



**RANCANG BANGUN SENSOR KADAR AIR TANAH
DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM *ELECTRICAL
RESISTIVITY TOMOGRAPHY* (ERT) DENGAN KONFIGURASI
*WENNER***

SKRIPSI

Oleh

**Ahmad Affandy
NIM 161810201009**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2021**



**RANCANG BANGUN SENSOR KADAR AIR TANAH
DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM *ELECTRICAL
RESISTIVITY TOMOGRAPHY* (ERT) DENGAN KONFIGURASI
*WENNER***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Fisika (S-1) dan mencapai gelar Sarjana Sains (S.Si)

Oleh

**Ahmad Affandy
NIM 161810201009**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2021**

PERSEMBAHAN

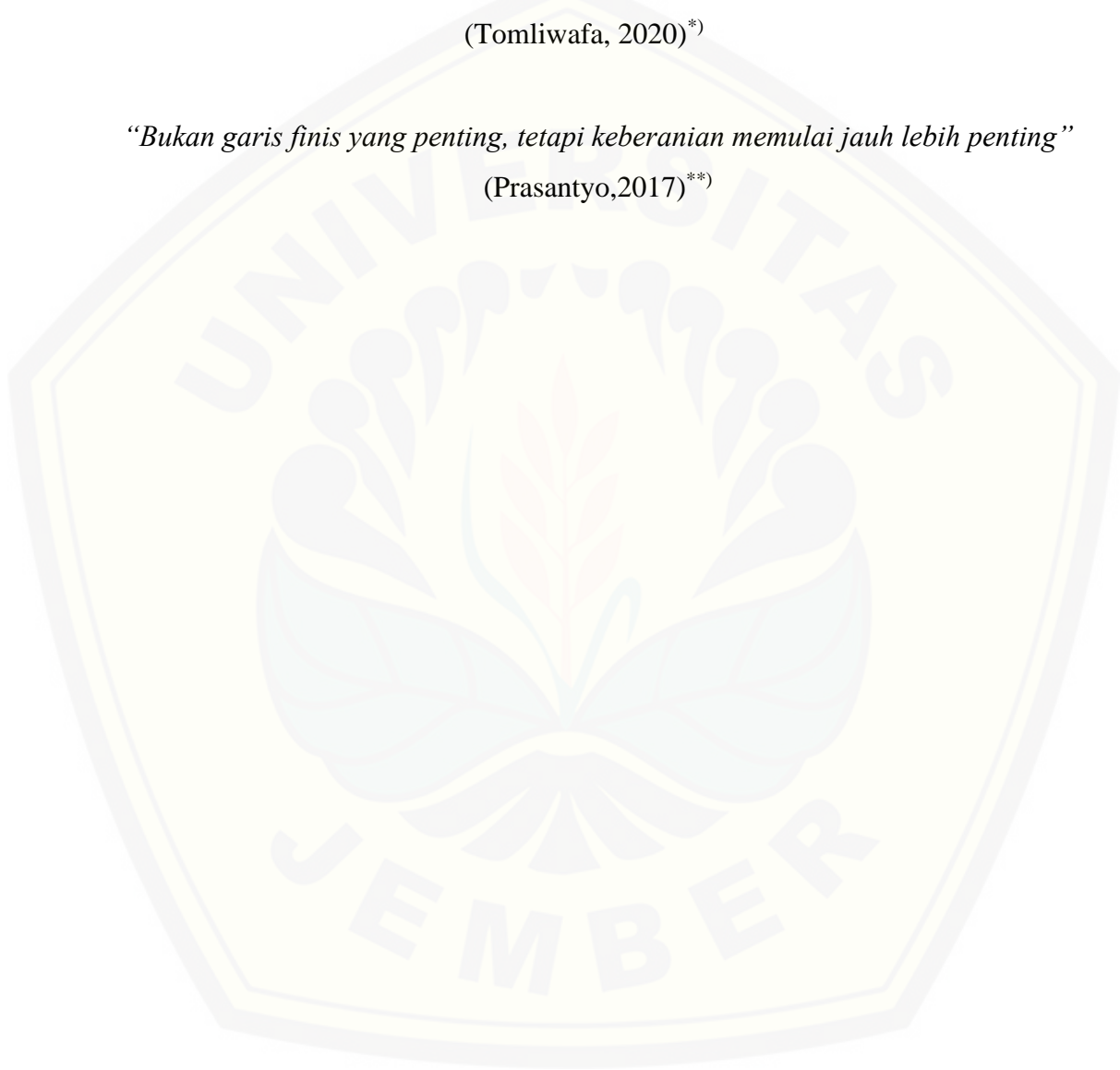
Alhamdulillah robbil 'alamin, seiring rasa syukur kepada-Mu Ya Allah. Berkat rahmat dan hidayah-Nya saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Kupersembahkan tugas akhir ini untuk:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Imam Fatoni dan Ibu Ninin Nur Hidayati, yang selalu mendukung dengan panjatan do'a dan memotivasi dengan penuh kesabaran dan perhatian, sehingga menjadi semangat yang berharga demi kesuksesan sekarang maupun mendatang dan tetaplah menjadi orang terhebat untukku;
2. Adik-adikku tercinta Yusuf Dwi Kurniawan dan Mohamad Septian Faruqi yang telah mendukung selama ini;
3. Kepada guru dan dosen yang telah membimbing saya selama ini dan mengerjakan tentang hal segala hal. Semoga ilmu yang beliau berikan bermanfaat;
4. Almamater Fakultas Matematika dan Ilmu Pengerahuan Alam Universitas Jember;
5. Kepada sahabat saya Uswatun Hasanah dan sahabat kontrakan Nias 3 terimakasih sudah memberikan kritik dan saran, motivasi dan semangat sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik;
6. Kepada teman kuliah satu angkatan fisika 16 Phylosophy Einstein yang sudah menjadi satu keluarga, saling membantu dan mensupport satu sama lain mulai dari awal perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini;
7. Kepada teman saya satu kamar 7 di pondok pesantren Al-jauhar yang selalu membantu, dan memberi semangat sehingga skripsi ini bisa selesai

MOTTO

“Fortes fortuna adiuvat” keberuntungan berpihak pada yang berani
(Tomliwafa, 2020)*)

“Bukan garis finis yang penting, tetapi keberanian memulai jauh lebih penting”
(Prasantyo,2017)**)



*) *Instastory on instagram @Tomliwafa*

***) Prasantyo, Mardigu W. 2015. Sadar Kaya. Jakarta. Transmedia

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Affandy

NIM : 161810201009

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Rancang Bangun Sensor Kadar Air Tanah Dengan Menggunakan Sistem *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) Dengan Konfigurasi *Wenner*” adalah benar-benar karya saya sendiri, kecuali kutipan yang sudah sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi. Penelitian ini merupakan penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata pernyataan ini tidak benar.

Jember, September 2020

Yang menyatakan,

Ahmad Affandy

NIM. 161810201009

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN SENSOR KADAR AIR TANAH
DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM *ELECTRICAL
RESISTIVITY TOMOGRAPHY* (ERT) DENGAN KONFIGURASI
*WENNER***

Oleh

**Ahmad Affandy
NIM 161810201009**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Prof. Drs. Agus Subekti, M. Sc., PhD

Dosen Pembimbing Anggota : Agung Tjahjo Nugroho, S.Si., M.Phil., Ph.D.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Rancang Bangun Sensor Kadar Air Tanah Dengan Menggunakan Sistem *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) Dengan Konfigurasi *Wenner*” telah disetujui pada:

hari, tanggal :

tempat : Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember.

Tim Penguji

Ketua,

Anggota I,

Prof. Drs. Agus Subekti, M.Sc., Ph.D

NIP 196008011984031002

Agung Tjahjo Nugroho, S.Si., M.Phil., Ph.D.

NIP 198711042014042001

Anggota II,

Anggota III,

Dr. Mutmainnah, S.Si., M.Si.

NIP. 197005101997022001

Drs. Agus Suprianto, S.Si., MT.

NIP. 197003221997022001

Mengesahkan

Dekan,

Drs. Achmad Sjaifullah, M.Sc., Ph.D.

NIP. 195910091986021001

RINGKASAN

Rancang Bangun Sensor Kadar Air Tanah Dengan Menggunakan Sistem *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) Dengan Konfigurasi *Wenner*; Ahmad Affandy, 161810201009; 47 halaman; Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.

Tomografi secara pengertian adalah cara mencitrakan sesuatu ke dalam bentuk bagian. Tomography pada pengaplikasiannya memiliki beberapa jenis seperti *Electrical Resistivity Tomography* (ERT), *Electrical Impedance Tomography* (EIT), dan *Electrical Capacitance Tomography* (ECT). ERT dalam bidang geofisika disebut metode geolistrik. Metode ini digunakan sebagai pembacaan kadar air tanah pada pot bunga. Penelitian ini membuat desain sensor dengan menggunakan *Printed Circuit Board* (PCB) dengan metode konfigurasi *Wenner* yang memiliki kelebihan dalam pembacaan output yang sejajar dengan media PCB. Kadar air tanah merupakan kebutuhan dasar dalam pertumbuhan tanaman. Kadar air tanah merupakan kadar air yang berada dalam tanah, sehingga ketika kadar air melebihi kebutuhan tanaman maka dapat merusak tanaman yang berada pot. Penelitian ini membuat desain sensor kadar air tanah dengan menerapkan konfigurasi *Wenner*. Pengambilan data pada penelitian ini menggunakan rangkaian elektronika yaitu rangkaian *clock* berfrekuensi 1 Hz. Rangkaian *clock* digunakan untuk mengurangi adanya efek polarisasi pada sensor. Sebelum sensor digunakan dilakukan kalibrasi untuk mengetahui tingkat akurasi, presisi dan sensitivitas. Akurasi alat dapat diketahui dengan cara perbandingan hasil ukur dengan metode ASM. Hasil pengukuran diulang sebanyak lima kali untuk mendapatkan presisi dari alat. Tanah yang sudah kering diberi variasi penambahan air secara bertahap untuk mengetahui sensitivitas alat.

Hasil penelitian ini menunjukkan beberapa desain sensor dengan variasi spasi antar elektroda 0,5 cm, 0,8 cm, dan 1 cm. Dari variasi spasi antar elektroda diperoleh nilai regresi (R^2) terbesar pada spasi 0,5 cm dengan nilai 0,9619. Variasi spasi 0,8 cm menghasilkan R^2 0,9569. Sedangkan untuk spasi antar elektroda 1 cm

memperoleh R^2 0,8338. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin kecil spasi, maka semakin akurasi pembacaan pada sensor. Desain sensor bekerja dengan baik yang mengukur nilai kadar air tanah 0% sampai 60%. Nilai akurasi memperoleh 83,92 %. Nilai presisi menghasilkan 99,98 %. Nilai sensitivitas 6,9 (mV/%). Desain sensor menghasilkan nilai kelayakan alat sebesar 91,95 %.



PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT penulis panjatkan, dengan segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Sensor Kadar Air Tanah Dengan Menggunakan Sistem *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) Dengan Konfigurasi *Wenner*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan baik tanpa bantuan dan bimbingan berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Drs. Agus Subekti, M.Sc., Ph. D selaku Dosen Pembimbing Utama dan Agung Tjahjo Nugroho, S.Si., M.Phil., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatiannya dalam membantu menyelesaikan skripsi ini;
2. Dr. Mutmainnah, S.Si., M.Si. dan Drs. Agus Suprianto, S.Si., MT. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan penulisan skripsi ini;
3. Nurul Priyantari, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Segenap dosen dan karyawan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember yang banyak berjasa selama penulis kuliah;
5. Tim tugas akhir elektronika dan instrumentasi yang banyak membantu penulis dalam melakukan penelitian;
6. Teman-teman seperjuangan *Phylosophi Einstein'16* yang selalu memberikan semangat, dukungan dan doa;
7. Semua pihak yang telah berkontribusi namun tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak dan pembaca. Penulis juga mengharap kritik dan saran yang bersifat membangun untuk kesempurnaan skripsi ini.



Jember, September 2020

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tomografi	5
2.2 Electrical Tomography	5
2.3 <i>Electrical Resistivity Tomography (ERT)</i>	6
2.4 Hukum Ohm	7
2.5 Resistivitas Semu	8
2.6 Konfigurasi <i>Wenner</i>	8
2.7 Kelembaban Tanah	9
2.8 Kadar Air Tanah	10
2.9 Pengukuran Kadar Air Tanah	10
2.10 Arduino	10
BAB 3. METODE PENELITIAN	12
3.1 Rancangan Penelitian	12
3.2 Kerangka Pemecahan Masalah	14
3.2.1 Realisasi.....	21
3.2.2 Pengujian	21
3.3 Analisis Data	22
3.3.1 Presisi	22
3.3.2 Sensitivitas.....	22
3.3.3 Akurasi	23
3.3.4 Kelayakan Alat	23
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Rancang Bangun	24
4.2 Pengujian Sensor Kadar Air pada Setiap Spasi	30

BAB 5. PENUTUP	35
5.1 Kesimpulan	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN	40



DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1 Nilai kelayakan alat.....	22
4. 1 Hasil kalibrasi sensor kadar air terhadap metode ASM.....	27
4. 2 Hasil pengujian sensor	31

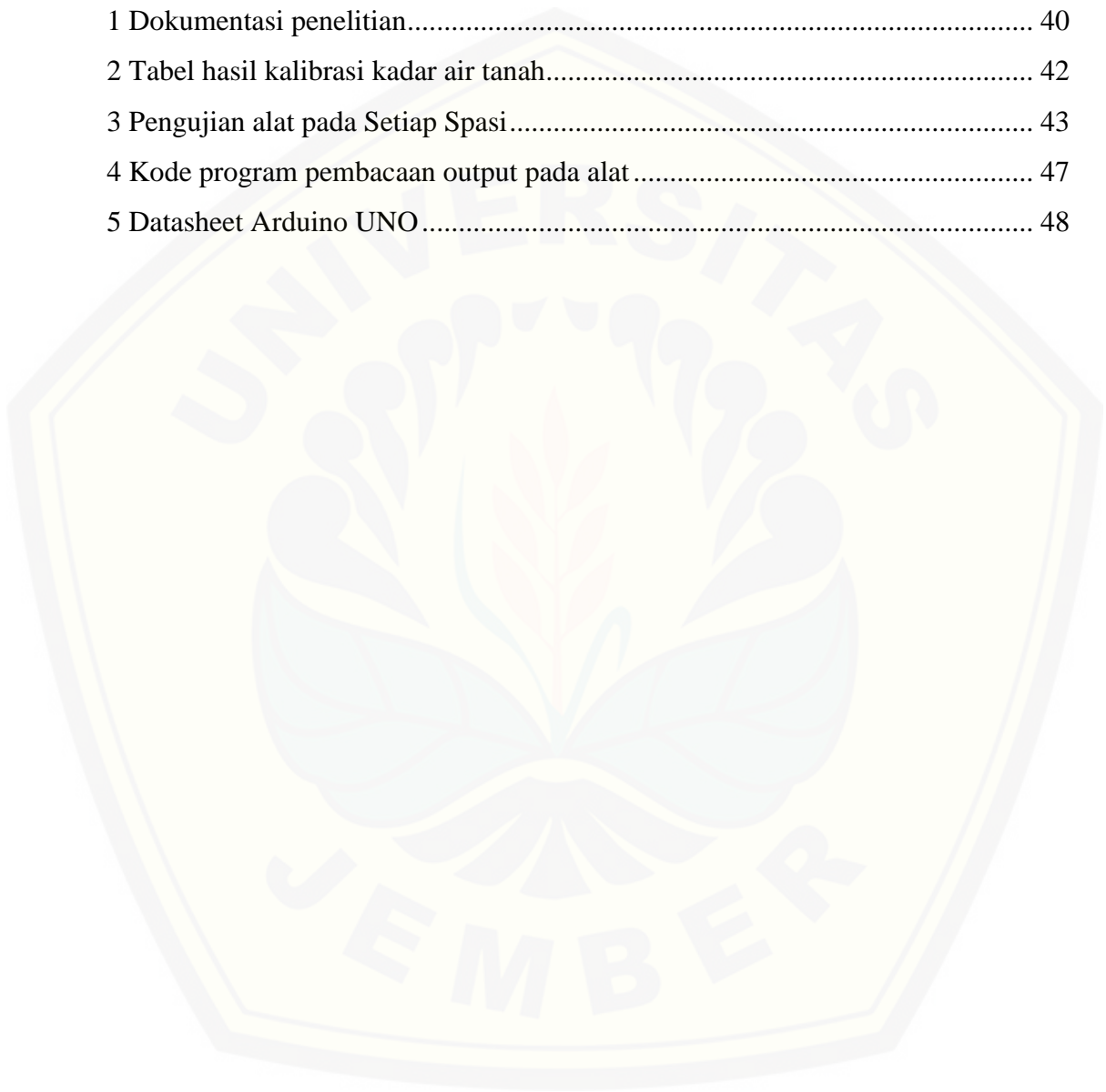


DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Dasar rangkaian geolistrik	7
2.2 Potensial di sekitar titik arus di permukaan bumi	7
2.3 Konfigurasi <i>wenner</i>	9
2.4 Elektroda arus dan potensial pada konfigurasi <i>Wenner</i>	9
2.5 Arduino UNO	11
3.1 Rancangan penelitian	12
3.2 Implementasi penelitian	14
3.3 Kerangka desain	14
3.4 Desain arsitektur pada PCB	15
3.5 Penampakan elektroda dan jalur elektroda pada PCB	16
3.6 Penampakan medium tanah	16
3.7 Desain instrumen dan elektronika	17
3.8 Rangkaian <i>clock</i>	18
3.9 Bentuk gelombang	18
3.10 Kerangka pembuatan desain	19
3.11 Rangkaian <i>microcontroller</i> Arduino	19
3.12 Desain akuisisi data saat elektroda <i>input</i> dan <i>output</i>	20
4.1 Rancang bangun sensor kadar air	25
4.2 Realisasi rangkaian <i>clock</i>	26
4.3 Grafik tegangan terhadap ASM pada spasi 0,5 cm	28
4.4 Grafik tegangan terhadap ASM pada spasi 0,8 cm	29
4.5 Grafik tegangan terhadap ASM pada spasi 1 cm	29
4.6 Grafik dari hasil alat terhadap ASM pada 0,5 cm	31
4.7 Grafik dari hasil alat terhadap ASM pada 0,8 cm	32
4.8 Grafik dari hasil alat terhadap ASM pada 1 cm	33

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1 Dokumentasi penelitian.....	40
2 Tabel hasil kalibrasi kadar air tanah.....	42
3 Pengujian alat pada Setiap Spasi.....	43
4 Kode program pembacaan output pada alat.....	47
5 Datasheet Arduino UNO.....	48



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tomografi secara bahasa terdiri dari dua kata yaitu “tomo” yang berarti potongan bagian atau irisan dan “grafi” memiliki arti mencitrakan. Tomografi secara pengertian adalah cara mencitrakan sesuatu ke dalam bentuk bagian (Cantatore dan Müller, 2011). Tomografi pada awal pengaplikasiannya di tahun 1980 an digunakan pada bidang industry dengan pemanfaatan sistem *X-ray* yang berguna untuk mengetahui keadaan yang berada di dalam suatu bahan tanpa merusak bahan tersebut (Cantatore dan Müller, 2011). Penelitian tentang tomografi terus dikembangkan karena pada pemanfaatan *X-ray* yang digunakan pada tomografi berbahaya bagi manusia. Karena efek yang berbahaya itu tomografi terus diteliti sehingga dapat diaplikasikan ke dalam berbagai bidang diantaranya bidang industri, bidang kesehatan, bidang biologi, bidang geofisika, bidang fisika bahan, bidang arkeolog (Subburaj, 2011).

Tomografi dalam pengaplikasiannya dapat digunakan dalam berbagai bidang seperti pada bidang kesehatan contoh aplikasi tomografi adalah *CT-scan (Computed Tomography Scanner)*. *CT-scan (Computed Tomography Scanner)* berguna untuk mendiagnosa penyakit yang berada dalam tubuh dengan teknik radiografi yang memanfaatkan *X-ray* dengan menghasilkan citra tubuh yang dipancarkan pada tubuh (Subburaj, 2011). Tomografi dalam bidang geofisika memiliki sistem yang sama dengan tomografi yang digunakan pada bidang arkeolog. Metode yang digunakan pada kedua bidang tersebut adalah metode geolistrik. Metode geolistrik adalah metode yang menggunakan aliran arus yang ditancapkan ke permukaan bumi untuk mengetahui kondisi batuan di bawah permukaan bumi dengan memperoleh nilai dari kuat arus, beda potensial dan nilai resistivitas dari batuan (Telford et al., 1990). Tomografi dalam bidang fisika bahan aplikasinya sama dengan aplikasi tomografi yang digunakan pada bidang industri dan yang berguna untuk mencitrakan bagian dalam suatu bahan tanpa harus merusak bahan tersebut (Chiffre et al., 2014).

Tomografi memiliki jenis yang banyak yaitu *Electrical Resistivity Tomography (ERT)*, *Electrical Impedance Tomography (EIT)*, dan *Electrical Capacitance Tomography (ECT)*. Tiga jenis tomografi ini merupakan jenis *Electrical Tomography (ET)* yang memanfaatkan kapasitansi, resistivitas dan impedansi (Ishak et al., 2016). Metode yang sering digunakan untuk aplikasi di bidang geofisika yaitu *Electrical Resistivity Tomography (ERT)* atau sering disebut sebagai metode geolistrik (Pebriantoro, 2016). *Electrical Resistivity Tomography (ERT)* digunakan karena struktur penyusun bumi dianggap mempunyai sifat homogen isotropis sehingga potensial yang diukur dari beberapa lapisan dengan resistivitas yang berbeda-beda, maka diperoleh resistivitas semu yang mewakili lapisan dengan resistivitas yang lainnya (Wijaya, 2015).

Metode geolistrik mempunyai jenis konfigurasi dan pola pengukuran yang berbeda-beda tergantung sistem pengambilan data yang diambil. Jenis konfigurasi dari metode geolistrik diantaranya konfigurasi *Wenner*, *Schlumberger*, *Pole-Dipole*, *Dipole-Dipole* dan yang terakhir perpaduan dua jenis konfigurasi yaitu *Wenner-Schlumberger* (Loke et al., 2010). Setiap jenis konfigurasi memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pebriantoro (2016) telah melakukan penelitian untuk mengetahui anomali benda di dalam tanah dengan menggunakan metode *Wenner β -Schlumberger*. Metode konfigurasi *Wenner β -Schlumberger* dapat mengatasi data potensial yang cenderung kecil dalam lapisan horizontal atau vertikal sehingga dapat mempengaruhi hasil dari resolusi citra ERT. Penggunaan metode ini memiliki kelemahan yang membutuhkan spasi antar elektroda yang luas.

Penelitian yang akan dilakukan yaitu mengembangkan metode *Electrical Resistivity Tomography (ERT)* untuk membuat sensor kadar air tanah. Sensor kelembaban ini dibuat untuk mengetahui kondisi kadar air tanah yang berada dalam pot bunga guna melihat kebutuhan air pada tumbuhan. Kadar air tanah dalam pertanian memiliki pengaruh terhadap pertumbuhan tanaman seperti mempengaruhi laju fotosintesis, laju pertumbuhan akar (Anjum et al., 2011), laju inisiasi dan jumlah daun per tanaman yang terbentuk (Mukherjee dan Kumar, 2005), laju pertumbuhan daun (Schurr et al., 2000), ukuran daun (Anjum et al., 2011). Penelitian ini dilakukan untuk mencoba desain lain dari penelitian Sinaga

(2015) yang membuat sensor kelembaban tanah menggunakan desain sisir dengan cara konfigurasi secara horizontal. Penelitian yang akan dilakukan menggunakan sistem pengukuran kelembaban tanah berdasarkan prinsip dari geolistrik dengan cara konfigurasi secara vertikal.

Penelitian ini perlu dilakukan karena pada saat proses penyiraman tanaman seringkali tidak sesuai dengan kebutuhan air tanaman. Penyiraman tanaman biasanya hanya dilakukan berdasarkan penampakan lapisan luar tanah yang tidak dapat mewakili kondisi pada lapisan tanah yang lebih dalam, dimana pada lapisan ini terdapat akar yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Penelitian menggunakan media *Printed Circuit Board (PCB)* yang diberi jalur sesuai konfigurasi *Wenner* yang digunakan sebagai pengganti elektroda untuk *input* arus dan *output* digital. Konfigurasi *Wenner* digunakan pada pengaplikasiannya karena konfigurasi *Wenner* lebih teliti untuk bidang yang sejajar arah elektroda. PCB ditancapkan pada pot bunga yang berisi tanah pada bagian samping secara vertical. PCB berfungsi sebagai media konfigurasi *Wenner* untuk mengukur kadar air dalam tanah. Pengukuran dan proses pengolahan data dilakukan dengan menggunakan arduino.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini dilakukan untuk membuat rancang bangun sensor kadar air tanah dengan metode ERT menggunakan konfigurasi *Wenner*. Permasalahan penelitian ini adalah bagaimana pengaruh spasi elektroda terhadap akurasi, presisi, sensitivitas, dan kelayakan alat sensor kadar air tanah berbasis metode ERT dengan konfigurasi *Wenner*.

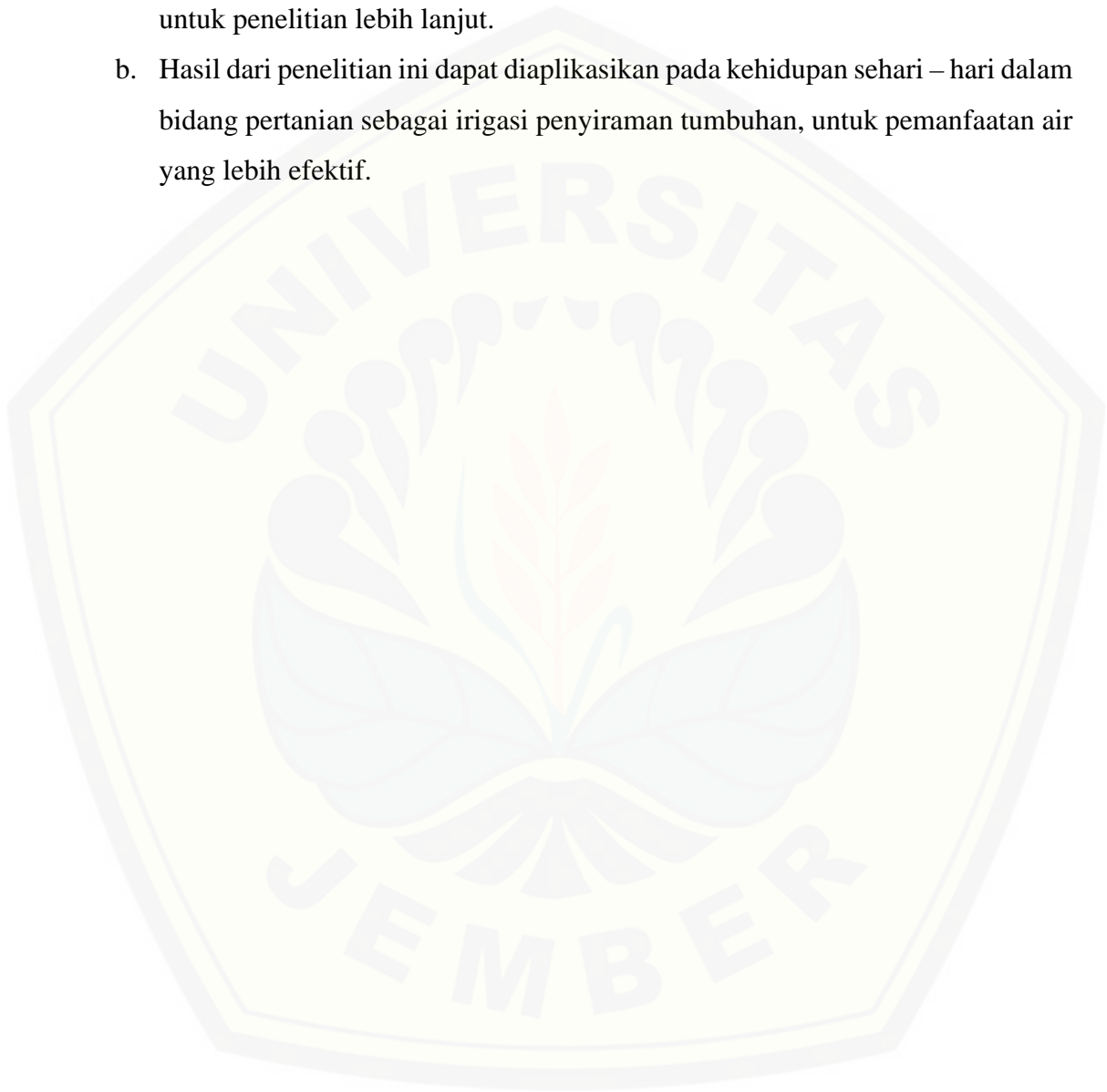
1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh spasi elektroda terhadap akurasi, presisi, sensitivitas, dan kelayakan alat sensor kadar air tanah berbasis metode ERT dengan konfigurasi *Wenner*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Memberikan sumbangsih di bidang ilmu fisika instrumentasi dalam pemanfaatan sensor dengan menggunakan metode ERT konfigurasi *Wenner* untuk penelitian lebih lanjut.
- b. Hasil dari penelitian ini dapat diaplikasikan pada kehidupan sehari – hari dalam bidang pertanian sebagai irigasi penyiraman tumbuhan, untuk pemanfaatan air yang lebih efektif.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tomografi

Tomografi ditemukan pertama kali pada tahun 1895 oleh Rontgen. Tomografi adalah metode pencitraan struktur suatu benda tanpa harus merusak benda tersebut. Tomografi terdiri dari dua kata yaitu “tomo” yang berarti potongan bagian atau irisan dan “grafi” memiliki arti mencitrakan. Tomografi secara umum merupakan hasil rekonstruksi dari benda yang menggambarkan efek penjalaran radiasi melalui benda yang diamatinya (Ishak et al., 2016).

Tomografi dalam pengaplikasiannya telah digunakan dalam berbagai bidang seperti bidang kedokteran, bidang geofisika, bidang arsitektur, dan bidang fisika bahan. CT – scan adalah contoh penerapan tomografi dalam bidang kesehatan dan dalam bidang geofisika tomografi sering digunakan untuk mempelajari struktur permukaan bawah bumi dengan menggunakan metode *Electrical Resistivity Tomografi* (ERT) atau geolistrik. Prinsip kerja dari tomografi ada dua yaitu pada pengambilan data dan rekonstruksi hasil pencitraan. Tomografi pada prinsip kerjanya menembakan sumber gelombang yang melewati medium yang diterima oleh *detector* (Warsito, 2005).

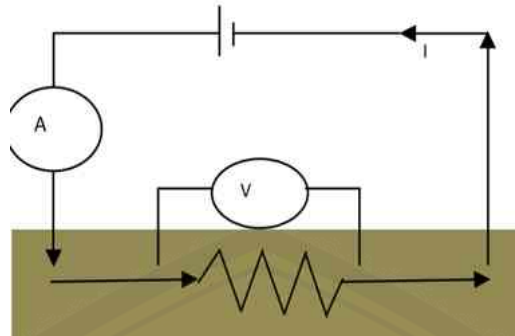
2.2 Electrical Tomography

Tomografi memiliki beberapa metode yang membedakan seperti sinyal eksitasi, tomografi dan tomografi listrik yang menggunakan kapasitansi, resistivitas dan impedansi (Chiffre et al., 2014). *Electrical Tomography* (ET) memiliki berbagai macam jenis dalam penggunaannya yaitu pemanfaatan resistivitas, impedansi dan kapasitansi. Tiga jenis tersebut merupakan jenis *Electrical Tomography* (ET). *Electrical Impedance Tomography* (EIT) adalah metode yang memanfaatkan perubahan impedansi yang terjadi pada suatu bahan karena pengaruh distribusi tegangan yang dipengaruhi adanya konsep arus bolak-balik yang melewati objek elektrik konduktif (Harikumar et al., 2013). *Electrical Capacitance Tomography* (ECT) adalah metode yang memanfaatkan sifat dielektrik untuk mencitrakan bagian dalam suatu bahan tanpa harus merusak bahan

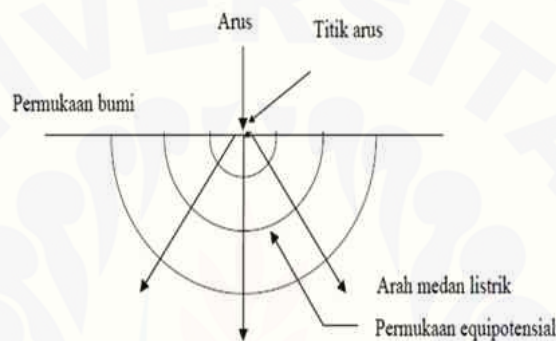
tersebut (Masturah et al., 2015). *Electrical Resistivity Tomography (ERT)* adalah metode yang dapat mengukur sifat kelistrikan suatu material yang berada dalam permukaan bumi dengan cara menginjeksikan arus listrik ke dalam tanah dan mengukur potensialnya untuk mengetahui nilai resistivitas dari material yang berada di bawah permukaan bumi (Bernard dan Valla, 1991; Yadav dan Singh, 2007; Metwaly dan AlFouzan, 2013).

2.3 *Electrical Resistivity Tomography (ERT)*

Electrical Resistivity Tomography (ERT) adalah metode geolistrik yang menggunakan multi elektroda untuk mengetahui informasi berdasarkan nilai resistivitas dan pola distribusi pada material yang berada di bawah permukaan bumi (Lowrie dan Fichtner, 2019). Metode ERT menggunakan prinsip kerja dengan menginputkan arus listrik frekuensi rendah kedalam tanah lalu distribusi potensial listriknya diukur menggunakan elektroda potensial. Resistivitas yang berada dalam permukaan bawah tanah bisa diketahui dengan arus yang mengalir pada elektroda dan besar potensial yang keluar. Metode ini menganggap bumi sebagai resistor (Putra dan Lapanoro, 2014). Nilai resistivitas dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya jenis material, ukuran dan bentuk pori pada material, kadar air yang terkandung di dalam material serta temperature. Nilai resistivitas dapat dikontrol dengan kondisi air yang berada didalam tanah (Todd dan Mays, 1980). Pada dasarnya batuan memiliki sifat kelistrikan. Batuan dari struktur pembentuknya tersusun dari mineral-mineral yang bersifat konduktif. Ketika diinjeksikan arus karakteristik dari batuan menjadikan batuan memiliki sifat konduktif. Batuan padat memiliki resistivitas tinggi, sedangkan pasir memiliki resistivitas rendah, karena pasir mampu menyerap air (Salim, 2015). Dasar rangkaian metode ERT dalam bidang geofisika dapat dilihat dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Dasar rangkaian geolistrik (Sumber; Adhi, 2003)



Gambar 2.2 Potensial di sekitar titik arus di permukaan bumi (Sumber: Nabeel et al., 2013)

Struktur permukaan bawah tanah dapat diketahui dengan memasang spasi antar elektroda arus dengan elektroda potensial. Besar spasi yang diberikan mempengaruhi tingkat penembusan dari arus yang melalui elektroda, sehingga informasi yang diberikan semakin dalam (Adhi, 2003).

2.4 Hukum Ohm

Hukum Ohm merupakan teori dasar dalam metode ERT yang mana arus (I) yang mengalir pada suatu medium berbanding lurus dengan tegangan (V) dan berbanding terbalik dengan resistansi (R) yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.1)$$

dimana R merupakan resistansi (Ω), sedangkan V adalah beda potensial (V) dan I adalah perbedaan arus (A). Penjalaran titik arus listrik yang di injeksikan ke dalam permukaan bumi dapat dilihat pada Gambar 2.3. Hukum Ohm menjelaskan bahwa hambatan listrik material dinyatakan hambatan jenis (Abdullah, 2016).

2.5 Resistivitas Semu

Metode ERT atau metode geolistrik yang menganggap bahwa bumi mempunyai sifat homogen isotropik yang berasumsi nilai tahanan jenis yang terukur adalah nilai tahanan jenis yang sebenarnya dan tidak terpengaruh dengan spasi antar elektroda. Realita yang ada bumi tersusun dari beberapa lapisan penyusun yang mempunyai nilai resistivitas yang berbeda sehingga mempengaruhi nilai dari potensial. Resistivitas yang terukur dianggap harga dari resistivitas untuk satu lapisan. Resistivitas yang terukur tersebut disebut dengan resistivitas semu (Reynolds, 2011). Besarnya resistivitas semu (a) dan factor geometri (K) yang berguna untuk menentukan koreksi letak kedua elektroda potensial terhadap posisi letak elektroda arus dapat diketahui dengan rumus:

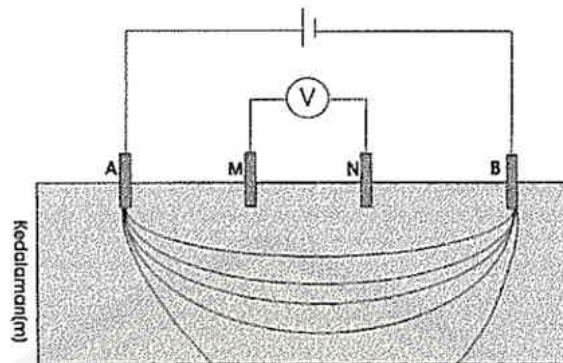
$$a = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right]} \frac{\Delta V}{I} \quad (2.2)$$

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right]} \quad (2.3)$$

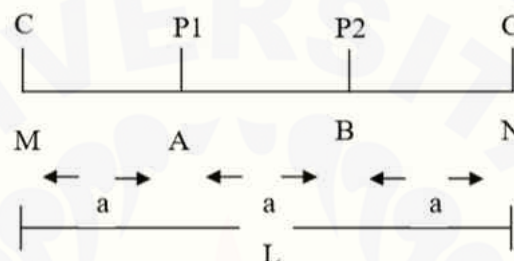
$$a = K \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (2.4)$$

2.6 Konfigurasi Wenner

Konfigurasi *Wenner* adalah salah satu metode yang digunakan pada metode geolistrik untuk eksplorasi bawah tanah. Metode ini menggunakan empat buah elektroda yang berguna untuk mengukur resistivitas sebuah medium tanah dengan menginjeksikan arus listrik ke elektroda arus dan diukur dengan elektroda potensial (Suprpto, 2006). Konfigurasi *Wenner* merupakan metode yang menggunakan susunan jarak spasi sama panjang. spasi antara elektroda arus dengan elektroda potensial tiga kali, sedangkan jarak potensial dengan jarak *soundingnya* adalah $1/2$, maka masing-masing jarak antar elektroda arus adalah $3/2$ dengan titik *soundingnya* dengan target kedalaman yang dicapai $1/2$. Akuisisi data susunan elektroda arus dan elektroda potensial harus simetri dengan titik *sounding* (Wijaya, 2015).



Gambar 2.3 Konfigurasi *wenner* (Sumber: Suprpto, 2006)



Gambar 2.4 Elektroda arus dan potensial pada konfigurasi *Wenner* (Sumber: Wijaya, 2015)

Gambar 2.5 memperlihatkan bahwa jarak $AM = NB = a$ dan jarak $AN = MB = 2a$, dengan menggunakan persamaan (2.3) maka diperoleh:

$$K = \frac{2\pi}{\left| \left\{ \frac{1}{a} - \frac{1}{2a} \right\} - \left\{ \frac{1}{2a} - \frac{1}{a} \right\} \right|} \quad (2.5)$$

$$K = 2\pi a \quad (2.6)$$

Sehingga faktor geometri pada konfigurasi *Wenner* adalah persamaan (2.6) dan persamaan (2.7)

$$= K \cdot R \quad (2.7)$$

2.7 Kelembaban Tanah

Kelembaban tanah adalah kemampuan tanah dalam menyimpan air di dalam tanah serta dapat mengetahui kemampuan sifat fisik tanah dalam menyerap air dan berguna mengetahui ketersediaan hara disetiap jenis tanah. Kelembaban tanah digunakan untuk manajemen sumber daya air, peringatan awal kekeringan dan penjadwalan irigasi. Kelembaban tanah berguna sebagai indikator penunjuk kadar air yang tersimpan di antara pori-pori tanah. Sifat dinamis pada kelembaban tanah

dipengaruhi oleh penguapan pada permukaan tanah, transpirasi dan sebagiannya (Jamulya dan W, 1993). Besar kecilnya porositas, partikel dan pori-pori dapat mempengaruhi drainase serta kapasitas menahan air. Indikator dari struktur tanah yang baik (kelompok partikel tanah) dapat meningkatkan tingkat infiltrasi, drainase dan kapasitas menahan air (Hidayah, 2018).

2.8 Kadar Air Tanah

Kadar air tanah merupakan konsentrasi air yang berada dalam tanah. Kadar air tanah dapat dinyatakan dengan persentase dari nilai perbandingan volume air terhadap volume tanah. Kadar air tanah ditentukan dengan cara tanah basah dikeringkan pada suhu 100⁰C dalam oven untuk waktu tertentu. Jumlah kadar air yang bergerak pada tanah dipengaruhi oleh ukuran pori-pori tanah tersebut (Hakim,1986). Kadar air tanah adalah salah satu bagian penyusun tanah. Tekstur tanah memiliki pengaruh terhadap kapasitas menyimpan air, semakin halus tekstrur maka semakin banyak besar kemampuan tanah dalam menyimpan air. Kadar air tanah memilki pengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Tanaman yang kelebihan atau kekurangan air maka akan menyebabkan tanaman layu dan mati (Hanafiah, 2014).

2.9 Pengukuran Kadar Air Tanah

Menurut Stevanus (2013) Metode *American Standard Method* (ASM) merupakan metode yang digunakan untuk mengukur kadar air tanah yaitu dengan membandingkan massa air dengan massa tanah dalam kondisi kering. Kadar air tanah dituliskan dalam persen yang diperoleh dari persentase volume air terhadap volume tanah. Persamaan yang digunakan pada metode ASM adalah:

$$\text{Massa air} = \text{massa tana basa} - \text{massa tana kering} \quad (2.8)$$

$$\text{kadar air} = \frac{\text{massa air}}{\text{massa tanah kering}} \times 100 \% \quad (2.9)$$

2.10 Arduino

Arduino adalah sebuah platform *physical computing* yang bersifat open source. *Physical computing* merupakan teknik untuk membuat system dengan memakai

software dan *hardware* yang bisa menerima rangsangan dari lingkungan dan merespon balik. Arduino sendiri memiliki kegunaan bukan hanya sebagai alat pengembangan tetapi gabungan dari hardware, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment (IDE)* yang canggih membuat arduino dikatakan sebagai platform (Components101, 2018). Penampakan arduino uno seperti pada Gambar 2.5.

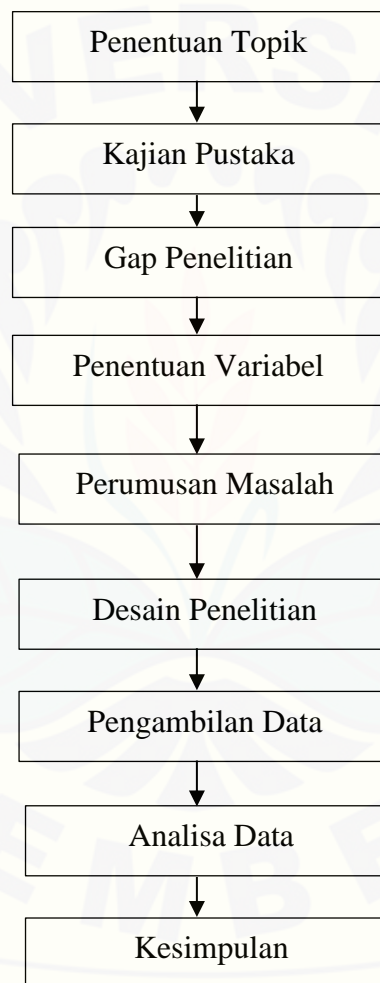


Gambar 2.5 Arduino UNO (Sumber: Components101, 2018)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Instrumentasi dan Elektronika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember. Pelaksanaan penelitian dimulai pada bulan Mei 2020 sampai November 2020.



Gambar 3.1 Rancangan penelitian

Penelitian ini dimulai dari penentuan topik dengan mengetahui topik yang diangkat dalam penelitian ini adalah aplikasi ERT dalam eksplorasi permukaan bawah bumi dengan menggunakan metode geolistrik konfigurasi *Wenner*. Topik

sudah ditentukan maka dilakukan kajian pustaka dengan mencari teori dan referensi yang sesuai dengan topik agar menghasilkan alat yang sesuai referensi.

Berdasarkan referensi yang diperoleh selanjutnya ditentukan gap penelitian. Referensi menjadi acuan penelitian mengembangkan aplikasi ERT dalam eksplorasi permukaan bawah bumi menggunakan metode geolistrik dengan konfigurasi *Wenner*. Alat yang dibuat menggunakan media *Printed Circuit Board* (PCB) yang berlubang, kemudian diberi timah solder di bagian atas permukaan PCB sebagai elektroda yang diberi *input* arus dan *output* digital yang ditancapkan kedalam pot bunga berisi tanah dengan asumsi tanah homogen. Penelitian ini menggunakan metode geolistrik dengan pengaplikasiannya media *Printed Circuit Board* (PCB) yang dapat digunakan dalam bidang geofisika yang lebih spesifik digunakan sebagai sensor kadar air tanah.

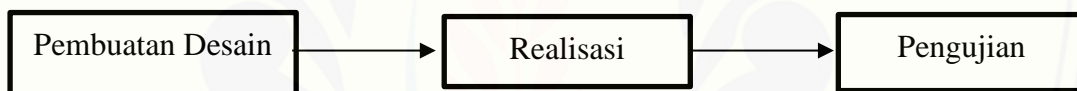
Pada penelitian ini dikembangkan sensor kadar air tanah menggunakan desain sisir, dengan cara konfigurasi horizontal. Konfigurasi horizontal adalah konfigurasi dimana penyusunan empat buah elektroda diletakkan secara horizontal. Pada penelitian digunakan sistem pengukuran kadar air tanah berdasarkan prinsip dari geolistrik dengan cara konfigurasi vertikal. Konfigurasi vertikal adalah konfigurasi dimana penyusunan empat buah elektroda diletakkan secara vertikal. Berdasarkan penelitian sebelumnya dengan menggunakan konfigurasi horizontal memiliki beberapa kekurangan, jika dibandingkan konfigurasi vertikal. Kekurangan konfigurasi horizontal terletak pada media, dimana media yang dibutuhkan harus memiliki diameter yang besar untuk mengetahui nilai kadar air tanah. Sedangkan pada penelitian ini menggunakan media pot yang memiliki diameter kecil dengan kedalaman tertentu, sehingga konfigurasi yang cocok untuk penelitian ini adalah konfigurasi vertikal. Penelitian yang dilakukan menggunakan variasi spasi elektroda untuk menentukan rancang bangun desain terbaik berdasarkan nilai akurasi. Nilai akurasi diperoleh dari hasil perbandingan antara hasil pengukuran dengan nilai ASM.

Langkah berikutnya adalah membuat desain arsitektur, instrumentasi dan akuisisi. Desain arsitektur merupakan desain dari bentuk ERT yang akan dibuat. Desain instrumentasi merupakan desain yang berfungsi untuk membuat rangkaian

instrumenstasi mulai dari *input* sampai ke pengukuran. Desain akuisisi data adalah desain untuk pengukuran. Peralatan yang telah dibuat selanjtnya digunakan untuk pengambilan data dengan beberapa pengujian. Pengujian sensor kadar air ini dilakukan dengan membandingkan antara metode *American Standard Method* (ASM) dengan rancang bangun sensor yang menggunakan media *Printed Circuit Board* (PCB) dengan pemberian variasi volume kadar air sehingga dapat mengetahui indikator tanah basa, lembab, dan kering.

3.2 Kerangka Pemecahan Masalah

Kerangka pemecahan masalah pada penelitian ini adalah pembuatan desain, realisasi dan pengujian alat. Desain yang sudah jadi direalisasikan dengan variasi pemberian volume air sampai ke perancangan alat. Implementasi dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Implementasi penelitian

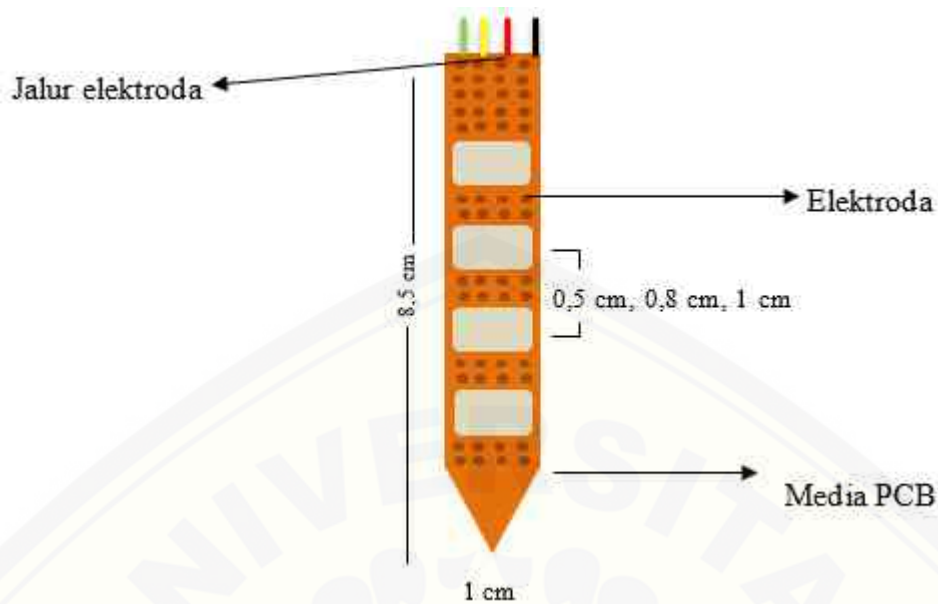
Penelitian ini memiliki 3 desain dasar. Desain dasar yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu desain arsitektur, desain instrumentasi dan desain akuisisi data. Kerangka pembuatan desain pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Kerangka desain

a. Desain Arsitektur sistem ERT

Penelitian ini menggunakan desain arsitektur dari metode geolistrik dari konfigurasi *Wenner*. Elektroda pada penelitian berfungsi sebagai *input* dan *output* yang sama dengan metode geolistrik. Elektroda didesain secara vertikal. Gambar 3.4 adalah desain arsitektur sensor. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 3.4.

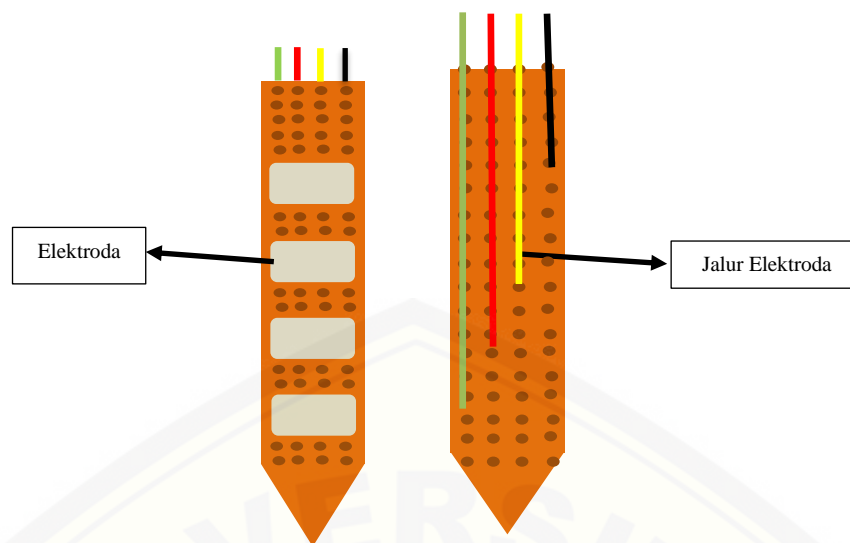


Gambar 3.4 Desain arsitektur pada PCB

1) Elektroda

Elektroda pada penelitian ini digunakan sebagai media *input* dan *output*. Elektroda pada penelitian ini terletak pada papan media *Printed Circuit Board* (PCB) berlubang yang disusun secara vertikal. *Printed Circuit Board* (PCB) adalah papan yang digunakan untuk menghubungkan komponen-komponen elektronika dengan lapisan jalur konduktornya. PCB terdiri dari silkscreen, soldermask, tembaga dan substrat. Substrat adalah lapisan dasar PCB terdiri dari bahan FR2 (*Flame Resistant 2*). FR2 terbuat dari kertas bonding resin sintesis yang di olah dari bahan komposit dari kertas yang diresapi dengan resin plastik. Soldermask adalah lapisan yang diatas lapisan tembaga yang berguna sebagai pelindung dari kontak yang tidak sengaja. Penelitian ini menggunakan elektroda dengan ukuran luas diameter sebesar 0.5 mm^2 .

Elektroda pada penelitian ini menggunakan media *Printed Circuit Board* (PCB) yang mempunyai bahan tembaga sebagai penyusun dari strukturnya yang bagian ujungnya diberi timah solder. Tembaga dipilih karena tembaga merupakan konduktor listrik yang baik, bukan hanya konduktor yang baik tembaga juga lebih mudah dan memiliki harga yang terjangkau. Elektroda dan jalur arus pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Penampakan elektroda dan jalur elektroda pada PCB

2) Medium tanah

Penelitian ini menggunakan media gelas plastik yang diisi tanah (homogen). Tanah yang berada di gelas plastik diberi perlakuan dengan penambahan volume air yang berbeda, untuk mengetahui nilai kadar air tanah. Penelitian ini menggunakan rangkaian listrik (*microcontroller*) sebagai sistem utamanya. Penelitian yang dilakukan dengan mengukur nilai kadar air tanah menggunakan alat ukur konvensional untuk mengetahui indikator tanah basah, sedang dan kering. Medium tanah yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.6.

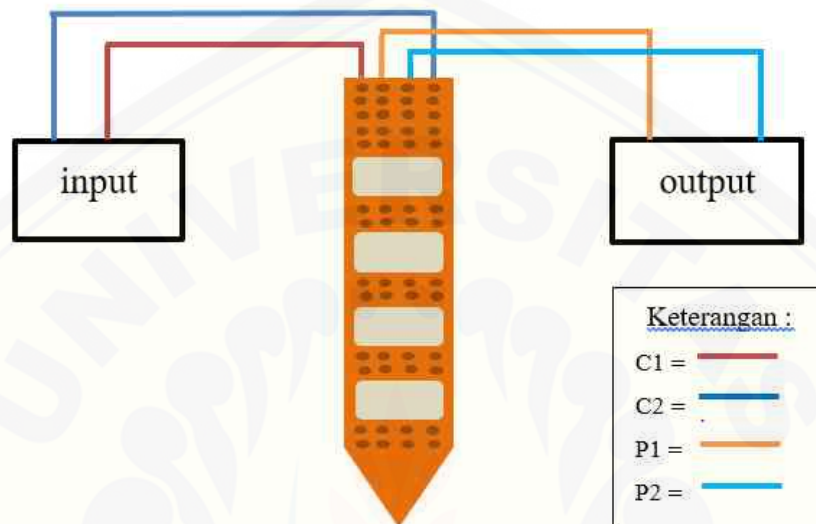


Gambar 3.6 Penampakan medium tanah

b. Desain Instrumentasi dan elektronika

Desain Instrumentasi dan elektronika pada penelitian ini menggunakan rangkaian *input* dan *ouput*. *Input* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan

rangkaian *clock* yang mana pada Gambar 3.6 *input* arus digambarkan dengan warna coklat (C1) dan biru (C2). *Output* digambarkan warna kuning (P1) dan biru laut(P2), yang mana *output* dihubungkan dengan arduino. Gambar desain instrumentasi dan elektronika di jelaskan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Desain instrumen dan elektronika

1) *Input*

Penelitian rancang bangun sensor kelembaban menggunakan sistem ERT dengan metode geolistrik dengan konfigurasi *Wenner*. Metode ini menggunakan empat elektroda dua elektroda sebagai *input* arus listrik dan dua elektroda untuk tegangan beda potensial. *Input* yang di berikan pada ke dua elektroda untuk menginjeksikan sumber arus ke media menggunakan besar arus 47,5 mA dengan tegangan 5 V.

Input penelitian ini menggunakan rangkaian *clock* yang berguna untuk meminimalisir efek polarisasi. Rangkaian *clock* berguna untuk membangkitkan gelombang kotak secara bergantian dari gelombang tinggi sebagai logika 1 dengan 5 V dan gelombang rendah logika 0 sebagai 0 V dengan frekuensi yang telah ditentukan. Besar frekuensi dapat dicari dengan menggunakan persamaan (3.1). Frekuensi dipengaruhi dengan besar kecilnya nilai resistor dan kapasitor.

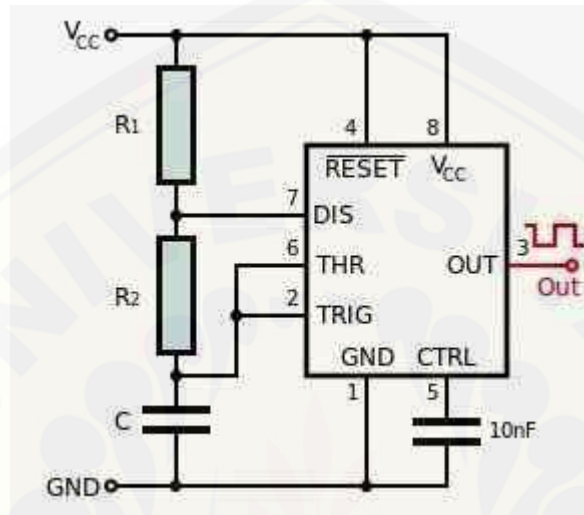
$$f = \frac{1,44}{(R_2 \times 2(R_1)) C} \quad (3.1)$$

dimana,

f = frekuensi (Hz)

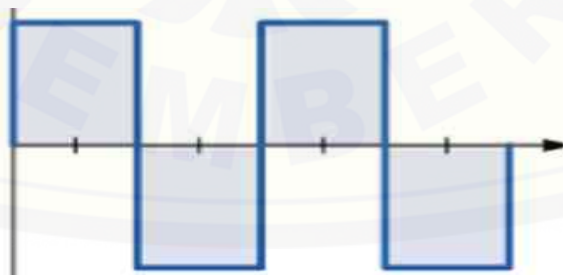
R = Resistor (ohm)

C = Kapasitor (Farad)



Gambar 3.8 Rangkaian *clock*

Penelitian ini menggunakan IC NE555 *timer* yang berguna membangkitkan pulsa kotak sebagai *input* untuk rancang bangun sensor kadar air tanah. Gambar 3.8 merupakan gambar rangkaian *clock*. Gambar 3.8 adalah desain gambar rangkaian yang digunakan pada penelitian ini yang berguna untuk membangkitkan gelombang atau pulsa kotak. Gambar 3.9 merupakan bentuk dari gelombang kotak yang menggambarkan tegangan di posisi tinggi dan *ground*.



Gambar 3.9 Bentuk gelombang

2) Alat ukur

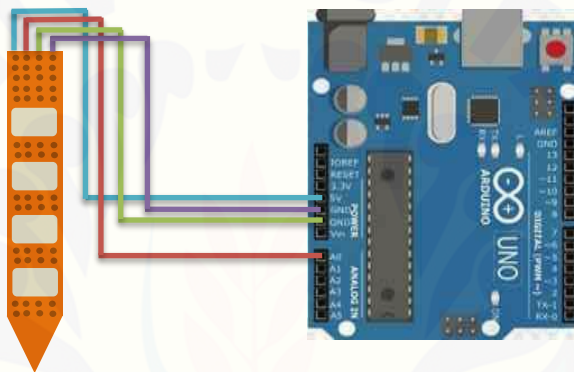
Alat ukur yang digunakan pada penelitian ini berfungsi untuk membaca nilai kadar air tanah dengan metode ERT konfigurasi *wenner*. Penelitian ini

menggunakan arduino uno sebagai *microcontroller*. Alur pengukuran yang dipakai pada alat ukur dijelaskan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Kerangka pembuatan desain

Menurut Gambar 3.10 sistem ERT disambungkan pada *Microcontroller*. *Microcontroller* digunakan untuk mengetahui hasil pengukuran sensor. Rangkaian *microcontroller* pada penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.11.

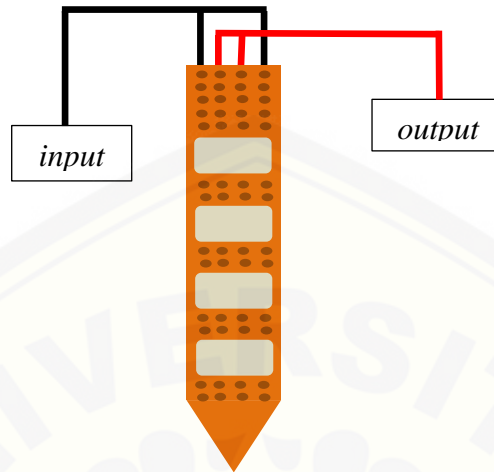


Gambar 3. 11 Rangkaian *microcontroller* Arduino

c. Desain Akuisisi Data

Desain akuisisi data pada penelitian ini dengan mengukur beda potential antar elektroda. *Input* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan rangkaian *clock* yang mana pada Gambar 3.12 *input* arus digambarkan dengan warna hitam. *Output*

digambarkan merah, yang mana *output* dihubungkan dengan arduino. Desain akuisisi data pada penelitian ini Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Desain akuisisi data saat elektroda *input* dan *output*

Gambar 3.12 menjelaskan desain pengukuran yang digunakan pada penelitian ini dengan menggunakan dua *input* arus pada kedua elektroda serta mengukur *output* beda potensial pada kedua elektroda yang berada antara kedua elektroda *input* arus. Penelitian ini menggunakan sistem konfigurasi *Wenner* pada metode geolistrik sebagai pengukurannya. Pengukuran pada penelitian ini menggunakan alat ukur arduino.

Langkah pertama keempat elektroda disambungkan pada *input* dan *ouput*. Keempat elektroda dibagi menjadi dua bagian menjadi *input* arus dan *output* beda potensial. Kedua elektroda arus dihubungkan pada *input* analog pada arduino. Elektroda yang dihubungkan pada *input* sebagai arus pada penelitian ini yaitu garis yang dihubungkan dengan garis hitam. Elektroda yang dihubungkan pada *output* sebagai beda potensial pada penelitian ini yaitu garis yang dihubungkan dengan garis merah.

Langkah kedua dilakukan variasi pemberian air sesuai dengan persentase kadar air tanah yakni, 10% sampai 60% dengan kenaikan kelipatan 10. Langkah ketiga merupakan pengolahan data dari *output* yang berupa tegangan. Langkah keempat adalah mengulang langkah kesatu sampai ketiga dengan memvariasikan spasi antara elektroda (0.5 cm, 0.8 cm ,1 cm), dengan alat ukur arduino yang mana *output*

disambungkan arduino dan *input* disambungkan rangkaian *clock*. Langkah kelima *output* berupa tegangan tersebut dibandingkan dengan metode ASM.

3.2.1 Realisasi

Realisasi adalah bagian dari setiap pengujian dari desain penelitian ini. Realisasi awal pada penelitian ini adalah dengan pembuatan desain arsitektur sistem ERT. Realisasi dimulai dari persiapan alat dan bahan juga perancangannya. Pada penelitian ini elektroda disusun secara vertikal pada PCB yang diberi timah. PCB yang sudah diberi jalur arus dan elektroda ditancapkan pada pot bunga yang berisi tanah, maka elektroda akan menembus permukaan PCB, sehingga elektroda tersebut dapat berinteraksi dengan medium yang ada. Elektroda tersebut disambungkan dengan alat ukur *microcontrollerr* dengan menggunakan kabel.

3.2.2 Pengujian

Pengujian pada penelitian ini dilakukan pengulangan sebanyak lima kali untuk mendapatkan data yang lebih banyak dan akurat. Kalibrasi dilakukan untuk mengetahui akurasi, presisi, dan sensitivitas dari prototipe yang dibuat. Kalibrasi pada penelitian ini mengukur nilai kadar air tanah dalam kondisi kering yang diberi air secara bertahap sampai kondisi basah untuk mengetahui nilai sensitivitas dari sensor.

Tahap pengujian presisi, dilakukan dengan pengulangan pengambilan data sebanyak lima kali. Data hasil dari pembacaan rancang bangun diukur dengan arduino. Hasil yang didapat dibandingkan dengan hasil ASM untuk mengetahui akurasi dari instrumen. Data yang didapat kemudian dianalisis dalam bentuk persentase. Indikator kelayakan alat didapat dari nilai persentase hasil data. Kelayakan alat ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Nilai kelayakan alat

No	Interval	Kriteria
1	85 – 100 %	Sangat Layak
2	70 – 84,99 %	Layak
3	55 - 69,99 %	Cukup Layak
4	40 – 54,99 %	Kurang Layak
5	25 – 39,99 %	Tidak Layak

(Lutfiyana et al., 2017)

3.3 Analisis Data

3.3.1 Presisi

Presisi adalah kemampuan metode atau instrumen analitis untuk mereproduksi pengukurannya sendiri. Presisi menunjukkan seberapa dekat perbedaan nilai pada saat dilakukan pengulangan pengukuran. Presisi yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan dengan pengambilan data yang diulang sebanyak lima kali untuk melihat bagaimana standart eror dari rancang bangun sensor kadar air tanah. Data yang akan dianalisis adalah tegangan yang merupakan variasi dari kadar air tanah. Fungsi dari analisa presisi data pada penelitian ini dikarenakan penelitian kami melakukan pengulangan. Agar mendapat data yang baik, maka diperlukan tingkat presisi yang tinggi. Presisi adalah hasil dari pengulangan pengukuran hampir sama ataupun sama. Persamaan dari presisi adalah:

$$\text{Presisi} = \left(1 - \left| \frac{X_i - \bar{x}}{\bar{x}} \right| \right) \times 100 \% \quad (3.2)$$

dimana, X_i = Nilai hasil perhitungan (volt)

\bar{x} = Nilai rata-rata hasil perhitungan (volt)

3.3.2 Sensitivitas

Sensitivitas adalah kemampuan alat ukur dalam memberikan tanggapan terhadap perubahan nilai pengukuran yang terjadi. Sensitivitas yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan dengan pemberian variasi volume air yang dibandingkan dengan sensor yang sudah ada. Analisa sensitivitas data dilakukan pada penelitian ini dikarenakan penelitian ini menguji kemampuan sensor. Sensitivitas adalah

kemampuan alat ukur dalam memberikan tanggapan terhadap perubahan nilai pengukuran yang terjadi. Sensitivitas memiliki persamaan yaitu:

$$\text{Sensitivitas} = \frac{X_t - X_o}{Y_t - Y_o} \quad (3.3)$$

dimana, X_t = *Output* maksimal tegangan (volt)

X_o = *Output* minimal tegangan (volt)

Y_t = Nilai maksimal ASM (%)

Y_o = Nilai minimal ASM (%)

3.3.3 Akurasi

Akurasi adalah ukuran kedekatan hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya. Akurasi ditentukan dengan menghitung nilai rata-rata dari hasil analisis. Akurasi yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan alat yang dibuat dengan sensor yang sudah ada. Penelitian ini membandingkan hasil analisis dari rancang bangun sensor kadar air tanah dengan metode ASM. Analisa akurasi data dilakukan pada penelitian ini dikarenakan untuk mengetahui nilai dari hasil pengukuran yang mendekati pengukuran yang sebenarnya. Akurasi adalah ukuran kedekatan hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya. Akurasi data pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan alat ukur yang diteliti dengan alat ukur yang sudah. Persamaan dari akurasi adalah:

$$\text{Akurasi} = \left| \frac{\text{data pengukuran} - \text{data referensi}}{\text{data referensi}} \right| \quad (3.4)$$

3.3.4 Kelayakan Alat

Kelayakan alat adalah indikator apakah alat sesuai dengan nilai minimal dari standart. Hasil pengukuran dari alat dipengaruhi oleh kelayakan alat. Kelayakan alat dapat dilihat kriterianya pada Table 3.2. persamaan dari nilai kelayakan alat ditunjukkan pada persamaan 3.5 dan persamaan 3.6.

$$\text{Nilai Uji} = \text{Presisi} + \text{akurasi} \quad (3.5)$$

$$\text{Kelayakan Alat} = \frac{(\text{Nilai Uji})_{\text{alat}}}{(\text{Nilai Uji})_{\text{referensi}}} \times 100 \% \quad (3.6)$$

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian yang dilakukan membuktikan bahwa variasi spasi antar elektroda memiliki pengaruh terhadap nilai akurasi baca pada sensor. Semakin kecil spasi antar elektroda, maka semakin akurat hasil yang diperoleh begitupun sebaliknya. Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah spasi 0,5 cm merupakan desain sensor yang paling bagus dari pada variasi spasi 0,8 cm dan 1 cm. Desain sensor 0,5 cm menghasilkan nilai determinasi regresi (R^2) mendekati 1 yaitu 0,9981. Desain sensor bekerja dengan baik yang dapat mengukur nilai kadar air 0% sampai 60%. Pengujian desain sensor dengan alat ukur memperoleh nilai akurasi 83,92 %, nilai presisi 99,98 % dan nilai sensitivitas 6,9 (mV/%). Desain sensor menghasilkan nilai kelayakan alat sebesar 91,95 % yang masuk kriteria sangat layak untuk digunakan.

5.2 Saran

Desain ini memiliki kekurangan yaitu *output* yang dihasilkan sangat kecil sehingga perubahan *output* tidak begitu signifikan. *Output* dari sensor berpengaruh pada nilai sensitivitas. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah penambahan rangkaian penguat arus dengan menggunakan transistor agar *output* yang dihasilkan lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. 2016. Fisika Dasar I. *Bandung: ITB*.
- Adhi, M. A. 2003. Metode Geofisika. *Universitas Negeri Semarang, Semarang*.
- Akbar, M. 2004. Studi Geofisika Terintegrasi untuk Mendeteksi Keberadaan Endapan Emas Sistem Epithermal. Depok. Universitas Indonesia.
- Anjum, S. A., X.-y. Xie, L.-c. Wang, M. F. Saleem, C. Man, dan W. Lei. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African journal of agricultural research* 6 (9): 2026-2032.
- Bachri, A., dan E. W. Santoso. 2017. Rancang bangun Penyiram Tanaman Otomatis Dengan Sensor Kelembaban Tanah Berbasis Atmega 328. *Jurnal JE-Unisla* 2 (1): 5-10.
- Bernard, J., dan P. Valla. 1991. Groundwater exploration in fissured media with electrical and VLF methods. *Geoexploration* 27 (1-2): 81-91.
- Cantatore, A., dan P. Müller. 2011. Introduction to computed tomography.
- Chiffre, L. D., C. S, P. K. J, S. R, dan W. A. 2014. Industrial Applications of Computed Tomography. *Elsevier* 63: 655-657.
- Components101. 2018. *Arduino UNO*.
<https://components101.com/microcontrollers/arduino-uno>. [Diakses pada: 3 maret].
- Hakim, N., Nyakpa, M.Y., Lubis, A.M., Nugroho, S.G., Diha, M.A., Hong, G.B., Bailey, H.H. 1986. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Universitas Lampung. 488 hal.
- Hanafiah, K.A. 2004. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Jakarta: Rajawali Pers.
- Harikumar, R., R. Prabu, dan S. Raghavan. 2013. Electrical impedance tomography (EIT) and its medical applications: a review. *Int. J. Soft Comput. Eng* 3 (4): 193-198.
- Hidayah, M. L. 2018. Pengukuran Perubahan Kelembaban Tanah di Daerah Perakaran Tanaman Menggunakan Soil Moisture Sensor YL 69 Berbasis Arduino Mega 2560. Jember. Universitas Jember.
- Ishak, S., M. H. F. Rahiman, S. S. Hamzah, L. T. Siow, N. A. M. Ali, T. T. W. Kiat, dan V. A. W. Neng. 2016. A Review Of Application Electrical Resistance Tomography For Rooted Herb Tree Detection. *Jurnal Teknologi* 78 (7-4).
- Jamulya, dan S. S. W. 1993. *Pengantar Geografi Tanah*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.

- Muchingami, Innocent, et al. 2013. On the use of electrical resistivity methods in monitoring infiltration of salt fluxes in dry coal ash dumps in Mpumalanga, South Africa. *Water SA*. 39 (4): 491-498.
- Loke, M., P. Wilkinson, dan J. Chambers. 2010. Fast computation of optimized electrode arrays for 2D resistivity surveys. *Computers & Geosciences* 36 (11): 1414-1426.
- Lowrie, W., dan A. Fichtner. 2019. *Fundamentals of geophysics*. Cambridge university press.
- Lutfiyana, N. Hudallah, dan A. Suryanto. 2017. Rancang bangun alat ukur suhu tanah, kelembaban tanah, dan resistansi. *Jurnal Teknik Elektro* 9 (2): 80-86.
- Masturah, M., M. Rahiman, Z. Zakaria, A. Rahim, dan N. Ayob. 2015. Design of Flexible Electrical Capacitance Tomography Sensor. *Jurnal Teknologi* 77 (28).
- Metwaly, M., dan F. AlFouzan. 2013. Application of 2-D geoelectrical resistivity tomography for subsurface cavity detection in the eastern part of Saudi Arabia. *Geoscience Frontiers* 4 (4): 469-476.
- Mukherjee, D., dan R. Kumar. 2005. Water stress induced physiological and biochemical changes in different plant parts of pigeonpea. *Bulletin of the National Institute of Ecology* 15: 191-199.
- Nabeel, F., D. D. Warnana, dan A. S. Bahri. 2013. Analisa Sebaran Fosfat dengan Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger: Studi Kasus Saronggi, Madura. *Jurnal Sains dan Seni ITS* 2 (1): B9-B14.
- Pebriantoro, Y. 2016. Pengembangan Metode Pencitraan *Electrical Resistivity Tomography* Menggunakan Konfigurasi *Wenner -Schlumberger*: Kasus Anomali Dalam Tanah, *Tesis*. Institut Pertanian Bogor.
- Putra, Y. S., dan B. P. Lapanporo. 2014. Identifikasi Keretakan Beton Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas. *PRISMA FISIKA* 2 (3).
- Reynolds, J. M. 2011. *An introduction to applied and environmental geophysics*. John Wiley & Sons.
- Salim, Agus. 2015. Aplikasi Metode Resistivitas Konfigurasi Wenner untuk Menafsirkan Penyebaran Batuan Situs Purbakala Candi Gambar Wetan Kabupaten Blitar. *Skripsi*. Surabaya: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Schurr, U., U. Heckenberger, K. Herdel, A. Walter, dan R. Feil. 2000. Leaf development in *Ricinus communis* during drought stress: dynamics of growth processes, of cellular structure and of sink-source transition. *Journal of Experimental Botany* 51 (350): 1515-1529.

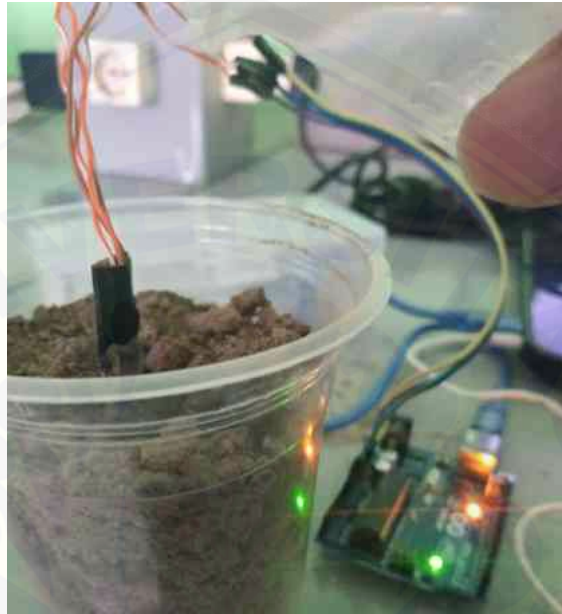
- Sinaga, Fitri H. 2015. Perancangan Alat Ukur Kelembaban Tanah Menggunakan Metode Konfigurasi Wenner Berbasis Mikrokontroler Atmega 16. Medan. Skripsi. Universitas Sumatra Utara.
- Stevanus, D. S. 2013. Alat Pengukur Kelembaban Tanah Berbasis Mikrokontroler PIC 16F84. *Indonesian Journal of Applied Physics* 3 (1): 36.
- Subburaj, J. 2011. *CT Scanning – Techniques and Applications*. Croatia.
- Suprpto, N. 2006. Uji Konduktivitas Listrik Terhadap Kadar Air Tanah Dermaga Bogor dan Metode Wenner dan Sifat Fisik Tanahnya. *Skripsi*. Bogor. Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan IPB.
- Tar buck E J, Lutgens F K. 2012. *Earth Science*. New York : Prentice Hall.
- Telford, W. M., L. Geldart, R. E. Sheriff, dan R. Sheriff. 1990. *Applied geophysics*. Cambridge university press.
- Todd, D. K., dan L. Mays. 1980. *Groundwater hydrology*. John Willey Sons. Inc., New York 535.
- Warsito, M. 2005. *Komputasi Tomografi dan Aplikasinya dalam Proses Industri*. Semiloka BPPT
- Wijaya, A. S. 2015. Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner Untuk Menentukan Struktur Tanah di Halaman Belakang SCC ITS Surabaya (Halaman 1 sd 5). *Jurnal Fisika Indonesia* 19 (55).
- Yadav, G., dan S. K. Singh. 2007. Integrated resistivity surveys for delineation of fractures for ground water exploration in hard rock areas. *Journal of applied geophysics* 62 (3): 301-312.



LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi penelitian

- a. Realisasi sensor ketika tanah kering (kelembaban 0%)



- b. Realisasi sensor ketika tanah sedang (kelembaban 30%)



c. Proses pengadukan tanah dengan air (ASM 30%)



d. Realisasi sensor ketika tanah basah (kelembaban 60%)



e. Proses pengadukan tanah dengan air (ASM 60%)



Lampiran 2 Tabel hasil kalibrasi kadar air tanah

Tanah (gr)	Air (gr)	ASM (%)	Pengulangan					(0,5 cm) Vrata-rata
			1	2	3	4	5	
250	25	10	0,053	0,053	0,058	0,068	0,078	0,062
250	50	20	0,087	0,102	0,107	0,122	0,126	0,109
250	75	30	0,151	0,151	0,161	0,170	0,175	0,162
250	100	40	0,195	0,214	0,205	0,209	0,224	0,210
250	125	50	0,239	0,249	0,283	0,292	0,351	0,283
250	150	60	0,473	0,424	0,400	0,385	0,380	0,413

Tanah (gr)	Air (gr)	ASM (%)	Pengulangan					(0,8 cm) Vrata-rata
			1	2	3	4	5	
250	25	10	0,078	0,083	0,087	0,097	0,127	0,094
250	50	20	0,136	0,156	0,175	0,205	0,224	0,179
250	75	30	0,229	0,273	0,275	0,283	0,312	0,275
250	100	40	0,293	0,307	0,322	0,332	0,337	0,318
250	125	50	0,391	0,395	0,410	0,420	0,425	0,408
250	150	60	0,386	0,410	0,449	0,439	0,454	0,428

Tanah (gr)	Air (gr)	ASM (%)	Pengulangan					(1 cm) Vrata-rata
			1	2	3	4	5	
250	25	10	0,053	0,068	0,078	0,097	0,112	0,082
250	50	20	0,131	0,151	0,146	0,214	0,151	0,159
250	75	30	0,307	0,327	0,361	0,380	0,400	0,355
250	100	40	0,366	0,385	0,390	0,419	0,405	0,393
250	125	50	0,424	0,405	0,390	0,405	0,405	0,406
250	150	60	0,434	0,419	0,424	0,410	0,380	0,414

Lampiran 3 Pengujian alat pada Setiap Spasi

3.1 Spasi 0,5 cm

Tanah (gr)	Air (gr)	VoutUNO	AnalogRead	Error	ASM (%)	Presisi (%)	Hasil ukur alat (%)	Akurasi (%)	Kelayakan Alat (%)	sensitivitas (mV/%)		
250	25	0,0488	10		10		6,088	60,879		6,920		
250	25	0,0537	11		10		7,314	73,143				
250	25	0,0635	13	13	0,0135	10	99,987	9,726	9,675	97,264	96,747	98,367
250	25	0,0635	13		10		9,726	97,264				
250	25	0,0879	18		10		15,518	44,817				
250	50	0,1123	23		20		20,970	95,152				
250	50	0,1270	26		20		24,077	79,616				
250	50	0,1367	28	27	0,0129	20	99,987	26,080	25,238	69,599	73,810	86,898
250	50	0,1367	28		20		26,080	69,599				
250	50	0,1514	31		20		28,983	55,084				
250	75	0,1758	36		30		33,549	88,170				
250	75	0,1855	38		30		35,280	82,400				
250	75	0,2246	46	44	0,0311	30	99,969	41,659	40,176	61,137	66,080	83,025
250	75	0,2441	50		30		44,521	51,596				
250	75	0,2539	52		30		45,871	47,098				
250	100	0,2344	48		40		43,117	92,207				
250	100	0,2539	52		40		45,871	85,323				
250	100	0,2734	56	55	0,0228	40	99,977	48,406	47,520	78,984	81,199	90,588
250	100	0,2734	56		40		48,406	78,984				
250	100	0,3027	62		40		51,801	70,498				
250	125	0,3076	63	71	0,0322	50	99,968	52,319	55,837	95,362	88,326	94,147

Tanah (gr)	Air (gr)	VoutUNO	AnalogRead	Error	ASM (%)	Presisi (%)	Hasil ukur alat (%)		Akurasi (%)	Kelayakan Alat (%)	sensitivitas (mV/%)		
250	125	0,3174	65		50		53,314		93,372		6,920		
250	125	0,3516	72		50		56,369		87,263				
250	125	0,3760	77		50		58,142		83,717				
250	125	0,3906	80		50		59,042		81,916				
250	150	0,4395	90		60		61,157		98,071				
250	150	0,4492	92		60		61,417		97,638				
250	150	0,4590	0,4609	94	94	0,0156	60	99,984	61,622	61,587	97,296	97,355	98,670
250	150	0,4785	98		60		61,869		96,885				
250	150	0,4785	98		60		61,869		96,885				
Rata-rata							99,979			83,920	91,949		

3.2 Spasi 0,8 cm

Tanah (gr)	Air (gr)	VoutUNO	AnalogRead	Error	ASM (%)	Presisi (%)	Hasil ukur alat (%)		Akurasi (%)	Kelayakan Alat (%)	sensitivitas (mV/%)		
250	25	0,1074	22		10		11,518		84,822		6,560		
250	25	0,1123	23		10		11,978		80,222				
250	25	0,1123	0,124	23	25,4	0,0165	10	99,983	11,978	13,153	80,222	68,467	84,225
250	25	0,1416	29		10		14,891		51,091				
250	25	0,1465	30		10		15,402		45,980				
250	50	0,1855	38		20		19,755		98,773				
250	50	0,2051	42		20		22,106		89,468				
250	50	0,2197	0,221	45	45,2	0,0250	20	99,975	23,947	24,168	80,264	79,160	89,568
250	50	0,2344	48		20		25,854		70,731				
250	50	0,2588	53		20		29,178		54,110				
250	75	0,2686	0,321	55	65,8	0,0320	30	99,968	30,559	38,678	98,137	71,072	85,520

Tanah (gr)	Air (gr)	VoutUNO	AnalogRead	Error	ASM (%)	Presisi (%)	Hasil ukur alat (%)	Akurasi (%)	Kelayakan Alat (%)	sensitivitas (mV/%)			
250	75	0,3027	62		30		35,622	81,259		6,560			
250	75	0,3320	68		30		40,248	65,841					
250	75	0,3467	71		30		42,659	57,802					
250	75	0,3564	73		30		44,304	52,321					
250	100	0,3271	67		40		39,459	98,647					
250	100	0,3516	72		40		43,478	91,305					
250	100	0,3857	0,386	79	79	0,0422	40	99,958	49,412	49,686	76,469	75,785	87,871
250	100	0,4297	88		40		57,569	56,077					
250	100	0,4346	89		40		58,512	53,720					
250	125	0,3662	75		50		45,977	91,955					
250	125	0,3809	78		50		48,543	97,085					
250	125	0,4199	0,411	86	84,2	0,0324	50	99,968	55,705	54,214	88,590	91,571	95,769
250	125	0,4395	90		50		59,462	81,076					
250	125	0,4492	92		50		61,385	77,231					
250	150	0,3857	79		60		49,412	82,354					
250	150	0,4199	86		60		55,705	92,842					
250	150	0,4541	0,437	93	89,4	0,0297	60	99,970	62,357	59,027	96,072	98,378	99,174
250	150	0,4590	94		60		63,336	94,440					
250	150	0,4639	95		60		64,323	92,795					
Rata-rata						99,9704			80,739	90,355			

3.3 Spasi 1 cm

Tanah (gr)	Air (gr)	VoutUNO	AnalogRead	Error	ASM (%)	Presisi (%)	Hasil ukur alat (%)	Akurasi (%)	Kelayakan Alat (%)	sensitivitas (mV/%)				
250	25	0,1221	0,1338	25	27,4	0,0140	10	99,986	11,352	12,599	86,482	74,006	86,996	4,220
250	25	0,1270	26		10		11,861		81,387					

Tanah (gr)	Air (gr)	VoutUNO	AnalogRead	Error	ASM (%)	Presisi (%)	Hasil ukur alat (%)	Akurasi (%)	Kelayakan Alat (%)	sensitivitas (mV/%)		
250	25	0,1270	26		10		11,861	81,387				
250	25	0,1318	27		10		12,375	76,249				
250	25	0,1611	33		10		15,548	44,524				
250	50	0,2051	42		20		20,594	97,028				
250	50	0,2344	48		20		24,151	79,246				
250	50	0,2344	48	48,6	0,0217	20	99,978	24,151	24,557	79,246	77,213	88,596
250	50	0,2393	49		20		24,759	76,207				
250	50	0,2734	56		20		29,132	54,341				
250	75	0,2344	48		30		24,151	80,503				
250	75	0,2832	58		30		30,420	98,601				
250	75	0,3125	64	63,8	0,0496	30	99,950	34,386	34,472	85,380	85,094	92,522
250	75	0,3564	73		30		40,623	64,589				
250	75	0,3711	76		30		42,779	57,403				
250	100	0,2979	61		40		32,384	80,959				
250	100	0,3125	64		40		34,386	85,965				
250	100	0,3271	67	68,2	0,0272	40	99,973	36,427	37,320	91,067	93,299	96,636
250	100	0,3564	73		40		40,623	98,442				
250	100	0,3711	76		40		42,779	93,052				
250	125	0,3223	66		50		35,742	71,484				
250	125	0,3320	68		50		37,115	74,231				
250	125	0,3467	71	70,4	0,0165	50	99,983	39,207	38,810	78,415	77,620	88,802
250	125	0,3467	71		50		39,207	78,415				
250	125	0,3711	76		50		42,779	85,558				
250	150	0,3027	62		60		33,047	55,078				
250	150	0,3271	67		60		36,427	60,711				
250	150	0,3516	72	70,6	0,0265	60	99,974	39,913	38,989	66,522	64,982	82,478
250	150	0,3711	76		60		42,779	71,299				
250	150	0,3711	76		60		42,779	71,299				
Rata-rata						99,974			78,702	89,338		

Lampiran 4 Kode program pembacaan output pada alat

```
void setup() {  
  
    // put your setup code here, to run once:  
  
    Serial.begin(9600);  
  
}  
  
void loop() {  
  
    // put your main code here, to run repeatedly:  
  
    int Baca1 = analogRead(A3);  
  
    Serial.println(Baca1);  
  
    delay(10000);  
  
}
```

Lampiran 5 Datasheet Arduino UNO

Mikrokontroler	Atmega328
Tegangan Operasi	5volt
Batasan Tegangan	6-20 volt
Pin Input Analog	6
Pin Input/Output Digital	14
Tegangan Rekomendasi	7-12 volt
Arus Pada Pin Digital	40 mA
Arus Pada Pin 3,3	50 mA
Flash Memori	32 KB (0,5 KB untuk bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz