

ANALISIS KARAKTERISTIK TANAH MENGGUNAKAN METODE MAGNETIK DAN X-RAY FLUORESCENCE DI KECAMATAN OHEO

ANALYSIS OF SOIL CHARACTERISTICS USING MAGNETIC METHODS AND X-RAY FLUORESCENCE IN OHEO DISTRICT

Al Faathir Rasyid Sulaiman¹, Pou Anda^{2*}, Syamsul Razak Haraty³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Halu Oleo; Jalan H.E.A. Mokodompit, Kendari, Sulawesi Tenggara, Indonesia, 93232; (0401) 3194163

Received: 2022, June 22nd

Accepted: 2022, September 19th

Keywords:

Magnetic susceptibility;
Micro nutrients;
Oheo District;
Sustainable soil management;
X-Ray Fluorescence.

Correspondent Email:

pou_anda@ymail.com

How to cite this article:

Sulaiman, A.F.R., Anda, P., & Haraty, S.R. (2022). Analisis Karakteristik Tanah Menggunakan Metode Magnetik dan X-Ray Fluorescence di Kecamatan Oheo. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 08(03), 171-185.

Abstrak. Tanah adalah benda alam yang memiliki kemampuan dalam menyediakan unsur hara. Jika tanah kekurangan unsur hara maka akan mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Unsur hara mikro adalah unsur yang memiliki sifat kemagnetan yang tinggi dari unsur lainnya, sehingga dalam menganalisis tingkat kesuburan tanah dapat menggunakan metode Suseptibilitas Magnetik. Penelitian ini telah dilakukan di Kecamatan Oheo, Kabupaten Konawe Utara, pengambilan sampel terdiri 2 stasiun dengan topografi yang berbeda. Setiap stasiun terdiri atas 6 titik sampel dengan kedalaman 20, 40, dan 60 cm dan jarak antar titik sampel 100 m. Sampel tersebut kemudian diolah menggunakan instrumen MS2B dan XRF. Hasil pengukuran suseptibilitas magnetik yang tinggi berada di stasiun 1 topografi berbukit memiliki nilai suseptibilitas magnetik (χ_{LF}) berkisar 604,3–3414,5 (10^{-8} m³/kg). Sedangkan stasiun 2 topografi datar memiliki nilai suseptibilitas magnetik (χ_{LF}) berkisar antara 109,8–342,6 (10^{-8} m³/kg). Hasil pengukuran XRF menunjukkan kedua stasiun tersebut masih kekurangan unsur hara mikro Co dan unsur Fe melebihi kadar konsentrasi yang diinginkan. Stasiun 1 memiliki nilai χ_{FD} (%) yang menunjukkan 75% mengandung bulir super paramagnetik, sedangkan stasiun 2 terlihat beberapa titik hanya 10% mengandung bulir super paramagnetik. Sehingga dapat dikatakan bahwa stasiun 1 telah mengalami penurunan kesuburan.

Abstract. Soil is a natural object that can provide nutrients. If the soil lacks nutrients, it will affect the growth and development of plants. The micronutrients were elements that have a higher magnetic property than other elements, and thus analyzing the soil fertility level using the Magnetic Susceptibility method is potential. This research had conducted at Oheo District, North Konawe Regency, with soil sampling consisting of 2 stations with different topography. Each station consists of 6 sample points with a depth of 20 cm, 40 cm, and 60 cm and a distance between points of 100 m. The sample is then processed using MS2B and XRF.

© 2022 JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi). This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Results Measurement of high magnetic susceptibility at station 1 hilly topography has a magnetic susceptibility value (χ_{LF}) ranging from 604.3–3414.5 (10m³/-8kg). While the flat topography station 2 has a magnetic susceptibility value (χ_{LF}) ranging from 109.8–342.6 (x10 m³/8 kg). Measurements XRF showed that both stations still lacked the micronutrients Co and Fe elements exceeding the desired concentration levels. Station 1 has a value FD (%) of 75 % superparamagnetic grains, and station 2 shows only 10 % superparamagnetic grains. So, it concluded that station 1 decreased fertility.

1. PENDAHULUAN

Sejalan dengan pernyataan Allred dkk., (2016) bahwa teknik-teknik pengukuran besaran fisis tanah memberikan informasi terhadap kondisi dalam lingkungan tanah untuk diterapkan dalam sistem pertanian yang lebih maju sebagaimana yang dikenal sebagai geofisika pertanian.

Metode-metode pengukuran besaran fisika untuk meningkatkan produksi pertanian yang didasarkan pada faktor-faktor fisik untuk perawatan tanaman, dengan tujuan utama meningkatkan hasil dan mempercepat pertumbuhan dan perkembangan tanaman telah banyak diterapkan termasuk dalam studi kelapa sawit (Sudsiri dkk., 2017). Sifat kemagnetan tanah dalam merespon medan magnet luar adalah salah satu teknik yang dipakai untuk menilai kandungan logam mineral dalam tanah (Barrios dkk., 2016.). Metode suseptibilitas magnetik telah diterapkan secara luas dalam berbagai disiplin ilmu seperti pertanian, geologi, polusi dan ilmu lingkungan (Ayoubi & Mirsaidi, 2018).

Tanah memiliki sifat magnetik, dimana sifat magnetik dalam tanah tidak hanya dipengaruhi oleh mineral yang berasal dari bahan induk, namun faktor pembentuk tanah yang lain juga sangat mempengaruhi (Khairani dkk., 2020) seperti proses-proses fisika, kimia, dan biologi (Bouhsane & Bouhlassa, 2018) bahkan aktifitas manusia seperti industri dan pemupukan tanaman (Ogeh & Ipinmoroti, 2014).

Unsur hara mikro adalah mineral-mineral logam yang terdapat dalam tanah sebagai hasil pelapukan batuan induk yang berlangsung ratusan bahkan ribuan tahun, berasosiasi dengan sifat kemagnetan batuan atau tanah yang dibutuhkan tanaman dalam

jumlah sedikit (Pierangeli dkk., 2020). Meskipun demikian, tetap memiliki peranan penting dalam pertumbuhan tanaman (Ulfa & Budiman, 2019). Defisiensi hara mikro dapat menjadi salah satu kendala utama dalam mempertahankan produksi tanaman di masa kini pertanian subur eksploitatif dan bahkan di tanaman perkebunan (Joseph & Rotimi, 2014). Menurut Zhuo dkk. (2019) jika tanah kekurangan unsur hara mikro maka pertumbuhan dan perkembangan tanaman akan terhambat dan menyebabkan menurunnya hasil dan kualitas. Ada 8 unsur hara mikro esensial yang ditemukan dalam jumlah kecil (kurang dari 1 %) di jaringan tanaman pada umumnya yaitu boron (B), klor (Cl), tembaga (Cu), besi (Fe), mangan (Mn) molybdenum (Mo), seng (Zn) dan nikel (Ni) (Sharma dkk., 2018). Khusus untuk tanaman kelapa sawit hara mikro yang banyak diserap adalah klor (Cl), boron (B), tembaga (Cu), besi (Fe), seng (Zn), kobalt (Co), mangan (Mn), kalsium (Ca) (Gusti dkk., 2021; Vi'egas, 2021).

Tanah yang dijadikan sebagai lahan objek penelitian adalah sebuah perkebunan swasta (SPL) yang berada di Desa Kota Maju Kecamatan Oheo, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara, yang memiliki luas lahan 338,46 Ha. Tanah dapat memiliki sifat magnetik yang berbeda-beda disebabkan oleh topografi lahan yang berbeda. Pada lahan yang memiliki topografi berbukit dan topografi datar yang mempengaruhi nilai magnetik pada tanah (Harald, 2018). Tanah dengan nilai magnetik yang tinggi mempengaruhi nilai unsur hara mikro pada tanah, sehingga penyerapan yang dibutuhkan oleh tanaman bias berkurang. Maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai

suseptibilias magnetik pada tanah dengan topografi yang berbeda di lahan perkebunan yang dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman dengan melihat karakteristik nilai magnetik pada tanah.

Beberapa kajian yang telah dilakukan yaitu untuk mengetahui keterdapatan mineral dan unsur mikro yang dapat mempengaruhi kesuburan tanah antara lain analisis suseptibilitas magnetik dan kandungan logam berat pada tanah perkebunan kelapa sawit (Hatauruk & Sinuraya, 2020).

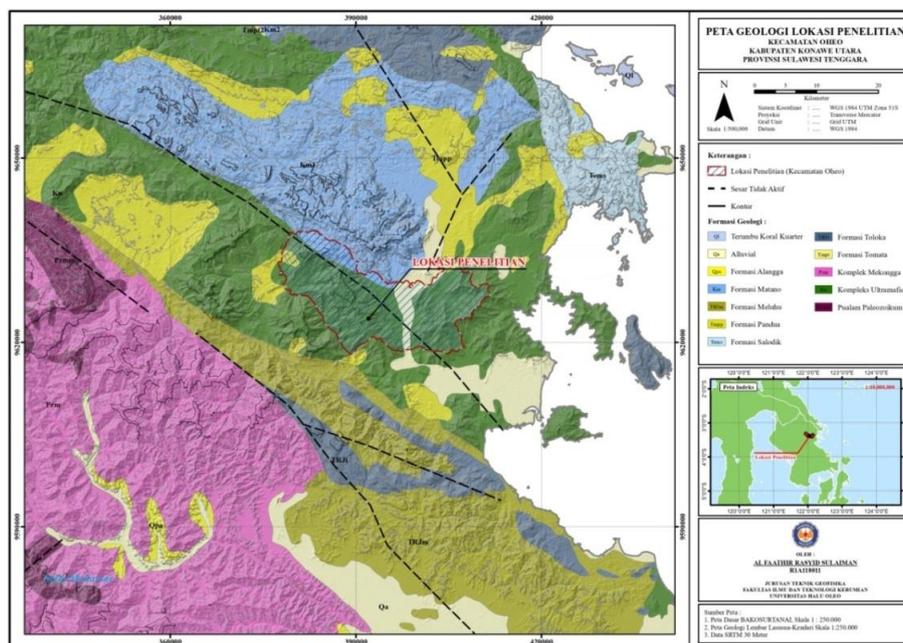
Tujuan penelitian adalah untuk menentukan nilai suseptibilitas magnetik pada lahan kelapa sawit yang berbeda yang memungkinkan mempengaruhi tingkat kesuburan pada tanah. Dalam menganalisis sumber mineral pada tanah digunakan metode suseptibilitas magnetik (SM) dan sekaligus mengidentifikasi ukuran bulir magnetik dari mineral magnetik yang terdapat pada tanah yang dapat

dihubungkan dengan faktor pedogenesisnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Geologi Regional*

Kabupaten Konawe Utara termasuk dalam Peta Geologi Lembar Lasusua-Kendari dengan skala 1:250.000 (Rusmana dkk., 1993). Secara administrasi daerah penelitian termasuk dalam Kecamatan Oheo Kabupaten Konawe Utara Provinsi Sulawesi Tenggara. Daerah penelitian masuk dalam morfologi bagian tengah lengan tenggara Sulawesi yang didominasi pegunungan yang umumnya memanjang hamper sejajar berarah barat laut tenggara. Stratigrafi daerah penelitian adalah Formasi Alluvial (Qa) yang terdiri atas batuan kerikil, kerakal, pasir, dan lempung. Formasi Batuan Ofiolit yang terdiri atas peridotit, harzburgit, dunit, gabro, dan serpentinit (Surono, 2013). Peta geologi regional dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta Geologi Daerah Penelitian (Peta Geologi Lembar Lasusua-Kendari Skala 1:250.00, Rusmana dkk., 1993).

2.2. *Tanah, Faktor, dan Proses Pembentukan Tanah*

Tanah adalah kumpulan dari benda-benda alam sebagai hasil dari proses pelapukan batuan induk yang menutupi

permukaan tanah dari bumi. Ia tersusun atas horizon-horizon membentuk profil yang terdiri dari campuran mineral, bahan organik, air, dan udara (Koorrevaar dkk., 1999; Arifin dkk., 2018).

2.2.1. Faktor Pembentuk Tanah

Ada 5 faktor yang mempengaruhi pembentukan tanah, yaitu batuan induk, organisme, iklim, topografi, dan waktu. Batuan induk berhubungan dengan keberadaan mineral dalam tanah, organisme karena pengaruhnya terhadap pembentukan tanah, iklim berkaitan dengan laju pelapukan dan dekomposisi bahan organik, topografi berkaitan dengan kemiringan lereng yang mempengaruhi drainase, erosi dan deposisi, dan waktu berkaitan dengan lama durasi pembentukan tanah.

2.2.2. Proses Pembentukan Tanah

Dalam proses pembentukan tanah terbagi menjadi dua bagian yaitu pelapukan dan perkembangan profil tanah. Pelapukan batuan dapat berlangsung melalui tiga cara yaitu pelapukan fisika, pelapukan kimia dan pelapukan biologi. Sedangkan untuk proses pembentukan profil tanah melalui empat cara yaitu penambahan bahan-bahan (*additions*), kehilangan bahan-bahan (*losses*), perubahan bentuk (*transformation*), dan pemindahan (*translocation*).

2.3. Faktor yang Mempengaruhi Kesuburan Tanah dan Ketersediaan Unsur Hara

Faktor yang mempengaruhi kesuburan tanah antara lain sifat fisika, kimia, dan biologi tanah. Sifat-sifat fisika memainkan peranan penting dalam menentukan keberlanjutan tanah untuk pertanian karena sifat fisika mempengaruhi sifat kimia dan sifat biologi tanah (Phogat dkk., 2015). Misalnya kemampuan daya dukung tanah, gerakan, retensi dan ketersediaan air dan hara untuk tanaman, mudahnya penetrasi akar, dan aliran kalor dan udara secara langsung berkaitan dengan sifat-sifat fisika tanah.

Kesuburan tanah adalah suatu keadaan tanah dimana tata air, udara dan unsur hara dalam keadaan cukup seimbang dan tersedia sesuai kebutuhan tanaman untuk pertumbuhan, berkembang, dan berproduksi. Secara khusus kebutuhan unsur hara yang diperlukan tanaman untuk pertumbuhan produksinya ditentukan oleh

kemampuan tanah dalam menyediakan unsur hara bagi tanaman yang tidak selalu terpenuhi (Pinatih dkk., 2015), dan karena itu harus disuplai melalui penambahan hara mikro (Gusti dkk., 2021). Faktor yang mempengaruhi ketersediaan unsur hara dalam tanah antara lain; iklim, pH tanah, dan bahan organik.

2.4. Metode Suseptibilitas Magnetik

Suseptibilitas magnetik (SM) bahan merupakan ukuran dasar tentang bagaimana sifat kemagnetan suatu bahan yang ditunjukkan dengan adanya respon terhadap induksi medan magnet luar (Dearing, 1999). Suseptibilitas magnetik menunjukkan kerentanan suatu bahan termagnetisasi (\vec{M}) ketika diberikan medan magnet (\vec{H}), dimana dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\vec{M} = \chi \vec{H} \quad (1)$$

dengan χ adalah suseptibilitas magnetik (SM) bahan dan tanpa satuan. Karena dalam pengukuran laboratorium, magnetik suseptibilitas sering dilaporkan dalam satuan berbasis massa (contoh: $10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$) maka hal ini ekuivalen dengan volume suseptibilitas dibagi dengan densitas (Bouhsane & Bouhlassa, 2018).

$$\chi_{\rho} = \frac{\chi v}{\rho} \quad (2)$$

Dalam hal menganalisis nilai kesuburan pada tanah, hal yang dapat diketahui adalah sifat kemagnetan yang dilihat dari karakter nilai suseptibilitasnya, dimana untuk mengetahui jenis mineral serta presentase kandungan besi (%Fe) pada tanah dapat diaplikasikan metode suseptibilitas magnetik (Almiati & Agustin, 2017). Sifat kemagnetan suatu bahan terbagi atas tiga sifatnya itu diamagnetik, paramagnetik dan ferromagnetik.

2.5. Susceptibilitymeter dan XRF

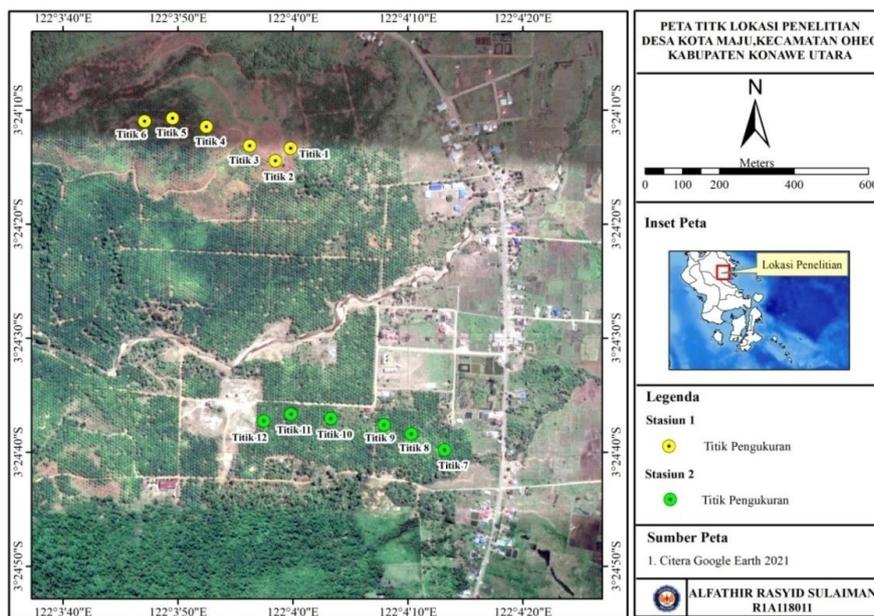
Nilai suseptibilitas magnetik dapat diukur dengan menggunakan *Bartington Magnetic Susceptibility meter* model MS2B, alat ini dilengkapi oleh sensor MS2B yang bekerja dengan dua frekuensi yaitu frekuensi rendah (χ_{LF}) dan frekuensi tinggi

(χ HF). XRF adalah alat yang dapat digunakan dalam menganalisis komposisi kimia dan konsentrasi unsur-unsur yang terkandung di suatu sampel, dengan proses yang cepat dan tidak merusak sampel (Rolandi & Budiman, 2019).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret tahun 2022. Sampel tanah diperoleh dari lokasi perkebunan kelapa sawit. Perkebunan swasta Sultra Prima Lestari

(SPL) dengan luas perkebunan adalah 338,46 Ha. Sampel diambil sebanyak 12 titik secara horizontal (**Gambar 2**). Pengambilan sampel terdiri atas 2 stasiun dengan topografi yang berbeda yaitu topografi berbukit dan topografi datar. Setiap stasiun terdiri atas 6 titik pengambilan sampel. Setiap setiap titik dilakukan 3 kali pengambilan sampel dengan kedalaman masing-masing 20 cm, 40 cm, dan 60 cm dan jarak antar titik adalah 100 meter.



Gambar 2. Peta Penelitian Perkebunan SPL Desa Kota Maju, Kec. Oheo.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini bor tanah, GPS, kantong sampel, dan meteran rol. Bor tanah digunakan untuk pengambilan sampel tanah yang bisa mencapai kedalaman sampai 60 cm. GPS digunakan untuk merekam setiap titik koordinat pengambilan sampel dan ketinggian level, meteran rol digunakan untuk mengatur jarak titik-titik pengambilan sampel.

Sampel yang telah diambil kemudian dimasukkan ke dalam kantong sampel yang telah diberi kode-kode tertentu untuk menghindari pertukaran sampel. Sampel dibawa ke laboratorium untuk dipreparasi dan dilakukan pengujian.

Untuk tahap preparasi, sampel dikeringkan pada suhu ruangan, kemudian digerus dan diayak dengan menggunakan ayakan ukuran mesh 2-mm (*2-mm air-dried sieved*) untuk mendapatkan sampel tanah yang diinginkan. Semua tahap dilakukan sesuai prosedur operasional yang berlaku di laboratorium.

Sampel tanah yang telah diayak kemudian dimasukkan ke dalam *holder* 10 ml dan ditimbang menggunakan neraca digital. Sampel yang telah ditimbang selanjutnya diukur atau dianalisis. Pengukuran pertama untuk analisis nilai suseptibilitas magnetik digunakan *susceptibilitymeter* sensor MS2B Bartington pada frekuensi rendah (0,47 kHz) dan

frekuensi tinggi (4,7 kHz). Pengukuran kedua untuk analisis kandungan hara mikro atau kadar unsur dalam tanah digunakan instrumen *X-Ray Fluorescence*. Gabungan metode suseptibilitas dengan XRF dianggap menguntungkan karena cepat, dan ekonomis (Pierangeli dkk., 2020).

Untuk dependen suseptibilitas magnetik sebagai nilai relatif kehilangan suseptibilitas (Dearing dkk., 1996) menggunakan ungkapan:

$$\chi_{FD}(m^3 kg^{-1}) = \chi_{LF} - \chi_{HF} \quad (3)$$

Untuk $\chi_{FD}\%$ sebagai ungkapan kehadiran mineral superparamagnetik ditentukan dari hubungan:

$$\chi_{FD}(\%) = (\chi_{LF} - \chi_{HF}) / (\chi_{LF}) \times 100 \quad (4)$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

4.1.1. Hasil Pengukuran Nilai Suseptibilitas Magnetik

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai suseptibilitas magnetik dari 36 sampel tanah menghasilkan nilai yang berbeda-beda, sebagaimana dalam **Tabel 1** untuk stasiun 1 dan **Tabel 2** untuk stasiun 2.

4.1.2 Hasil Pengukuran Kandungan unsur hara Mikro

Pengukuran dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence (XRF)* untuk mengetahui jenis dan konsentrasi mineral pada sampel disajikan dalam **Tabel 3** untuk stasiun 1 dan **Tabel 4** untuk stasiun 2.

4.1.3 Pemetaan Hasil pengukuran suseptibilitas magnetik dan XRF dan jenis mineral

Hal ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara nilai SM, unsur mineral magnetik, dan jenis mineral pada sampel yang diteliti. Untuk keperluan ini, sampel yang dipilih untuk dianalisis adalah sampel dengan nilai SM yang tinggi pada frekuensi rendah (χ_{LF}). Sedangkan pengukuran XRF yang dipilih untuk stasiun 1 adalah sampel ST 1.2, ST 1.3 dan ST 1.4 dengan kedalaman 40 cm, kemudian untuk stasiun 2 adalah sampel ST 2.2 dengan kedalaman 20 cm, ST 2.3 dengan kedalaman 60 cm dan ST 2.4

dengan kedalaman 40 cm. Hasil pemetaan ini ditunjukkan dalam **Tabel 5** dan **Tabel 6**.

4.1.4 Korelasi Antara Unsur Hara Mikro Terhadap Nilai Suseptibilitas Magnetik

Hasil pengukuran dengan menggunakan *Susceptibility meter* diperoleh nilai SM yang bervariasi. Hal ini dipengaruhi oleh jenis tanah, topografi lahan, ukuran bulir magnetik maupun bentuk kristalnya. Sedangkan untuk hasil pengukuran sampel tanah dengan menggunakan XRF diperoleh unsur hara mikro yaitu Ni (Nikel), Co (Cobalt), Fe (Besi), Mn (Mangan) dan Ti (Titanium). Adapun hasil pengukuran XRF terhadap nilai suseptibilitas magnetik setiap stasiun dapat dilihat pada **Tabel 5** dan **Tabel 6**. Kemudian untuk hasil korelasi antara nilai suseptibilitas magnetik dan unsur hara mikro dapat dilihat pada **Gambar 3, 4, 5, 6, dan 7** untuk stasiun 1 dan **Gambar 8, 9, 10, 11, dan 12** untuk stasiun 2.

4.2. Pembahasan

4.2.1 Analisis Nilai Suseptibilitas Magnetik

Berdasarkan **Tabel 1** hasil pengukuran SM untuk stasiun 1, menunjukkan nilai suseptibilitas magnetik frekuensi rendah (χ_{LF}) berkisar 604,3–3414,5 ($10^{-8} m^3/kg$) dan frekuensi tinggi (χ_{HF}) berkisar 564,9–3293,5 ($10^{-8} m^3/kg$) dengan *frequency dependent susceptibility* (χ_{FD}) antara 3,54–11,04%, hal ini menunjukkan bahwa tanah pada stasiun 1 mengandung lebih 10–75% bulir super-paramagnetik (Rangkuti & Budiman, 2019). Keberadaan bulir super paramagnetik yang tinggi pada tanah diindikasikan bahwa keseluruhan tanah di stasiun 1 memiliki tingkat kesuburan yang telah menurun.

Sedangkan jika dilihat dari **Tabel 2** hasil pengukuran suseptibilitas magnetik untuk stasiun 2, menunjukkan nilai suseptibilitas magnetik frekuensi rendah (χ_{LF}) berkisar 109,8–342,6 ($10^{-8} m^3/kg$) dan frekuensi tinggi (χ_{HF}) berkisar 104,3–332,8 ($10^{-8} m^3/kg$) dengan *frequency dependent susceptibility* (χ_{FD}) antara 1,20–5,01%, hal ini menunjukkan tidak ada atau mengandung kurang dari 10% bulir super-paramagnetik (Ulfa & Budiman, 2019).

Sehingga dapat diartikan bahwa stasiun 2 memiliki kesuburan yang terbilang baik, hal ini dapat dibuktikan dengan hasil pengukuran kadar unsur yang ada dalam sampel. Hal ini sesuai dengan kenyataan di lapangan bahwa medannya agak rata dan landai memungkinkan aliran sedimen dari daerah ketinggian dan terjadi deposit mineral logam (Harrald, 2015).

Berdasarkan hasil pengukuran suseptibilitas magnetik **Tabel 1** dan **Tabel 2** menunjukkan nilai SM (χ_{LF}) lebih besar dari pada (χ_{HF}) hal ini terjadi karena, saat pengukuran dengan frekuensi tinggi bulir super-paramagnetik tidak berkontribusi dalam menentukan nilai suseptibilitas, sehingga perubahan medan magnetik luar yang dihasilkan lebih cepat dibandingkan waktu relaksasi yang diperlukan untuk bulir super-paramagnetik (Rolandi & Budiman, 2019). Selain itu panjang gelombang yang dihasilkan dari (χ_{LF}) lebih besar dibanding (χ_{HF}) sehingga ketika pengukuran dilakukan nilai SM frekuensi rendah (χ_{LF}) lebih maksimal dalam menganalisis bulir super-paramagnetik (χ_{FD}). Nilai SM pada stasiun 1 lebih tinggi dibandingkan stasiun 2. Hal diindikasikan karena keberadaan logam berat hasil dari pemupukan. Menurut

Hatauruk dan Sinuraya (2020) pemupukan yang dilakukan secara terus menerus akan menurunkan pH tanah dan tanah akan mengandung logam berat, keberadaan logam berat pada tanah akan menyebabkan nilai SM lebih tinggi. Berdasarkan referensi dan informasi tambahan dari pengawas inti perkebunan dinyatakan bahwa pemupukan dilakukan dua kali lipat di stasiun 1. Sehingga dapat diartikan bahwa nilai suseptibilitas yang tinggi karena keberadaan logam berat hasil dari pemupukan bukan dari keberadaan logam berat secara alami. Kemudian jenis tanah dan topografi lahan juga mempengaruhi nilai magnetik pada tanah. Stasiun 1 memiliki topografi yang berbukit, sehingga akses penyiraman tanaman kurang maksimal, hal ini mengakibatkan tanah pada stasiun 1 lebih kering. Sedangkan untuk stasiun 2 memiliki topografi datar dan jenis tanah alluvial, gembur dan ber-*drainase* yang baik. Topografi serta jenis tanah ini sangat disarankan dalam perkebunan kelapa sawit (Sasongko, 2010). Hasil *dependent susceptibility* (χ_{FD}) antara 1-5%, sehingga dapat diartikan bahwa stasiun 2 hanya mengandung 10% bulir super-paramagnetik.

Tabel 1. Hasil pengukuran suseptibilitas magnetik stasiun 1.

Kode sampel	Massa Holder + Sampel (gram)	Nilai Suseptibilitas Magnetik		
		χ_{LF} ($10^{-8}m^3/kg$)	χ_{HF} ($10^{-8} m^3/kg$)	χ_{FD} (%)
ST 1.1 20 cm	12,23	3414,5	3293,5	3,54
ST 1.1 40 cm	12,92	3247,5	3114,1	4,11
ST 1.1 60 cm	13,15	3065,6	3042,2	4,09
ST 1.2 20 cm	12,71	2980,6	2770,3	7,06
ST 1.2 40 cm	12,79	3018,5	2805,4	7,06
ST 1.2 60 cm	13,23	2664,4	2491,5	6,49
ST 1.3 20 cm	12,29	760,4	687,7	9,56
ST 1.3 40 cm	12,90	1230,6	1112,4	9,61
ST 1.3 60 cm	13,07	1004,5	907,8	9,63
ST 1.4 20 cm	12,33	2098,3	1867,5	11,00
ST 1.4 40 cm	13,16	2277,1	2034,6	10,65
ST 1.4 60 cm	12,96	1539,4	1390,0	9,71
ST 1.5 20 cm	12,94	1966,2	1749,1	11,04
ST 1.5 40 cm	13,17	1691,1	1507,3	10,87
ST 1.5 60 cm	13,85	1480,0	1327,6	10,30
ST 1.6 20 cm	12,59	1770,3	1574,9	11,04
ST 1.6 40 cm	12,73	1162,0	1053,7	9,32
ST 1.6 60 cm	13,24	604,3	564,9	6,52

Tabel 2. Hasil pengukuran suseptibilitas magnetik stasiun 2.

Kode sampel	Massa Holder + Sampel (gram)	Nilai Suseptibilitas Magnetik		
		χ_{LF} ($10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$)	χ_{HF} ($10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$)	χ_{FD} (%)
ST 1.1 20 cm	12,70	109,8	104,3	5,01
ST 1.1 40 cm	13,17	137,9	131,9	4,35
ST 1.1 60 cm	12,82	157,2	151,5	3,63
ST 1.2 20 cm	13,01	149,5	144,7	3,21
ST 1.2 40 cm	12,88	125,9	120,6	4,21
ST 1.2 60 cm	13,10	154,4	150,9	2,27
ST 1.3 20 cm	13,25	157,7	153,8	2,47
ST 1.3 40 cm	12,76	250,5	247,5	1,20
ST 1.3 60 cm	12,81	148,2	142,8	3,64
ST 1.4 20 cm	13,15	165,3	162,2	1,88
ST 1.4 40 cm	12,98	146,0	140,6	3,70
ST 1.4 60 cm	13,13	237,1	231,2	2,49
ST 1.5 20 cm	13,13	207,0	203,2	1,84
ST 1.5 40 cm	13,16	181,8	176,3	3,03
ST 1.5 60 cm	13,22	342,6	332,8	2,86
ST 1.6 20 cm	13,13	307,5	298,2	3,02
ST 1.6 40 cm	13,08	338,8	330,3	2,51
ST 1.6 60 cm	12,70	109,8	104,3	5,01

4.2.2. Analisis Nilai XRF

Hasil pengukuran dengan menggunakan alat XRF memperoleh kadar unsur yang bervariasi. Unsur hara mikro adalah mineral-mineral logam yang berasosiasi dengan sifat kemagnetan batuan atau tanah, yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah sedikit atau sekitar 0.0025%. Meskipun demikian unsur hara mikro tetap memiliki peranan penting dalam pertumbuhan tanaman (Ulfa & Budiman, 2019).

Unsur hara mikro yang diperoleh setiap stasiun terdiri atas unsur Ni (Nikel), Co (Cobalt), Fe (Besi), Mn (Mangan), dan Ti (Titanium). Tampaknya ada konsistensi dengan yang ditemukan oleh Sinuraya, dkk. (2020) terhadap tingginya konsentrasi Ti pada perkebunan kelapa sawit di Riau.

Jika dilihat dari hasil pengukuran XRF **Tabel 3** dan **Tabel 4**, menunjukkan unsur hara mikro Ni (Nikel), Co (Cobalt), dan Ti (Titanium) memiliki kadar konsentrasi yang lebih tinggi di stasiun 1. Unsur Mn (Mangan) memiliki kadar konsentrasi yang cukup untuk kebutuhan tanaman dan memiliki kadar konsentrasi yang tinggi berada di stasiun 2.

Sedangkan unsur Fe (Besi) memiliki kadar konsentrasi yang berlebih pada kedua

stasiun, sehingga dapat dikatakan bahwa unsur hara pada tanah tidak dalam keadaan seimbang, semakin tinggi nilai Fe (Besi) dalam tanah maka semakin tinggi nilai suseptibilitas magnetiknya (Rangkuti & Budiman, 2019). Kekurangan unsur Mn (Mangan) akan menyebabkan daun muda menja diklorosis, dan mempertahankan keberadaannya mikro hara di dalam tanah dapat dilakukan melalui penambahan mikro hara melalui pemupukan (Gusti dkk., 2021).

Tabel 3. Hasil pengukuran X-Ray Fluorescence komposisi unsur hara mikro pada sampel tanah stasiun 1.

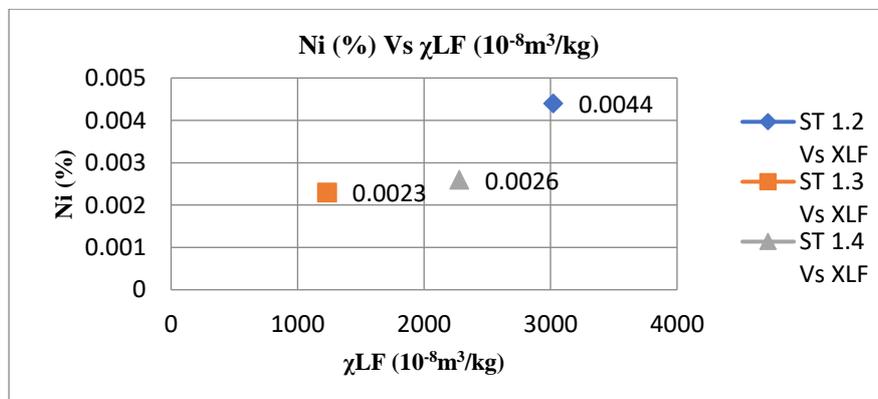
Unsur Hara	Kode Sampel / Stasiun		
	ST 1.2 40 cm	ST 1.3 40 cm	ST 1.4 40 cm
Ni (%)	0,0044	0,0023	0,0026
Co (%)	0,0261	0,0188	0
Fe (%)	2,6172	1,8832	2,3478
Mn (%)	0,0117	0,0203	0,0145
Ti (%)	0,8908	0,7762	0,9176

Tabel 4. Hasil pengukuran X-Ray Fluorescence komposisi unsur hara mikro pada sampel tanah stasiun 2.

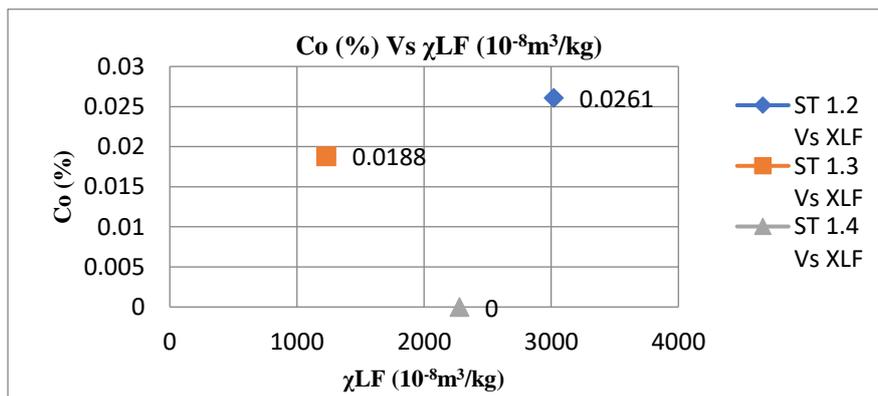
Unsur Hara	Kode Sampel / Stasiun		
	ST 2.2 20 cm	ST 2.3 60 cm	ST 2.4 40 cm
Ni (%)	0,004	0,0017	0,0106
Co (%)	0	0	0,0362
Fe (%)	2,5142	2,8009	2,0074
Mn (%)	0,0148	0,0252	0,0216
Ti (%)	0,7605	0,6384	1,1127

4.2.3. Analisis Hubungan Nilai Suseptibilitas Magnetik Terhadap Kesuburan Tanah

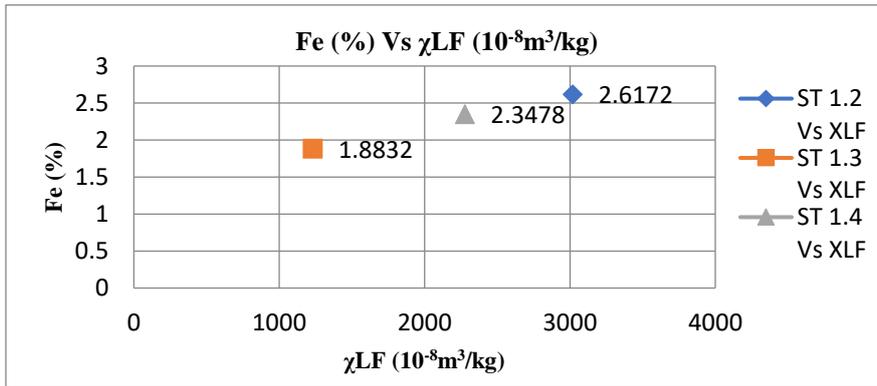
Berdasarkan **Gambar 3, 4, 5, 6,** dan **7** terlihat bahwa nilai suseptibilitas magnetik pada stasiun 1 menunjukkan frekuensi rendah (χ_{LF}) berkisar $604,3-3018,5(10^{-8}m^3/kg)$ dengan nilai frekuensi tinggi (χ_{HF}) berkisar $564,9-3292,5(10^{-8}m^3/kg)$ dan memiliki *frequency dependent susceptibility* (χ_{FD}) antara 4-11%. Sedangkan jika dilihat pada **Gambar 8, 9, 10, 11,** dan **12** terlihat bahwa nilai suseptibilitas magnetik pada stasiun 2 menunjukkan frekuensi rendah (χ_{LF}) berkisar $109,8-33,8(10^{-8}m^3/kg)$, dengan frekuensi tinggi (χ_{HF}) berkisar $104,3-330,3(10^{-8}m^3/kg)$, dan *frequency dependent susceptibility* (χ_{FD}) antara 1-5%.



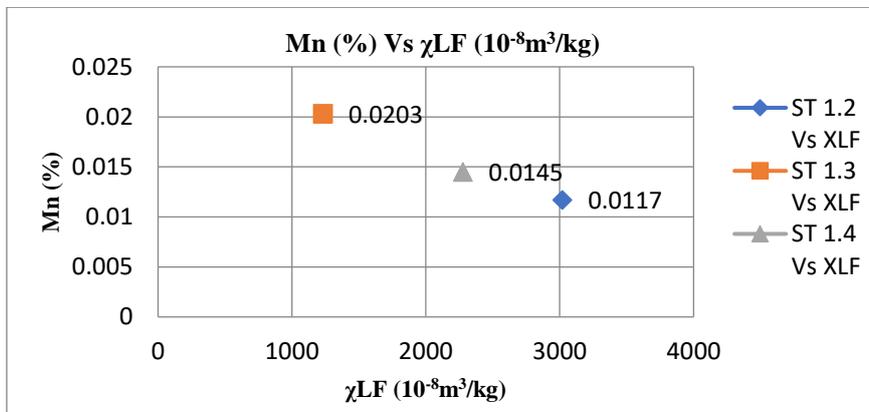
Gambar 3. Korelasi antara nilai(χ_{LF}) dan unsur Ni Stasiun1.



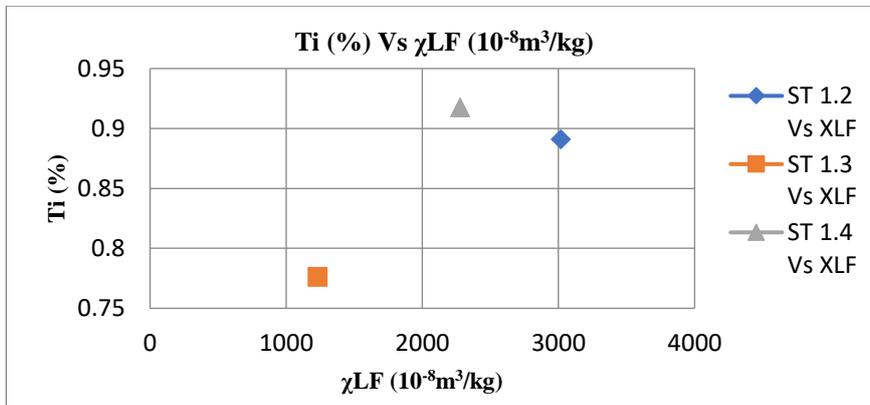
Gambar 4. Korelasi antara nilai(χ_{LF}) dan unsur Co Stasiun 1.



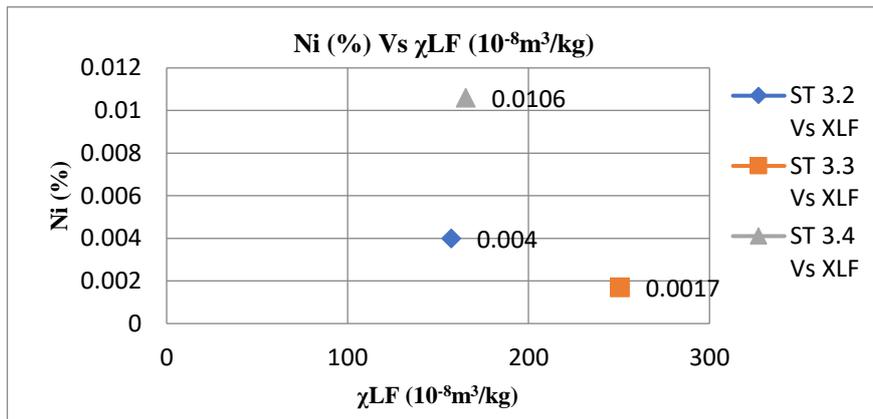
Gambar 5. Korelasi antara nilai(χ_{LF}) dan unsur Fe Stasiun 1.



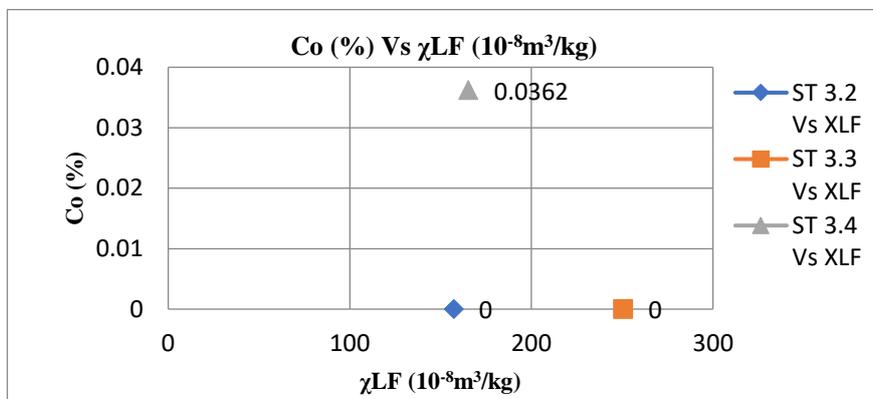
Gambar 6. Korelasi antara nilai(χ_{LF}) dan unsur Mn Stasiun 1.



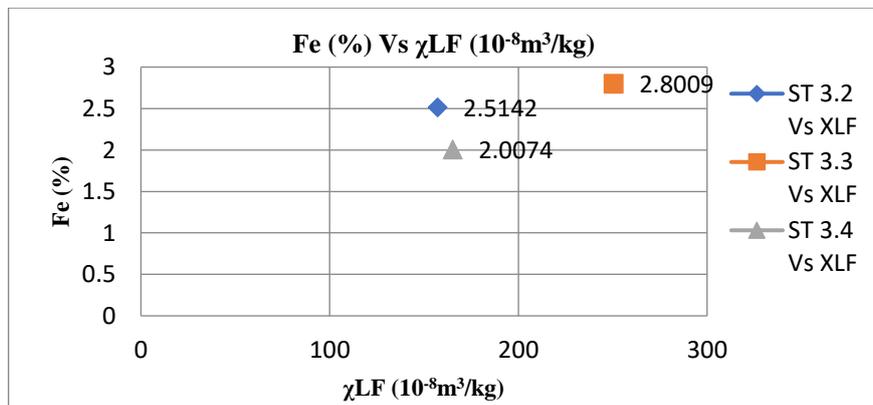
Gambar 7. Korelasi antara nilai(χ_{LF}) dan unsur Ti Stasiun 1.



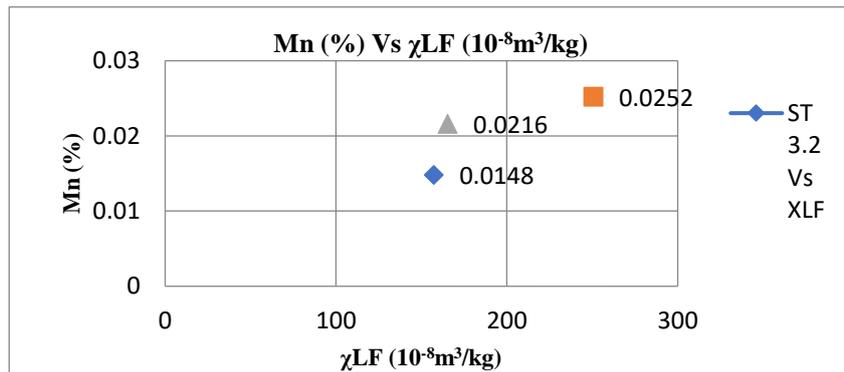
Gambar 8. Korelasi antara nilai (χ_{LF}) dan unsur Ni Stasiun 2.



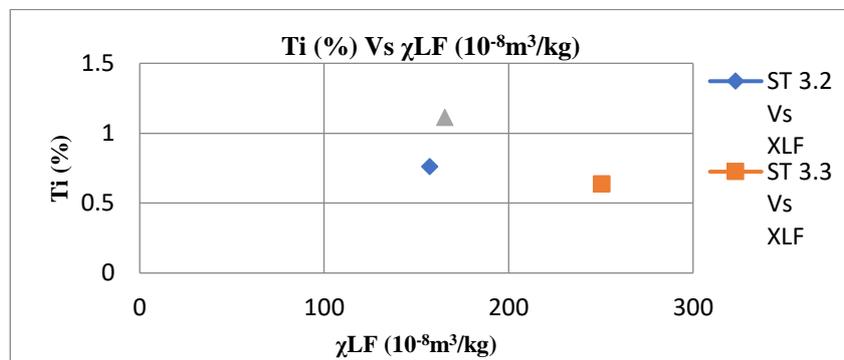
Gambar 9. Korelasi antara nilai (χ_{LF}) dan unsur Co Stasiun 2.



Gambar 10. Korelasi antara nilai(χ_{LF}) dan unsur Fe Stasiun 2.



Gambar 11. Korelasi antara nilai (χ_{LF}) dan unsur Mn Stasiun 2.



Gambar 12. Korelasi antara nilai (χ_{LF}) dan unsur Ti Stasiun 2.

Jika dilihat dari keberadaan bulir super-paramagnetik stasiun 1 lebih tinggi dibanding di stasiun 2. Keberadaan bulir super-paramagnetik pada tanah dapat diartikan bahwa keseluruhan tanah di stasiun 1 memiliki butiran yang halus. Semakin banyak bulir super-paramagnetik yang terkandung dalam tanah, semakin banyak butiran mineral halus yang dimiliki oleh tanah tersebut (Rangkuti & Budiman, 2019). Butiran halus pada stasiun 1 lebih banyak dibanding di stasiun 2 sehingga

penyerapan unsur hara di stasiun 1 lebih tinggi dibanding di stasiun 2. Sehingga lahan di stasiun 1 kekurangan unsur hara dan mengalami penurunan kesuburan tanah. Berdasarkan hasil pengukuran susceptibilitas magnetik dimana pada (Tabel 5) menunjukkan stasiun 1 dikontrol oleh mineral paramagnetik dan ferromagnetik. Sedangkan untuk stasiun 2 (Tabel 6) dikontrol oleh mineral diamagnetik, paramagnetik, dan ferromagnetik.

Tabel 5. Hasil pengukuran susceptibilitas magnetik dan X-Ray Fluorescence dan jenis mineral stasiun 1.

Kode Sampel	Konsentrasi Mineral			Jenis Mineral
	ST 1.2 40 cm	ST 1.3 40 cm	ST 1.4 40 cm	
Ni (%)	0,0044	0,0023	0,0026	Para-magnetik
Co (%)	0,0261	0,0188	0	Para-magnetik
Fe (%)	2,6172	1,8832	2,3478	Ferro-magnetik
Mn (%)	0,0117	0,0203	0,0145	Para-magnetik
Ti (%)	0,8908	0,7762	0,9174	Para-magnetik
χ_{LF} ($10^{-8}m^3/kg$)	3018,5	1230,6	22771,1	
χ_{HF} ($10^{-8}m^3/kg$)	2805,4	1112,4	2034,6	
χ_{FD} (%)	7,06	9,61	10,65	

Tabel 6. Hasil pengukuran susceptibilitas magnetik dan *X-Ray Fluorescence* dan jenis mineral stasiun 2.

Kode Sampel	Konsentrasi Mineral			Jenis Mineral
	ST 3.2 20 cm	ST 3.3 60 cm	ST 3.4 40 cm	
Ni (%)	0,004	0,0017	0,0106	Para-magnetik
Co (%)	0	0	0,0362	Diamagnetik
Fe (%)	2,5142	2,8009	2,0074	Ferro-magnetik
Mn (%)	0,0148	0,0252	0,0216	Para-magnetik
Ti(%)	0,7605	0,6384	1,1127	Para-magnetik
χ_{LF} ($10^{-8}m^3/kg$)	157,2	250,5	165,3	
χ_{HF} ($10^{-8}m^3/kg$)	151,5	247,5	162,2	
χ_{FD} (%)	3,63	1,20	1,88	

Unsur Fe (besi) terlihat melebihi kadar konsentrasi yang dibutuhkan sehingga dapat dikatakan bahwa unsur hara pada tanah tidak dalam keadaan seimbang. Oleh karena itu diperlukan pupuk urea untuk membantu menyediakan unsur hara makro seperti N, P, K agar ketersediaan unsur bagi tanaman dapat seimbang (Rangkuti & Budiman, 2019).

Analisa korelasi menunjukkan konsistensi secara teoretis bahwa ada kecenderungan naiknya nilai SM diikuti dengan naiknya konsentrasi hara mikro yang mengandung material magnetik pada sampel (Dearing, 1999). Jadi pemahaman hubungan antara bahan induk dan magnetik tanah dan sifat-sifat geokimia dapat memberikan informasi yang penting terhadap proses pelapukan yang bias mempengaruhi penggunaan lahan pertanian dan lingkungan (Camelo dkk., 2018).

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa:

- Hasil pengukuran susceptibilitas magnetik pada 36 sampel yang di uji menunjukkan nilai susceptibilitas magnetik tertinggi, berada pada stasiun 1 dengan nilai susceptibilitas magnetik frekuensi rendah (χ_{LF}) berkisar 604,3-3018,5 ($10^{-8}m^3/kg$) dengan nilai *frequency dependent susceptibility* (χ_{FD}) antara 4-11%. Stasiun 2 memiliki nilai susceptibilitas magnetik frekuensi rendah (χ_{LF}) berkisar 109,8-338,8 ($10^{-8}m^3/kg$), dengan nilai *frequency dependent susceptibility* (χ_{FD}) antara 1-5%. Stasiun 1 memiliki 75% bulir super-

paramagnetik yang diindikasikan kesuburan tanah telah menurun, sedangkan di stasiun 2 beberapa titik mengandung 10% bulir super-paramagnetik sehingga tanah pada stasiun 2 terbilang masih baik.

- Hasil pengukuran XRF memperoleh unsur mikro yang terdiri atas Ni, Co, Fe, Mn, dan Ti. Unsur Co masih kurang dari kadar konsentrasi yang dibutuhkan, unsur Mn terlihat cukup di stasiun 2 serta unsur Fe melebihi batas kadar konsentrasi yang dibutuhkan oleh tanaman. Kekurangan unsure mikro akan menyebabkan menurunnya hasil dan kualitas tanaman.
- Berdasarkan hasil pengukuran magnetik dan XRF menunjukkan stasiun 1 memiliki nilai susceptibilitas magnetik yang tinggi yang diakibatkan keberadaan unsure logam hasil dari pemupukan yang dilakukan secara terus-menerus, hal ini dapat di lihat dari hasil uji XRF. Sehingga hasil produksi di stasiun 1 lebih sedikit dibanding di stasiun 2.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada para pembimbing yang telah membimbing penulis dan pihak-pihak yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Almiati, R., & Agustin, S. (2017). Analisis Kesuburan Tanah dan Residu Pemupukan Pada Tanah Dengan Menggunakan Metode Kemagnetan Batuan. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, Vol 01. No 01.

- Allred, B.J., Adamchuk, V.I., Rossel, R.A.V., Doolittle, J., R.S., Freeland, Grote, K.R., & Corwin, D.L. (2016). Geophysical Methods. *Encyclopedia of Soil Science*, Third Edition. Doi: 10.1081/E-ESS3-120053754.
- Arifin, M., Putri, N. D., Sandrawati, A., & Harryanto, R. (2018). Pengaruh Posisi Lereng Terhadap Sifat Fisika dan Kimia Pada Inceptisols di Jatiningor. *Jurnal Soilrens*. Vol 15. No 1.
- Ayoubi S & Mirsaidi A. (2018). Magnetic Susceptibility of entisols and Aridisols Great Groups in Southeastern Iran. *Geoderma Regional* 16, doi:10.1016/j.geods.2018.e00202.
- Barrios, M.D.R., Junior, J.M., Matias, S.S.R., Panosso, A.R., Siqueira, D.S., & Junior, N.S. (2016). Magnetic Susceptibility as Indicator of Soil Quality in Sugarcane Fields. *Rev. Caatinga*, Vol.30, No. 2, p. 287-295.
- Bouhsana N., & Bouhlassa S. (2018). Assessing magnetic susceptibility profiles under different occupations. *International Journal of Geophysics*, vol. 2018, pp.1-8.
- Camelo, D. de L., Ker, J.C., Fontes, M.P.F., da Costa, A.C.S., Correa, M.M., & Leopold, M. (2018). Mineralogy, Magnetic Susceptibility and Geochemistry of Fe-rich Oxisols Developed from Several Parent Materials. *Sci. Agric*. Vol. 75, No.5, p. 410-419.
- Dearing, J. A. (1999). Environmental Magnetic Susceptibility Using the Bartington MS2 System. *British Library Cataloguing in Publication Data*, 2nd edition. ISBN 0 9523409 0 9.
- Gusti, R.E., Nelvia & Hamzah A. (2021). Micro Nutrient Content and Growth of Oil Palm (*Elaeis guinea* Jacq) Applied to Oil Palm Liquid Waste Using the Biopori Method. *Jurnal Agronomi Tanaman Tropika*, Vol. 3 No. 1, hal. 01-11.
- Harald, D.G. (2018). Gems and Pacers – A genetic relationship Par Excellence. *Minerals*, Vol. 8, No. 470, pp: 1-44.
- Hatauruk, M., & Sinuraya, S. (2020). Analisis Suseptibilitas Magnetik dan Kandungan Logam Berat Pada Tanah Perkebunan Kelapa Sawit. *Jurnal Fisika FMIPA*. Vol 17. No 2.
- Khairani, M., Eso, R., & Saifudin, L. O. (2020). Analisis Suseptibilitas Magnetik Tanah dan Laju Evapotranspirasi di Desa Ranohaa, Kecamatan Ranomeeto, Kabupaten Konawe Selatan. *Jurnal Penelitian Pendidikan Fisika*. Vol 5. No 3.
- Koorevaar, P., Menelik, G., & Dirksen, C. (1999). Fifth edition. Elsevier Sciences, p: 227.
- Ogeh, J. S. & Ipinmoroti, R. R. (2014). The Status of Micronutrient and Sulphur in Some Plantation Crops of Different Ages in an Alfisol in Southern Nigeria. *J Trop Soils*, Vol. 19, No. 2: 63-68
- Pierangeli, L.M.P., Silva, S.H.G., de Menezes, M.D., Marques, J.J., Weindorf, D.C., & Curi, N. (2020). Available Micronutrients Prediction in Tropical Soils Via Proximal Sensing and Terrain Analysis. (2020). Universidade Federal de Lavras, 61 p.
- Pinatih, I. D. A. S. P., Kusmiyarti, T. B., & Susila, K. D. (2015). Evaluasi Status Kesuburan Tanah Pada Lahan Pertanian di Kecamatan Denpasar Selatan. *Jurnal Agroteknologi Tropika*. Vol 4. No 4.
- Phogat, V.K., Tomar, V.S., & Dahiya, R. (2016) Soil Physics Properties, Chapter 6. CCS Haryana Agricultural University.
- Rangkuti, B. I., & Budiman, A. (2019). Analisis Suseptibilitas Magnetik Tanah Pada Lapisan Atas Sebagai Parameter Kesuburan Tanah Pada Lahan Pertanian. *Jurnal Fisika Unand*. Vol 8. No 2.
- Rusmana, E., Sukido., Sukarna, D., & Simandjuntak. T. O. (1993). *Peta Geologi Lembar Lasusua-Kendari Skala 1:250.000 Sulawesi*. Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Rolandi, F., & Budiman. A. (2019). Analisis Tingkat Kesuburan Tanah Melalui Nilai Suseptibilitas Magnetik Pada Lahan Persawahan Kecamatan Talang Kabupaten Solok. *Jurnal Fisika Unand*. Vol 8. No 3.
- Sasongko, P. E. (2010). Studi Kesesuaian Lahan Potensial Untuk Tanaman Kelapa Sawit di Kabupaten Blitar. *Jurnal Pertanian MAPETA*. Vol XII. No 2.
- Sudsiri, C.J., Jumba, N., Kongchana, P., & Ritchie, R. (2017). Stimulation of Oil Palm (*Elaeis guineensis*) seed Germination by Exposure to Electromagnetic Fields. *Scientia Horticulturae* 220, p. 66-77. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.036>.
- Surono (2013). *Geologi Lengan Tenggara Sulawesi, Edisi II*. Bandung: Publikasi Badan Geologi Kementerian ESDM.
- Ulfa, Y. S., & Budiman, A. (2019). Analisis Suseptibilitas Magnetik Tanah Pada Lahan Perkebunan Kopi di Kabupaten Solok. *Jurnal Fisika Unand*. Vol 8. No 3.
- Vi'egas, I. de J, M., Muller, A.A., Costa, M.G., de Olivera, & E. V. Ferreira. (2022). Determination of the Standard Leaf for Nutritional Diagnosis of Assai-plants. *Rev. Bras. Frutic*, Vol. 44, No. 3:(e-078). doi:<http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452022078>.

Zhuo, Z., Xing, A., Huang, Y., & Nie, C. (2019).
Spatio-mination of the Sat Soil-Available
Heavy Metal Micronutrients in Different

Agricultural Sub-Catchments. *Journal
Sustainability*. Vol 11. No 5912