

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Penelitian tentang pengukuran resistivitas tanah dan suhu tanah sudah pernah dilakukan oleh berbagai peneliti. Salah satunya pernah dilakukan oleh Muallifah (2009) tentang pengukuran resistivitas tanah, dan adapun untuk pengukuran suhu tanah pernah dilakukan oleh Putranto dkk (2009).

Penelitian pengukuran resistivitas tanah Muallifah (2009) yaitu penelitian ini menggunakan media tanah kering daerah Utomo Malang, metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode geolistrik resistivitas yaitu menginjeksi arus ke dalam tanah menggunakan konfigurasi wenner. Prinsip kerja penelitian ini, dengan menginjeksikan arus ke dalam bumi melalui dua elektroda potensial. Dengan adanya aliran arus listrik tersebut maka menimbulkan beda potensial listrik di dalam tanah. Beda potensial yang terjadi diukur melalui dua elektroda potensial yang berada di dalam konfigurasi wenner dengan menggunakan multimeter. Penelitian ini didapat bahwa resistivitas tiap jenis tanah berbeda, semakin panjang jarak elektrodanya, resistivitasnya semakin besar. Adapun hasil pengukuran

resistivitas tanah pada penelitian ini yaitu pada panjang jarak elektroda 7 m memiliki nilai rata-rata resistivitas tanah 10281,95 Ω m.

Sifat fisika tanah berupa suhu tanah, pada penelitian Putranto (2009), menggunakan sensor SHT11. Sensor ditanam pada kedalaman 1m, 3m dan 5m. Kabel yang digunakan untuk sensor berupa kabel *unshielded twisted pair* (UTP) dengan panjang 2m, 4m dan 6m. Sensor terlebih dahulu dikalibrasi, dimana proses kalibrasi dilakukan di Pusat Instrumentasi dan Kalibrasi Meteorologi BMKG dengan menggunakan *temperature chamber* dan alat ukur suhu standar *Fluke Heart Scientific*, Besarnya nilai koreksi hasil kalibrasi yang digunakan adalah -0,4434°C. Nilai ini dimasukkan langsung ke dalam program mikrokontroler pada bagian perhitungan nilai sensor. Pengukuran penelitian ini dilakukan selama 1 menit untuk data suhu tanah yang diambil dengan interval waktu 5 detik. Diketahui bahwa pada kedalaman 5m memiliki suhu terbesar yaitu 25,02⁰C sementara sensor pada kedalaman 1m memiliki suhu terkecil yaitu 24,54⁰C terhadap tanah.

2.2.Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian ini dilakukan pada dua pengukuran secara bersamaan yaitu metode geolistrik resistivitas untuk pengukuran resistivitas tanah dan penggunaan sensor DS 18B20 untuk pengukuran suhu. Resistivitas tanah diukur melalui 4 elektroda konfigurasi Wenner, dengan memanfaatkan sifat logam yang dapat menghantarkan elektron pada tanah. Pengukuran suhu menggunakan sensor DS 18B20 karena mempunyai kemampuan mengukur suhu dari -55⁰C sampai 125⁰C. Data penelitian yang

dihasilkan direkam menggunakan micro SD 2 GB yang diketahui pewaktuan data menggunakan RTC. Adapun perbedaan penelitian dengan sebelumnya, penelitian Muallifah (2009) tentang resistivitas tanah, penelitian tersebut hanya fokus pada sifat fisika tanah berupa resistivitas tanah. Adapun penelitian Putranto dkk (2009) hanya mengenai suhu tanah, penelitian ini menggunakan sensor SHT11, dengan kemampuan sensor SHT11 dapat mengukur suhu dari 20⁰C sampai 30⁰C.

2.3. Teori Dasar

2.3.1. Tanah

Tanah merupakan media untuk menyimpan makanan bagi pertumbuhan tanaman. Di dalam tanah tersusun beberapa lapisan yaitu *top soil*, *sub soil*, dan lapisan paling bawah. *Top soil* merupakan lapisan paling atas yang mempunyai kegiatan hayati. *Sub soil* bagian lapisan tanah ditingkat tengah, terdapat unsur hara. Tanah pada kedalaman tertentu selalu dijenuhi air yang disebut air tanah. Tanah terpengaruhi oleh faktor-faktor genetika dan lingkungan yaitu bahan induk, iklim (meliputi pengaruh kelembaban dan suhu) organisme makro dan mikro, serta topografi yang semuanya aktif pada suatu periode waktu dan menghasilkan produk tanah yang berbeda dengan bahan asalnya dalam berbagai sifat dan ciri fisika, kimia, biologi dan morfologi (Soemarto, 1994).

2.3.2. Air Tanah

Air tanah dibedakan menjadi dua, yaitu air tanah dangkal dan air tanah dalam. Air tanah dangkal terdapat pada bidang tanah yang mempunyai pengaruh besar terhadap proses pembentukan tanah. Melalui profil, kedalaman air tanah dapat diduga berdasarkan tinggi muka air tanah yang selalu mengalami periode naik turun sesuai dengan keadaan musim atau faktor lingkungan luar lainnya. Air yang dibutuhkan oleh tanaman adalah air yang terdapat didalam tanah yang ditahan oleh butir-butir tanah. Air yang dibutuhkan tidak hanya banyaknya, tetapi pembagiannya yang merata (Hakim,1986). Ketika mineral-mineral yang mengandung garam larut dalam air, maka terbentuklah larutan elektrolit. Larutan elektrolit ini bersifat menghantarkan listrik karena ketika arus dilewatkan padanya maka terjadilah ionisasi, yaitu terbentuknya ion-ion positif dan negatif. Ion-ion ini berperan besar sebagai pembawa elektron-elektron didalam larutan, sehingga arus listrik dapat mengalir. Air tanah juga berperan sebagai larutan elektrolit karena melarutkan mineral-mineral tanah yang dapat menghantarkan arus listrik (Surtono, 2015).

2.3.3. Kelembaban Tanah

Besar resistivitas tanah dipengaruhi oleh konsentrasi air tanah. Pada harga kelembaban yang rendah diperoleh resistivitas pembumian yang besar dan sebaliknya bila harga atau konsentrasi air di dalam tanah besar, maka harga resistivitas pembumian menjadi kecil. Hal ini disebabkan karena proses mengalir arus listrik didalam tanah sebagian besar adalah proses

elektrolisis. Dengan demikian maka air dalam tanah akan mempengaruhi resistivitas tanah (Whardana, 2008).

2.3.4. Sifat Listrik Batuan

Arus listrik di dalam batuan dapat digolongkan menjadi tiga devisi yaitu konduksi secara elektronik, elektrolitik, dan dielektrik. Konduksi elektrolit terjadi jika batuan atau mineral memiliki banyak elektron bebas sehingga arus listrik dialirkan dalam batuan atau mineral tersebut oleh elektron-elektron bebas itu. Konduksi elektrolitik terjadi jika batuan atau mineral memiliki pori-pori yang terisi oleh cairan-cairan elektrolit. Konduksi dielektrik terjadi jika arus listrik yang ada dalam batuan atau mineral mengalami polarisasi saat bahan dialiri listrik. Berdasarkan harga resistivitas listriknya, batuan atau mineral digolongkan menjadi 3 golongan yaitu:

Konduktor baik $: 10^{-8} < \rho < 1 \Omega\text{m}$

Konduktor pertengahan $: 1 < \rho < 10^7 \Omega\text{m}$

Isolator $: \rho > 10^7 \Omega\text{m}$

Sebagai interpretasi hanya harga ρ parameter yang digunakan, dengan ρ merupakan harga resistivitas tanah (Anonymous, 1995).

2.3.5. Hukum Coulomb

Experimen Charles Augustin Coulomb (1736-1806) yang kemudian dikenal sebagai hukum coulomb, memperlihatkan bahwa muatan yang sejenis akan saling tolak menolak satu sama lain sedangkan muatan yang berbeda akan saling tarik menarik. Gaya tarikan dan tolakan atau yang biasa disebut gaya coulomb sebanding dengan besarnya muatan dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antar muatan, dituliskan dibawah ini.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2} \quad (2.1)$$

Dimana

F = gaya coulomb (N)

q^1, q^2 = muatan (C)

r = jarak antar muatan (m)

k = konstanta bernilai $(\frac{1}{4\pi})$

ϵ = konstanta yang mewakili pengaruh media

Nilai konstanta yang mewakili media hampa udara adalah

$$\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12}$$

Sedangkan nilai konstanta untuk media lain digunakan persamaan berikut

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0 \quad (2.2)$$

Dimana ϵ_r merupakan permitivitas relatif atau konstanta dielektrik bahan.

Hukum coulomb hanya berlaku untuk muatan-muatan titik yaitu benda-benda bermuatan yang ukurannya jauh lebih kecil daripada jarak antar muatan-muatannya (Halliday dan Resnick, 1978).

2.3.6. Medan Listrik

Setiap daerah di dalam ruang dimana sebuah muatan listrik mengalami gaya listrik disebut medan listrik. Gaya tersebut disebabkan oleh kehadiran muatan lain dalam daerah tersebut. Medan listrik (E) disebut gaya persatuan muatan yang dialami oleh muatan uji yang ditempatkan di titik uji dan secara matematis dinyatakan sebagai

$$E = \frac{F}{q} \quad (2.3)$$

Dimana

E =medan listrik (N/C);

F =gaya coulomb (N);

q =muatan (C).

E merupakan besaran vektor karena F adalah besaran vektor meskipun q adalah besaran skalar. Dalam bentuk vektor persamaan 2.3 dituliskan sebagai berikut

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (2.4)$$

Arah $\vec{E}$ sesuai dengan arah $\vec{F}$ yakni yang menyatakan arah muatan titik diam yang cenderung bergerak (Alonso dan Finn,1992).

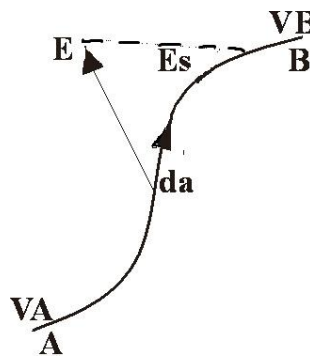
2.3.7. Potensial Listrik

Sebuah partikel bermuatan yang diletakkan dalam suatu medan listrik akan mempunyai energi potensial sebab medan itu mengerjakan gaya pada muatan dan karena itu maka harus dikerjakan suatu usaha untuk membawa muatan tersebut ke suatu tempat tertentu di dalam medan. Artinya usaha dilakukan oleh medan listrik bila muatan bergerak dari satu tempat ke

tempat lain. Potensial listrik disebut titik uji dalam suatu medan listrik didefinisikan sebagai energi potensial persatuan muatan yang diletakkan dititik itu. Karena itu potensial listrik merupakan besaran skalar, maka dapat ditulis

$$V = \frac{E_p}{q} \quad (2.5)$$

Satuan SI untuk potensial listrik adalah Joule/Coulomb (JC^{-1}) (Alonso dan Finn, 1980). Hubungan antara potensial listrik dan medan listrik dapat dilihat pada muatan q yang bergerak dari titik A ke titik B dalam suatu medan listrik seperti terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Pergerakan muatan q dari titik A ke titik B dalam medan listrik.

Energi potensial muatan q pada titik A adalah $\vec{E}_{PA} = qV_A$ sedangkan energi potensial muatan q pada titik B adalah $\vec{E}_{PB} = qV_B$. Perubahan energi potensial muatan q dari titik A ke titik B adalah

$$\Delta \vec{E}_{PAB} = \vec{E}_{PA} - \vec{E}_{PB} = q(V_A - V_B) \quad (2.6)$$

Karena

$$\vec{E}_{PA} - \vec{E}_{PB} = \vec{W}_{A \rightarrow B} \quad (2.7)$$

Dan $\vec{F} = q\vec{E}$ dengan $\vec{E}$ adalah vektor medan listrik maka

$$\vec{W}_{A \rightarrow B} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_A^B q\vec{E} \cdot d\vec{r} \quad (2.8)$$

$$\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r} = V_A - V_B \quad (2.9)$$

Jika A dan B berhimpit maka

$$\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r} = 0 \quad (2.10)$$

Dengan mengacu pada Gambar 2.1 Persamaan 2.9 dapat diubah menjadi

$$\int_A^B \vec{E}_s \cdot d\vec{s} = V_A - V_B \quad (2.11)$$

$$\int_A^B \vec{E}_s \cdot d\vec{s} = (V_A - V_B) = -\int_A^B dV \quad (2.12)$$

Dengan E_s adalah komponen E sepanjang lintasan. Apabila jarak A dan B sangat dekat maka

$$\vec{E}_s ds = -dV \quad (2.13)$$

Untuk mendapatkan potensial listrik sebuah muatan listrik maka komponen s dalam persamaan 2.13 dapat diganti dengan r karena medan listriknya radial sehingga

$$\vec{E} = -\frac{\partial V}{\partial r} \quad (2.14)$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} = -\frac{\partial V}{\partial r} \quad (2.15)$$

$$\int dV = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{q}{r^2} dr \quad (2.16)$$

Dengan menganggap $r=\infty$ untuk $V=0$ maka

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (2.17)$$

Harga negatif atau positif potensial listrik tergantung pada tanda muatan q yang menghasilkannya. Permukaan-permukaan yang mempunyai potensial listrik yang sama di semua titik ($V = \text{konstan}$) disebut permukaan ekipotensial (Alonso dan Finn, 1992).

2.3.8. Arus Listrik

Arus listrik secara kualitatif didefinisikan sebagai muatan yang mengalir dan dinyatakan dengan simbol I . Jika banyaknya muatan yang mengalir per satuan waktu tidak konstan maka arus akan berubah dengan waktu dan diberikan oleh persamaan diferensi berikut

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (2.18)$$

Namun jika muatan yang mengalir konstan maka arus dinyatakan dengan

$$I = \frac{q}{t} \quad (2.19)$$

dimana

I = arus listrik (A);

q =muatan (C);

t =waktu (detik).

Besarnya arus listrik I pada sebuah penampang penghantar adalah sama, walaupun luas penampang mungkin berbeda pada titik-titik yang berbeda. Arus listrik yang tetap diperoleh karena tidak ada sumber atau bak muatan pada penghantar tersebut. Arus listrik I merupakan sebuah ciri (karakteristik) dari suatu penghantar. Arus tersebut adalah sebuah kuantitas makroskopik, seperti massa sebuah benda, volume sebuah benda atau panjang sebuah tongkat. Sebuah kuantitas mikroskopik yang dihubungkan dengan arus listrik adalah rapat arus (J). Jika arus tersebut didistribusikan secara seragam pada sebuah penghantar dengan luas penampang A maka besar rapat arus untuk semua titik pada penampang tersebut adalah

$$J = \frac{I}{A} \quad (2.20)$$

Persamaan 2.20 hanya dapat digunakan untuk kasus khusus yaitu nilai J adalah konstan diseluruh permukaan dan tegak lurus pada permukaan tersebut (Halliday dan Resnick, 1978).

2.3.9. Hukum Ohm

Hukum ohm diformulasikan oleh ahli fisika Jerman, Georg Ohm (1781-1854). Hukum ini menyatakan, untuk suatu konduktor logam pada suhu konstan, perbandingan antara perbedaan potensial ΔV antara dua titik dari konduktor dengan arus listrik yang melewati konduktor tersebut adalah konstan. Jika suatu arus yang melewati suatu penghantar konduktor dengan satu ampere ketika perbedaan potensialnya dijaga satu volt di ujung ujung konduktor tersebut, maka besarnya pada konduktor tersebut adalah satu Ω , secara matematis dituliskan

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (2.21)$$

Hukum ohm memiliki ketelitian yang sangat baik untuk berbagai macam konduktor, tetapi hukum ini tidak berlaku untuk bahan semikonduktor. Hubungan antara beda potensial, kuat arus dan tahanan jenis listrik yang ada pada suatu penghantar dijelaskan dengan hukum ohm

$$\Delta V = IR \quad (2.22)$$

dimana

ΔV = beda potensial (V);

I = arus listrik (A);

R = resistivitas (Ω).

Dari hubungan antara medan listrik dan potensial listrik diketahui bahwa

$$\Delta V = rE \quad (2.23)$$

dimana

r = panjang penghantar (m);

E =medan listrik (N/C).

Subtitusikan persamaan 2.22 ke 2.23, untuk penghantar dengan panjang (r) besar arus listriknya adalah

$$I = \frac{rE}{R} \quad (2.24)$$

Apabila persamaan tersebut dituliskan sebagai nilai rapat arus didapatkan persamaan baru yaitu

$$J = \left[\frac{r}{RA} \right] E \quad (2.25)$$

$\left[\frac{r}{RA} \right]$ merupakan besaran yang menunjukkan karakteristik suatu penghantar yang disebut sebagai konduktifitas listrik (σ) dan secara matematis dapat ditulis sebagai berikut

$$\sigma = \left[\frac{r}{RA} \right] \quad (2.26)$$

Sehingga nilai rapat arus dapat ditulis

$$J = \sigma E \quad (2.27)$$

Harga kondisi listrik (σ) merupakan berbanding terbalik dengan harga resistivitas suatu penghantar maka

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2.28)$$

$$\sigma = \frac{J}{E} = \frac{J}{\Delta V / r} = \frac{Jr}{\Delta V} = \frac{Ir/A}{\Delta V} = \frac{Ir}{\Delta VA} \quad (2.29)$$

Dengan mensubtitusikan persamaan 2.28 ke persamaan 2.29 maka didapatkan harga resistivitas

$$\rho = \frac{A\Delta V}{Ir} \quad (2.30)$$

(Alonso dan Finn, 1992).

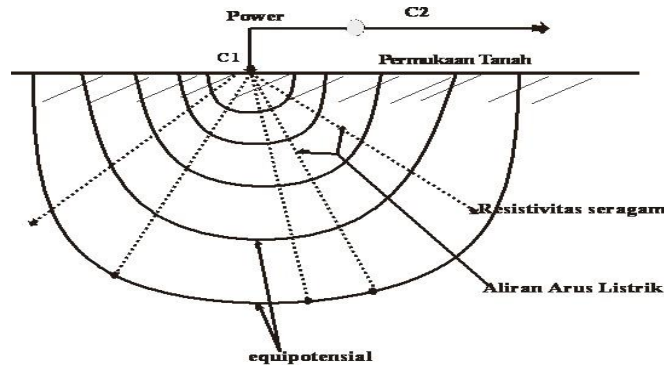
2.3.10. Metode Geolistrik Resistivitas

Salah satu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi adalah metode geolistrik. Metode ini meliputi pengukuran potensial, arus, dan medan elektromagnetik yang terjadi baik secara alami atau pun akibat injeksi arus kedalam bumi dengan tujuan tertentu.

Metode resistivitas adalah metode geolistrik yang melibatkan arus listrik yang diinjeksikan ke dalam tanah melalui elektroda. Prosedur selanjutnya yaitu mengukur beda potensial yang timbul menggunakan elektroda yang berbeda. Setelah potensial diketahui maka nilai resistivitas dapat dihitung (Lawrie, 2007).

2.3.11. Elektroda Arus Tunggal di Permukaan Tanah Homogen

Apabila ujung elektroda yang menghantarkan arus sebanyak I ampere diletakkan pada permukaan media yang homogen, isotropik dan udara diatasnya memiliki konduktivitas nol, maka mempunyai sistem tiga titik yang digunakan dalam *layout* resistivitas permukaan. Letak elektroda arus balikan dengan kata lain berada pada titik yang jauh jaraknya dari elektroda pertama. Gambar aliran arus dan equipotensial setengah bola yang dihasilkan oleh elektroda arus pada permukaan tanah dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Sumber arus tunggal di permukaan tanah homogen (Whardana, 2008).

Penggunaan persamaan laplace menggunakan koordinat bola dapat diaplikasikan untuk memperoleh nilai resistivitas (r), potensial (v), dan medan listrik (E), dengan asumsi daerah sekitar bola merupakan ruang bebas dan tidak ada muatan maupun konduktor lain disekitar bola. Dengan demikian, diperoleh nilai resistivitas (r) tak hingga karena bersifat radial maka menyebabkan nilai potensial (v) semakin mendekati 0 dan medan listrik (E) dengan nilai relatif kecil. Keadaan ini dapat digambarkan pada Gambar 2.2.

Persamaan laplace dalam koordinat bola dapat dituliskan sebagai berikut

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2} = 0 \quad (2.32)$$

Dalam pandangan pada media tanah membentuk simetri bidang bola, dilihat pada Gambar 2.2. V tidak menjadi fungsi dari θ dan ϕ maka persamaan laplace menjadi

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{dV}{dr} \right) = 0 \quad (2.33)$$

Kalikan persamaan 2. 33 diatas dengan r^2

$$\nabla^2 V r^2 = \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{dV}{dr} \right) = 0 \quad (2.34)$$

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{dV}{dr} \right) = 0 \quad (2.35)$$

Integralkan persamaan 2.35

$$\int \partial \left(r^2 \frac{dV}{dr} \right) = 0 \quad (2.36)$$

sehingga didapat

$$r^2 \frac{dV}{dr} = A \quad (2.37)$$

Integralkan persamaan 2.37 dengan disusun sebagai berikut

$$\int \partial V = \int \frac{A}{r^2} \partial r \quad (2.38)$$

$$\int \partial V = \int A r^{-2} \partial r \quad (2.39)$$

sehingga didapat

$$V = \frac{-A}{r} + B \quad (2.40)$$

dimana

A dan B konstanta

B= 0 (karena r = tak hingga)

Hasil yang didapatkan dari integral inilah yang menjadi acuan untuk mencari potensial dua elektroda potensial di tanah homogen. Dengan A dan B adalah konstanta dan B=0 saat panjang lintasan penghantar tak terhingga dan bersifat radial maka persamaan 2.40 menjadi

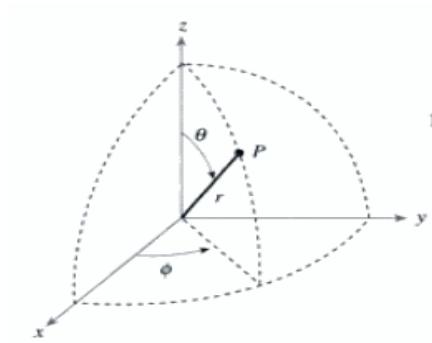
$$V = -\frac{A}{r} \quad (2.41)$$

Syarat keadaan batas permukaan adalah

$$E_z = \frac{\partial V}{\partial z} = 0 \text{ pada } z = 0 (\text{karena } \sigma_{udara} = 0) \quad (2.42)$$

Syarat ini sudah terpenuhi karena

$$\frac{\partial V}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(-\frac{A}{r} \right) = \frac{-\partial}{\partial r \left(\frac{A}{r} \right) \left(\frac{\partial r}{\partial z} \right)} = \frac{Az}{r^3} = 0 \text{ pada } z = 0 \quad (2.43)$$



Gambar 2.3. Sistem koordinat bola (William dan John, 2006).

Dalam pandangan simetri bola seperti terlihat pada Gambar 2.3, V tidak dapat menjadi fungsi dari θ dan ϕ . Arus listrik mengalir membentuk permukaan potensial setengah bola pada media yang lebih rendah. Persamaan berikut digunakan untuk menghitung total arus listrik yang mengalir membentuk permukaan bola. Berdasarkan persamaan 2.20 rapat arus $J=I/A$ maka

$$I = 4\pi r^2 J \quad (2.44)$$

Substitusikan persamaan 2.27 dan 2.14 ke persamaan 2.44 sehingga didapat

$$I = -4 \pi r^2 \sigma \frac{\partial V}{\partial r} \quad (2.45)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.37 maka persamaan 2.45 didapat

$$I = -4 \pi \sigma A \quad (2.46)$$

Jumlah total arus listrik yang mengalir membentuk permukaan setengah bola, sehingga luas permukaan bola dibagi dua dan diperoleh arus berikut

$$I = -2 \pi \sigma A \quad (2.47)$$

Karena $\sigma = \frac{1}{\rho}$ maka didapatkan arus total yang mengalir membentuk permukaan setengah bola adalah

$$I = \frac{-2\pi A}{\rho} \quad (2.48)$$

$$A = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.49)$$

Untuk mendapatkan resistivitas dari elektroda arus tunggal dipermukaan tanah maka substitusikan persamaan 2.49 ke persamaan 2.41 sehingga

$$V = -\frac{\left(\frac{-I\rho}{2\pi}\right)}{r} \quad (2.50)$$

$$V = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad (2.51)$$

$$\rho = \frac{2\pi rV}{I} \quad (2.52)$$

Persamaan 2.52 merupakan rumus untuk menentukan resistivitas dari elektroda arus tunggal di permukaan tanah (Lawrie, 2007).

dimana

ρ = resistivitas(Ω m);

I = arus listrik (A);

V =Tegangan (V);

r = jarak antar elektroda(m).

2.3.12. Dua Elektroda Arus di Permukaan Tanah Homogen

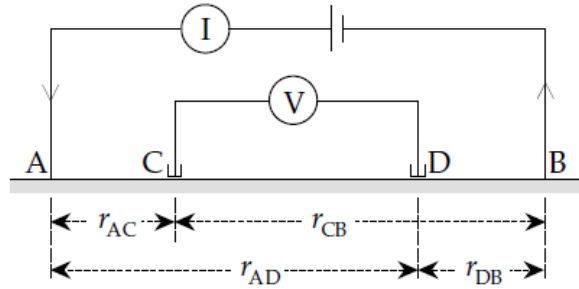
Potensial listrik pada lingkungan permukaan di sekitar elektroda akan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus hanya bila jarak antara kedua elektroda arus tersebut tidak terlalu jauh. Konfigurasi dua elektroda arus dipermukaan tanah homogen dapat dilihat pada Gambar 2.3. Jumlah total arus listrik yang mengalir pada dua elektroda arus membentuk permukaan setengah bola, sehingga untuk mencari arus total yang mengalir digunakan persamaan 2.48.

Potensial yang diakibatkan dari elektroda A pada C adalah V_1 dengan I_1

$$A_1 = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.53)$$

Subtitusikan persamaan 2.53 ke persamaan 2.41

$$V_1 = -\frac{A_1}{r_{AC}} = \frac{I\rho}{2\pi r_{AC}} \quad (2.54)$$



Gambar 2.4. Dua elektroda arus dan dua elektroda potensial di permukaan tanah homogen dengan resistivitas ρ

Potensial yang diakibatkan dari elektroda B pada C adalah V_2 . Karena arah I_2 berlawanan dengan I_1 maka $I = -I_2$.

$$A_2 = -\frac{(-I)\rho}{2\pi} \quad (2.55)$$

$$A_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.56)$$

Subtitusikan persamaan 2.56 pada persamaan 2.41 sehingga diperoleh

$$V_2 = -\frac{A_2}{r_{CB}} = -\frac{I_2\rho}{2\pi r_{CB}} \quad (2.57)$$

Maka diperoleh beda potensial pada C adalah

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{AC}} - \frac{1}{r_{CB}} \right) \quad (2.58)$$

Potensial yang diperoleh dari elektroda A pada D adalah V_3

$$A_3 = -\frac{r_{AD}\rho}{2\pi} \quad (2.59)$$

Subtitusikan persamaan 2.59 pada persamaan 2.41 maka $I = I_3$

$$V_3 = \frac{A_3}{r_{AD}} = \frac{I\rho}{2\pi r_{AD}} \quad (2.60)$$

Potensial yang diperoleh dari elektroda B pada D adalah V_4 . Karena arah I_4 berlawanan dengan I_3 maka $I = I_4$.

$$A_4 = -\frac{(-I_4)\rho}{2\pi} \quad (2.61)$$

$$A_4 = \frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.62)$$

Substitusikan persamaan 2.62 pada persamaan 2.41 sehingga diperoleh

$$V_4 = -\frac{A_4}{r_{DB}} = -\frac{I\rho}{2\pi r_{DB}} \quad (2.63)$$

Maka diperoleh beda potensial pada D sebagai berikut

$$V_3 + V_4 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{AD}} - \frac{1}{r_{DB}} \right) \quad (2.64)$$

Sehingga diperoleh beda potensial antara titik C dan D dapat diketahui dengan persamaan

$$\Delta V = (V_1 + V_2) - (V_3 + V_4) \quad (2.65)$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_{AC}} - \frac{1}{r_{CB}} \right) - \left(\frac{1}{r_{AD}} - \frac{1}{r_{DB}} \right) \right\} \quad (2.66)$$

Maka

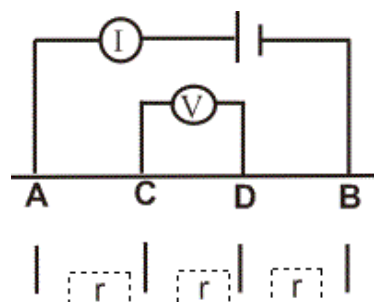
$$\rho = \frac{2\pi\Delta V}{I \left\{ \left(\frac{1}{r_{AC}} - \frac{1}{r_{CB}} \right) - \left(\frac{1}{r_{AD}} - \frac{1}{r_{DB}} \right) \right\}} \quad (2.67)$$

Dari persamaan 2.67 maka diperoleh resistivitas tanah dengan jarak masing-masing elektroda yang telah diketahui, sedangkan ΔV merupakan beda potensial diantara dua buah elektroda potensial dan dua buah elektroda arus. Bila jarak antara dua elektroda arus tidak terlalu besar, potensial di setiap titik dekat permukaan akan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus tersebut. Sehingga ekuipotensial yang dihasilkan dari kedua titik sumber bersifat lebih kompleks dibanding arus tunggal (Lawrie, 2007).

2.3.13. Konfigurasi Elektroda Arus dan Potensial

Konfigurasi elektroda yang ditanam pada tanah merupakan salah satu hal yang penting.

Pada penelitian ini menggunakan metode geolistrik elektroda konfigurasi Wenner. Pengambilan data menggunakan metode resistivitas dengan konfigurasi Wenner, konfigurasi ini sensitif terhadap perubahan nilai resistivitas baik secara lateral maupun vertikal. Dalam cara Wenner elektroda-elektroda yang digunakan diletakkan dalam satu garis lurus. Pengaturan jarak yang diberikan adalah $AC=CD=DB=r$, A dan B merupakan elektroda arus sedangkan C dan D merupakan elektroda potensial. Peletakkan elektroda dengan cara wenner dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Konfigurasi elektroda cara wenner

Persamaan untuk mencari resistivitas tanah dengan menggunakan cara wenner sebagai berikut yang diperoleh dari turunan persamaan dua elektroda arus di permukaan tanah homogen (Lawrie, 2007).

$$\rho = \frac{2\pi\Delta V}{I \left\{ \left(\frac{1}{r_{AC}} - \frac{1}{r_{CB}} \right) - \left(\frac{1}{r_{AD}} - \frac{1}{r_{DB}} \right) \right\}} \quad (2.67)$$

dimana

ρ = resistivitas (Ωm);

ΔV = beda potensial (V);

I = arus listrik (A);

r = jarak antar elektroda (m).

Dilihat dari Gambar 2.5 maka diperoleh $r_{AC} = r$, $r_{CB} = 2r$, $r_{AD} = 2r$, $r_{DB} = r$.

$$\rho = \frac{2\pi\Delta V}{I\left\{\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{2r}\right)-\left(\frac{1}{2r}-\frac{1}{r}\right)\right\}} \quad (2.68)$$

$$\rho = \frac{2\pi\Delta V}{I\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{2r}-\frac{1}{2r}+\frac{1}{r}\right)} \quad (2.69)$$

$$\rho = \frac{2\pi\Delta V}{I\left(\frac{1}{r}\right)} \quad (2.70)$$

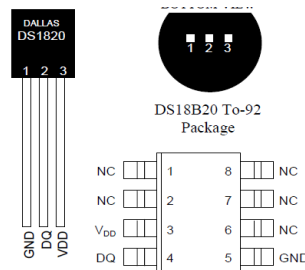
$$\rho = \frac{2\pi\Delta Vr}{I} \quad (2.72)$$

2.3.14. Sensor DS 18B20

DS18B20 merupakan sensor temperatur digital yang dapat dihubungkan dengan mikrokontroler lewat antarmuka 1-Wire®. Sensor ini dikemas secara khusus sehingga kedap air, cocok digunakan sebagai sensor di luar ruangan atau pada lingkungan dengan tingkat kelembaban tinggi. Fitur sensor ini sebagai berikut:

- 1) Antarmuka 1-Wire® yang hanya membutuhkan 1 pin I/O;
- 2) Memiliki identifikasi (64 bit), memudahkan aplikasi pendeteksi suhu multi yang terdistribusi;
- 3) Tidak membutuhkan komponen eksternal tambahan selain 1 buah *pull-up* resistor;
- 4) *Power supply* dapat diambil dari jalur data dengan tegangan antara 3 hingga 5,5 V DC;

- 5) Tidak membutuhkan daya pada mode siaga;
- 6) Dapat mengukur suhu antara -55°C hingga 125°C dengan akurasi 0.5°C pada -10°C s.d. $+85^{\circ}\text{C}$;
- 7) Resolusi termometer dapat diprogram dari 9 hingga 12 bit (resolusi $0,0625^{\circ}\text{C}$);
- 8) Kecepatan pendeteksian suhu pada resolusi maksimum kurang dari 750 ms;
- 9) Memiliki memori *non-volatile* untuk penyetelan alarm.



Gambar 2.6. sensor DS 18B20

2.3.15. Arduino Uno

Arduino Uno adalah salah satu produk berlabel Arduino yang sebenarnya adalah suatu papan elektronik yang mengandung mikrokontroler ATmega328. Piranti ini dapat dimanfaatkan untuk mewujudkan rangkaian elektronik dari yang sederhana hingga yang kompleks. Contoh penggunaannya pada pengendalian LED hingga pengontrolan robot dapat diimplikasikan dengan menggunakan papan yang berukuran relatif kecil. Arduino Uno mengandung mikroposepor (berupa Atmel AVR) dan dilengkapi dengan *oscillator* 16 MHz dan regulator 5 v. Pin 0 hingga 13 digunakan untuk isyarat digital, yang hanya bernilai 0 atau 1. Pin A0-A5

digunakan untuk isyarat analog. Arduino Uno dilengkapi dengan *static random-access memory* (SRAM) berukuran 2 KB untuk memegang data, *flash memory* berukuran 32 KB, dan *erasable programmable read-only memory* (EEPROM) untuk menyimpan program.

Tabel 2.1. Spesifikasi dari Arduino Uno sebagai berikut

Mikrokontroler	Atmega 328
<i>Operating Voltage</i>	5V
<i>Input Voltage (Recommendad)</i>	7-12 V
<i>Digital I/O pins</i>	14
<i>Analog Input Pins</i>	6
<i>DC Current per I/O pin</i>	40 mA
<i>DC Current for 3.3 Volt Pin</i>	50 mA
<i>Flash Memory</i>	32 Kb
SRAM	2 Kb
EEPROM	1 Kb
<i>Clock Speed</i>	16 MHz

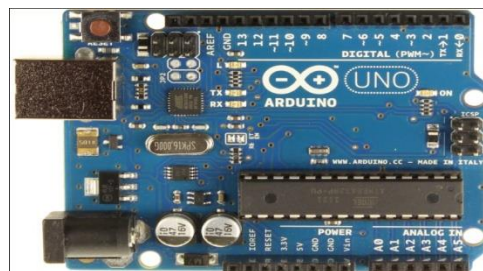
Arduino Uno dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal. Sumber listrik dipilih secara otomatis. Sedangkan untuk baterai dapat dihubungkan kedalam *header pin ground* dan *Vin* dari konektor Power. Jika menggunakan lebih dari 12volt, regulator bisa panas dan merusak *board*. Rentang yang dianjurkan adalah 7V – 12V.

Pin Arduino Uno yang memiliki fungsi khusus :

- Serial : 0 (RX) dan 1 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirim (TX) data TTL serial;
- *Eksternal Interupsi* : 2 dan 3. *Pin* ini dapat dapat dikonfigurasi untuk memicu interupsi pada nilai yang rendah, tepi naik atau jatuh, atau perubahan nilai. Lihat *attach Interrupt()* fungsi untuk rincian;

- PWM : 3,5,6,9,10 dan 11. Menyediakan 8-bit *output* PWM dengan *analog Write()* fungsi;
- SPI : 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). *Pin* ini mendukung komunikasi SPI menggunakan *library* SPI;
- LED : 13. Ada *built-in* LED terhubung ke *pin* digital 13. Ketika *pin* adalah nilai tinggi. LED menyala, ketika *pin* adalah rendah, led off;
- TWI : A4 atau SDA *pin* dan A5 atau SCL *pin*. Mendukung komunikasi TWI;
- AREF : Referensi tegangan untuk *input* analog. Digunakan dengan *analog reference()*;
- Reset untuk mengulang.

Arduino Uno memiliki 6 *input* analog diberi label A0 sampai A5, masing – masing menyediakan 10-bit resolusi (yaitu 1024 nilai yang berbeda). Secara default sistem mengukur dari *ground* sampai 5 V (Kadir, 2013).



Gambar 2.7 Arduino Uno

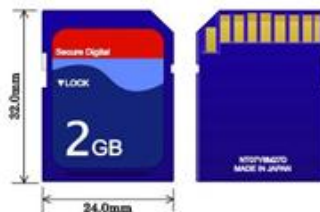
Adapun *pin* Arduino Uno adalah

- a. *Pin* power : *pin* Vin, *Pin ground*, *Pin* 5 Volt, *Pin* 3,3 V, *Pin* Reset, *Pin* Aref;
- b. *Pin analog in*: *Pin* A0-A5;
- c. *Pin* digital: *Pin* 0-13;

- d. Pin ICSP untuk ATmega 328 : MOSI, MISO, SCK, *ground*, Vcc dan reset.

2.3.16. Media Penyimpanan Data

Micro SD seringkali digunakan sebagai sarana penyimpan data pada *Personal Digital Assistant* (PDA), kamera digital, dan telepon seluler (ponsel). Format data pada Micro SD umumnya menggunakan format *File Allocation Table* (FAT). FAT pertama kali dikembangkan oleh Bill Gates dan Marc McDonald, pada tahun 1976-1977. *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, dalam penelitian ini digunakan FAT32 yang berkapasitas diatas 2 GB (Haryono, 2006).



Gambar 2.8. Bentuk fisik Micro SD.

2.3.17. Serial Logger

Serial logger modul adalah modul yang berfungsi sebagai perekam data dalam aplikasi data logger. Pada umumnya untuk membangun data logger dengan mikrokontroler dibutuhkan *Serial Peripheral Interface* (SPI) protokol untuk berkomunikasi kartu memori. Penggunaan modul serial logger lebih sederhana, dimana untuk mengaksesnya menggunakan protokol serial. Serial logger modul mudah diterapkan karena efektif dan mudah, tidak hanya dapat menulis data ke kartu memori, tetapi juga dapat membaca dari kartu memori. Kode sederhana untuk menulis dan membaca data membuat pengguna akan lebih cepat untuk membangun aplikasinya (Saputro, 2014).

Banyak aplikasi yang dapat dibangun dengan serial logger modul, seperti:

1. Pengukuran aplikasi data logger;
2. Aplikasi jadwal doa;
3. Aplikasi bel sekolah;
4. Simpan parameter data dalam aplikasi robot atau lainnya.

Spesifikasi teknis modul serial logger:

- a) 5VDC *Power Supply*;
- b) Jenis memori MicroSD yang dapat dipasang pada Serlog modul;
- c) Maksimum ukuran memori 8GB;
- d) Ukuran modul 50mm x 50mm;

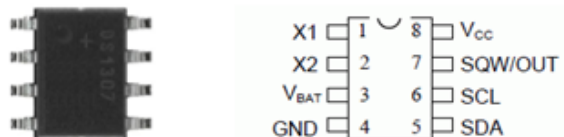
- e) Standar Baudrate 9600;
- f) Tiga pin untuk mengontrol modul (Tx, Rx, Rst);
- g) Pastikan untuk memformat kartu baik FAT16 atau FAT32.



Gambar 2.9. Bentuk fisik modul serial logger

2.3.18. Real Time Clock

Dalam pencatatan data perekaman memerlukan waktu interval agar data dapat teridentifikasi dengan baik. Waktu pencatatan lokal dapat menggunakan IC DS1307 (Sumiharto, 2010). DS1307 merupakan RTC buatan Dallas-Maxim Semiconductor®. Tanggal pada DS1307 menyediakan informasi detik, menit, jam, tanggal, bulan dan tahun (Pracoyo, 2008). Secara fisik DS1307 seperti pada Gambar 2.10



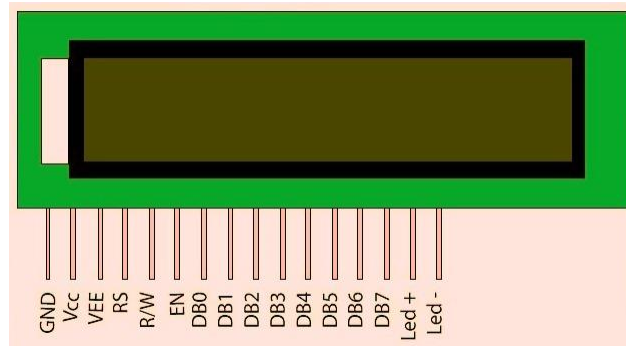
Gambar 2.10. Bentuk fisik DS1307 beserta keterangan kaki-kakinya.

DS1307 memiliki sistem *nonvolatile* (permanen) SRAM 56 bytes dimana alamat dan data dikirimkan secara serial dengan menggunakan sistem *Inter Integrated Circuit* (I2C) yang dikembangkan oleh Philips

Semikonduktor® (Susilo, 2010). I2C adalah komunikasi serial antar rangkaian terintegrasi. Komunikasi serial I2C selalu diawali dengan kondisi *start* dan diakhiri *stop*. Kondisi *start* adalah ketika terjadi perubahan kondisi dari *high* ke *low* pada SDA ketika SCL pada kondisi *high*, sedangkan kondisi *stop* adalah ketika terjadi perubahan kondisi dari *low* ke *high* pada SDA ketika SCL pada kondisi *high*. Pin SCL (serial clock) merupakan jalur yang digunakan untuk mensinkronisasi transfer data pada jalur I2C sedangkan pin SDA (serial data) jalur untuk data. X1 dan X2 jalur untuk kristal 32768kHz. Vbat terhubung dengan battery 3.3V. Pin SQW (*square wave output*) mengeluarkan sinyal salah satu dari 13 taps yang disediakan oleh 15 tingkat pembagi internal dari RTC. (Budiharto dan Rizal, 2007).

2.3.19. Liquid Crystal Display (LCD)

Liquid Cristal Display (LCD) adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf ataupun grafik. LCD terdiri dari dua bagian. Bagian pertama merupakan panel LCD sebagai media penampil informasi dalam bentuk huruf/angka dua baris, masing–masing baris bias menampung 16 huruf/angka. LCD adalah modul penampil yang banyak digunakan karena tampilannya menarik. LCD yang umum, ada yang panjangnya hingga 40 karakter (2x40 dan 4x40), dimana kita menggunakan DDRAM untuk mengatur tempat penyimpanan tersebut (Rizal, 2007). Di bawah ini merupakan Gambar 2.11. LCD 4x20 karakter.



Gambar 2.11. LCD karakter 4x20

Tabel 2.2. Pin pada LCD

Symbol	Fungsi
VSS	Ground
VDD	+5 volt
RS	High/low register select signal
R/W	High/low write signal
EN	High/low enable signal
DB0	High/low data bus signal
DB1	High/low data bus signal
DB2	High/low data bus signal
DB3	High/low data bus signal
DB4	High/low data bus signal
DB5	High/low data bus signal
DB6	High/low data bus signal
DB7	High/low data bus signal
Led +	+4,2 led for led
Led -	Power suply for BKL 0 volt

Bagian kedua merupakan sebuah sistem yang dibentuk dengan mikrokontroler yang ditempel dibalik pada panel LCD, berfungsi mengatur tampilan LCD. Dengan demikian pemakaian LCD M1632 menjadi sederhana, sistem lain cukup mengirimkan kode-kode ASCII dari informasi yang ditampilkan. Spesifikasi LCD M1632 sebagai berikut:

- a. Tampilan 20 karakter 4 baris;
- b. ROM pembangkit karakter 192 jenis;
- c. RAM pembangkit karakter 8 jenis (diprogram pemakai);
- d. RAM data tampilan 80 x 8 bit (8 karakter);
- e. Duty ratio 1/16;
- f. RAM data tampilan dan RAM pembangkit karakter dapat dibaca dari unit mikroprosesor;
- g. Beberapa fungsi perintah antara lain adalah penghapusan tampilan (*display clear*), posisi kursor awal (*crusor home*), tampilan karakter kedip (*display character blink*), penggeseran kursor (*crusor shift*) dan penggeseran tampilan (*display shift*);
- h. Rangkaian pembangkit detak dan rangkaian otomatis reset saat daya dinyalakan;
- j. Catu daya tunggal +5 V.