

**SKRIPSI**

**PEMETAAN VARIASI SPASIAL PARAMETER TANAH DAN *APPARENT GROUND CONDUCTIVITY* (ECa) MENGGUNAKAN METODE INDUKSI ELEKTROMAGNETIK**

*Spatial Variability Mapping of Soil Attributes and Apparent Ground Conductivity (ECa) using Electromagnetic Induction Method*



Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar  
Sarjana Sains Ilmu Fisika Pada Program Studi Fisika  
Fakultas Teknik dan Sains Universitas Nasional

Oleh :

**Arif Candhra Giri Ramadhan**  
**183112600170022**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS  
UNIVERSITAS NASIONAL**

**JAKARTA  
2020**

**HALAMAN JUDUL**

**PEMETAAN VARIASI SPASIAL PARAMETER TANAH DAN *APPARENT*  
*GROUND CONDUCTIVITY* (EC<sub>a</sub>) MENGGUNAKAN METODE INDUKSI  
ELEKTROMAGNETIK**



Oleh :

**Arif Candhra Giri Ramadhan  
183112600170022**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS  
UNIVERSITAS NASIONAL**

**JAKARTA  
2020**

## PERNYATAAN ORISINILITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini adalah karya saya sendiri. Sepengetahuan saya dalam skripsi ini tidak terdapat bagian dari karya orang lain yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi lain. Tidak ada pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan, kecuali yang tertulis dalam naskah ini, semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk telah disebutkan dalam daftar pustaka.

Jakarta, Februari 2020



Arif Candhra Giri Ramadhan  
NPM :183112600170022

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**SKRIPSI**

**PEMETAAN VARIASI SPASIAL PARAMETER TANAH DAN *APPARENT GROUND CONDUCTIVITY* (ECa) MENGGUNAKAN METODE INDUKSI ELEKTROMAGNETIK**



Pada Februari 2020,  
Mengetahui,  
**Ketua Program Studi Fisika**

**Drs. Ari Mutanto, M.Pd**  
NIDN. 0330076702

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : **Arif Candhra Giri Ramadhan**  
NPM : **183112600170022**  
Program Studi : **Fisika**  
Judul Skripsi : **“Pemetaan Variasi Spasial Parameter Tanah dan *Apparent Ground Conductivity* (ECa) Menggunakan Metode Induksi Elektromagnetik”**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian dari persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu pada Program Studi Teknik Fisika, Fakultas Teknik Dan Sains, Universitas Nasional.

Pembimbing I : **Drs. Muzilman Muslim, M.Si** ( )  
NIDN. 0302106001

Pembimbing II : **Purwantiningsih, S.Si., M.Sc** ( )  
NIDN. 0613078501

Penguji I : **Prof. Dr. Budi Santoso, M.Sc** ( )  
NIDN. 0316084601

Penguji II : **Drs. Nalsali Pinem, M.Sc** ( )  
NIDN. 0311104301

Penguji III : **Drs. Puji Hartoyo, M.Si** ( )  
NIDN. 0328066102

Mengesahkan  
Ketua Program Studi Fisika

**Drs. Ari Mutanto, M.Pd**  
NIDN. 0330076702

Ditetapkan di : Jakarta  
Tanggal : 24 Februari 2020

## LEMBAR PERSETUJUAN

### PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Nasional, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Arif Candhra Giri Ramadhan  
NIM : 183112600170022  
Program Studi : Fisika  
Fakultas : Teknik dan Sains  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Nasional Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul :

PEMETAAN VARIASI SPASIAL PARAMETER TANAH DAN *APPARENT GROUND CONDUCTIVITY (ECa)* MENGGUNAKAN METODE INDUKSI ELEKTROMAGNETIK

Beserta perangkat yang ada. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Program Studi Fisika Fakultas Teknik dan Sains Universitas Nasional berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database) merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Dibuat di : Jakarta  
Pada tanggal : 24 Februari 2010  
Yang menyatakan

Arif Candhra Giri Ramadhan  
NPM. 183112600170022

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis hanturkan kepada Allah SWT atas berkat Rahmat, Hidayah, dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul **“PEMETAN VARIASI SPASIAL PARAMETER TANAH DAN APPARENT GROUND CONDUCTIVITY MENGGUNAKAN METODE INDUKSI ELEKTROMAGNETIK”**. Dalam penyusunan laporan skripsi ini, penulis mendapat banyak bimbingan, dukungan, serta bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan skripsi ini.

Terima kasih yang tak terhingga penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Drs. Muzilman Muslim, M.Sc. selaku Dosen Wali dan Dosen Pembimbing I Tugas Akhir penulis, dan Ibu Purwatiningsih, S.Si., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir. Atas bimbingan, saran, kesabaran dan motivasi yang diberikan.
2. Bapak Dr. Setiari Marwanto, S.P, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Lapangan, atas arahan, ilmu, dan bimbingan selama penulis melakukan pengambilan data.
3. Ibu Dr. Ir. Ladiyani Retno Widowati, M.Sc. selaku Kepala Balai Penelitian Tanah (Balittanah) yang telah mengizinkan penulis untuk meminjam alat penelitian.
4. Bapak Drs. Ari Mutanto, M.Pd. selaku Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional.
5. Bapak Novi Azman, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Ir. Viktor Vekky Ronald Repi, M.T. selaku Dekan dan Wakil Dekan Fakultas Teknik dan Sains Universitas Nasional.
6. Segenap Dosen Jurusan Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
7. Orang tua dan keluarga, atas doa, bimbingan, serta kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.

8. Teman-teman Jurusan Fisika Universitas Nasional atas semua dukungan, semangat, serta kerjasamanya selama penulis berkuliah dan mengerjakan tugas akhir.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam pembuatan laporan skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan laporan skripsi ini. Oleh karena itu penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya atas segala hal yang kurang berkenan dan berbagai kesalahan yang mungkin terdapat dalam laporan skripsi ini. Semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Jakarta, Februari 2020

Penulis





**Ramadhan, A.C.G. 2020.** Pemetaan Variasi Spasial Parameter Tanah dan *Apparent Ground Conductivity* Menggunakan Metode Induksi Elektromagnetik. Dibimbing oleh : Drs. Muzilman Muslim, M.Si. dan Purwantiningsih, S.Si., M.Sc.

## ABSTRAK

Pertanian presisi merupakan cara dalam pertanian yang memanfaatkan teknologi agar petani dapat mengoptimalkan pengelolaan lahan pertanian.. Karena pertanian presisi memberikan informasi spesifik untuk pengelolaan lahan dan penanaman tanaman berdasarkan variabilitas spasial tanah, dan kondisi irigasi lahan. Metode Induksi Elektromagnetik merupakan salah satu metode yang umum digunakan dalam pelaksanaan pertanian presisi terutama dalam proses pemetaan variasi spasial tanah secara cepat, murah, dan tidak merusak lahan pertanian. Tujuan penelitian ini adalah untuk memetakan variasi spasial *apparent ground conductivity* (ECa), susceptibilitas magnetik ( $\chi$ ), kadar air tanah, kandungan bahan organik, tekstur tanah, pH, dan kapasitas tukar kation (KTK) pada sebuah perkebunan sayuran di Kota Bekasi seluas 40x20 m. Pengukuran dilakukan menggunakan metode induksi elektromagnetik dengan alat EM38-MK2 pada lima lintasan pengukuran dan pengambilan sampel tanah pada sembilan titik. Hasil pemetaan menunjukkan kadar air tanah memiliki kemiripan pola variabilitas dan nilai koefisien korelasi yang signifikan terhadap nilai ECa. Sedangkan C-organik, liat, debu, dan KTK memiliki nilai koefisien korelasi yang cukup tinggi namun tidak cukup signifikan terhadap nilai ECa. Hal menunjukkan kadar air menjadi parameter tanah paling berpengaruh terhadap nilai ECa pada keadaan tanah dengan tingkat kekeringan yang tinggi dan kesuburan rendah. Peta variasi spasial C-organik, tekstur tanah, dan kapasitas tukar kation menunjukkan lahan pertanian memiliki tingkat kesuburan yang rendah.

Kata kunci : *apparent ground conductivity*, induksi elektromagnetik, parameter kimia dan fisika tanah, pertanian presisi, variabilitas spasial.



**Ramadhan, A.C.G. 2020.** *Spatial Variability Mapping of Soil Attributes and Apparent Ground Conductivity (ECa) using Electromagnetic Induction Method.* Directed by : Drs. Muzilman Muslim, M.Si. dan Purwantiningsih, S.Si., M.Sc.

### ABSTRACT

Precision agriculture is a way in agriculture that utilize the technology so farmers can optimize the management of the agriculture land. Precision agriculture provide a specific information for land management and crop planting based on land spacial variability, condition of the irrigation, and crop harvest. Electromagnetic induction method is one of the methods commonly used in the implementation of precision agriculture, especially in the process of mapping spatial variations of land quickly, cheaply, and does not damage agricultural land. The objective of this study is to mapping spacial variability of *apparent ground conductivity* (ECa), magnetic susceptibility ( $\chi$ ), soil water content, organic content, soil texture, pH, and cation exchange capacity (CEC) in a 40x20 m vegetable plantation in Bekasi City. Measurements were made using electromagnetic induction method with the EM38-MK2 tool with five line measurement and soil sampling at nine points. The results of the mapping show that the ground water content is similar in variability patterns and the correlation coefficient values are significant for the ECa value. Whereas C-organic, clay, dust, and CEC have a high correlation coefficient but not significant enough to the ECa value. It shows that water content is the most influential soil parameter on ECa values in soil conditions with a high level of drought and low fertility. Maps of spatial variations in C-organic, soil texture, and cation exchange capacity show that agricultural land has a low fertility rate.

Keywords: *apparent ground conductivity*, chemicals and physics soil attributes, ECa, electromagnetic induction, precision agriculture, spacial variability.



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN ORISINILITAS.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN.....	v
PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.5.1. Manfaat Teoritis.....	4
1.5.2. Manfaat Praktis.....	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Landasan Teori.....	5
2.1.1. Konsep Umum Metode Induksi Elektromagnetik.....	5
2.1.2. Gelombang Elektromagnetik dan Geofisika.....	5
2.1.3. Persamaan Maxwell.....	7
2.1.4. Skin Depth.....	10
2.1.5. Apparent Ground Conductivity (ECa).....	10
2.1.6. pH Tanah.....	11
2.1.7. Tekstur Tanah.....	11
2.1.8. Kadar Air Tanah.....	13
2.1.9. Kandungan Bahan Organik Tanah.....	14
2.1.10. Kapasitas Tukar Kation.....	15
2.1.11. Geologi Daerah Penelitian.....	15
2.2. Prinsip Kerja Alat.....	17
2.2.1. Geonics® EM38-MK2.....	17
2.3. Penelitian Terdahulu.....	19

BAB III .....	22
METODOLOGI PENELITIAN .....	22
3.1.    Desain Penelitian .....	22
3.2.    Waktu dan Tempat Penelitian.....	23
3.2.1.    Waktu Penelitian .....	23
3.2.2.    Tempat Penelitian .....	23
3.3.    Alat dan Bahan Penelitian .....	24
3.3.1.    Alat Penelitian.....	24
3.3.2.    Bahan Penelitian .....	24
3.4.    Metode Penelitian.....	25
3.5.    Variabel Penelitian .....	25
3.5.1.    Variabel Bebas.....	25
3.5.2.    Variabel Terikat .....	25
3.6.    Langkah Kerja Penelitian .....	26
3.7.    Teknik Pengambilan Data.....	26
3.8.    Pengolahan Data.....	27
3.9.    Analisa Data.....	31
BAB IV .....	32
HASIL DAN PEMBAHASAN .....	32
4.1.    Hasil Peta Variasi Spasial ECa, $\chi$ , dan Parameter Tanah.....	32
4.2.    Hasil Pengolahan Data Statistik.....	36
BAB V.....	39
PENUTUP.....	39
4.1.    Kesimpulan.....	39
4.2.    Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA .....	41
LAMPIRAN.....	43



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Dasar Pengukuran Metode Elektromagnetik.....	6
Gambar 2.2 Gaya Lorentz pada Kumputan Receiver.....	6
Gambar 2.3 Skema Penjalanan Gelombang dalam Metode Elektromagnetik.....	7
Gambar 2.4 Komposisi Sinyal Pengukuran Metode Elektromagnetik.....	7
Gambar 2.5 Segitiga Tekstur.....	13
Gambar 2.6 Peta Geologi Daerah Penelitian.....	16
Gambar 2.7 Peta Hidrologi Daerah Penelitian.....	17
Gambar 2.8 Perangkat Geonics EM38-MK2.....	18
Gambar 2.9 Prinsip Kerja Alat Geonics EM38-MK2.....	18
Gambar 2.10 Grafik Penjalanan Gelombang EM Alat Geonics EM38-MK2.....	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	22
Gambar 3.2 Lokasi Penelitian.....	24
Gambar 3.3 Alat Geonics EM38-MK2.....	24
Gambar 3.4 Diagram Alir Pengukuran di Lokasi Survei.....	26
Gambar 3.5 Data Asli Hasil Pengukuran Metode Induksi Elektromagnetik.....	28
Gambar 3.6 Data Hasil Perubahan.....	28
Gambar 3.7 Peta Dasar.....	29
Gambar 3.8 Peta dengan Color Relief.....	30
Gambar 3.9 Hasil Akhir Peta Variasi Spasial.....	30
Gambar 4.1 Desain Pengukuran Induksi Elektromagnetik.....	32
Gambar 4.2 Peta Variasi Spasial Konduktivitas Terukur (ECa) untuk a. Konfigurasi <i>Horizontal Dipole Mode</i> (HDM), dan b. Konfigurasi <i>Vertical Dipole Mode</i> (VDM).....	33
Gambar 4.3 Peta Variasi Spasial Suseptibilitas Magnetik ( $\chi$ ) untuk a. Konfigurasi <i>Horizontal Dipole Mode</i> (HDM), dan b. Konfigurasi <i>Vertical Dipole Mode</i> (VDM).....	33
Gambar 4.4 Peta Variasi Spasial untuk a. Kadar Air Tanah, b. C-Organik.....	34
Gambar 4.5 Peta Variasi Spasial untuk a. Tekstur Liat, b. Tekstur Debu.....	35

Gambar 4.6 Peta Variasi Spasial untuk a. pH, b. Kapasitas Tukar Kation (KTK).....36



## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Tekstur Tanah Menurut Beberapa Sistem.....	12
Tabel 2. Data Statistik Konduktivitas Terukur (ECa), Suseptibilitas Magnetik ( $\chi$ ), dan Parameter Tanah.....	37
Tabel 3. Nilai Koefisien Korelasi Linier antar Data.....	38



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk dunia membuat manusia menghadapi tantangan besar dalam hal memenuhi kebutuhan makanan. Salah satu cara agar kebutuhan makanan dapat terpenuhi yaitu dengan pertanian berkelanjutan. Pertanian berkelanjutan membutuhkan keseimbangan antara hasil panen, penggunaan sumber daya alam, efek lingkungan, dan ekonomi. Untuk mencapai pertanian berkelanjutan perlu dilakukannya pertanian presisi, yang bertumpu pada keandalan, kemampuan perkembangan, dan pemahaman akan perkembangan teknologi yang menjadi dasar pertanian presisi. Fitur dan inkonsistensi dari parameter tanah telah diteliti secara ekstensif dalam riset dan aplikasi pertanian presisi.[1] Namun, metode penelitian parameter tanah secara konvensional sangatlah memakan waktu, dan dapat merusak lahan pertanian. Dan untuk itu metode induksi elektromagnetik banyak digunakan oleh peneliti tanah untuk lebih memahami variabilitas spasial tanah dan karakteristik tanah di lapangan dan skala luas, secara cepat, presisi, dan tidak merusak.[2]

Penelitian terdahulu mengenai aplikasi metode induksi elektromagnetik terhadap pertanian dilakukan di Kota Viçosa dan Kota Ponte Nova, Brazil. Tujuan penelitian ini adalah untuk memetakan variabilitas spasial karakteristik fisik tanah dan korelasinya terhadap nilai electrical apparent conductivity (ECa) tanah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat korelasi signifikan antara ECa dan kadar air, tekstur tanah, kandungan P-rem dan K, sedangkan tidak ada korelasi antara ECa dengan kandungan bahan organik, pH,  $Al^{3+}$ , dan V.[3] Penelitian di Buzau County, Romania bertujuan untuk mendeteksi kedalaman penetrasi dan akumulasi irigasi, dan distribusi spasial dan karakterisasi struktur tanah. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan area yang teririgasi memiliki nilai ECa lebih besar dari pada area yang tidak teririgasi sehingga menunjukkan bahwa kadar air mempengaruhi nilai ECa dan nilai  $\chi$  tinggi akibat kehadiran bahan organik yang kaya ion besi oksida pada lapisan tanah.[4] Penelitian di lahan



perkebunan bluberi Kota Nova Scotia, Amerika Serikat bertujuan untuk mengembangkan hubungan antara parameter tanah tertentu dan ECa untuk memprediksi parameter tanah tersebut dengan cara cepat dan tidak merusak lahan. Hasil penelitian menunjukkan tekstur tanah menjadi faktor penting yang berkontribusi pada nilai ECa, pH tanah secara general tidak berkorelasi dengan ECa, kadar air memiliki korelasi positif yang signifikan dengan ECa dan kadar bahan organik memiliki korelasi positif yang signifikan pada sampel tanah yang lebih dalam. Hal ini menunjukkan nilai ECa sangat bergantung pada parameter tanah terutama yang mempengaruhi hasil panen tapi tidak hanya disebabkan oleh satu jenis parameter.[5]

Dalam rangka melakukan pertanian presisi untuk meningkatkan produktivitas lahan pertanian dan studi karakteristik tanah skala luas tanpa merusak lahan pertanian di Indonesia, diperlukan penelitian mendasar yaitu memetakan variasi spasial *apparent ground conductivity* (ECa), dan *magnetic susceptibility* ( $\chi$ ) dengan menggunakan metode induksi elektromagnetik dan mengintegrasikan hubungan antara ECa dan  $\chi$  dengan parameter fisik-kimia tanah lahan pertanian.

## 1.2. Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang dan untuk memudahkan penjabaran dalam membahas masalah yang ada, maka penulis merumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana peta variasi spasial parameter fisik-kimia tanah (tekstur, pH, kadar air, kadar bahan organik, kapasitas tukar kation), *apparent ground conductivity* (ECa), dan *magnetic susceptibility* ( $\chi$ )?
2. Bagaimana hubungan statistik parameter fisik-kimia tanah (tekstur, pH, kadar air, kadar bahan organik, kapasitas tukar kation) terhadap nilai *apparent ground conductivity* (ECa) dan *magnetic susceptibility* ( $\chi$ )?
3. Bagaimana interpretasi hubungan parameter fisik-kimia tanah (tekstur, pH, kadar air, kadar bahan organik, kapasitas tukar kation) terhadap nilai *apparent ground conductivity* (ECa), *magnetic susceptibility* ( $\chi$ )?

### 1.3. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, penulis membatasi masalah yaitu metode geofisika yang digunakan yaitu metode induksi elektromagnetik dengan menggunakan alat Geonics EM38-MK2 konfigurasi *Horizontal Dipole Mode (HDM)* dan *Vertical Dipole Mode (VDM)* dengan area penelitian seluas 40x20 meter. Pengambilan data menggunakan lima *line* dengan jarak antar line sejauh lima meter dan pengambilan sampel tanah dilakukan pada sembilan titik pada area penelitian dengan kedalaman 0-40 cm. Karakterisasi sampel tanah akan dilakukan di laboratorium untuk parameter fisik-kimia tanah (tekstur, pH, kadar air, kadar bahan organik, kapasitas tukar kation). Selanjutnya dilakukan pengolahan data hasil pengukuran metode induksi elektromagnetik dan karakterisasi sampel menggunakan metode krigging dan statistik hingga didapatkan peta variasi spasial dari setiap data hasil pengukuran dan hubungan statistik antar data.

### 1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka dapat disimpulkan tujuan penelitian dapat dibagi menjadi dua tujuan antara lain:

1. Membuat peta variasi spasial nilai *apparent ground conductivity* (ECa) dan *magnetic susceptibility* ( $\chi$ ) dan parameter fisik-kimia tanah (tekstur, pH, kadar air, kadar bahan organik, dan kapasitas tukar kation) hasil dari karakterisasi di laboratorium.
2. Mendapatkan hubungan statistik parameter fisik-kimia tanah (tekstur, pH, kadar air, kadar bahan organik, dan kapasitas tukar kation) terhadap nilai nilai *apparent ground conductivity* (ECa) dan *magnetic susceptibility* ( $\chi$ ).
3. Mengintepretasi hubungan parameter fisik-kimia tanah (tekstur, pH, kadar air, kadar bahan organik, kapasitas tukar kation) terhadap nilai *apparent ground conductivity* (ECa) dan *magnetic susceptibility* ( $\chi$ ).

## 1.5. Manfaat Penelitian

### 1.5.1. Manfaat Teoritis

Secara teoritis nilai *apparent ground conductivity* (ECa) dan *magnetic susceptibility* ( $\chi$ ) yang diukur menggunakan metode induksi elektromagnetik dapat menjadi acuan dalam memetakan jenis tanah secara cepat, akurat, dan murah.

### 1.5.2. Manfaat Praktis

Pemetaan parameter tanah menggunakan metode IE dapat digunakan untuk menentukan jenis tanaman yang tepat untuk ditanam pada suatu lahan siap tanam, mengestimasi area yang menghasilkan hasil panen terbesar dalam suatu lahan pertanian, memetakan tingkat keefektifan irigasi/pemupukan pada lahan pertanian dan mendelineasi zona manajemen pertanian untuk meningkatkan produktivitas suatu lahan pertanian.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

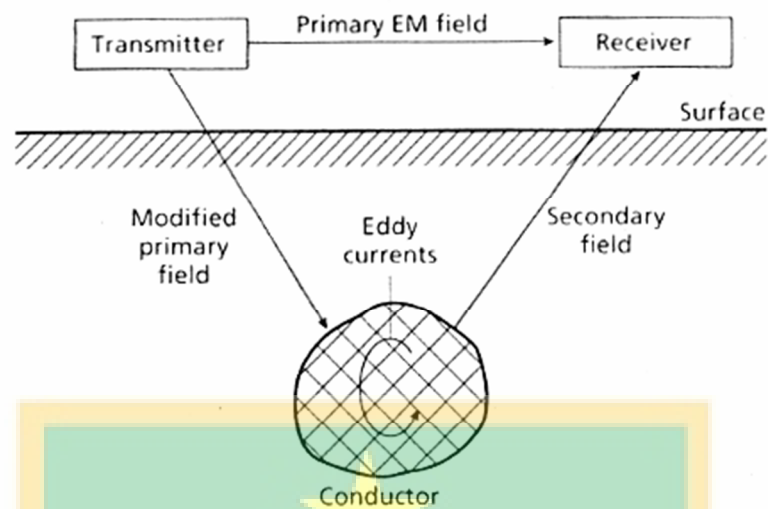
#### 2.1. Landasan Teori

##### 2.1.1. Konsep Umum Metode Induksi Elektromagnetik

Metode Induksi Elektromagnetik berdasarkan pada pengukuran perubahan saling impedansi antara sepasang kumparan pada atau di atas permukaan tanah. Instrumen elektromagnetik terdiri dari dua atau lebih set kumparan, kumparan elektrik ini terhubung dan terpisah oleh jarak yang tetap. Kumparan *transmitter* digunakan untuk menghasilkan medan elektromagnetik pada frekuensi tertentu atau disebut dengan medan magnet utama. Medan magnet utama menginduksi arus AC yang mengalir di sepanjang anomali konduktif, yang disebut arus *eddy*. Kemudian arus *eddy* menghasilkan medan magnet sekunder yang diterima oleh kumparan *receiver*. Besarnya medan magnet sekunder bergantung jenis dan distribusi bahan konduktif di bawah permukaan. Medan magnet sekunder ini terbagi menjadi dua komponen, yakni *in-phase component* (komponen riil) dan *quadrature component* (komponen imajiner). Besarnya *in-phase component* bergantung pada kerentanan magnetik dibawah permukaan.[6]

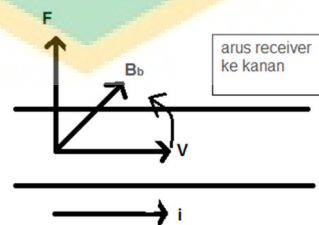
##### 2.1.2. Gelombang Elektromagnetik dan Geofisika

Medan elektromagnetik dihasilkan ketika arus AC melalui sebuah inti kecil yang terbuat dari banyak lengkungan kabel atau sebuah kumparan kabel yang besar. Dalam geofisika, medan elektromagnetik yang dihasilkan oleh kumparan kabel (*transmitter coil*) dapat digunakan untuk menghasilkan medan elektromagnetik primer yang kemudian menjalar di atas dan di bawah permukaan tanah.



Gambar 2.1 Prinsip Dasar Pengukuran Metode Elektromagnetik.[6]

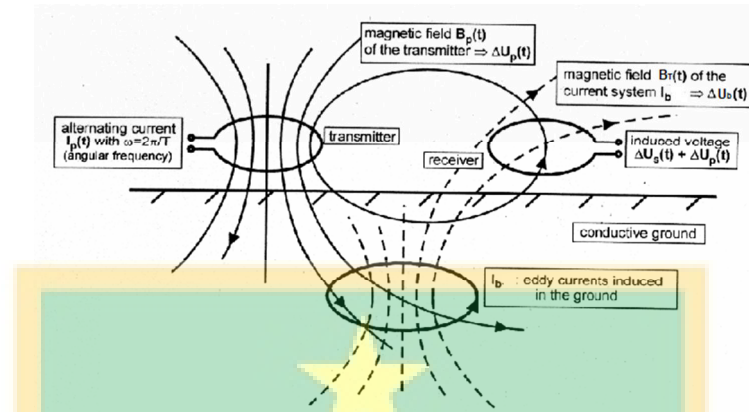
Ketika medan elektromagnetik menjalar pada lapisan *subsurface* homogen, tidak akan ada perbedaan antara medan yang menjalar di atas permukaan dengan yang menjalar di bawah permukaan (hanya terjadi sedikit penurunan nilai amplitudo). Jika terdapat anomali konduktif, komponen magnetik dari medan elektromagnetik menginduksi terjadinya arus *eddy* di sepanjang anomali konduktif tersebut (Gambar 2.1).[6] Arus *eddy* kemudian menghasilkan medan elektromagnetik sekunder yang menembus kumparan *receiver* dan menimbulkan interaksi pada arus *receiver* yang berupa arus AC. Arus AC pada *receiver* akan timbul “gaya Lorentz” yang berarah ke dinding kawat (Gambar 2.2), sehingga muatan-muatan yang terkena medan magnet  $B_b$  sebagian menempel ke dinding kawat. Arus di *receiver* bernilai  $I_r \pm \Delta I_r$  dengan  $\Delta I_r$  merupakan sinyal yang besarnya tergantung arus *transmitter* dan konduktivitas tanah.



Gambar 2.2 Gaya Lorentz pada kumparan receiver

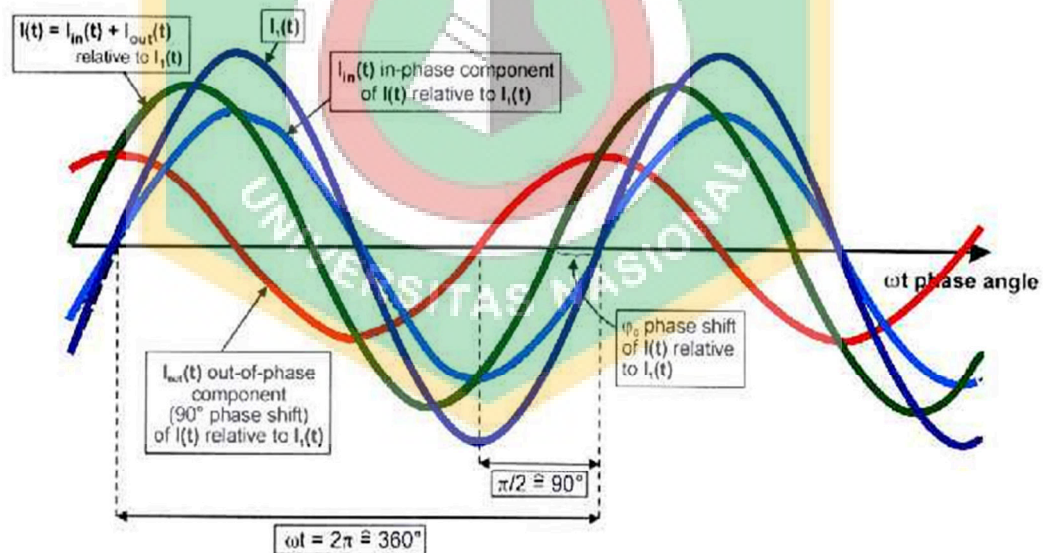
*Receiver* juga mendeteksi medan elektromagnetik primer yang menjalar di udara. Respon *receiver* merupakan resultan dari medan elektromagnetik primer dan medan elektromagnetik sekunder. Sehingga respon yang terukur akan berbeda pada kedua fasa dan amplitudo relatif terhadap medan elektromagnetik primer

yang menjalar di udara. Perbedaan antara medan elektromagnetik pada *transmitter* dan *receiver* menunjukkan keberadaan anomali konduktif dengan informasi geometri dan parameter elektriknya (Gambar 2.3).[6]



Gambar 2.3 Skema Penjalaran Gelombang dalam Metode Elektromagnetik[6]

Arus terinduksi dan medan magnetik sekunder berbeda fasa dengan medan magnetik primer (Gambar 2.4), dan sinyal yang terdeteksi dapat dipisahkan menjadi komponen *in-phase* dan  $90^\circ$  *out-phase* dari medan primer. Komponen *in-phase* biasa disebut dengan komponen riil dan komponen  $90^\circ$  *out-phase* disebut sebagai komponen imajiner atau *quadrature*. [8]



Gambar 2.4 Komposisi Sinyal Pengukuran Metode Elektromagnetik[6]

### 2.1.3. Persamaan Maxwell

Persamaan Maxwell yang digunakan dalam metode induksi elektromagnetik, adalah:[7]

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.2)$$

Hukum Faraday (Pers. 2.1) menjelaskan adanya sirkulasi dalam medan listrik  $\vec{E}$  pada loop tertutup yang terbentuk karena perubahan induksi medan magnet  $\vec{B}$  terhadap waktu yang menembus loop tersebut. Hukum Ampere (Pers. 2.2) menjelaskan bahwa di sekitar arus listrik yang mengalir akan menghasilkan loop tertutup yang berasosiasi dengan medan magnet. Arus yang dimaksud adalah arus konduksi dan arus perpindahan. Arus perpindahan merupakan medan listrik yang berinteraksi dengan medium. Peran arus perpindahan serupa dengan induksi magnet, namun induksi magnet tidak memiliki sumber.

Untuk medium linier isotropik, hubungan medan magnet dengan fluks dinyatakan dalam persamaan material:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (2.3)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H} \quad (2.4)$$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E} \quad (2.5)$$

Dengan mengkombinasikan setiap persamaan diatas untuk mendapatkan persamaan gelombang yang sepenuhnya bergantung pada  $\vec{E}$  dan  $\vec{H}$  dalam domain waktu, operasi curl diaplikasikan pada Pers. (2.1). Kemudian Pers. (2.4) dan (2.5) disubstitusikan kedalam Pers. (2.1) untuk mengurai jumlah variabel dalam persamaan. Dengan asumsi semua parameter fisis adalah konstan dalam ruang dan waktu, operasi curl dan operasi turunan terhadap waktu dapat dikeluarkan, hingga akhirnya didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\nabla^2 \vec{E} - \mu\sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (2.6)$$

$$\nabla^2 \vec{H} - \mu\sigma \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = 0 \quad (2.7)$$

Untuk mendapatkan persamaan gelombang dalam domain frekuensi, digunakan Transformasi Fourier dengan  $e^{i\omega t}$  bergantung pada waktu. Turunan dari  $e^{i\omega t}$  terhadap waktu adalah  $i\omega e^{i\omega t}$ . Dengan ini persamaan (2.6) dan (2.7) dapat diubah dari domain waktu menjadi persamaan gelombang dalam domain

frekuensi, dengan mengganti  $\frac{\partial}{\partial t}$  dengan  $i\omega$  dan  $\frac{\partial^2}{\partial t^2}$  dengan  $-\omega^2$ . Dengan ini didapatkan persamaan gelombang dalam domain frekuensi :

$$\nabla^2 \vec{E} + (\mu\epsilon\omega^2 - i\mu\sigma\omega)\vec{E} = 0 \quad (2.8)$$

dan

$$\nabla^2 \vec{H} + (\mu\epsilon\omega^2 - i\mu\sigma\omega)\vec{H} = 0 \quad (2.9)$$

Persamaan (2.8) dan (2.9) untuk medium homogen dapat dituliskan dalam bentuk sebagai berikut:

$$\nabla^2 \vec{E} + k^2 \vec{E} = 0 \quad (2.10)$$

dan

$$\nabla^2 \vec{H} + k^2 \vec{H} = 0 \quad (2.11)$$

Dimana  $k$  dikenal sebagai bilangan gelombang atau konstanta perpindahan, dengan nilai sebagai berikut :

$$k^2 = \mu\epsilon\omega^2 - i\mu\sigma\omega = \mu\omega(\epsilon\omega - i\sigma) \operatorname{Re}(k) > 0 \quad (2.12a)$$

dan

$$k^2 = -\gamma^2 = -i\mu\omega(\sigma + i\omega\epsilon) \operatorname{Im}(k) < 0 \quad (2.12b)$$

Istilah  $(\epsilon\omega)$  dalam tanda kurung pada persamaan (2.12a) merupakan istilah perpindahan yang mendominasi hubungan pada keadaan frekuensi tinggi dan medium non-konduktif. Sedangkan istilah  $(\sigma)$  merupakan istilah konduksi yang mendominasi ketika frekuensi rendah dan medium relatif konduktif. Dominasi dari istilah konduksi terhadap istilah perpindahan bertahan untuk mayoritas material bumi pada frekuensi kerja metode induksi elektromagnetik. Konstanta perpindahan dapat dituliskan dalam bentuk kompleks berikut :

$$k = \alpha - i\beta = \sqrt{-i\mu\omega(\sigma + i\omega\epsilon)} \quad (2.13)$$

Dimana  $\alpha$  adalah konstanta fasa didapat dari :

$$\alpha = \omega \left[ \frac{\mu\epsilon}{2} \left( \sqrt{1 + \left( \frac{\sigma}{\epsilon\omega} \right)^2} + 1 \right) \right]^{1/2} \quad (2.14)$$

Dan konstantan atenuasi  $\beta$  didapatkan dari :

$$\beta = \omega \left[ \frac{\mu\epsilon}{2} \left( \sqrt{1 + \left( \frac{\sigma}{\epsilon\omega} \right)^2} - 1 \right) \right]^{1/2} \quad (2.15)$$



#### 2.1.4. Skin Depth

Pada metode EM, istilah “skin depth” bisa diartikan sebagai jarak yang harus ditempuh gelombang sebelum amplitudonya menghilang oleh faktor sebesar  $1/e$  atau sekitar 37% dari nilainya di permukaan. *Skin depth* sering digunakan untuk mengestimasi kasar kedalaman investigasi dari sistem EM. Sehingga dapat dilakukan pemilihan jenis metode EM dan konfigurasi yang tepat berdasarkan jenis target investigasi. Nilai *skin depth* didefinisikan sebagai berikut:[7]

$$\delta = \frac{1}{\beta} \quad (2.16)$$

Dalam kondisi *quasi-static* ( $\omega\epsilon \ll \sigma$ ), nilai *skin depth* mendekati:

$$\delta = \frac{1}{\beta} = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu_0\sigma}} \quad (2.17)$$

Dengan asumsi bumi bersifat non-magnetik ( $\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$  dan mengubah  $\omega = 2\pi f$ , didapatkan nilai *skin depth* yang lebih simpel menjadi:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu_0\sigma}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (2.18)$$

#### 2.1.5. Apparent Ground Conductivity (ECa)

Medan magnet sekunder yang terukur pada instrumen induksi elektromagnetik biasanya berupa fungsi kompleks dari spasi antar kumparan ( $s$ ), frekuensi operasi instrumen ( $f$ ), dan nilai konduktivitas bawah permukaan ( $\sigma$ ). Rasio dari spasi antar kumparan dibagi oleh *skin depth* biasa disebut dengan bilangan induksi ( $B$ ), sebagai berikut:[8]

$$B = \frac{s}{\delta} \quad (2.19)$$

Rasio antara medan magnetik sekunder dengan medan magnetik primer pada kumparan receiver saat bilangan induksi kurang dari satu ( $B \ll 1$ ) berhubungan langsung dengan nilai *apparent ground conductivity* (ECa), dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{H_s}{H_p} \approx \frac{iB^2}{2} = \frac{i\omega\mu_0 s^2}{4} \quad (2.20)$$

Instrumen ukur didesain untuk memastikan bahwa pada frekuensi tertentu  $f$ , untuk jarak antar kumparan  $s$ , dan respon medan magnetik primer  $H_p$  yang telah ditentukan, nilai  $H_s$  dapat terukur oleh instrumen, sehingga nilai ECa juga dapat terukur dengan rumus :

$$\left(\frac{4}{\omega\mu_0s^2}\right)\left(\frac{H_s}{H_p}\right)_q = EC_a = \sigma_a \quad (2.21)$$

dimana  $q$  menandakan fasa quadrature dalam gelombang.

### 2.1.6. pH Tanah

pH tanah adalah ukuran kemasaman aktif atau konsentrasi  $H^+$  dalam larutan tanah. Nilai pH tanah tidak sekedar menunjukkan suatu tanah masam atau alkali, tetapi juga memberikan informasi tentang sifat-sifat tanah yang lain, seperti ketersediaan fosfor, status kation-kation basa, status kation atau unsur racun, dsb. Kebanyakan tanah-tanah pertanian memiliki nilai  $4 \leq pH \leq 8$ . Tanah yang lebih asam biasanya ditemukan pada jenis tanah gambut dan tanah yang tinggi kandungan aluminium atau belerang. Sementara tanah yang basa ditemukan pada tanah yang tinggi kapur dan tanah yang berada di daerah arid dan di kawasan pantai.

Peranan pH diantaranya menentukan kemudahan unsur hara diserap tanaman. Pada tanah masam, P sulit untuk diserap tanaman karena bereaksi dengan Al sedangkan pada tanah alkali unsur P bereaksi dengan Ca. pH juga menunjukkan adanya unsur beracun, pada tanah masam banyak dijumpai ion Al dalam tanah, yang dapat mengikat P dan menjadi racun bagi tanaman. Unsur Fe, Mn, Zn, Cu dan Co akan mudah larut di tanah masam sehingga membuat tanaman dapat keracunan. Dan unsur Mo dan B menjadi racun bagi tanaman pada tanah alkali. pH juga mempengaruhi perkembangan mikroorganisme. Bakteri berkembang dengan baik pada  $pH > 5.5$ . Fungi berkembang pada segala tingkat pH, tetapi pada  $pH > 5.5$ , fungi harus bersaing dengan bakteri.

### 2.1.7. Tekstur Tanah

Tekstur tanah, biasa juga disebut besar butir tanah, termasuk salah satu sifat tanah yang paling sering ditetapkan. Hal ini disebabkan karena tekstur tanah berhubungan erat dengan pergerakan air dan zat terlarut, udara, pergerakan panas, berat volume tanah, luas permukaan spesifik, kemudahan tanah memadat (compressibility) dan lain-lain. Tekstur tanah adalah perbandingan relatif antara fraksi pasir, debu dan liat, yaitu partikel tanah yang diameter efektifnya  $\leq 2$  mm.

Di dalam analisis tekstur, fraksi bahan organik tidak diperhitungkan karena telah didestruksi sebelumnya menggunakan hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ). Penilaian tekstur dapat dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Penilaian kualitatif biasa dilakukan *surveyor* tanah dalam menetapkan kelas tanah di lapangan. Sedangkan metode kuantitatif dilakukan di laboratorium.[9]

Berbagai lembaga penelitian atau institusi mempunyai kriteria sendiri untuk pembagian fraksi partikel tanah. Sebagai contoh, pada Tabel 1 diperlihatkan sistem klasifikasi fraksi partikel menurut International Soil Science Society (ISSS), United States Department of Agriculture (USDA) dan United States Public Roads Administration (USPRA). Maka dalam penyajian data analisis perlu dicantumkan jenis klasifikasi yang digunakan.

Tabel 1. Klasifikasi Tekstur Tanah Menurut Beberapa Sistem[9]

ISSS		USDA		USPRA	
Diameter (mm)	Fraksi	Diameter (mm)	Fraksi	Diameter (mm)	Fraksi
>2	Kerikil	>2	Kerikil	>2	Kerikil
0.02-2	Pasir	0.05-2	Pasir	0.05-2	Pasir
0.2-2	Pasir Kasar	1-2	Pasir Sangat Kasar	0.25-2	Pasir Kasar
0.02-0.2	Pasir Halus	0.5-1	Pasir Kasar	0.05-0.25	Pasir Halus
		0.25-0.5	Pasir Sedang		
		0.1-0.25	Pasir Halus		
0.002-0.02	Debu	0.05-0.1	Pasir Sangat Halus	0.005-0.05	Debu
		0.002-0.05	Debu		
<0.002	Liat	<0.002	Liat	<0.005	Liat

Tanah dengan berbagai perbandingan pasir, debu dan liat dikelompokkan atas berbagai kelas tekstur seperti digambarkan pada segitiga tekstur (Gambar 2.4). Cara penggunaan segitiga tekstur adalah sebagai berikut:

Misalkan suatu tanah mengandung 50% pasir, 20% debu, dan 30% liat. Dari segitiga tekstur dapat dilihat bahwa sudut kanan bawah segitiga menggambarkan 0% pasir dan sudut kirinya 100% pasir. Temukan titik 50% pasir pada sisi dasar segitiga dan dari titik ini tarik garis sejajar dengan sisi kanan segitiga (ke kiri atas). Kemudian temukan titik 20% debu pada sisi kanan segitiga. Dari titik ini tarik garis sejajar dengan sisi kiri segitiga, sehingga garis ini berpotongan dengan garis pertama. Kemudian temukan titik 30% liat dan tarik garis ke kanan sejajar dengan sisi dasar segitiga sehingga memotong dua garis sebelumnya. Dari perpotongan ketiga garis ini, ditemukan bahwa tanah ini mempunyai kelas tekstur "lempung liat berpasir".



Gambar 2.5 Segitiga Tekstur[9]

### 2.1.8. Kadar Air Tanah

Kadar air tanah dinyatakan sebagai perbandingan antara massa/berat air yang ada dalam contoh sebelum pengeringan dan massa/berat contoh setelah dikeringkan sampai mencapai massa/berat yang tetap pada 105°C. Sebagai alternatif, volume air yang ada pada satu unit volume dapat dijadikan ukuran kandungan air tanah. Oleh karenanya, ukuran kandungan air tanah yang biasa

digunakan dalam studi-studi tanah adalah perbandingan tanpa dimensi atau persentase, sehingga membuat definisi gravimetrik dan volumetrik menjadi tidak sama. Dengan demikian, penting untuk menyatakan kandungan air tanah secara spesifik, apakah berdasarkan perbandingan dua massa (gravimetrik) atau dua volume (volumetrik).[9]

Teknik pengukuran kadar air tanah diklasifikasikan ke dalam dua cara, yaitu langsung dan tidak langsung. Pengukuran secara langsung adalah berupa pemisahan air dari matriks tanah dan pengukuran langsung dari jumlah air yang dipisahkan tersebut. Pemisahan air dari matriks tanah dapat dicapai melalui pemanasan, ekstraksi dan penggantian oleh larutan atau reaksi kimia.

Metode tidak langsung adalah dengan mengukur beberapa sifat fisik atau kimia tanah yang berhubungan dengan kadar air tanah. Sifat ini meliputi konstanta dielektrik, konduktivitas elektrik, kapasitas panas, kandungan ion  $H^+$ , dan susetibilitas magnetik magnetik. Berlawanan dengan metode langsung, metode tidak langsung bersifat lebih tidak merusak atau nondestruktif, sehingga kandungan air dalam contoh tidak berubah selama pengukuran. Akurasi dan ketepatan dari metode ini tergantung kepada kedekatan hubungan antara sifat yang diukur dan kadar air volumetrik ( $\theta_v$ ).

#### **2.1.9. Kandungan Bahan Organik Tanah**

Bahan organik merupakan bahan-bahan yang dapat didaur ulang oleh mikroorganisme tanah menjadi unsur yang dapat digunakan oleh tanaman tanpa mencemari tanah dan air. Bahan organik tanah merupakan timbunan dari sisa-sisa tanaman dan binatang yang telah mengalami pelapukan dan pembentukan kembali. Bahan organik yang demikian berupa pelapukan aktif dan menjadi mangsa mikroorganisme, akibatnya bahan organik tersebut terus berubah dan harus selalu diperbaharui melalui sisa-sisa tanaman atau binatang.[10]

Bahan organik berperan penting dalam kemampuan tanah untuk mendukung tanaman. Jika kadar bahan organik tanah menurun, kemampuan tanah mendukung produktivitas tanaman juga menurun. Menurunnya kadar bahan organik merupakan salah satu bentuk kerusakan tanah yang umum terjadi. Bahan organik berfungsi sebagai granulator, yaitu memperbaiki struktur tanah, sumber

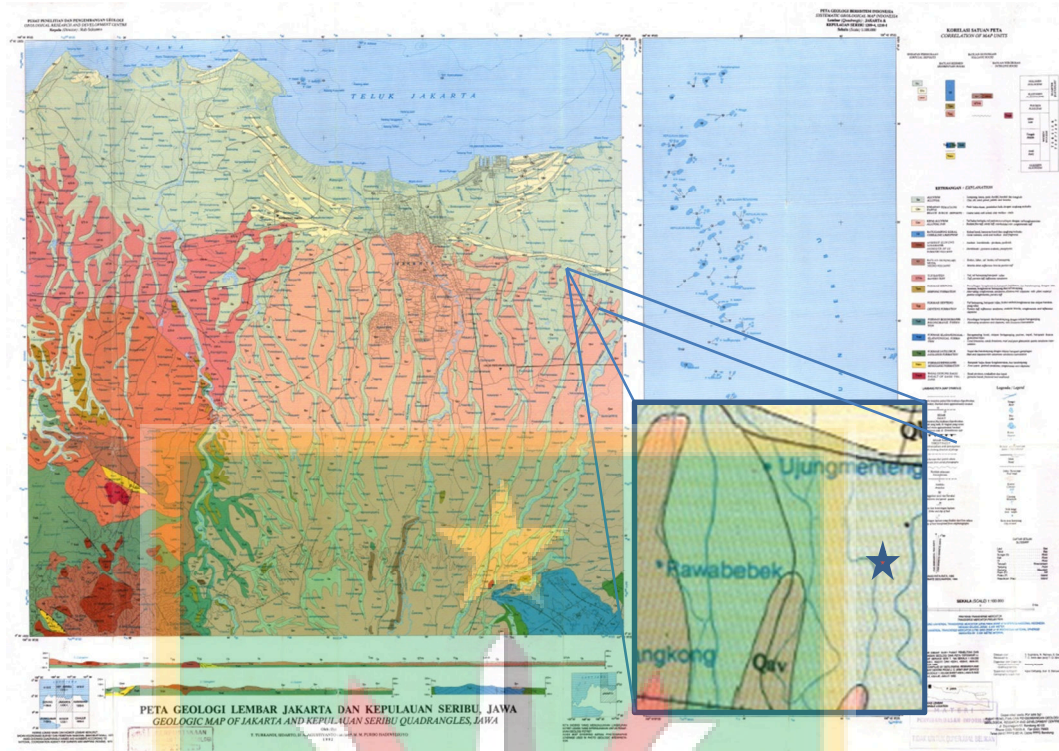
unsur hara N , P, S dan unsur hara mikro lainnya, menambah kemampuan tanah untuk menghambat air, menambah kemampuan tanah untuk menahan unsur-unsur hara (kapasitas tukar kation tanah menjadi lebih tinggi).

#### **2.1.10. Kapasitas Tukar Kation**

Kapasitas tukar kation tanah adalah kemampuan koloid tanah dalam menyerap dan mempertukarkan kation. Kapasitas tukar kation total adalah jumlah muatan negatif tanah dari permukaan koloid tanah yang merupakan tempat pertukaran kation-kation. Koloid tanah terdiri dari koloid anorganik dan koloid organik. Koloid anorganik berupa partikel liat yang berukuran  $1\mu\text{m}$  yang bersifat mantap, sedangkan koloid organik berasal dari dekomposisi bahan organik yang mulai stabil dan bersifat dinamis.[11]

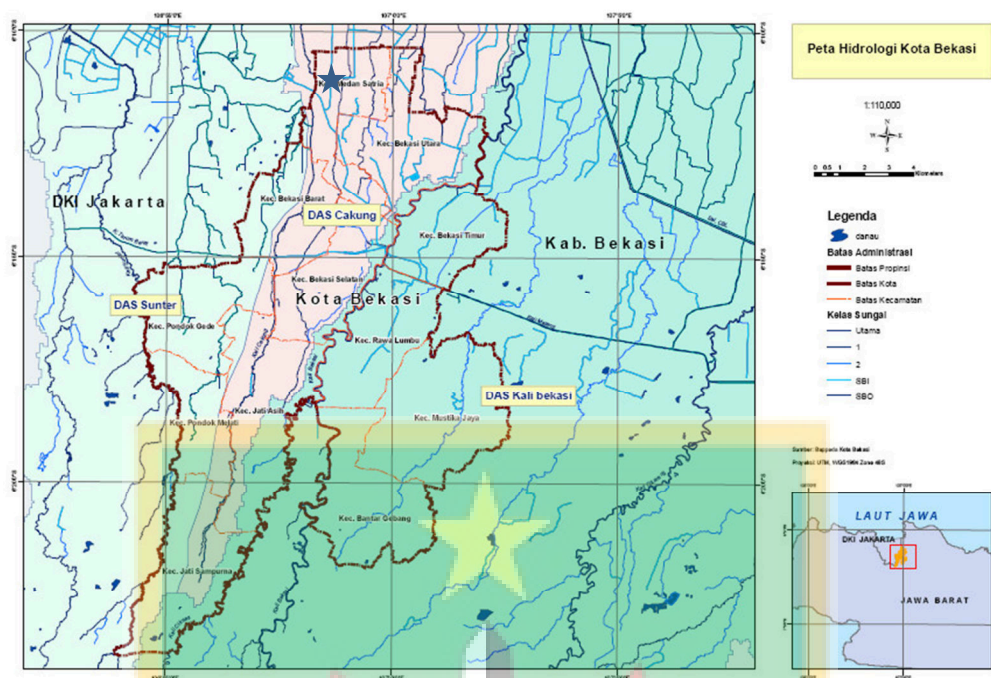
#### **2.1.11. Geologi Daerah Penelitian**

Struktur geologi Kota Bekasi didominasi oleh *pleistocene volcanic facies*. Sebagian kecil struktur aluvium menempati wilayah Kota Bekasi bagian utara, tepatnya di Kecamatan Medan Satria dan Kecamatan Bekasi Utara. Struktur *miocene sedimentary facies* terletak di wilayah timur Kota Bekasi, sepanjang perbatasan dengan DKI Jakarta. Sedangkan wilayah selatan Kota Bekasi, tepatnya di daerah Jatisampurna terdapat 2 sumur gas, yakni sumur gas JNG-A dan JNG-B. Daerah studi menempati wilayah dengan struktur aluvium yang terdiri dari lempung, lanau, pasir, kerikil, kerakal, dan bongkah. Jenis tanah pada daerah studi berupa tanah liat sekunder dengan ciri-ciri tanah memiliki warna muda, berbutir halus, bersifat plastis, daya susut tinggi, dan sifat tahan api yang jauh lebih rendah dari tanah liat primer.



Gambar 2.6 Peta Geologi Daerah Penelitian[12]

Topografi Kota Bekasi relatif datar dengan kemiringan antara 0-2% berarah utara, dengan ketinggian 11-81 mdpl. Dengan ketinggian <25 mdpl terletak pada Kecamatan Medan Satria, Kecamatan Bekasi Utara, Kecamatan Bekasi Barat dan Kecamatan Bekasi Timur, dan ketinggian 25-100 mdpl terletak pada Kecamatan Bekasi Selatan, Kecamatan Pondok Gede, Kecamatan Jati Asih, Kecamatan Pondok Melati, Kecamatan Rawa Lumbu, Kecamatan Mustika Jaya, dan Kecamatan Bantar Gebang. Daerah penelitian menempati daerah satuan dataran rendah yang berada di Kecamatan Medan Satria.



Gambar 2.7 Peta Hidrologi Daerah Penelitian[13]

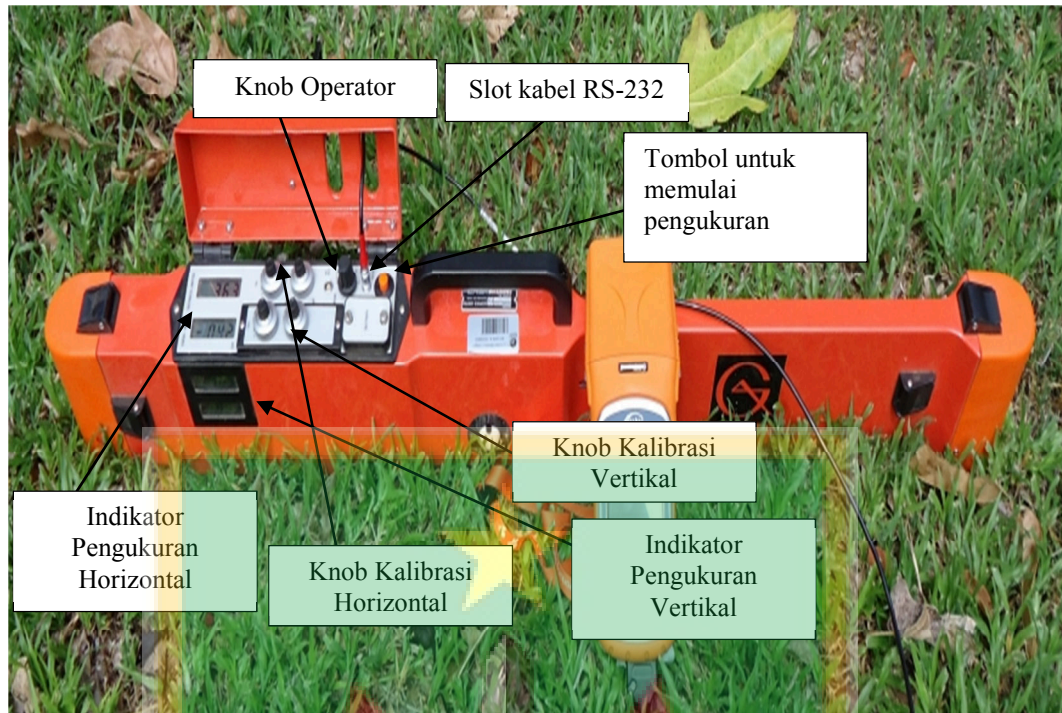
Berdasarkan aspek hidrologi, Kota Bekasi terletak pada tiga DAS utama, yaitu DAS Bekasi, DAS Sunter, DAS Cakung. DAS Bekasi. DAS Bekasi terdiri dari dua sub DAS, yaitu sub DAS Cileungsi, dan DAS Cikeas. DAS Bekasi mencakup area seluas 9444,866 Ha, DAS Cakung mencakup area 7042,052 Ha, dan DAS Sunter dengan area cakupan seluas 3970,014 Ha.[13] Sedangkan berdasar aspek hidrogeologi, Kota Bekasi terletak pada Cekungan Air Tanah Bekasi-Karawang. Daerah penelitian terletak pada DAS Cakung yang berdekatan dengan Banjir Kanal Timur, saluran irigasi Cakung-Bekasi, dan aliran Sungai Cakung.

## 2.2. Prinsip Kerja Alat

### 2.2.1. Geonics® EM38-MK2

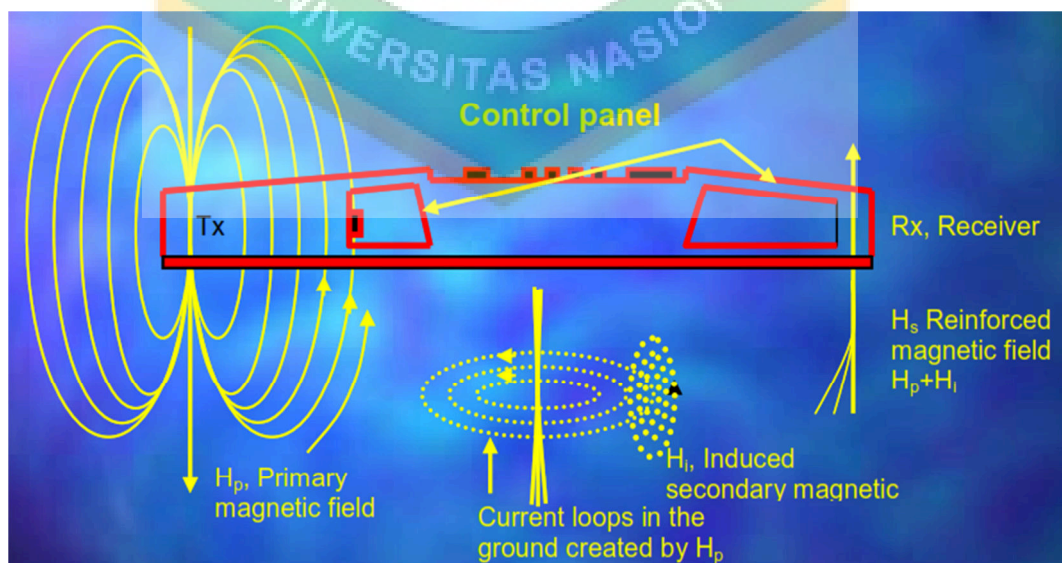
Alat yang digunakan pada metode induksi elektromagnetik bernama Geonics® EM38-MK2.





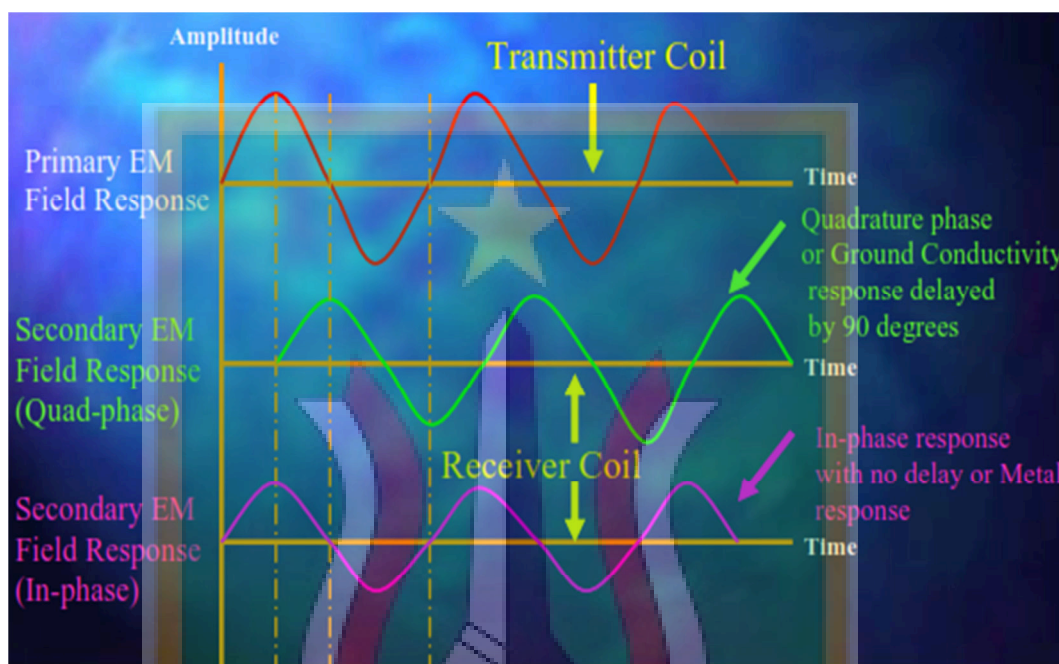
Gambar 2.8 Perangkat Geonics EM38-MK2

Prinsip kerja alat ini adalah ketika lapisan bawah permukaan bersifat homogen sehingga tidak ada perbedaan antara medan yang propagasi diatas permukaan tanah dengan yang melewati tanah (hanya terjadi sedikit reduksi amplitudo). Jika terdapat anomali konduktif, komponen magnetik dari gelombang elektromagnetik pada *transmitter* akan menginduksi arus AC (arus *eddy*) didalam konduktor. Arus *eddy* ini kemudian menghasilkan medan elektromagnetik tersendiri yang menjalar menuju *receiver*. [14]



Gambar 2.9 Prinsip Kerja Alat Geonics® EM38-MK2[14]

*Receiver* mendeteksi medan magnet primer yang menjalar di udara kemudian *receiver* merespon resultan medan primer dan sekunder. Akibatnya, respon pengukuran akan berbeda pada fasa dan amplitudo relatif medan elektromagnetik primer di udara. Perbedaan antara medan elektromagnetik pada *transmitter* dan *receiver* memperlihatkan keberadaan konduktor dan memberikan informasi mengenai geometri dan parameter kelistrikannya.



Gambar 2.10 Grafik Penjalaran Gelombang EM Alat Geonics EM38-MK2[14]

### 2.3. Penelitian Terdahulu

Pada bagian ini, penulis akan membahas secara singkat beberapa penelitian terdahulu mengenai hubungan nilai ECa dan  $\chi$  terhadap parameter fisik-kimia tanah menggunakan metode induksi elektromagnetik.

Penelitian berjudul *Precision Agriculture Applied to Soybean: Part I – Delineation of Management Zones* bertujuan untuk mendelineasi zona manajemen pertanian pada lahan pertanian kacang kedelai. Penelitian ini dilakukan pada lahan pertanian kacang kedelai dan jagung di Kota Ponta Pora, Grosso doSul, Brazil. Data yang digunakan adalah data nilai ECa yang diambil melalui pengukuran menggunakan alat Landviser® portable model LandMapper® ERM-02 konfigurasi Wenner, data tekstur dan kadar air tanah dari sampel tanah yang kemudian diuji di laboratorium, dan data hasil panen pada tiap titik area sampel.

Data tersebut kemudian diolah menggunakan metode *ordinary krigging software* KrigMe untuk didapatkan peta variasi spasial masing-masing data selain itu juga dilakukan pengolahan data statistik untuk mendapatkan korelasi statistik antar data. Untuk mendelineasi zona manajemen, data ECa kemudian diolah menggunakan fungsi Fuzziness Performance Index (FPI) dan Modified Partition Entropy (MPE) pada software KrigMe. Hasil pengolahan statistik data menunjukkan nilai ECa memiliki rentang 2.74-19.31 mS/m. Nilai ECa berkorelasi negatif secara signifikan dengan nilai pasir kasar dan hasil panen terhadap hasil panen. Untuk proses deliniasi zona manajemen pertanian didapatkan bahwa pembagian zona pertanian dengan dua kelas yang berbeda memberikan hasil FPI dan MPE terbaik dan kemudian dipilih untuk menjadi dasar manajemen pertanian pada proses tanam selanjutnya.[15]

Penelitian tentang *Spatial Continuity of Electrical Conductivity, Soil Water Content and Texture on a Cultivated Area with Cane Sugar* bertujuan untuk menggunakan metode induksi elektromagnetik dalam memetakan variasi spasial nilai *apparent ground conductivity* (ECa) tanah, nilai *electrical conductivity* sampel (ECs), kadar air ( $\Theta_v$ ), dan tekstur tanah. Area penelitian berupa lahan seluas 6.5 Ha dari industri gula dan alkohol di Kota Goiana, Pernambuco, Brazil. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat Geonics® EM38 konfigurasi Horizontal Dipole Mode (HDM) dan Vertical Dipole Mode (VDM) untuk mengukur nilai ECa tanah pada 90 titik pengukuran acak. Sampel tanah diambil pada 90 titik sampling yang sama dengan kedalaman 0-0.20 m dan 0.20-0.40 m untuk setiap sampel. Sampel tanah diuji di laboratorium untuk didapatkan nilai parameter tanah (Ecs, kadar air, dan tekstur tanah (pasir, lempung, debu). Berdasarkan hasil sampling laboratorium didapatkan rata-rata parameter tanah untuk nilai kadar air rata-rata berada pada rentang 7.16% untuk sampel 0-0.20 m dan 9.63% untuk sampel 0.2-0.4 m. Sedangkan nilai rata-rata ECa pada dua kedalaman pengukuran 4.20 mS.m<sup>-1</sup> untuk 0-0.40 m dan 1.73 mS.m<sup>-1</sup> untuk 0-1.5 m. Korelasi antara ECa dengan topografi sangat signifikan, ( $r=0.815$ ) untuk ECa-V dan ( $r=0.826$ ) untuk ECa-H. Korelasi tekstur debu dan pasir terhadap ECa-V juga sangat signifikan dengan nilai ( $r=0.553$  dan  $0.64$ ) untuk tekstur debu kedalaman 0-0.20 m dan 0-0.40 m, dan nilai ( $r=0.665$  dan  $0.907$ ) untuk tekstur

pasir kedalaman 0-0.20 m dan 0-40 m, selain itu tidak terdapat korelasi signifikan. Berdasarkan peta variasi spasial didapatkan bahwa peta variasi spasial ECa, ECs dan kadar air mengikuti trend peta topografi. Kesimpulan dari penelitian ini adalah variasi spasial nilai ECa, ECs, dan kadar air dipengaruhi oleh topografi dan tidak ada korelasi langsung antara nilai ECa dengan nilai ECs.[16]

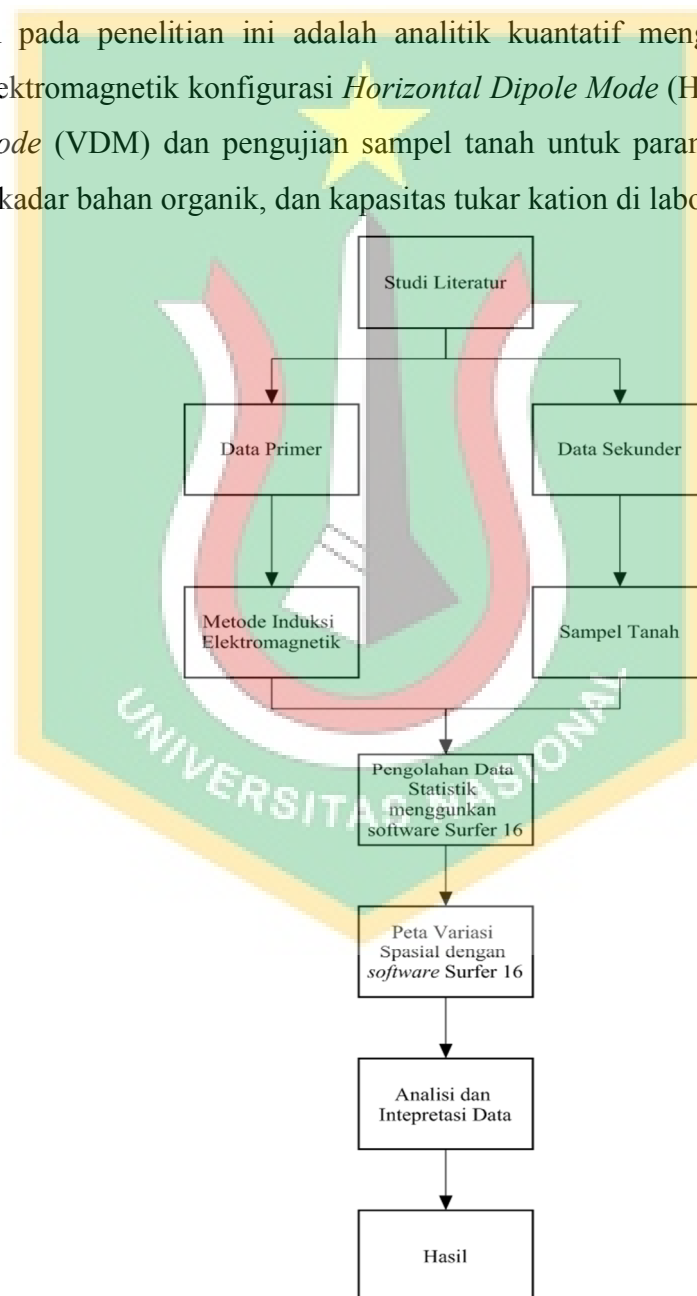


## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Desain Penelitian

Desain penelitian merupakan salah satu bentuk strategi untuk mencapai tujuan penelitian yang telah ditetapkan dan berperan sebagai pedoman atau penuntun peneliti pada seluruh proses penelitian. Jenis penelitian yang akan digunakan pada penelitian ini adalah analitik kuantitatif menggunakan metode induksi elektromagnetik konfigurasi *Horizontal Dipole Mode* (HDM) dan *Vertical Dipole Mode* (VDM) dan pengujian sampel tanah untuk parameter tekstur, pH, kadar air, kadar bahan organik, dan kapasitas tukar kation di laboratorium.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

## 3.2. Waktu dan Tempat Penelitian

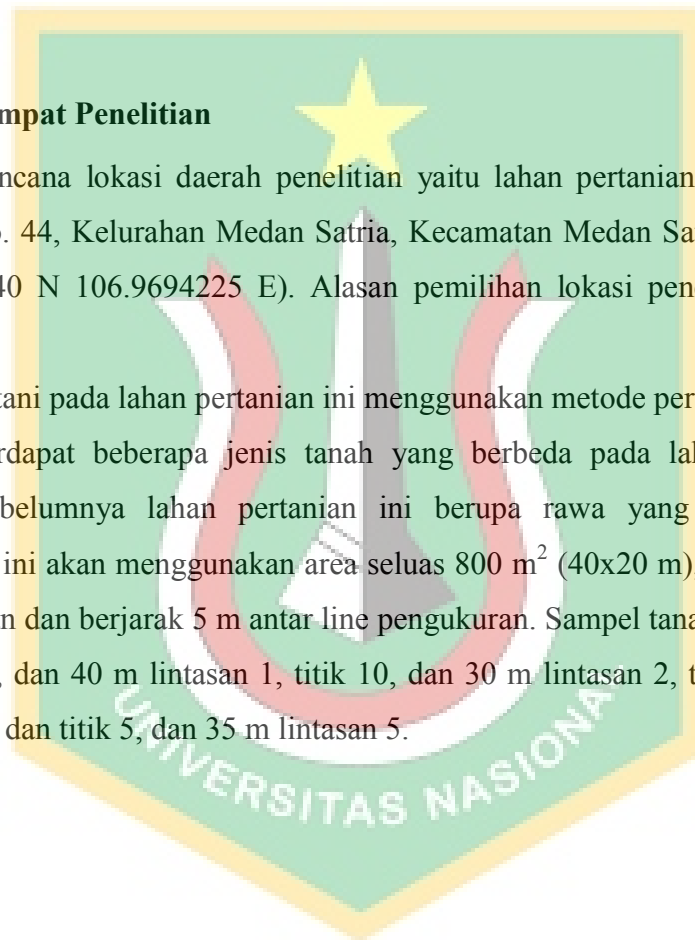
### 3.2.1. Waktu Penelitian

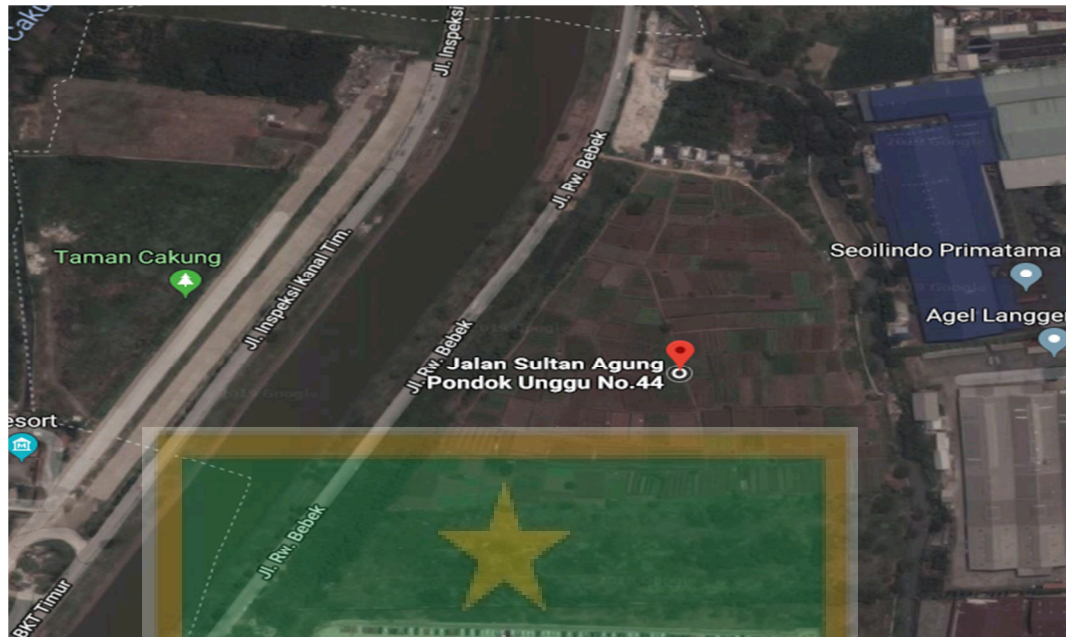
Rencana penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus 2019. Alasan pemilihan waktu tersebut karena pada bulan Agustus merupakan masa persiapan lahan di lokasi tersebut dan puncak musim kemarau, sehingga hasil pengukuran nilai ECa dan parameter tanah bisa menjadi acuan kondisi awal lahan untuk masa tanam berikutnya dan mengetahui akibat kemarau terhadap kondisi lahan.

### 3.2.2. Tempat Penelitian

Rencana lokasi daerah penelitian yaitu lahan pertanian sayur Jl. Sultan Agung No. 44, Kelurahan Medan Satria, Kecamatan Medan Satria, Kota Bekasi (-6.1973940 N 106.9694225 E). Alasan pemilihan lokasi penelitian ini antara lain:

1. Petani pada lahan pertanian ini menggunakan metode pertanian organik.
2. Terdapat beberapa jenis tanah yang berbeda pada lahan pertanian ini karena sebelumnya lahan pertanian ini berupa rawa yang ditimbun tanah. Penelitian ini akan menggunakan area seluas 800 m<sup>2</sup> (40x20 m), dengan lima line pengukuran dan berjarak 5 m antar line pengukuran. Sampel tanah akan diambil di titik 0, 20, dan 40 m lintasan 1, titik 10, dan 30 m lintasan 2, titik 15, dan 25 m lintasan 4, dan titik 5, dan 35 m lintasan 5.



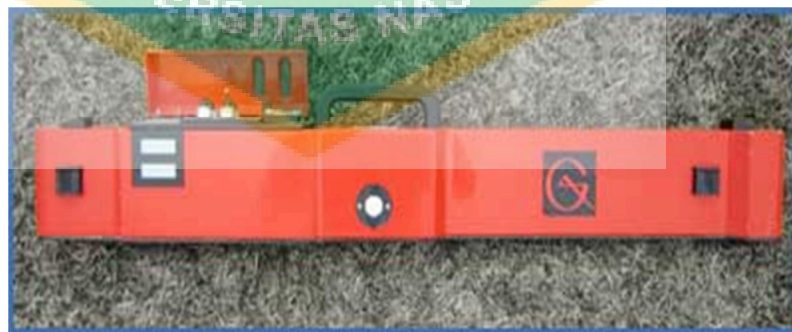


Gambar 3.2 Lokasi Penelitian

### 3.3. Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.3.1. Alat Penelitian

Alat utama yang digunakan untuk menunjang penelitian ini adalah Geonics® EM38-MK2, dengan spesifikasi dimensi 107x17x8 cm, berat 5.4 kg, rentang konduktivitas 0-1000 mS/m, rentang in-phase  $\pm 28$  ppt untuk jarak kumparan 1 m, jarak antar kumparan 1, frekuensi kerja 14.5 kHz, tingkat presisi pengukuran  $\pm 0.1\%$ , temperatur kerja :  $-30^{\circ}$  -  $+50^{\circ}$  C, transmisi data menggunakan RS-232/ Bluetooth 1.2 wireless



Gambar 3.3 Alat Geonics EM38-MK2

#### 3.3.2. Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang akan digunakan pada penelitian ini mencakup sampel tanah kedalaman 0-40 cm pada sembilan titik sampel, yang diambil pada

lokasi penelitian untuk diuji laboratorium dan data nilai ECa dan  $\chi$  hasil pengukuran.

### 3.4. Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan digunakan adalah metode deskriptif dengan cara pengukuran metode geofisika induksi elektromagnetik dan pengambilan sampel tanah secara langsung di lokasi penelitian. Sampel tanah kemudian dikarakterisasi di Laboratorium Penguji Balai Penelitian Tanah, Balai Besar dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian, Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian untuk mendapatkan data parameter tanah.

Data yang diperoleh dari pengukuran di lokasi penelitian dan karakterisasi sampel tanah berupa nilai konduktivitas terukur (ECa), suseptibilitas ( $\chi$ ), tekstur tanah, pH, kadar air, kadar bahan organik, dan kapasitas tukar kation. Data kemudian diolah menggunakan metode standard co-kriging pada *software Surfer 16* hingga didapatkan peta variasi spasial dan parameter statistik dari nilai konduktivitas terukur (ECa), suseptibilitas magnetik ( $\chi$ ), dan parameter tanah.

### 3.5. Variabel Penelitian

#### 3.5.1. Variabel Bebas

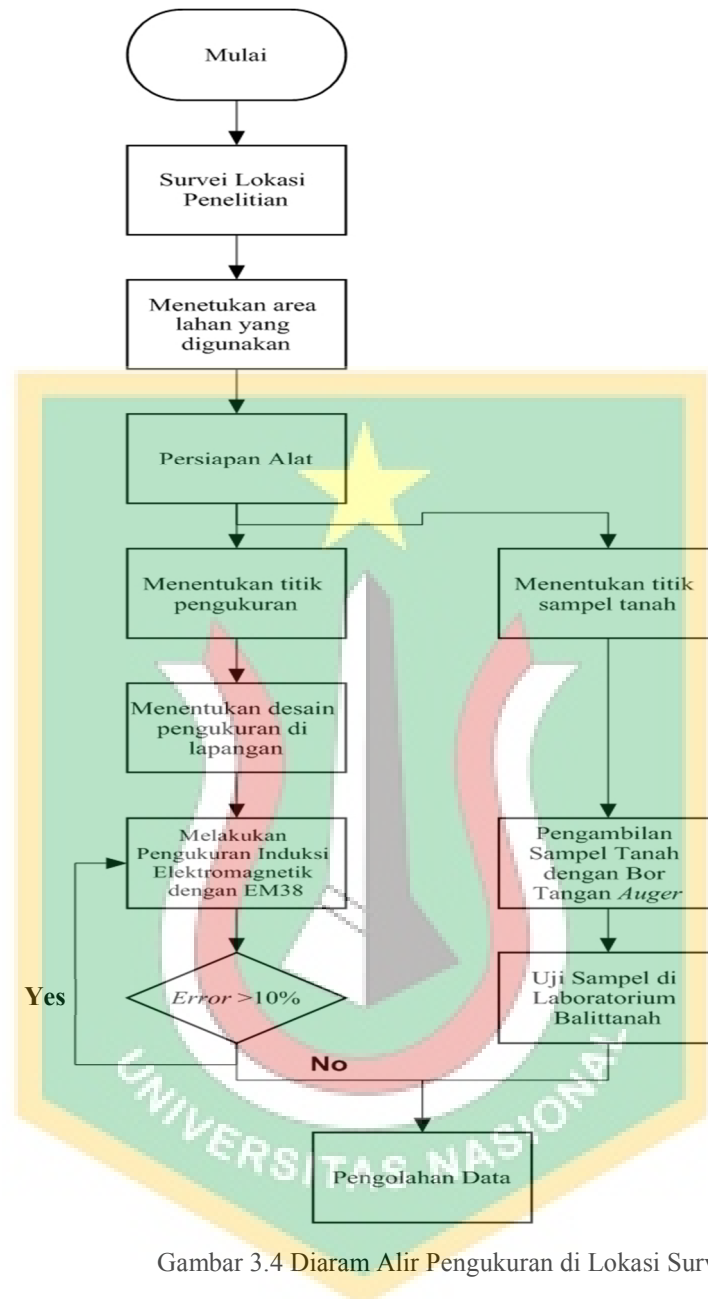
Variabel bebas dalam penelitian ini adalah nilai konduktivitas terukur (ECa) dan suseptibilitas magnetik ( $\chi$ ), dan parameter tanah.

#### 3.5.2. Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah tingkat produktivitas lahan, hasil panen tanaman, dan tingkat kesuburan tanah.



### 3.6. Langkah Kerja Penelitian



Gambar 3.4 Diaram Alir Pengukuran di Lokasi Survei

### 3.7. Teknik Pengambilan Data

Pengambilan data pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan dua metode, metode pertama merupakan metode pengukuran langsung, yaitu metode induksi elektromagnetik konfigurasi *Horizontal Dipole Mode* (HDM) dan *Vertical Dipole Mode* (VDM). Pada metode ini pengambilan data dilakukan pengukuran langsung di daerah penelitian dengan teknik sebagai berikut:

1. Survei lokasi penelitian sebelum proses pengambilan data

2. Mengukur luas area yang akan diukur kemudian menentukan lintasan pengukuran, titik pengukuran dan sampel tanah.

3. Pengukuran metode induksi elektromagnetik menggunakan Geonics EM38-MK2 pada setiap lintasan pengukuran dan sambungkan ke laptop untuk penyimpanan data.

4. Pencatatan anomali keadaan yang ditemukan pada lokasi pengambilan data.

5. Pengambilan sampel tanah kedalaman 0-40 cm menggunakan bor tangan (*hand auger*) pada titik sampel tanah yang telah ditentukan.

6. Simpan sampel tanah pada plastik sampel untuk kemudian dibawa ke laboratorium untuk diuji.

### **3.8. Pengolahan Data**

Setelah proses pengambilan data langkah selanjutnya yaitu pengolahan data. Tahap awal pengolahan data yaitu dengan menyatukan seluruh data dalam file yang sama pada software Surfer 16, langkahnya sebagai berikut :

1. Klik File > New > Worksheet
2. Buka file Cakung1.M38 menggunakan Notepad untuk mengolah data lintasan 1.
3. Copy seluruh isi Cakung1.M38 ke worksheet Surfer 16, seperti dibawah ini :



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
1	EM38S	W100GRD	1																	
2	H	Cakung1	1																	
3	L1																			
4	AS	1																		
5	Z04082019	9.03.40																		
6	SQV10	0	20.370	0	0	0														
7	SQV10	0	20.417	0.047	0	0														
8	SQV10	0	20.370	-0.047	0	0														
9																				
10	SQV10	1	20.139	-0.241	0	5														
11	SQV10	1	20.000	-0.139	0	5														
12	SQV10	1	20.046	0.046	0	5														
13																				
14	SQV10	2	20.185	0.139	0	10														
15	SQV10	2	20.139	-0.046	0	10														
16	SQV10	2	20.093	-0.046	0	10														
17																				
18	SQV10	3	20.000	-0.093	0	15														
19	SQV10	3	20.046	0.046	0	15														
20	SQV10	3	20.231	0.195	0	15														
21																				
22	SQV10	4	20.370	0.139	0	20														
23	SQV10	4	20.000	-0.37	0	20														
24	SQV10	4	20.139	0.139	0	20														
25																				
26	SQV10	5	20.185	0.046	0	25														
27	SQV10	5	19.954	-0.231	0	25														
28	SQV10	5	20.139	0.285	0	25														
29																				

Gambar 3.5 Data Asli Hasil Pengukuran Metode Induksi Elektromagnetik

4. Ubah isi worksheet dengan menghapus semua yang tidak dibutuhkan.

Hingga menjadi seperti dibawah ini :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
1	20.370	0	0																	
2	20.417	0	0																	
3	20.370	0	0																	
4	20.139	0	5																	
5	20.000	0	5																	
6	20.046	0	5																	
7	20.185	0	10																	
8	20.139	0	10																	
9	20.093	0	10																	
10	20.000	0	15																	
11	20.046	0	15																	
12	20.231	0	15																	
13	20.370	0	20																	
14	20.000	0	20																	
15	20.139	0	20																	
16	20.185	0	25																	
17	19.954	0	25																	
18	20.139	0	25																	
19	25.648	0	30																	
20	25.694	0	30																	
21	25.556	0	30																	
22	25.833	0	35																	
23	25.787	0	35																	
24	25.833	0	35																	
25	25.926	0	40																	
26	25.972	0	40																	
27	26.065	0	40																	
28																				
29																				

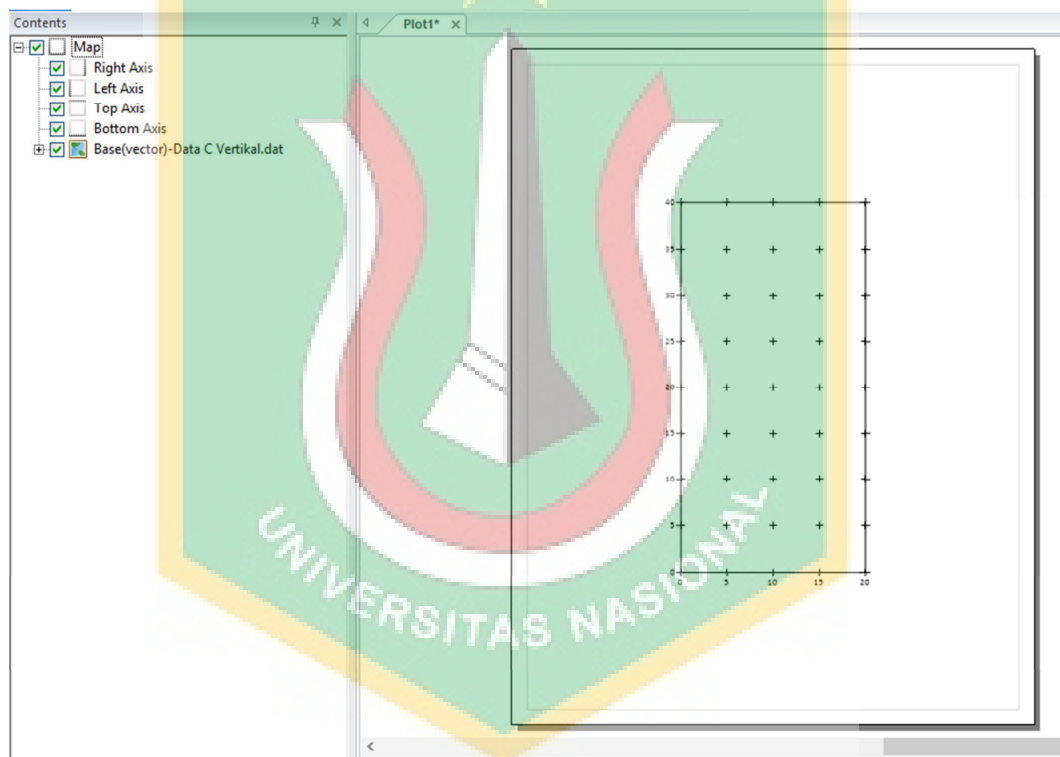
Gambar 3.6 Data Hasil Perubahan

5. Ulangi langkah 2-4 yang untuk file lintasan lain pada lembar worksheet yang sama.

6. Klik File > Save as. Beri Nama Data C Vertikal. Pilih format file .dat lalu klik Save.

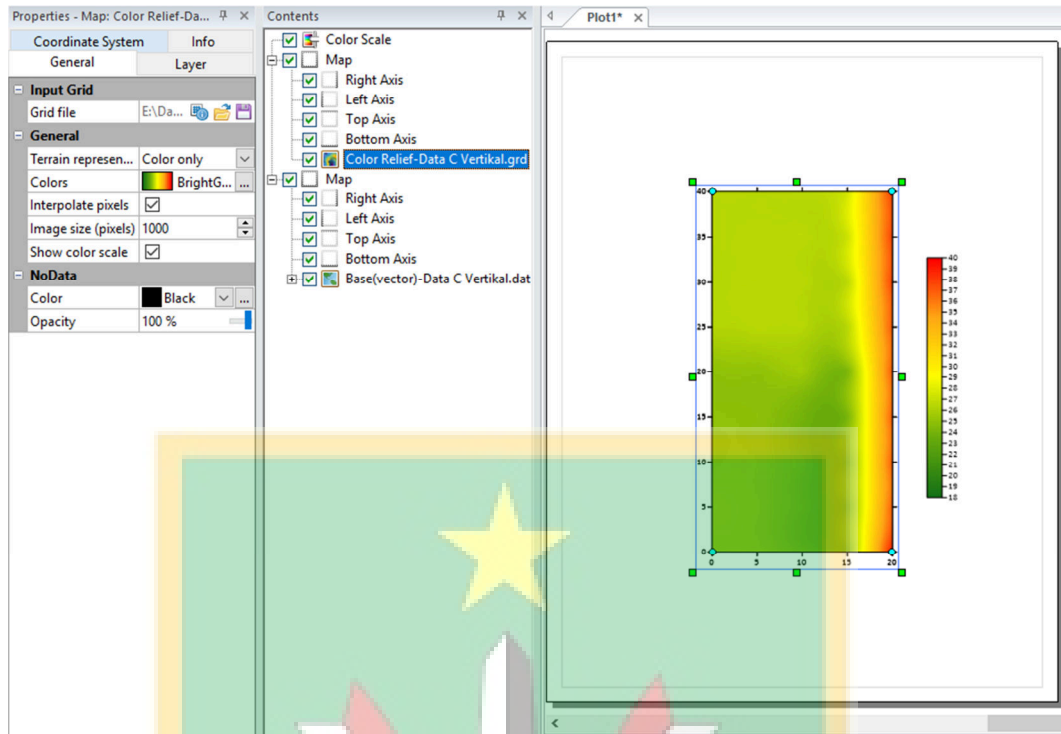
Setelah seluruh data disatukan, kemudian dilakukan pembuatan peta variasi spasial menggunakan metode *kriging* pada *software* Surfer 16, langkahnya sebagai berikut :

1. Pada tab Home, klik Grid Data, pilih file Data C Vertikal.dat. Klik Open.
2. Tentukan kolom yang digunakan untuk sumbu X, Y, Z
3. Pilih Kriging pada tab Gridding Method
4. Klik Statistics untuk mendapatkan *report* data statistik yang digunakan.
5. Klik OK > Save
6. Untuk membuat peta variasi spasial Klik File > New > Plot
7. Pada tab New Map, klik Base, pilih Base from Data untuk mendapatkan lapisan dasar peta.



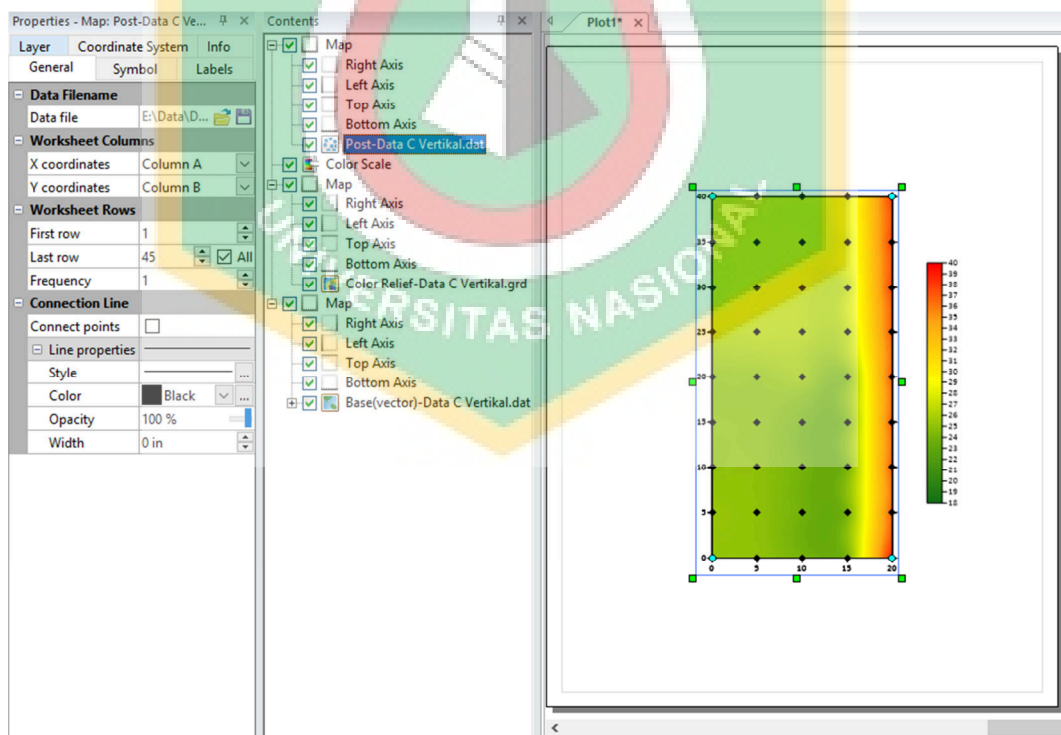
Gambar 3.7 Peta Dasar

8. Kemudian pilih klik Color Relief > Pilih File Data C Vertikal.grd > Klik Open. Kemudian atur jenis rentang warna, centang color scale, dan pilih Color only pada tab Terrain represent.



Gambar 3.8 Peta dengan Color Relief

9. Selanjutnya, klik Post > Pilih Post > Pilih file Data C Vertikal untuk menampilkan posisi data.



Gambar 3.9 Hasil Akhir Peta Variasi Spasial

10. Klik File > Save

### 3.9. Analisa Data

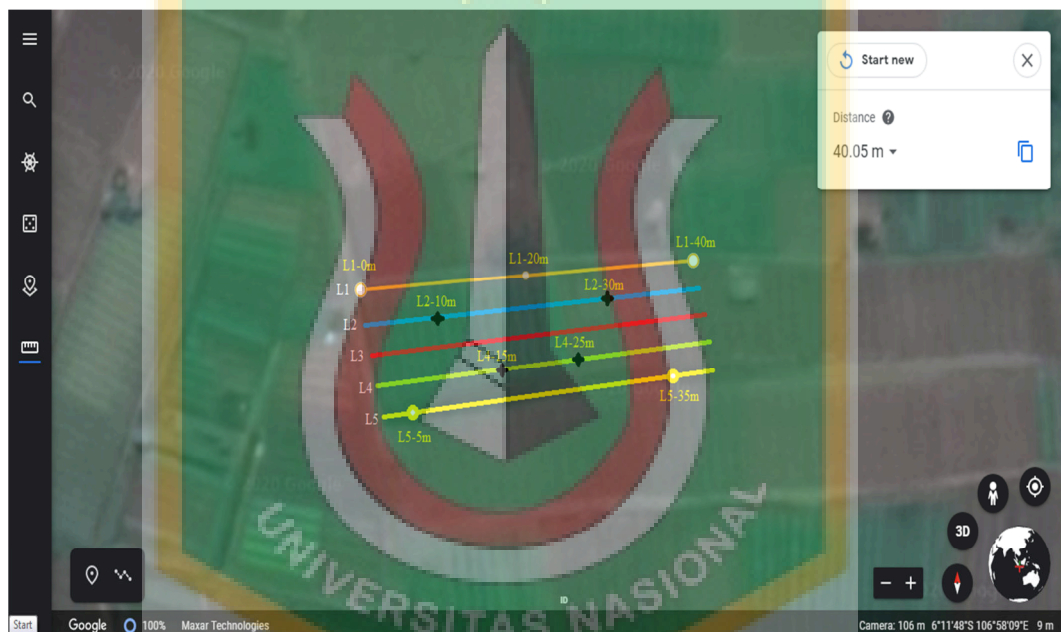
Data hasil pengukuran metode induksi elektromagnetik dan parameter tanah dari sampel yang telah diuji kemudian diolah secara analitik kuantitatif dengan menggunakan metode *standard krigging software* Surfer 16 untuk mendapatkan peta variasi spasial dan parameter statistik nilai konduktivitas terukur (ECa), suseptibilitas magnetik ( $\chi$ ), dan parameter tanah. Setelah peta variasi spasial telah dibuat, langkah berikutnya yaitu melakukan interpretasi hubungan nilai konduktivitas terukur (ECa), suseptibilitas magnetik ( $\chi$ ) dengan nilai parameter tanah hasil uji sampel.



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Akuisisi data induksi elektromagnetik dilakukan dengan menggunakan alat EM38 dengan konfigurasi HDM dan VDM dengan lintasan sebanyak 5 lintasan dan pengambilan sampel tanah pada kedalaman 0-40 cm menggunakan bor tangan (*hand auger*). Kondisi cuaca pada saat pengukuran cerah, dengan rata-rata temperatur udara 33°C, curah hujan 0-10 mm, Kondisi lahan sebagian kering (0-25m) dan sebagian lainnya sedang tahap penanaman benih; berikut ini adalah gambaran desain pengukuran induksi elektromagnetik di daerah penelitian :

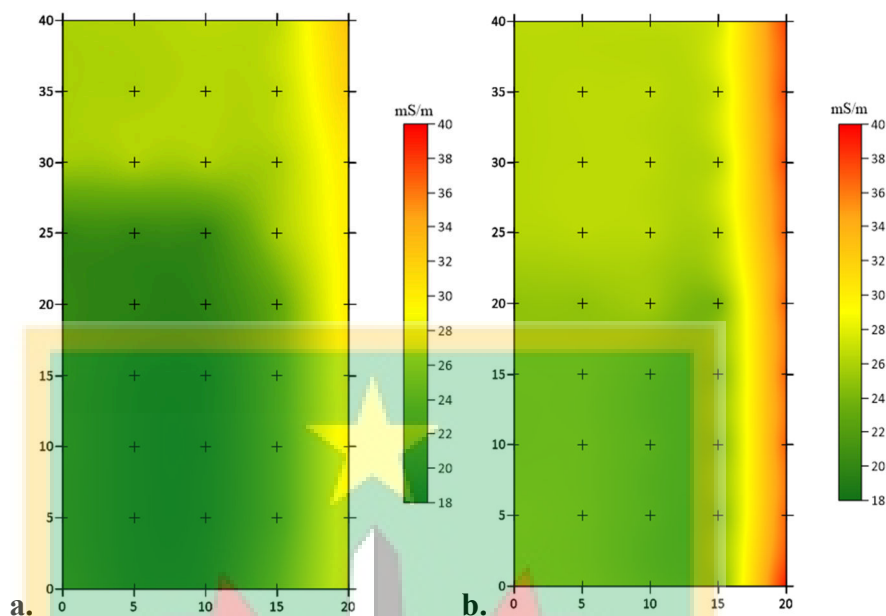


Gambar 4.1 Desain Pengukuran Induksi Elektromagnetik

#### 4.1. Hasil Peta Variasi Spasial ECa, $\gamma$ , dan Parameter Tanah

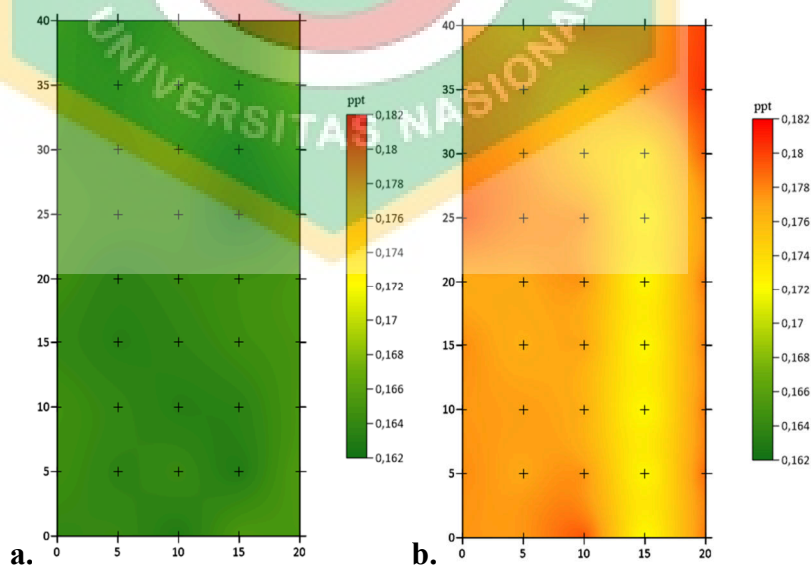
Peta variasi spasial ECa-HDM dan ECa-VDM (Gambar 4.2a dan 4.2b) menunjukkan kemiripan pola variasi spasial. Pada area lintasan 1-4 nilai ECa cenderung rendah-sedang dan di area lintasan 4-5 nilai ECa cenderung sedang-tinggi. Sedikit perbedaan terletak pada area 30-40m lintasan 1-4, dimana pada ECa-HDM terjadi perubahan nilai ECa yang sangat kontras dibandingkan area 0-25m lintasan 1-4. Nilai ECa pada area lintasan 5 peta ECa-VDM cenderung lebih

tinggi dibandingkan area lain disebabkan oleh pada sisi selatannya terdapat kolam penampungan air.



Gambar 4.2 Peta Variasi Spasial Konduktivitas Terukur (ECa) untuk a. Konfigurasi HDM, dan b. Konfigurasi VDM

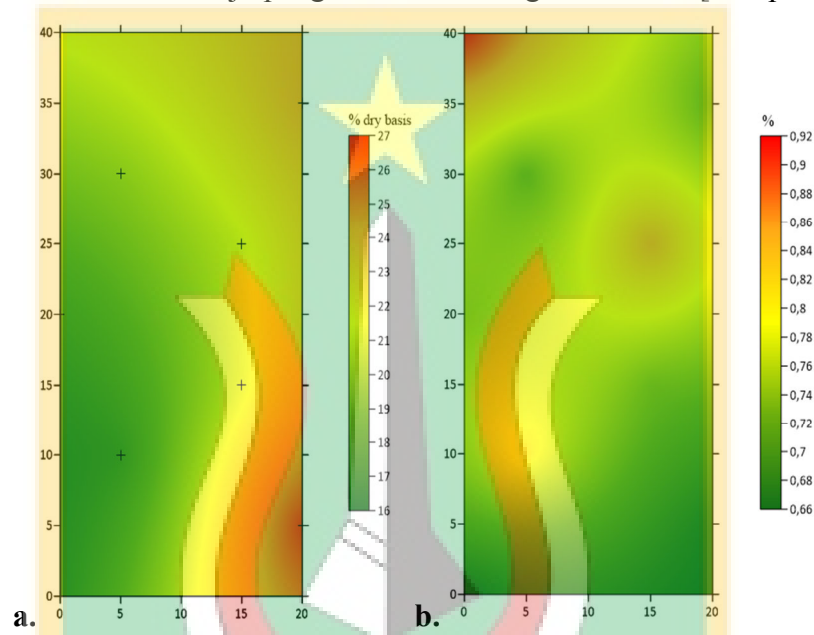
Peta variasi spasial  $\chi$ -HDM (Gambar 4.3a) menunjukkan pola variasi spasial yang hampir seragam akibat rendahnya range antara nilai tertinggi dengan nilai terendah pada data yang terukur. Sedangkan pada area 0-30m lintasan 4 peta variasi spasial  $\chi$ -VDM (Gambar 4.3b) menunjukkan adanya variasi spasial nilai  $\chi$  yang jauh lebih rendah dibandingkan nilai  $\chi$  disekitarnya.



Gambar 4.3 Peta Variasi Spasial Suseptibilitas Magnetik ( $\chi$ ) untuk a. Konfigurasi HDM, dan b. Konfigurasi VDM.

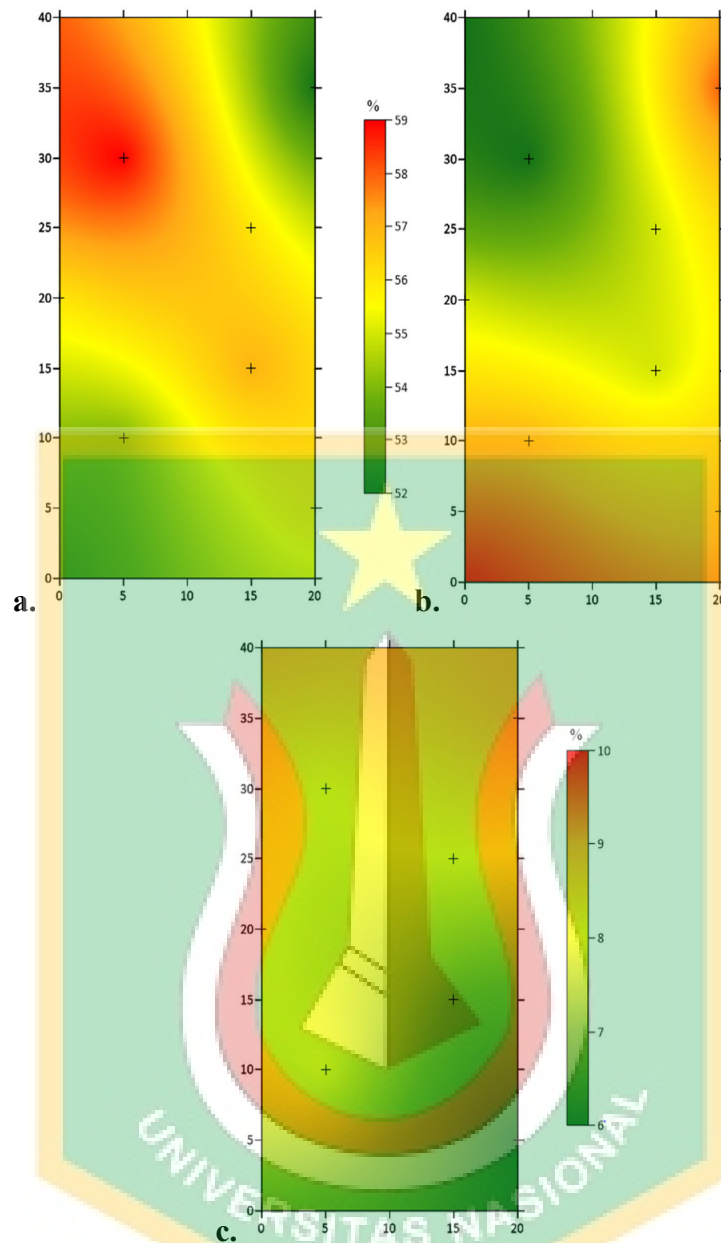


Peta variasi spasial kadar air tanah (Gambar 4.4a) menunjukkan pada area lintasan 4 dan 5 cenderung memiliki kadar air yang lebih tinggi dibandingkan area lintasan 1-3, hal ini sesuai dengan keadaan dilapangan dimana sepanjang sisi selatan lintasan 5 bersebelahan langsung dengan kolam penampungan air. Peta ini juga menunjukkan kadar air tanah daerah penelitian cukup rendah akibat kemarau panjang. Peta variasi spasial C-organik (Gambar 4.4b) menunjukkan kurang tersedianya bahan organik pada lahan penelitian. Dan tingginya nilai rasio C/N mengindikasikan bahwa laju penguraian bahan organik rendah.[Lampiran 2]



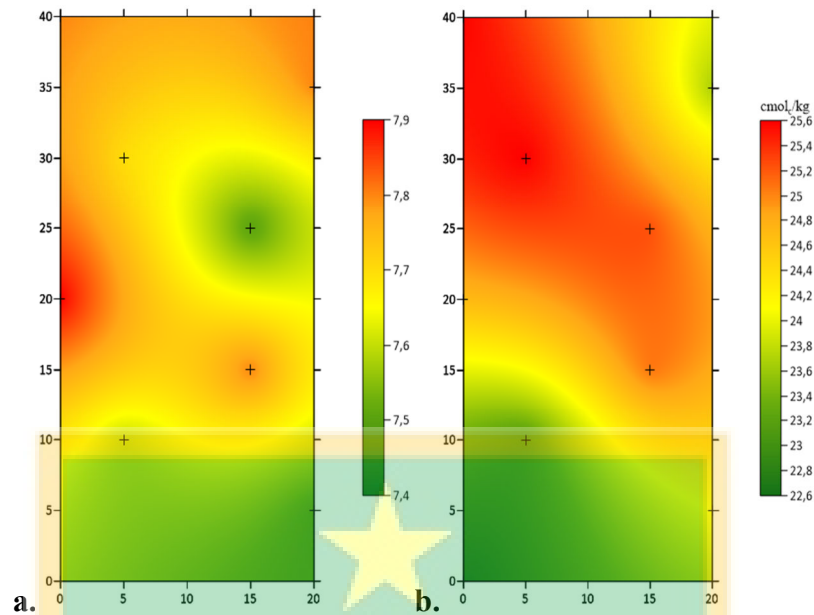
Gambar 4.4 Peta Variasi Spasial untuk a. Kadar Air Tanah, b. C-Organik.

Peta variasi spasial tekstur liat (Gambar 4.5a) menunjukkan tingginya sebaran liat berarah timur laut-barat daya, berbanding terbalik dengan sebaran debu (Gambar 4.5b) pada arah yang sama. Peta variasi tiga tekstur tanah (Gambar 4.5a, 4.5b, dan 4.5c) menunjukkan tanah di daerah penelitian bertekstur liat berdebu-liat sehingga memiliki kemampuan menahan air lebih tinggi dan membuat lahan penelitian belum sepenuhnya kering saat kemarau panjang.



Gambar 4.5 Peta Variasi Spasial untuk a. Tekstur Liat, b. Tekstur Debu, c. Tekstur Pasir, d. pH, e. Kapasitas Tukar Kation (KTK).

Peta variasi spasial KTK (Gambar 4.6b) menunjukkan kemiripan pola dengan peta variasi spasial tekstur liat (Gambar 4.5a), dimana sebaran tingginya nilai KTK berarah timur laut-barat daya. Peta variasi spasial KTK juga menunjukkan bahwa lahan penelitian memiliki nilai KTK yang rendah, serta tingkat kesuburan dan ketersediaan unsur hara yang cukup rendah. Peta variasi spasial pH (Gambar 4.6a) menunjukkan bahwa tanah di lahan penelitian cenderung bersifat basa dan tinggi kapur.



Gambar 4.6 Peta Variasi Spasial untuk a. pH, b. Kapasitas Tukar Kation (KTK).

#### 4.2. Hasil Pengolahan Data Statistik

Berdasarkan analisis mean dan median (Tabel 2), data semua variabel cenderung menuju normal. Koefisien skewness dan kurtosis tidak sama dengan 0 dan 3, maka semua variabel tidak menunjukkan adanya distribusi normal. Koefisien skewness dan kurtosis ECa-HDM, kadar air, dan C-organik menunjukkan distribusi platikurtik miring ke kanan, sedangkan ECa-VDM,  $\chi$ -HDM, dan  $\chi$ -VDM menunjukkan distribusi leptokurtik miring ke kanan, dan distribusi platikurtik miring ke kiri ditunjukkan oleh liat, debu, pasir, pH, dan KTK. Koefisien Variasi (%) ECa-HDM, ECa-VDM, kadar air, liat, dan KTK terklasifikasi sedang (12% - Koef. Variasi - 60%), sedangkan  $\chi$ -HDM,  $\chi$ -VDM, C-organik, pasir, dan pH terklasifikasi rendah (<12%) berdasarkan klasifikasi.[17]

Tabel 2. Data Statistik Konduktivitas Terukur (ECa), Suseptibilitas Magnetik ( $\chi$ ), dan Parameter Tanah.

	ECa-HDM	ECa-VDM	$\chi$ -HDM	$\chi$ -VDM			
Min.	18,49	23,87	0,163	0,172			
Maks.	32,87	39,37	0,167	0,181			
Mean	24,02	27,87	0,16	0,18			
Median	23,87	26,36	0,16	0,18			
Variansi	19,93	25,29	9,56	4,93			
St. Dev	4,46	5,03	0,001	0,002			
Koef. Variansi %	18,58	18,05	0,59	1,26			
Skewness	0,3	1,33	0,55	1,07			
Kurtosis	1,73	3,01	3,39	3,26			
	Kadar Air	C-Organik	Liat	Debu	Pasir	pH	KTK
Min.	17,05	0,66	52	33	6	7,5	22,7
Maks.	26,45	0,92	59	40	9	7,9	25,6
Mean	20,84	0,76	55,67	36,56	7,78	7,69	24,42
Median	21,17	0,74	56	36	8	7,7	24,7
Variansi	9,92	0,007	5,25	6,03	0,94	0,02	1,14
St. Dev	3,15	0,08	2,29	2,46	0,97	0,15	1,07
Koef. Variansi %	15,11	10,96	18,58	18,05	0,59	1,26	15,11
Skewness	0,36	0,56	-0,19	-0,22	-0,35	-0,05	-0,34
Kurtosis	1,75	2,01	1,59	1,54	1,89	1,28	1,38

Uji T digunakan untuk menguji tingkat pengaruh satu variabel bebas secara individual menerangkan variasi variabel terikat. Dengan dasar pengambilan keputusan ketika probabilitas  $<0.05$ , berarti hipotesa diterima atau variabel bebas memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel terikat. Sehingga didapatkan ECa-HDM dan ECa-VDM memiliki korelasi positif yang signifikan ( $|r| = 0.838$ ) menjelaskan kemiripan pada peta variasi spasial kedua parameter tersebut.  $\chi$ -HDM dan  $\chi$ -VDM juga memiliki koefisien korelasi positif yang signifikan ( $|r| = 0.724$ ). Kadar air tanah memiliki korelasi positif yang signifikan dengan nilai ECa-HDM dan ECa-VDM ( $|r| = 0.924$  dan  $|r| = 0.836$ ), hal ini menjelaskan kemiripan pola variasi spasial yang terjadi antar parameter tersebut. Liat memiliki korelasi negatif yang signifikan dengan debu ( $|r| = -0.939$ ), dan korelasi positif yang signifikan dengan KTK ( $|r| = 0.922$ ). Sedangkan debu memiliki korelasi negatif yang signifikan terhadap KTK ( $|r| = -0.946$ ). C-Organik memiliki korelasi yang signifikan dengan debu, pasir, dan KTK ( $|r| = 0.601$ ,  $|r| = 0.666$ , dan  $|r| = 0.531$ ).

Tabel 3. Nilai Koefisien Korelasi Linier antar Data

	ECa-HDM	ECa-VDM	$\chi$ -HDM	$\chi$ -VDM			
ECa-HDM	1						
ECa-VDM	0,838*	1					
$\chi$ -HDM	0,644*	0,229	1				
$\chi$ -VDM	0,271	0,517*	0,724*	1			
Kadar Air	0,924*	0,836*	0,605	0,261			
C-Organik	-0,327	-0,065	-0,213	-0,294			
Liat	-0,366	0,013	-0,294	-0,379			
Debu	0,364	-0,050	0,184	0,275			
Pasir	0,095	-0,057	0,227	0,119			
pH	-0,102	-0,167	0,431	0,084			
KTK	0,247	-0,208	-0,140	-0,420			
	Kadar Air	C-Organik	Liat	Debu	Pasir	pH	KT K
Kadar Air	1						
C-Organik	-0,071	1					
Liat	0,077	0,362	1				
Debu	0,016	0,601*	-0,939*	1			
Pasir	-0,141	0,666*	0,001	-0,289	1		
pH	-0,163	0,156	0,173	-0,419	0,473	1	
KTK	0,248	0,531*	0,922*	-0,946*	0,290	0,188	1

\*Signifikan pada 0,05 level probabilitas

Hasil pengolahan data statistik dan peta variasi spasial berbagai parameter menunjukkan bahwa pada lahan penelitian ini kadar air tanah merupakan parameter yang paling berpengaruh pada nilai ECa. Sedangkan parameter lain seperti KTK, liat, debu, dan C-Organik memiliki koefisien korelasi yang cukup tinggi namun belum cukup signifikan untuk mempengaruhi perubahan nilai ECa. Dan tidak ada parameter tanah manapun yang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai  $\chi$ . Hal ini diakibatkan tidak ada satupun parameter tanah hasil analisis sampel di laboratorium yang menunjukkan keberadaan mineral logam dalam tanah.

## BAB V

### PENUTUP

#### 4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan pembahasan pada penelitian pemetaan variasi spasial parameter tanah dan apparent ground conductivity (ECa) menggunakan metode induksi elektromagnetik, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Peta variasi spasial ECa-HDM dan ECa-VDM menunjukkan kemiripan pola variasi spasial. Peta variasi spasial  $\chi$ -HDM menunjukkan pola variasi spasial yang hampir seragam akibat rendahnya range antara nilai tertinggi dengan nilai terendah pada data yang terukur. Peta variasi spasial kadar air menunjukkan kadar air tanah daerah penelitian cukup rendah akibat kemarau panjang. Peta variasi spasial C-organik menunjukkan kurang tersedianya bahan organik pada lahan penelitian. Peta variasi tiga tekstur tanah menunjukkan tanah di daerah penelitian bertekstur liat berdebu-liat. Peta variasi spasial KTK juga menunjukkan bahwa lahan penelitian memiliki nilai KTK, tingkat kesuburan, dan ketersediaan unsur hara yang cukup rendah. Peta variasi spasial pH menunjukkan bahwa tanah di lahan penelitian cenderung bersifat basa dan tinggi kapur.
2. ECa-HDM dengan ECa-VDM memiliki korelasi positif yang signifikan, begitu juga  $\chi$ -HDM dengan  $\chi$ -VDM. Liat memiliki korelasi negatif yang signifikan dengan debu, dan korelasi positif yang signifikan dengan KTK. Sedangkan debu memiliki korelasi negatif yang signifikan terhadap KTK. Kadar air tanah memiliki korelasi positif yang signifikan terhadap kedua ECa. C-Organik memiliki korelasi yang signifikan dengan KTK, pasir, debu, dan pasir.
3. Kadar air tanah menjadi parameter yang paling berpengaruh terhadap perubahan nilai ECa pada lahan kering dan tingkat kesuburan rendah. Sedangkan KTK, liat, debu, dan C-Organik memiliki koefisien korelasi yang cukup tinggi namun belum cukup signifikan untuk mempengaruhi perubahan nilai ECa. Nilai ECa menunjukkan bahwa metode induksi elektromagnetik tidak *feasible* digunakan untuk melakukan estimasi umum dari parameter tanah di lokasi penelitian. Namun, ECa dapat diaplikasikan sebagai alat untuk

memetakan variasi spasial parameter tanah atau dengan kata lain dapat memetakan perbedaan jenis tanah yang ada dilapangan, dan mendefinisikan *management zone* yang dibutuhkan tanah seperti pengaturan irigasi dan pemberian pupuk.

#### 4.2. Saran

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan, oleh karena itu disarankan untuk :

1. Perlu dilakukannya penelitian pada lokasi yang sama dengan skala yang lebih luas, pada dua musim yang berbeda dan jumlah sampel tanah yang lebih banyak.
2. Pengujian sampel tanah untuk parameter tanah lain, contoh salinitas, konduktivitas sampel (ECs), *bulk density*, tingkat saturasi, kandungan P, K, Al dan H.
3. Lakukan sampling hasil panen agar didapatkan peta variasi spasial hasil panen.



### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hache, C., "Site Specific Crop Response to Soil Variability in an Upland Field", Tesis, Tokyo University of Agriculture and Technology, Tokyo, Japan, 2003.
- [2] Tousemalani, R., "Application of Geophysical Methods in Agriculture", Australia Journal Basic Science vol. 4(12), pp. 6433-6439, Desember, 2010.
- [3] Medeiros, W.N, D.S.M. Valente, D.M. de Queiroz, F.A.C. Pinto, I.R. de Assis, "Apparent Soil Electrical Conductivity in Two Different Soil Types. Centro de Ciencia Agrarias – Universidade Federal do Ceara", Revista Ciencia Agronomica vol. 49(1), pp. 43-52, Januari, 2018
- [4] Ioane, D., F. Chitea, G. Garbacea, "Geophysical Mapping of Soil Moisture Variations in Cultivated Land. Case Study: Buzau County, Romania" in 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018, Bucharest, Romania, Juni, 2018.
- [5] Khan, F.S., Q.U. Zaman, A.A. Farooque, S. R. A. Saleem, W. Schumann, A. Madani, dan D.C. Percival, "Relationship of Soil Properties to Apparent Ground Conductivity in Wild Blueberry Fields", Soil Sci vol. 77(1), pp. 69-86, 2011.
- [6] 3. Electromagnetic Method, [online], Tersedia :  
<<https://www.kau.edu.sa/Files/0003035/Subjects/EM%281%29.pdf>>.  
[diakses 10-01-2020]
- [7] Zonge, K.L dan Hughes, L.J, "CSAMT" dalam Electromagnetic Methods in Applied Geophysics, Vol. 2 Application, M.N. Nabighian (ed.), SEG Publishing, 1991.
- [8] McNeill, J.D., "Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers, Technical Note TN-6", Geonics Ltd., Mississauga, Ontario, Kanada, 1980.
- [9] Kurnia, U., F. Agus, A. Adimihardja, A. Dariah, Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya. Bogor: Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian. 2006. 43-45; 131-133.



- [10] Saidy, A.R., “Definisi dan Pengelompokkan Bahan Organik Tanah” dalam Bahan Organik Tanah: Klasifikasi, Fungsi dan Metode Studi, Indonesia : Lambung Mangkurat University Press, 2018.
- [11] Hardjowigeno, S., Ilmu Tanah, Indonesia : Akademika Pressindo, 2010
- [12] Peta Geologi Regional Lembar Jawa Barat, [online], Tersedia: <<https://indogeologist.blogspot.com/2018/07/download-peta-geologi-regional-lembar-jawa-barat-lengkap.html>> [diakses 25-12-2019]
- [13] Nurhayati, M. “Strategi Optimalisasi Daya Dukung Sumber Daya Air di Kota Bekasi”, Tesis, Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia, 2008.
- [14] Measuring Soil Conductivity with Geonics Limited Electromagnetic Geophysical Instrumentation, [online], Tersedia : <<https://theunfamousseries.com/geonics-em34-manual-for-soil-resistivity.html>> [diakses 2-8-2019]
- [15] Bottega, E. L., F. Pinto, D. M. De Queiroz, C. M. A. De Souza, “Precision agriculture applied to soybean: part I – delineation of management zones”, Australian Journal of Crop Science vol.11(05), pp. 573-579, 2017.
- [16] Da Silva, J.S., E.F. E Silva, G. M. Siqueira, G.M. Da Silva, D.H.S. De Souza, “Spatial continuity of electrical conductivity, soil water content and texture on a cultivated area with cane sugar”, Mossoro vol. 31(2), pp. 434-445, 2018.
- [17] Warrick, A. W. dan Nielsen, D. R., “Spatial variability of soil physical properties in the field” dalam Applications of soil physics, Hillel, D. (Ed.), New York. Academic Press, 1980.

## LAMPIRAN


## Lampiran 1

Tabel Parameter Fisis dan Operator yang digunakan

Simbol	Nama Parameter	SI Unit
$\vec{E}$	Intensitas medan listrik	V/m
$\vec{D}$	Densitas fluks listrik	As/m <sup>2</sup>
$\vec{B}$	Densitas fluks magnet	Tesla = Vs/m <sup>2</sup>
$\vec{H}$	Intensitas medan magnet	A/m
$\vec{j}$	Rapat arus	A/m <sup>2</sup>
$q$	Muatan listrik	As/m <sup>3</sup>
$\epsilon_0$	Permitivitas udara bebas	As/m
$\epsilon_r$	Permitivitas relatif	Non-unit
$\epsilon$	Permitivitas listrik	As/m
$\mu$	Permeabilitas magnetik	Vs/Am
$\mu_0$	Permeabilitas udara bebas	Vs/Am
$\mu_r$	Permeabilitas relatif	Non-unit
$\sigma$	Konduktivitas elektrik	S/m = A/Vm
$\rho$	Resistivitas	$\Omega\text{m} = \text{Vm/A}$
$F$	Frekuensi	Hz
$\omega$	Frekuensi angular	1/s
$I$	Arus	A
$S$	Jarak antar kumparan	m
$\nabla$	Operator Del	Non-unit
$\nabla^2$	Operator Laplace	Non-unit
$i$	imajiner	$\sqrt{-1}$
$\chi$	Susceptibilitas Magnetik	ppt(parts-per-thousand)

Lampiran 2

Hasil Analisis Laboratorium terhadap Sampel Tanah



**Laboratorium Tanah, Tanaman, Pupuk, Air**  
**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN**  
 Laboratorium Penunjang BALAI PENELITIAN TANAH  
 Jl. Terusan Pajajaran No.12, Karangasem, Kabupaten Karangasem, Bali 80114  
 Telp: (0361) 8330757 Fax: (0361) 8331006, 8332333, email: labtan@litbang.pertanian.go.id

**HASIL ANALISIS CONTOH TANAH**

Nomor Order : 1036L.P.01/2019  
 Permisian : ARI Candira Sari Ramadani - UIN Ar-Raniry  
 Aspek/Lokasi : Kel. Pajuarig Kota Bekasi- Ke. Medan Satria, Jawa Barat  
 Objek :  
 Tgl. Pengambilan : 23 Agustus 2019  
 Tgl. Pengujian : September - November 2019  
 Jumlah B : 9 Contoh

Urut	Nomor Contoh	Pergam	Batas Horizon	Asas - tanah cm	Tetapan (ppm)			Ekstrak 1:5		Rahasi organik		Tetapan P, contoh:tema 105 °C				K	Na	Jumlah	KTK	KB *
					Paar	Debu	Lat	pH	KCl	Walkley Black	N	C/N	Ca	Mg	cmol/kg					
1	19.08.1036 K Th 1802	U-0 m			7	40	53	7.6	8.0	0.87	0.08	11	22.88	4.61	0.22	0.76	28.39	22.70	>100	
2	19.08.1036 K Th 1803	U-5 m			6	38	50	7.5	8.1	0.80	0.07	10	26.82	4.71	0.31	0.77	31.61	24.11	>100	
3	19.08.1036 K Th 1804	U-10 m			5	38	54	7.6	8.1	0.80	0.08	10	26.76	5.08	0.25	0.79	32.81	23.14	>100	
4	19.08.1036 K Th 1805	U-15 m		0-40	7	38	57	7.5	8.2	0.74	0.07	11	32.74	5.97	0.37	1.00	39.89	25.07	>100	
5	19.08.1036 K Th 1806	U-20 m			8	38	58	7.5	8.3	0.78	0.07	9	31.58	6.12	0.30	0.93	38.40	24.70	>100	
6	19.08.1036 K Th 1807	U-25 m			8	38	59	7.5	8.3	0.78	0.07	9	31.58	4.85	0.29	0.78	29.79	25.24	>100	
7	19.08.1036 K Th 1808	U-30 m			8	38	59	7.7	8.1	0.73	0.07	10	26.84	5.27	0.30	1.10	33.63	25.60	>100	
8	19.08.1036 K Th 1809	U-35 m			9	38	58	7.8	8.2	0.78	0.07	10	26.88	5.23	0.30	0.97	33.08	23.68	>100	
9	19.08.1036 K Th 1810	U-40 m			9	38	58	7.8	8.1	0.82	0.09	9	28.51	4.98	0.38	1.11	34.98	23.58	>100	

Bojor, 5 Desember 2019  
 Maniq, Teknis

L. Lina Herawaty, MS

1 dari 1

Lampiran 3  
Foto Pengukuran Metode Induksi Elektromagnetik





## Lampiran 4

## Data Mentah Pengukuran Metode Induksi Elektromagnetik

Nama Alat : EM38-MK2

Konfigurasi : VDM

Line Pengukuran : 1

Arah Pengukuran : E

Waktu/Tanggal : 10:55:23 / 11-8-2019

Titik (m)	Pengukuran			Temperatur	
	Ke-	ECa	$\chi$	ECa	$\chi$
0	1	25,000	0,177	32,472	33,103
0	2	25,046	0,177	32,472	33,103
0	3	25,046	0,177	32,472	33,103
5	1	25,185	0,177	32,472	33,103
5	2	25,278	0,178	32,472	33,103
5	3	25,231	0,178	32,472	33,103
10	1	24,861	0,177	32,374	33,103
10	2	24,815	0,177	32,374	33,103
10	3	24,815	0,178	32,374	33,103
15	1	24,907	0,178	32,374	33,095
15	2	24,907	0,178	32,374	33,095
15	3	24,954	0,177	32,374	33,095
20	1	24,907	0,177	32,472	33,095
20	2	24,861	0,177	32,472	33,095
20	3	24,861	0,176	32,472	33,095
25	1	26,250	0,179	32,374	33,095
25	2	26,296	0,179	32,374	33,095
25	3	26,250	0,179	32,374	33,095
30	1	26,296	0,180	32,611	33,233
30	2	26,343	0,177	32,611	33,233
30	3	26,296	0,178	32,611	33,233
35	1	26,343	0,178	32,611	33,233
35	2	26,343	0,177	32,611	33,233
35	3	26,389	0,178	32,611	33,233
40	1	26,435	0,177	32,611	33,233
40	2	26,435	0,177	32,611	33,233
40	3	26,481	0,178	32,611	33,233

Nama Alat : EM38-MK2  
 Konfigurasi : VDM  
 Line Pengukuran : 2  
 Arah Pengukuran : W  
 Waktu/Tanggal : 11:13:48 / 11-8-2019

Titik (m)	Pengukuran Ke-	ECa	$\chi$	Temperatur ECa	Temperatur $\chi$
40	1	26,389	0,177	33,356	33,034
40	2	26,435	0,176	33,356	33,034
40	3	26,435	0,177	33,356	33,034
35	1	26,481	0,177	33,356	33,034
35	2	26,528	0,178	33,356	33,034
35	3	26,481	0,178	33,356	33,034
30	1	26,481	0,177	32,941	33,034
30	2	26,435	0,178	32,941	33,034
30	3	26,435	0,177	32,941	33,034
25	1	26,528	0,178	32,941	33,165
25	2	26,481	0,178	32,941	33,165
25	3	26,481	0,178	32,941	33,165
20	1	24,907	0,177	33,275	33,165
20	2	24,861	0,177	33,275	33,165
20	3	24,861	0,177	33,275	33,165
15	1	24,907	0,176	33,275	33,165
15	2	24,907	0,176	33,275	33,165
15	3	24,861	0,176	33,275	33,165
10	1	24,907	0,177	33,275	33,165
10	2	24,954	0,177	33,275	33,165
10	3	24,907	0,177	33,275	33,165
5	1	24,954	0,177	33,183	32,983
5	2	24,954	0,177	33,183	32,983
5	3	25,000	0,177	33,183	32,983
0	1	25,046	0,177	33,183	32,983
0	2	25,046	0,177	33,183	32,983
0	3	25,093	0,177	33,183	32,983

Nama Alat : EM38-MK2

Konfigurasi : VDM

Line Pengukuran : 3

Arah Pengukuran : E

Waktu/Tanggal : 11:30:37 / 11-8-2019

Titik (m)	Pengukuran Ke-	ECa	$\chi$	Temperatur ECa	Temperatur $\chi$
0	1	24,074	0,179	33,498	33,708
0	2	24,074	0,179	33,498	33,708
0	3	24,028	0,179	33,498	33,708
5	1	23,981	0,178	33,498	33,708
5	2	23,935	0,177	33,498	33,708
5	3	23,935	0,177	33,498	33,708
10	1	24,074	0,177	33,498	33,694
10	2	24,120	0,176	33,498	33,694
10	3	24,028	0,176	33,498	33,694
15	1	23,981	0,177	33,498	33,694
15	2	23,935	0,177	33,498	33,694
15	3	23,935	0,177	33,498	33,694
20	1	25,648	0,177	32,726	33,621
20	2	25,694	0,177	32,726	33,621
20	3	25,602	0,177	32,726	33,621
25	1	26,481	0,177	32,726	33,621
25	2	26,435	0,177	32,726	33,621
25	3	26,435	0,178	32,726	33,621
30	1	26,528	0,174	32,611	33,621
30	2	26,528	0,175	32,611	33,621
30	3	26,574	0,175	32,611	33,621
35	1	26,620	0,176	33,841	33,687
35	2	26,620	0,176	33,841	33,687
35	3	26,574	0,177	33,841	33,687
40	1	26,528	0,178	33,841	33,687
40	2	26,528	0,179	33,841	33,687
40	3	26,574	0,178	33,841	33,687



Nama Alat : EM38-MK2  
 Konfigurasi : VDM  
 Line Pengukuran : 4  
 Arah Pengukuran : W  
 Waktu/Tanggal : 11:50:36 / 11-8-2019

Titik (m)	Pengukuran Ke-	ECa	$\chi$	Temperatur ECa	Temperatur $\chi$
40	1	27,315	0,177	33,819	33,777
40	2	27,361	0,179	33,819	33,777
40	3	27,315	0,177	33,819	33,777
35	1	27,083	0,178	33,819	33,777
35	2	27,037	0,179	33,819	33,777
35	3	27,083	0,177	33,819	33,777
30	1	26,481	0,174	33,819	33,693
30	2	26,435	0,173	33,819	33,693
30	3	26,435	0,173	33,819	33,693
25	1	26,389	0,173	33,913	33,693
25	2	26,343	0,173	33,913	33,693
25	3	26,343	0,172	33,913	33,693
20	1	23,981	0,172	33,913	33,693
20	2	23,981	0,172	33,913	33,693
20	3	24,028	0,172	33,913	33,693
15	1	23,935	0,172	33,742	33,693
15	2	23,981	0,172	33,742	33,693
15	3	23,981	0,172	33,742	33,693
10	1	23,935	0,172	33,742	33,631
10	2	23,889	0,172	33,742	33,631
10	3	23,935	0,172	33,742	33,631
5	1	23,935	0,172	33,742	33,631
5	2	23,889	0,172	33,742	33,631
5	3	23,935	0,172	33,742	33,631
0	1	23,889	0,172	33,635	33,631
0	2	23,843	0,172	33,635	33,631
0	3	23,889	0,172	33,635	33,631

Nama Alat : EM38-MK2

Konfigurasi : VDM

Line Pengukuran : 5

Arah Pengukuran : E

Waktu/Tanggal : 12:10:21 / 11-8-2019

Titik (m)	Pengukuran Ke-	ECa	X	Temperatur ECa	Temperatur $\chi$
0	1	39,352	0,178	33,596	33,631
0	2	39,398	0,178	33,596	33,631
0	3	39,352	0,178	33,596	33,631
5	1	36,944	0,179	33,596	33,631
5	2	37,037	0,179	33,596	33,631
5	3	36,944	0,179	33,596	33,631
10	1	37,083	0,178	33,596	33,844
10	2	37,037	0,179	33,596	33,844
10	3	37,083	0,178	33,596	33,844
15	1	36,991	0,177	33,917	33,844
15	2	36,991	0,180	33,917	33,844
15	3	36,991	0,178	33,917	33,844
20	1	37,037	0,177	33,917	33,844
20	2	37,130	0,180	33,917	33,844
20	3	37,130	0,178	33,917	33,844
25	1	37,130	0,178	33,786	33,727
25	2	37,176	0,178	33,786	33,727
25	3	37,130	0,177	33,786	33,727
30	1	37,917	0,179	33,786	33,727
30	2	37,824	0,179	33,786	33,727
30	3	37,824	0,179	33,786	33,727
35	1	37,917	0,180	33,917	33,976
35	2	37,917	0,181	33,917	33,976
35	3	37,870	0,181	33,917	33,976
40	1	38,009	0,180	33,917	33,976
40	2	37,963	0,180	33,917	33,976
40	3	37,963	0,180	33,917	33,976

Nama Alat : EM38-MK2

Konfigurasi : HDM

Line Pengukuran : 1

Arah Pengukuran : E

Waktu/Tanggal : 9:03:40 / 11-8-2019

Titik (m)	Pengukuran Ke-	ECa	$\chi$	Temperatur ECa	Temperatur $\chi$
0	1	20,370	0,164	32,257	33,056
0	2	20,417	0,164	32,257	33,056
0	3	20,370	0,164	32,257	33,056
5	1	20,139	0,164	32,257	33,056
5	2	20,000	0,164	32,257	33,056
5	3	20,046	0,165	32,257	33,056
10	1	20,185	0,164	32,316	33,056
10	2	20,139	0,165	32,316	33,056
10	3	20,093	0,165	32,316	33,056
15	1	20,000	0,164	32,316	33,216
15	2	20,046	0,164	32,316	33,216
15	3	20,231	0,164	32,316	33,216
20	1	20,370	0,164	32,257	33,216
20	2	20,000	0,165	32,257	33,216
20	3	20,139	0,164	32,257	33,216
25	1	20,185	0,165	32,821	33,216
25	2	19,954	0,165	32,821	33,216
25	3	20,139	0,165	32,821	33,216
30	1	25,648	0,164	32,821	33,056
30	2	25,694	0,165	32,821	33,056
30	3	25,556	0,164	32,821	33,056
35	1	25,833	0,165	32,638	32,942
35	2	25,787	0,165	32,638	32,942
35	3	25,833	0,165	32,638	32,942
40	1	25,926	0,165	32,638	33,056
40	2	25,972	0,165	32,638	33,056
40	3	26,065	0,165	32,638	33,056

Nama Alat : EM38-MK2

Konfigurasi : HDM

Line Pengukuran : 2

Arah Pengukuran : W

Waktu/Tanggal : 9:15:52 / 11-8-2019

Titik (m)	Pengukuran Ke-	ECa	$\chi$	Temperatur ECa	Temperatur $\chi$
40	1	26,019	0,163	32,523	33,002
40	2	26,157	0,163	32,523	33,002
40	3	26,065	0,163	32,523	33,002
35	1	25,926	0,164	32,523	33,241
35	2	25,880	0,164	32,523	33,241
35	3	25,880	0,164	32,523	33,241
30	1	26,296	0,164	32,523	33,241
30	2	26,157	0,164	32,523	33,241
30	3	26,065	0,164	32,523	33,241
25	1	20,139	0,164	32,281	33,241
25	2	20,000	0,164	32,281	33,241
25	3	20,046	0,164	32,281	33,241
20	1	19,676	0,163	32,281	33,002
20	2	19,722	0,163	32,281	33,002
20	3	19,676	0,163	32,281	33,002
15	1	18,657	0,163	32,709	33,002
15	2	18,611	0,163	32,709	33,002
15	3	18,657	0,163	32,709	33,002
10	1	18,519	0,164	32,709	33,002
10	2	18,519	0,164	32,709	33,002
10	3	18,657	0,164	32,709	33,002
5	1	18,565	0,163	32,709	33,002
5	2	18,565	0,164	32,709	33,002
5	3	18,611	0,163	32,709	33,002
0	1	18,750	0,164	32,709	33,002
0	2	18,796	0,164	32,709	33,002
0	3	18,750	0,164	32,709	33,002

Nama Alat : EM38-MK2  
 Konfigurasi : HDM  
 Line Pengukuran : 3  
 Arah Pengukuran : E  
 Waktu/Tanggal : 9:48:02 / 11-8-2019

Titik (m)	Pengukuran Ke-	ECa	$\chi$	Temperatur ECa	Temperatur $\chi$
0	1	26,019	0,163	32,281	32,457
0	2	26,157	0,163	32,281	32,457
0	3	26,065	0,163	32,281	32,457
5	1	25,926	0,164	32,117	32,457
5	2	25,880	0,164	32,117	32,457
5	3	25,880	0,164	32,117	32,457
10	1	26,296	0,163	32,117	32,457
10	2	26,157	0,163	32,117	32,457
10	3	26,065	0,163	32,117	32,457
15	1	20,139	0,164	32,117	32,194
15	2	20,000	0,163	32,117	32,194
15	3	20,046	0,163	32,117	32,194
20	1	19,676	0,164	32,117	32,194
20	2	19,722	0,164	32,117	32,194
20	3	19,676	0,164	32,117	32,194
25	1	18,657	0,164	32,457	32,194
25	2	18,611	0,164	32,457	32,194
25	3	18,657	0,164	32,457	32,194
30	1	18,519	0,164	32,457	32,302
30	2	18,519	0,165	32,457	32,302
30	3	18,657	0,165	32,457	32,302
35	1	18,565	0,166	32,281	32,302
35	2	18,565	0,166	32,281	32,302
35	3	18,611	0,167	32,281	32,302
40	1	18,750	0,165	32,281	32,302
40	2	18,796	0,165	32,457	32,302
40	3	18,750	0,165	32,457	32,302

Nama Alat : EM38-MK2  
 Konfigurasi : HDM  
 Line Pengukuran : 4  
 Arah Pengukuran : W  
 Waktu/Tanggal : 10:03:27 / 11-8-2019

Titik (m)	Pengukuran Ke-	ECa	$\chi$	Temperatur ECa	Temperatur $\chi$
40	1	26,481	0,164	32,672	32,572
40	2	26,713	0,166	32,672	32,572
40	3	26,435	0,164	32,672	32,572
35	1	26,528	0,164	32,672	32,572
35	2	26,667	0,165	32,672	32,572
35	3	26,435	0,164	32,672	32,572
30	1	25,972	0,164	32,672	32,164
30	2	25,880	0,163	32,672	32,164
30	3	25,880	0,163	32,672	32,164
25	1	25,833	0,163	32,487	32,208
25	2	25,833	0,163	32,487	32,208
25	3	25,787	0,162	32,487	32,208
20	1	22,824	0,164	32,487	32,208
20	2	22,870	0,165	32,487	32,208
20	3	22,824	0,164	32,487	32,208
15	1	22,824	0,164	32,672	32,208
15	2	22,824	0,164	32,672	32,208
15	3	22,824	0,164	32,672	32,208
10	1	22,685	0,163	32,672	32,164
10	2	22,685	0,163	32,672	32,164
10	3	22,685	0,163	32,672	32,164
5	1	22,639	0,163	32,672	32,164
5	2	22,593	0,163	32,672	32,164
5	3	22,593	0,163	32,672	32,164
0	1	23,889	0,165	32,487	32,208
0	2	23,843	0,165	32,487	32,208
0	3	23,889	0,165	32,487	32,208

Nama Alat : EM38-MK2  
 Konfigurasi : HDM  
 Line Pengukuran : 5  
 Arah Pengukuran : E  
 Waktu/Tanggal : 10:21:41 / 11-8-2019

Titik (m)	Pengukuran Ke-	ECa	$\chi$	Temperatur ECa	Temperatur $\chi$
0	1	30,324	0,165	32,561	32,313
0	2	30,324	0,165	32,561	32,313
0	3	30,324	0,165	32,561	32,313
5	1	30,370	0,165	32,561	32,313
5	2	30,370	0,165	32,561	32,313
5	3	30,417	0,166	32,561	32,313
10	1	30,231	0,164	32,314	32,313
10	2	30,463	0,166	32,314	32,313
10	3	30,278	0,165	32,314	32,313
15	1	30,139	0,164	32,561	32,389
15	2	30,509	0,166	32,561	32,389
15	3	30,278	0,165	32,561	32,389
20	1	30,185	0,164	32,314	32,389
20	2	30,509	0,166	32,314	32,389
20	3	30,324	0,165	32,314	32,389
25	1	30,231	0,164	32,314	32,313
25	2	30,231	0,164	32,314	32,313
25	3	30,185	0,164	32,314	32,313
30	1	30,463	0,166	32,437	32,313
30	2	30,417	0,166	32,437	32,313
30	3	30,417	0,166	32,437	32,313
35	1	31,944	0,167	32,437	32,447
35	2	32,037	0,167	32,437	32,447
35	3	32,037	0,167	32,437	32,447
40	1	32,870	0,167	32,437	32,447
40	2	32,870	0,167	32,437	32,447
40	3	32,870	0,167	32,437	32,447