisi lubang mulut pada tempat piringan dan stop kontak untuk membuka dan menutup aliran cairan.

Bentuk dasar *valve solenoid* ditunjukkan oleh Gambar 2.14.



Gambar 2.14. *Valve Solenoida*

Aplikasi standar dari *solenoid valve* biasanya menghendaki bahwa kran dipasang langsung pada saluran pipa atau pada pertengahan pipa yang menghubungkan air masuk dengan air keluar. Badan kran biasanya kuningan yang ditempa. Dianjurkan menggunakan saringan untuk mencegah pasir halus atau kotoran dari rumah pada lubang mulut dan menyebabkan kebocoran. Kran harus dipasang dengan arah aliran sesuai dengan anak panah yang tercetak pada sisi bodi kran., atau tanda “IN” dan “OUT” pada hubungan pipa. *Solenoid valve* cocok untuk menangani aliran pada satu arah saja. Dengan tekanan yang diberikan pada bagian atas dari piringan kran (Syaryadhi, 2007).