

**ANALISIS KANDUNGAN LOGAM DAN UNSUR HARA PADA
TANAH ULTISOL MENGGUNAKAN X-RAY FLUORESCENCE
(XRF) DAN UJI LABORATORIUM**

SKRIPSI



LISA

F1C317020

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN MATEMATIKA DAN PENGETAHUAN ALAM**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JAMBI**

2023

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah.

Tanda tangan yang tertera dalam halaman pengesahan adalah asli. Jika tidak asli, saya siap menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Jambi, 20 Januari 2024

Yang menyatakan



RINGKASAN

Ultisol, jenis tanah luas di Indonesia, punya potensi bagi pertanian namun seringkali rendah produktivitasnya karena berbagai kendala. Di Provinsi Jambi, Ultisol termasuk tanah marginal dengan kesuburan rendah karena perubahan penggunaan lahan dan sifat fisik yang buruk. Sifat kimia tanah yang masam, rendahnya bahan organik, dan tingginya kandungan logam seperti Aluminium menjadi kendala utama bagi pertumbuhan tanaman. Penelitian ini menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) dan uji laboratorium untuk memahami korelasi antara kandungan logam, unsur hara, dan tingkat keasaman tanah Ultisol. Tujuannya adalah memperkaya pemahaman tentang kandungan logam tanah Ultisol dan memberikan informasi praktis kepada petani dalam mengelola lahan pertanian. Hasil penelitian menyatakan bahwa pada lokasi 1 (T1) dan 2 (T2), kandungan logam Al lebih tinggi dan kandungan Mg lebih rendah dibandingkan dengan lokasi 3 dan 4 karena lokasi 1 (perkebunan sawit) dan 4 (perkebunan sayuran) telah mengalami pengolahan dan pemupukan, berbeda dengan lokasi 2 dan 3 yang masih didominasi oleh hutan dan tanaman campuran dengan sebagian area masih merupakan hutan. Hasil pemodelan menunjukkan korelasi yang kuat antara nilai pH dan kandungan logam (0,938), unsur hara makro (0,934), serta unsur hara mikro (0,767). Korelasi ini menyarankan adanya hubungan yang signifikan antara nilai pH dengan keberadaan kandungan logam dan unsur hara, yang mungkin bisa menjadi model estimasi untuk "Parameter kesuburan tanah".

SUMMARY

Ultisols, a widespread soil type in Indonesia, have potential for agriculture but often have low productivity due to various constraints. In Jambi Province, Ultisols are marginal soils with low fertility due to land use change and poor physical properties. The acidic soil chemistry, low organic matter, and high content of metals such as Aluminum are the main constraints for plant growth. This study used X-Ray Fluorescence (XRF) and laboratory tests to understand the correlation between metal content, nutrients, and acidity of Ultisol soils. The goal is to enrich the understanding of Ultisol soil metal content and provide practical information to farmers in managing agricultural land. The results stated that in locations 1 (T1) and 2 (T2), the Al metal content was higher and the Mg content was lower compared to locations 3 and 4 because locations 1 (oil palm plantation) and 4 (vegetable plantation) had experienced processing and fertilization, in contrast to locations 2 and 3 which were still dominated by forests and mixed crops with some areas still being forests. Modeling results showed a strong correlation between pH values and metal content (0.938), macro-nutrients (0.934), and micro-nutrients (0.767). These correlations suggest a significant relationship between pH values and the presence of metals and nutrients, which may serve as an estimation model for "soil fertility parameters".

**ANALISIS KANDUNGAN LOGAM DAN UNSUR HARA PADA
TANAH ULTISOL MENGGUNAKAN X-RAY FLUORESCENCE
(XRF) DAN UJI LABORATORIUM**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar
Sarjana Program Studi Fisika



LISA
F1C317020

PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN MATEMATIKA DAN PENGETAHUAN ALAM

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JAMBI
2023

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul "ANALISIS KANDUNGAN LOGAM DAN UNSUR HARA PADA TANAH ULTISOL DENGAN MENGGUNAKAN X-RAY FLUORESCENCE (XRF) DAN UJI LABORATORIUM" yang disusun oleh LISA, NIM : F1C317020, telah dipertahankan di depan tim penguji pada bulan Desember 2023 dan dinyatakan lulus.

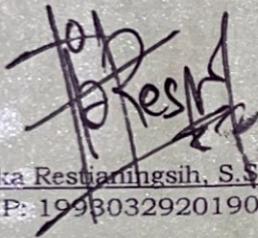
Susunan tim penguji :

Ketua : Tika Restianingsih, S.Si., M.Sc.
Sekretaris : Samsidar, S.Si., M.Si.
Anggota : 1. Frastica Deswardani, S.Si.,M.Sc.
2. Yoza Fendriani, S.Pd., M.Si.
3. Febri Berthalita Pujaningsih, S.Si., M.Si.

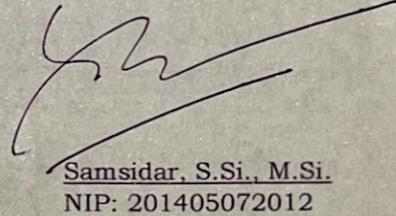
Disetujui:

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



Tika Restianingsih, S.Si., M.Sc.
NIP: 199303292019032032



Samsidar, S.Si., M.Si.
NIP: 201405072012

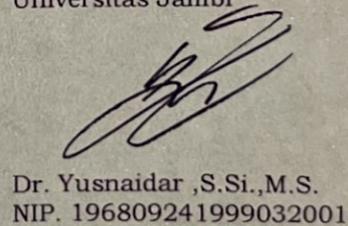
Diketahui:

Dekan
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Jambi

Ketua Jurusan MIPA,
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Jambi



Drs. Jefri Marzal, M.Sc., D.I.T.
NIP. 196806021993031004



Dr. Yusnaidar, S.Si., M.S.
NIP. 196809241999032001

RIWAYAT HIDUP



Lisa lahir di Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara pada tanggal 27 September 1999, sebagai anak ke enam dari tujuh bersaudara pasangan Bapak Tarman dan Ibu Lamiyah. Penulis memulai Pendidikan sekolah dasar di SD Negeri 189/I Olak Kemang, Kabupaten Batanghari Provinsi Jambi dan diselesaikan pada tahun 2011. Penulis melanjutkan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 9 Batanghari, Provinsi Jambi, yang diselesaikan pada tahun 2014, kemudian pada tahun 2017 penulis menyelesaikan Sekolah Menengah Atas yang ditempuh di SMA Negeri 7 Batanghari, Provinsi Jambi. Pada tahun 2017 penulis mendaftar sebagai mahasiswa Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis juga aktif mengikuti kegiatan keorganisasian kampus, seperti keikutsertaan dalam keanggotaan Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFIKA) periode 2019/2020 sebagai Sekretaris Umum II dan juga pada periode 2020/2021 sebagai Sekretaris Umum I, keikutsertaan dalam Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Fakultas Sains dan Teknologi periode 2018/2019. Serta mengikuti Program Kreativitas Mahasiswa atau PKM di bidang Gagasan Tertulis (GT).

Penulis mengakhiri masa studi di Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi dengan melaksanakan Magang di Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi Bandung. Setelah itu penulis menyusun tugas akhir dan skripsi yang dibimbing oleh ibu Tika Restianingsih, S.si., M.Sc selaku pembimbing utama, dan ibu Samsidar, S.Si., M.Si. selaku pembimbing pendamping dengan judul **“ANALISIS KANDUNGAN LOGAM DAN UNSUR HARA PADA TANAH ULTISOL DENGAN MENGGUNAKAN X-RAY FLUORESCENCE (XRF) DAN UJI LABORATORIUM”**.

PRAKATA

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan berkat, rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“ANALISIS KANDUNGAN LOGAM DAN UNSUR HARA PADA TANAH ULTISOL DENGAN MENGGUNAKAN X-RAY FLUORESCENCE (XRF) DAN UJI LABORATORIUM”**.

Dalam penyusunan skripsi ini, tidak sedikit hambatan dan halangan yang penulis hadapi baik dari luar maupun dari penulis sendiri, namun dengan adanya semangat dan dorongan serta dukungan dari berbagai pihak penulis dapat melewati masa tersebut dan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Drs. Jefri Marzal, M.Sc., D.I.T. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi.
2. Bapak Ir. Bambang Hariyadi, S.Si., M.Si. selaku Wakil Dekan Bagian Akademik, Kerjasama dan Sistem Informasi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi.
3. Ibu Dr. Yusnaidar, S.Si., M.S. Ketua Jurusan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi.
4. Ibu Nurhidayah, S.Pd., M.Sc. selaku Ketua Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi.
5. Ibu Tika Restianingsih, S.si., M.Sc dan Samsidar, S.Si., M.Si selaku pembimbing yang telah memberikan bantuan, arahan, dan saran dalam membimbing penulis selama melakukan penelitian sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
6. Ibu Frastica Deswardani, S.Si., M.Sc, Yoza Fendriani, S.Pd., M.Si, dan Febri Berthalita Pujaningsih, S.Si., M.Si selaku tim penguji skripsi yang telah memberikan saran serta koreksi kepada penulis dalam penyusunan skripsi untuk kemajuan dan perbaikan penulis sendiri.
7. Seluruh Bapak/Ibu dosen Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama perkuliahan.
8. Teristimewa untuk kedua orang tua, Bapak Tarman dan Ibu Lamiyah yang tercinta yang senantiasa selalu mendoakan, memberikan motivasi dan semangat serta pengorbanannya dalam mencukupi segala kebutuhan penulis selama studi. Skripsi ini menjadi salah satu bukti kerja keras kalian dan saya harap dapat menjadi suatu kebanggaan yang bisa saya berikan kepada kalian.

9. Kakak dari penulis Susi dan Yeti, Abang tersayang Wiwin, Alek dan David serta adik tercinta Ayu yang selalu mendukung dan memberikan *support* kepada penulis dalam menempuh pendidikan hingga saat ini.
10. Kakak ipar, Abang ipar, dan Keponakan yang selalu mendoakan dan memberi motivasi.
11. Selly Tri Daiana, Riska Ria Rahmania dan Atika Maulida yang telah menjadi sahabat, keluarga serta memberikan semangat dalam melakukan segala hal dan tindakan suka maupun duka selama masa perkuliahan.
12. Teman-teman seperjuangan Fisika 2017, yang penulis cintai yang telah bersama-sama melewati suka dan duka selama proses perkuliahan.
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga terselesaikannya skripsi ini.

Semoga semua pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, ilmu serta doa kepada penulis mendapatkan pahala serta ridho-Nya dan mendapatkan balasan yang berlipat ganda dari Allah SWT. Aamiin

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih sangat jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi semua pihak.

Jambi, Januari 2024

Penulis

LISA

F1C317020

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN	i
RINGKASAN	ii
SUMMARY	iii
PENGESAHAN	v
RIWAYAT HIDUP	vi
PRAKATA	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	7
1.1 Latar Belakang	7
1.2 Identifikasi Masalah	9
1.3 Rumusan Masalah	9
1.4 Tujuan Penelitian	9
1.5 Manfaat Penelitian	9
II. TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Tanah Ultisol	10
2.2 Metode <i>X-ray Fluorescence</i> (XRF)	12
2.3 Parameter pH Tanah	15
2.4 Kandungan Unsur Hara dan logam	15
2.5 <i>Machine learning</i>	17
2.6 Python	18
2.7 Uji Laboratorium P-Tersedia (Fosfor)	19
2.8 Uji Laboratorium C-Organik (<i>Carbon</i>)	20
2.9 Uji Laboratorium N-total (Nitrogen)	21
2.10 Regresi linier berganda	22
2.11 Teknik Sampling	24
III. METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	26
3.2 Alat dan Bahan	27
3.3 Prosedur Penelitian	27
3.4 Pengukuran dengan menggunakan <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	28
3.5 Pengukuran pH	28
3.6 Pengujian Laboratorium C-Organik	28
3.7 Pengujian Laboratorium P-Tersedia	29
3.8 Pengujian Laboratorium N-total	29

3.4	Analisis Data	29
3.5	Diagram Alir	31
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	32
	Posfor (P-tersedia)	33
	Karbon (C-organik)	33
	Nitrogen (N-total)	34
	Magnesium (Mg).....	35
	Kalsium (Ca)	36
	Sulfur (S)	36
	Kalium (K).....	36
	Besi (Fe).....	37
	Aluminium (Al).....	38
	Khlor (Cl)	38
	Galium (Ga)	38
	Zirkonium (Zr)	39
	Rodium (Rh).....	39
	Tantalum (Ta)	39
	Mangan (Mn).....	39
	Silikon (Si)	40
	Titanium (Ti)	40
	Zinc (Zn)	41
	Nikel (Ni).....	41
	Kromium (Cr).....	41
	Vanadium (V).....	41
	Parameter pH.....	42
	Korelasi pH, Unsur logam, dan Unsur Hara (Makro dan Mikro)	43
BAB V	PENUTUP	48
5.1	Kesimpulan.....	48
5.2	Saran.....	48
DAFTAR	PUSTAKA	49
LAMPIRAN	.....	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kriteria nilai kandungan P-tersedia tanah	20
Tabel 2. 2 Kriteria nilai kandungan C-Organik tanah	21
Tabel 2. 3 Kriteria nilai kandungan N-total tanah	22
Tabel 3. 1 Alat dan Bahan Penelitian.....	27
Tabel 3. 2 Uji Laboratorium N, P dan C	30
Tabel 3. 3 Uji Kandungan Logam.....	30
Tabel 3. 4 Uji Laboratorium pH	30
Tabel 4. 1 Distribusi kandungan logam, unsur hara dan pH pada lokasi yang berbeda.....	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Profil tanah	11
Gambar 2. 2 Alat X-Ray fluorescence (XRF).....	14
Gambar 2. 3 Prinsip kerja XRF	14
Gambar 2. 4 Proses X-ray fluorescence (XRF).....	15
Gambar 3. 1 Peta Lokasi Pengambilan Sampel.....	27
Gambar 4. 1 Unsur hara makro (P-tersedia, N-total, dan C-organik).....	33
Gambar 4. 2 Grafik Unsur hara makro (Mg, Ca, S dan K).....	36
Gambar 4. 3 Grafik unsur hara mikro (Fe, Al, dan Cl)	38
Gambar 4. 4 Grafik Unsur hara mikro (Ga, Zr, Rh, dan Ta)	39
Gambar 4. 5 Grafik Unsur hara mikro (Mn, Si, dan Ti)	40
Gambar 4. 6 Grafik Unsur hara mikro (Zn, Ni, Cr, dan V).....	41
Gambar 4. 7 Grafik Parameter pH.....	43
Gambar 4. 8 Regresi Linier pH terhadap unsur Logam.....	45
Gambar 4. 9 Peta Sebaran Korelasi pH terhadap unsur Logam	45
Gambar 4. 10 Regresi Linier pH terhadap Unsur Hara Makro	46
Gambar 4. 11 Peta Sebaran Korelasi pH dengan Unsur Hara Makro.....	47
Gambar 4. 12 Regresi Linier pH terhadap unsur Hara Mikro.....	47
Gambar 4. 13 Peta Sebaran Korelasi pH dengan Unsur Hara Mikro.....	48

I.PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ultisol merupakan salah satu jenis tanah di Indonesia yang menempati areal yang sangat luas yaitu sekitar 45.794.000 hektar yang meliputi 25% dari daratan Indonesia. Jenis tanah Ultisol mempunyai potensi besar untuk digunakan dalam pengembangan lahan pertanian, namun tidak diikuti oleh produktivitas yang tinggi karena adanya beberapa kendala dalam usaha pemanfaatannya untuk meningkatkan produksi pangan. (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006). Lahan marginal di Provinsi Jambi tergolong ke dalam kelas yang kurang menguntungkan, padahal memiliki luasan yang cukup besar. Umumnya lahan ini tergolong jenis tanah Podsolik Merah Kuning (Ultisol) ataupun Latosol (Oxisol). Namun yang tergolong ordo Ultisol merupakan luasan yang paling besar di Jambi.

Menurut Abdurachman (1992), luasannya mencapai 54,46% dari seluruh wilayah provinsi Jambi yaitu sekitar \pm 2.72.633 ha. Tanah ultisol termasuk salah satu tanah yang tergolong marginal, yaitu tanah yang kehilangan kemampuan untuk mendukung proses fisiologis tumbuhan. Lahan marginal Ultisol di Jambi dibatasi oleh tingkat kepekaan erosinya yang tinggi serta sifat-sifat fisiknya yang jelek. Kondisi fisik tersebut mempunyai tingkat kesuburan dan produktifitas lahan yang rendah. Penurunan kandungan bahan organik tanah umumnya disebabkan oleh perubahan penggunaan lahan dari hutan alami menjadi lahan-lahan pertanian, rendahnya masukan bahan organik pada lahan-lahan pertanian (Dechert et al., 2004). Gambaran keadaan kesuburan tanah Ultisol dapat dilihat dari masalah keasaman tanah dan hasil analisis unsur hara tanah.

Kendala yang dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman pada tanah Ultisol, salah satunya terdapat pada sifat kimia tanah seperti reaksi tanah masam hingga sangat masam (pH 3,10 - 5), C-organik rendah sampai sangat rendah (0,13% - 1,12%), N-total rendah (0,09 - 0,18%) yang bersifat beracun untuk tanaman, kapasitas tukar kation (KTK) dan jenuh basa (KB) rendah hingga sangat rendah (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006). Reaksi tanah menunjukkan sifat kemasaman tanah atau alkalitas tanah yang dinyatakan dengan nilai pH. Nilai pH menunjukkan banyaknya konsentrasi ion H⁺ (hidrogen) dalam tanah. Semakin tinggi kadar ion H⁺ di dalam tanah, maka semakin masam tanah tersebut. Nilai pH berkisar antara 0 - 14 dengan pH = 7 adalah netral, sedangkan pH kurang dari 7 adalah masam dan pH lebih dari 7 adalah basa.

Umumnya unsur hara mudah diserap oleh akar tanaman pada keadaan pH netral karena pada pH tersebut sebagian besar unsur hara dapat larut dalam

air. Mengingat besarnya pengaruh pH terhadap pertumbuhan tanaman, Maka pH tanah juga menunjukkan keberadaan unsur-unsur yang bersifat racun bagi tanaman. Pada tanah masam banyak ditemukan unsur aluminium yang bersifat racun. Aluminium merupakan salah satu kandungan logam pada tanah tanah. Ultisol dapat memiliki kejenuhan Aluminium lebih dari 30% sehingga sangat berpeluang menimbulkan fitotoksisitas atau keracunan Aluminium bagi tanaman. Gejala umum fitotoksisitas Aluminium adalah hambatan pertumbuhan akar (Yang dan Horst, 2015). Setiadi (2012), menambahkan bahwa kandungan Al lebih dari 3 me/100 gr akan menyebabkan kerusakan akar yang ditandai dengan keritingnya akar tanaman (*curly root*).

Ultisol merupakan tanah yang miskin kandungan hara terutama P dan kation-kation dapat ditukar seperti Ca, Mg, Na, dan K, kadar Al tinggi, kapasitas pertukaran kation rendah, berpotensi keracunan Al dan miskin kandungan bahan organik serta peka terhadap erosi (Adiningsih dan Mulyadi, 1993). Oleh karena itu, semakin banyak keberadaan ion-ion tersebut maka semakin tinggi kekuatan tanah untuk menyerap unsur hara seperti fosfor. Ini menyebabkan fosfor tidak tersedia bagi tanaman dan menyebabkan unsur hara tanah sangat menurun. Berdasarkan penelitian terdahulu oleh Rajmi, et al., (2018) yang dilakukan di Universitas Jambi menunjukkan bahwa nilai P-tersedia tergolong sangat rendah. Hal ini dikarenakan umumnya Ultisol memiliki sumber P yang berasal dari pelapukan mineral sumber P yang sudah rendah. Sehingga sangat mempengaruhi pada kesuburan tanah yang dijadikan lahan pertanian maupun hutan.

Metode yang dapat digunakan untuk menganalisis kandungan unsur logam pada tanah yaitu Metode *Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectroscopy* (ICP-OES), *X-Ray Fluorescence* (XRF), *Titration* oksidimetri, dan *Atomic absorption spectroscopy* (AAS). Namun pada penelitian ini salah satu metode yang digunakan ialah metode XRF. XRF adalah metode analisis yang cepat, tidak merusak sampel, dan ramah lingkungan dengan ketelitian dan kemampuan reproduksibel yang sangat tinggi. XRF merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui kandungan unsur dan presentase dalam suatu material. Penggunaan metode XRF dalam penelitian ini berdasarkan pertimbangan bahwa teknik ini mempunyai batas deteksi hingga satuan ppm (*part per million*) (Fitri, 2016).

Penelitian ini dilakukan dengan mengkarakterisasi menggunakan XRF untuk melihat kandungan logam dan uji laboratorium (P-tersedia, C-organik, N-total, dan pH) untuk melihat hara tanah dan nilai pH tanah dengan selanjutnya dilakukan analisis terhadap hasil yang didapat. Metode XRF mempunyai beberapa keuntungan diantaranya *multielemental* (dapat mendeteksi berbagi

macam material), analisisnya cepat dan hasil analisisnya bersifat kualitatif dan kuantitatif. Berdasarkan uraian diatas maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang analisis kandungan logam tanah Ultisol dengan menggunakan XRF.

1.2 Identifikasi Masalah

Perlu adanya informasi kandungan logam untuk mengetahui unsur hara tanah yang tepat pada pelaku pertanian agar pengambilan keputusan dapat dilakukan dengan baik. Saat ini petani sering kali mengambil keputusan atas dasar estimasi untuk memaksimalkan produksi pertanian, misal perlu atau tidaknya tindakan pemupukan dilakukan dan seberapa besar kebutuhan pupuk. Untuk menjawab kebutuhan petani dilakukan pengukuran kandungan logam pada tanah Ultisol dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence*, dan dilakukan pengujian laboratorium unsur hara dan tingkat keasaman (pH) tanah agar dapat dijadikan lahan-lahan pertanian dengan baik.

1.3 Rumusan Masalah

Adapun yang menjadi rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana nilai persentase kandungan logam tanah Ultisol dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* ?
2. Bagaimana kandungan unsur hara tanah Ultisol dengan menggunakan Uji Laboratorium (P-tersedia, C-organik, dan N-total)?
3. Bagaimana korelasi antara kandungan logam, kandungan hara dengan tingkat keasaman (pH) tanah pada lahan tanah Ultisol?

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui kandungan logam tanah Ultisol dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence*.
2. Untuk mengetahui unsur hara pada tanah Ultisol dengan menggunakan Uji Laboratorium (P-tersedia, C-organik, dan N-total).
3. Untuk mengetahui hubungan kandungan logam, kandungan hara dengan tingkat keasaman (pH) tanah Ultisol.

1.5 Manfaat Penelitian

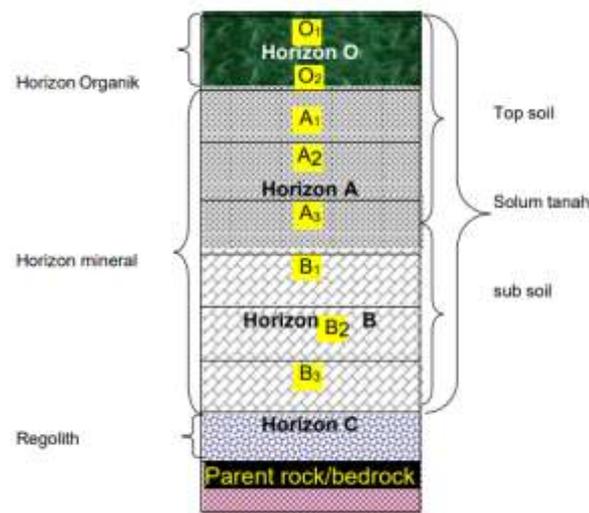
Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya teori tentang pengukuran kandungan logam tanah Ultisol untuk mengetahui unsur hara tanah dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF).
2. Memberikan informasi hubungan kandungan logam tanah Ultisol dengan tingkat keasaman (pH) tanahnya terhadap unsur hara dan kesuburan tanah lahan pertanian kepada pelaku pertanian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Ultisol

Tanah merupakan bagian lapisan permukaan bumi yang paling luar sebagai tempat tumbuhnya tanaman. Pembentukan tanah dipengaruhi oleh lima faktor yang bekerja sama dalam berbagai proses, baik secara fisik maupun kimia. Tanah mengandung unsur hara yang dapat membantu menyuburkan tanaman. Ultisol merupakan tanah masam yang telah mengalami pencucian basa-basa yang intensif dan umumnya dijumpai pada lingkungan dengan drainase baik. Tanah Ultisol umumnya mempunyai nilai kejenuhan basa <35%, karena batas ini merupakan salah satu syarat untuk klasifikasi tanah Ultisol menurut *Soil Taxonomy* (Hermawan et al., 2014). Kesuburan Ultisol sering ditentukan oleh kandungan bahan organik pada lapisan atas (*top soil*), apabila *top soil* tererosi maka tanah kekurangan bahan organik dan unsur hara (Prasetyo dan Suridakarta, 2006).



Gambar 2. 1 Profil tanah (sumber: Nugraha dan Nasrudin, 2020)

Pembentukan horizon tanah meliputi :

1. Horizon Organik, adalah lapisan tanah yang sebagian besar terdiri dari bahan organik, baik masih segar maupun sudah membusuk, terbentuk paling atas di atas horizon mineral.
2. Horizon Mineral, adalah lapisan tanah yang sebagian besar mengandung mineral, terbentuk pada horizon A dan B, di atas sedikit horizon C. Horizon ini memiliki ciri sebagai berikut :
 - a. Akumulasi basa, lempung besi, aluminium, dan bahan organik. Terdapat residu lempung karena larutnya karbonat dan garam-garam.
 - b. Hasil perubahan (alterasi) dari bahan asalnya.

- c. Berwarna kelam.
 - d. Teksturnya berat dan strukturnya lebih rapat.
3. Regolith, adalah lapisan batuan yang cukup besar yang terbentuk oleh pelapukan batuan induk, sementasi, gleisasi, sedimentasi, dan sebagainya.
 4. Lapisan O₁, adalah lapisan tanah yang mayoritas berwarna kehitaman sesuai dengan vegetasi penutup (pengaruh dari humus). Sering juga dengan bahan asal, misalnya tulang daun, batang, sisa tubuh hewan. Lapisan ini dinamakan juga lapisan mulsa.
 5. Lapisan O₂, lapisan tanah sisa organisme yang terurai melalui pelapukan sehingga tidak seutuhnya menampilkan lagi bahan asalnya. Lapisan ini disebut juga lapisan humus.
 6. Lapisan A₁, lapisan tanah yang strukturnya lemah, warna bagian atas masih tersamar-samar dipengaruhi kandungan lapisan organik dan kandungan mineral masih campur dengan bahan organik.
 7. Lapisan A₂, lapisan tanah yang sudah ditemukan mineral silika tanah (kuarsa SiO₂). Tanah agak gumpal, warna cerah (kepuatan) karena mineral terlarut ke bawah, tekstur kasar, struktur lebih longgar. Lapisan ini disebut horizon eluviasi, artinya banyak mengalami pencucian (pada musim hujan air yang meresap ke dalam tanah melarutkan mineral).
 8. Lapisan B₁, horizon peralihan dimana mineral-mineral bahan induk masih nampak dan pencucian masih kecil.
 9. Lapisan B₂, horizon yang paling maksimal, karena terjadi akumulasi Fe + Mg + Al. Tekstur halus (berat), struktur gumpal (paling padat), dan warna coklat-merah.
 10. Lapisan B₃, horizon peralihan dari B ke C atau R. Butir-butir mineral dari batuan induk masih nampak (percampuran antara B dengan C).
 11. Lapisan C, horizon mineral bukan dalam bentuk batuan, tetapi tersusun bahan-bahan tersendiri dan relatif tidak terpengaruh oleh proses perkembangan tanah.
 12. Lapisan R, lapisan yang belum terurai, masih dalam bentuk batuan induk (asli) yang disebut juga *parent rock* atau *bedrock*.
 13. Top Soil, lapisan tanah paling atas yang subur dan banyak mengandung bahan organik.
 14. Sub Soil, lapisan tanah di bawah lapisan organik dan memiliki profil yang masih jelas dan yang belum berkembang.
 15. Solum tanah, tubuh tanah yang mengalami perkembangan secara genetik. Tubuh tanah meliputi lapisan organik sampai di atas lapisan C. (Nugroho dan Nasrudin, 2020).

Di tanah masam seperti tanah Ultisol keberadaan konkresi besi lebih banyak ditemukan. Konkresi besi dapat menyebabkan tingginya daya serap tanah. Semakin banyak keberadaan konkresi besi maka semakin tinggi kekuatan tanah untuk menyerap unsur hara seperti fosfor (P). Sehingga menyebabkan P tidak tersedia bagi tanaman. Ketersediaan unsur P dalam tanah sangat dipengaruhi oleh tingkat keasaman tanah, yaitu apabila keasaman tanah tinggi maka misel tanah larut lebih banyak sehingga cenderung untuk mengikat P (Kuswandi, 1993). Tekstur tanah Ultisol bervariasi dan dipengaruhi oleh bahan induk tanahnya. Tanah Ultisol dari granit yang kaya akan mineral kuarsa umumnya mempunyai tekstur yang kasar seperti liat berpasir. Sedangkan tanah Ultisol dari batu kapur, batu andesit, dan tufa cenderung mempunyai tekstur yang halus seperti liat dan liat halus (Subardja, 1986).

Menurut Darmawati (1997), tanah Ultisol merupakan tanah masam yang telah mengalami pelindian hebat (*highly leached*) sehingga memiliki tingkat kesuburan yang rendah dengan warna kelabu cerah sampai kekuningan. Kendala umum yang dihadapi pada Ultisol adalah pH tanah rendah, unsur hara rendah dan kandungan logam yang berlebih, merupakan faktor penghambat utama dalam pertumbuhan tanaman. Tanah ultisol mempunyai potensi yang besar untuk pengembangan pertanian lahan kering. Namun dalam pemanfaatannya Ultisol memiliki beberapa kendala salah satunya pada sifat fisik tanah. Ultisol memiliki kandungan hara yang rendah karena pencucian basa berlangsung intensif serta bahan organik yang rendah karena proses dekomposisi berjalan cepat dan sebagian terbawa erosi sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada tanah.

2.2 Metode X-ray Fluorescence (XRF)

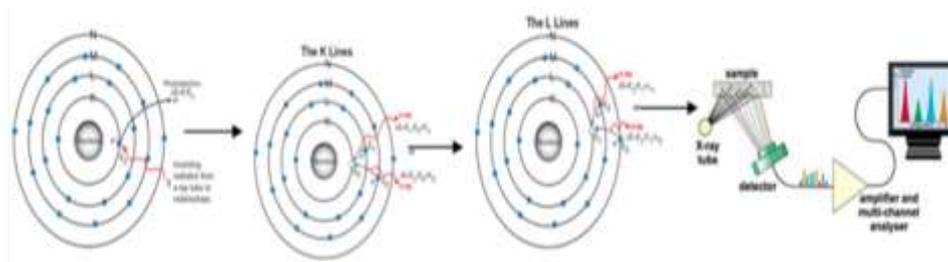
X-Ray Fluorescence merupakan teknik analisa non-destruktif yang digunakan untuk identifikasi serta penentuan konsentrasi elemen yang ada pada padatan, bubuk ataupun sampel cair. XRF merupakan suatu teknik penginderaan pada tanah tanpa merusak sampel yang dapat memberikan informasi kandungan unsur logam pada tanah. Metode ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan menentukan konsentrasi senyawa dalam sampel dengan mengukur intensitas karakteristik emisi. Teknik pengukuran XRF telah dilakukan dengan perbandingan menggunakan Vis-NIR, kedua hasil pengukuran tersebut dibentuk model prediksi sebagai kalibrasi model sensor yang akan dirancang. Penilaian kesuburan tanah penting dilakukan untuk mengukur sejauh mana kapasitas tanah dalam memasok nutrisi ke tanaman, penggunaan pXRF dengan sampel tanah bagian permukaan (*top*) dan bagian dalam (*sub*) telah berhasil dilakukan

dengan menggunakan regresi linier berganda dimana akurasi dari pengukuran sebesar 86% (Teixeria *et al.*, 2020).



Gambar 2. 2 Alat X-Ray fluorescence (XRF) (sumber : Viklund, 2008).

XRF dihasilkan oleh penyinaran materi dengan sinar-X primer. Elektron dari kulit energi terdalam biasanya K, L, dan M dari atom-atom dikosongkan dan diisi dengan elektron dari kulit energi terluar (energi lebih rendah), yaitu kulit atom dengan pancaran spektrum sinar-X *fluorescence* tergantung pada energi ikatan inti atom dan elektron. Jadi intensitas sinar-X *fluorescence* tergantung nomor atom. Pengertian sinar X atau yang juga sering disebut sinar *rotgen* adalah salah satu bentuk dari radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang berkisar antara 10 *nanometer* ke 100 *picometer* (mirip dengan frekuensi dalam jangka 30 PHz to 60 EHz). Sinar-X umumnya digunakan dalam diagnosis gambar medikpal dan *Kristalografi* sinar-X. Sinar-X adalah bentuk dari radiasi ion dan dapat berbahaya (Umar, 2003).

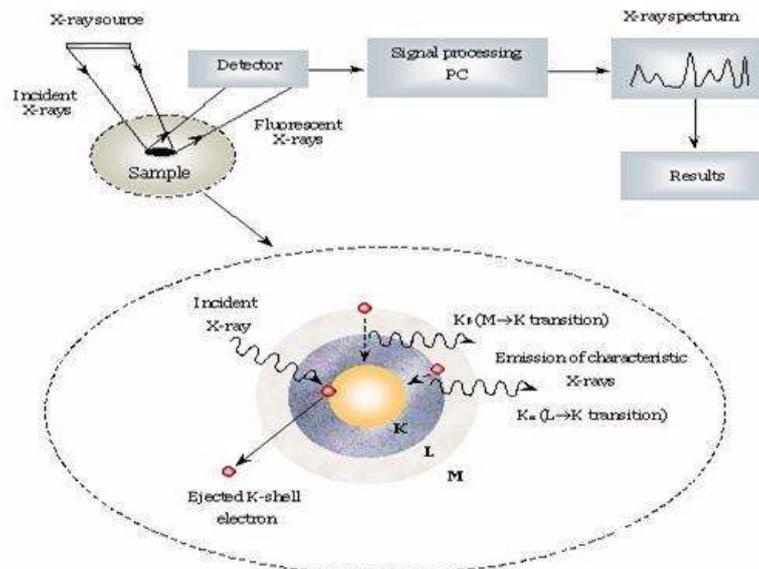


Gambar 2. 3 Prinsip kerja XRF (sumber: Gosseau, 2009).

Metode XRF secara luas digunakan untuk menentukan komposisi unsur suatu material. XRF sangat cocok untuk penyelidikan yang melibatkan analisis kimia unsur utama (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P) dalam batuan dan sedimen, dan analisis kimia elemen sebagian besar (> 1 ppm; Ba, Ce, Co, Cr, Cu, Ga, La, Nb, Ni, Rb, Sc, Sr, Rh, U, V, Y, Zr, Zn) dalam batuan dan endapan. Karena metode ini cepat dan tidak merusak sampel, metode ini dipilih untuk aplikasi dilapangan dan industri untuk kontrol material. Tergantung pada penggunaannya, XRF dapat dihasilkan tidak hanya oleh sinar-X tetapi juga

sumber eksitasi primer yang lain seperti partikel alfa, proton atau sumber elektron dengan energi yang tinggi (Viklund, 2008).

Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi akibat fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target pada sampel terkena sinar berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X). Prinsip dasar X-ray fluorescence (XRF) adalah sinar-X akan mengeluarkan elektron yang terdapat pada kulit bagian paling dalam (misalnya kulit K) dalam suatu atom, dan menyebabkan kekosongan elektron pada bagian ini, sehingga elektron pada kulit yang lebih luar (misalnya kulit L, M, N) akan mengisi kekosongan elektron pada kulit bagian dalam yang menyebabkan pelepasan energi berupa energi foton atau memancarkan sinar X (Girard, 2010).



Gambar 2. 4 Proses X-ray fluorescence (XRF) (sumber Girard, 2010).

Sinar X dari tube sinar X (atau sumber isotop) akan mengenai sampel. Dalam sampel akan terjadi pelepasan elektron pada kulit K, dan elektron dari kulit L dan M akan mengisi kekosongan elektron pada kulit K yang akan memancarkan sinar X. Sinar X dari sampel akan dikirim ke detektor, yang akan didinginkan baik secara elektrik atau dengan cairan nitrogen. Sinyal dari detektor akan diproses oleh elektronik dan dikirim ke pc komputer yang kemudian akan ditampilkan dalam bentuk spektrum (Girard, 2010).

Selain unsur hara, tingkat kesuburan tanah dapat dilihat dengan kapasitas tukar kation (KTK), penggunaan *X-ray Fluorescence* (pXRF) dan Spektroskopi Pantulan Inframerah (Vis-NIR) digunakan untuk mengukur KTK. Dari perkembangan teknologi yang ada maka penggunaan *X-ray Fluorescence* (XRF) dapat digunakan dalam penentuan tingkat kesuburan tanah mulai dari

estimasi model kandungan hara, pH dan Kapasitas Tukar Kation (KTK). Model prediksi yang dihasilkan dari pengukuran *X-ray* dapat digunakan sebagai data base sensor. Untuk itu penggunaan XRF baik secara langsung maupun pengembangan dengan inovasi instrument portable pXRF dapat menghasilkan pengukuran tingkat kesuburan tanah dengan tingkat akurasi 80% (Gosseau, 2009) .

2.3 Parameter pH Tanah

Reaksi tanah menunjukkan sifat kemasaman atau alkalitas tanah yang dinyatakan dengan nilai pH. Nilai pH menunjukkan banyaknya konsentrasi ion hidrogen H^+ di dalam tanah. Makin tinggi kadar ion H^+ di dalam tanah, maka semakin masam tanah tersebut. Di dalam tanah selain H^+ dan ion-ion lain ditemukan pula ion OH^- , yang jumlahnya berbanding terbalik dengan ion H^+ . pada tanah-tanah yang masam ion H^+ lebih tinggi daripada OH^- , sedangkan pada tanah alkalis kandungan ion OH^- lebih tinggi daripada ion H^+ . bila kandungan H^+ sama dengan OH^- maka tanah bersifat netral yaitu mempunyai nilai pH 7. Kemasaman tanah terdapat pada daerah dengan curah hujan tinggi, sedangkan pengaruhnya sangat besar pada tanaman, sehingga kemasaman tanah harus diperhatikan karena merupakan sifat tanah yang sangat penting (Buckman dan Brady, 1982).

Nilai pH tanah dipengaruhi oleh sifat misel dan macam kation yang komplisit antara lain kejenuhan basa, sifat misel dan macam kation yang terserap. Semakin kecil kejenuhan basa, maka semakin masam tanah tersebut dan pH nya semakin rendah. Sifat misel yang berbeda dalam mendisosiasikan ion H^+ beda walau kejenuhan basanya sama dengan koloid yang mengandung Na lebih tinggi mempunyai pH yang lebih tinggi pula pada kejenuhan basa yang sama (Pairunan, dkk, 1985). Pada reaksi tanah yang netral, yaitu pH 6,5 - 7,5 maka unsur hara tersedia dalam jumlah yang cukup banyak (optimal). Pada pH tanah kurang dari 6,0 maka ketersediaan unsur-unsur fosfor, kalium, belerang, kalsium, magnesium dan molibdium menurun dengan cepat. Sedangkan pH tanah lebih besar dari 8,0 akan menyebabkan unsur-unsur nitrogen, besi, mangan, borium tembaga dan seng ketersediannya relatif jadi sedikit. Tekstur tanah berpengaruh terhadap mudah tidaknya pH dapat diubah. Tanah liat lebih sukar dinetralkan dari pada tanah pasir karena memiliki lebih banyak luas permukaan untuk diabsorpsi, memegang dan mensuplai ion-ion Hidrogen di dalam tanah (Foth, 1994).

2.4 Kandungan Unsur Hara dan logam

Tanaman memerlukan unsur hara yang lengkap agar dapat tumbuh dengan baik dan menghasilkan produk yang berkualitas. Pemenuhan unsur hara

kebutuhan tanaman merupakan hal yang mutlak dilakukan, karena ketersediaan unsur hara di alam sangat terbatas, dan semakin berkurang karena telah terserap oleh tanaman. Ultisol merupakan tanah yang miskin kandungan unsur hara terutama P dan kation-kation dapat ditukar seperti Ca, Mg, Na, dan K, kadar Al tinggi, kapasitas pertukaran kation rendah, berpotensi keracunan Al dan miskin kandungan bahan organik serta peka terhadap erosi (Adiningsih dan Mulyadi, 1993).

Ultisol merupakan tanah yang mengalami pelindian hara yang tinggi, sehingga dapat melindungi kation-kation basa dan bahan organik. Menurut Brady dan Weil (2002), penyerapan hara kedalam jaringan perakaran terdapat tiga mekanisme yaitu intersepsi akar, merupakan proses pergerakan unsur hara dengan bersinggungan langsung antara hara dalam bentuk ion dengan permukaan perakaran. Ion akan terserap kemudian terjadi pertukaran secara langsung (*contact exchange*). Aliran masa (*mass flow*), merupakan pergerakan unsur hara yang terbawa langsung dengan media cairan sehingga hara akan larut dalam konsentrasi media cairan. Difusi (*diffusion*) yaitu ion yang bergerak dari wilayah yang memiliki tekanan konsentrasi tinggi konsentrasi rendah. Mekanisme ini sangat penting bagi unsur yang berinteraksi dengan tanah dan akar tanaman untuk mendukung pertumbuhan tanaman.

Pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya ialah tersedianya unsur hara untuk tanaman tersebut, baik unsur hara makro maupun unsur hara mikro. Tanah sebagai medium pertumbuhan tanaman berfungsi pula sebagai pemasok unsur hara, kandungan unsur hara dalam tanah dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Unsur hara terbagi menjadi dua golongan, yaitu makronutrien dan mikronutrien. Makronutrien adalah unsur hara yang dibutuhkan dalam jumlah besar, seperti Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), Belerang (S), dan Magnesium (Mg), sedangkan mikronutrien adalah unsur hara yang dibutuhkan dalam jumlah sedikit, seperti Besi (Fe), Tembaga (Cu), Seng (Zn), Mangan (Mn), Molibdenum (Mo), Boron (B), dan Klor (Cl). Meskipun dibutuhkan dalam jumlah yang sedikit unsur mikronutrien memiliki peranan penting dalam pertumbuhan tanaman (Syekhfani, 2012).

Unsur hara makro dibutuhkan dalam jumlah yang banyak untuk pertumbuhan tanaman sedangkan unsur hara mikro dibutuhkan dalam jumlah yang sedikit untuk pertumbuhan tanaman. Meskipun dibutuhkan dalam jumlah yang sedikit unsur hara mikro memiliki peranan penting dalam pertumbuhan tanaman. Salah satu unsur mikro yang penting untuk pertumbuhan tanaman adalah Fe. Fe berpartisipasi dalam mempengaruhi struktur tanah dan kesuburan tanah. Fe berperan penting untuk pertumbuhan tanaman yaitu sebagai sintesis

klorofil, penyusun penting dari enzim, sebagai akseptor oksigen dalam perubahan Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} , dan berperan dalam sistem redoks metabolisme N dan S. Kekurangan Fe pada tanaman. Menyebabkan timbulnya warna bintik-bintik kuning pada daun muda (chlorosis), pertumbuhan tanaman akan terhenti, daun berguguran serta dapat mengakibatkan kematian (Sudarmi, 2013). Derajat kemasaman tanah adalah faktor utama dalam ketersediaan logam berat (Sudarmi, 2013).

2.5 Machine learning

Kemajuan teknologi telah menyediakan berbagai macam data pengukuran yang kemudian dapat diolah dengan model prediksi menggunakan bantuan teknologi *machine learning*. *Machine learning* merupakan salah satu dari produk kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) yang digunakan untuk melakukan inferensi atau menarik kesimpulan tentang hubungan antar variabel dalam data dengan pendekatan matematis. Pada dasarnya, tujuan dari *machine learning* adalah menciptakan model matematis yang dapat merefleksikan pola-pola yang terdapat dalam data tersebut. Dengan menggunakan *machine learning*, komputer atau program dapat belajar dan menemukan pengetahuan secara otomatis tanpa perlu diprogram secara eksplisit (Diantika, 2020).

Penerapan *machine learning* untuk memprediksi kandungan unsur hara digunakan dengan mengevaluasi hasil pengukuran dari XRF dengan penerapan model *Random Forest* (RF), hasil pengukuran mampu mengukur nilai K, Ca, Mg, dan P dengan nilai koefisien determinasi (R^2) 0,83; 0,76; 0,69 dan 0,47 (Nawar, 2019). Ada berbagai jenis regresi dalam *machine learning*, termasuk regresi linier, regresi polinomial, regresi logistik, dan sebagainya. Regresi linier adalah bentuk paling sederhana, di mana hubungan antara variabel independen dan dependen diwakili oleh garis lurus. Regresi polinomial memungkinkan hubungan yang lebih kompleks dengan menggabungkan pangkat-pangkat variabel independen. Regresi logistik digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel independen biner dengan variabel dependen yang juga biner (Santoso, 2022).

Dalam pembangunan model *machine learning*, terdapat dua istilah penting yang perlu diperhatikan, yaitu *training* dan *testing*. *Training* merupakan proses membangun atau mengkonstruksi model *machine learning*. Pada tahap ini, model akan "belajar" dari dataset yang telah disediakan untuk menemukan pola-pola dalam data tersebut. Setelah melalui proses *training*, langkah selanjutnya adalah melakukan *testing*. *Testing* adalah proses untuk menguji kinerja atau performa dari model pembelajaran yang telah dibangun sebelumnya. Hal ini dilakukan dengan menggunakan dataset lain yang tidak digunakan pada tahap *training*. Dengan melakukan pengujian ini, kita dapat melihat sejauh mana

kemampuan dan keakuratan prediksi dari model tersebut. Penerapan regresi berganda dengan kombinasi *machine learning* telah berhasil diterapkan untuk penilaian kualitas tanah pasca reklamasi, hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan regresi linier berganda mampu memberikan hasil lebih tinggi dibandingkan penerapan model lainya (Bandyopadhyay et al., 2021).

2.6 Python

Python merupakan sebuah bahasa pemrograman yang bersifat dinamis dan tingkat tinggi. Bahasa ini menggunakan pendekatan interpreter, dimana source code langsung diubah menjadi machine code saat program dijalankan. Python juga mendukung paradigma pemrograman berorientasi objek untuk pengembangan aplikasi, serta mudah dipelajari dan menyediakan banyak struktur data tingkat tinggi (Septian, 2013).

Python dapat digunakan sebagai bahasa skrip yang mudah dipelajari namun memiliki kekuatan dan fleksibilitas yang luar biasa, sehingga membuatnya menarik untuk pengembangan aplikasi. Sintaks dan penulisan kode dalam Python sangat dinamis dengan kemampuan interpretasinya, menjadikannya bahasa yang ideal untuk skrip dan pengembangan aplikasi yang cepat. Selain itu, Python juga mendukung berbagai pola pemrograman seperti gaya berorientasi objek, imperatif, fungsional, maupun prosedural. Hal ini membuat Python menjadi bahasa pemrograman yang sangat serbaguna dalam memenuhi kebutuhan pengembangan perangkat lunak (Wali et al., 2023)

Variabel pada Python

Menurut Suharto (2023), Variabel dalam Python adalah sebuah nama yang digunakan untuk merujuk ke lokasi memori. Variabel ini juga dikenal sebagai pengidentifikasi dan berfungsi untuk menyimpan nilai-nilai tertentu. Yang menarik dari Python adalah kita tidak perlu secara eksplisit mendefinisikan tipe data variabel karena bahasa ini memiliki kemampuan inferensi yang cerdas dalam menentukan tipe variabel tersebut. variabel merupakan contoh dari pengidentifikasi. Pengidentifikasi digunakan untuk mengenali atau mengidentifikasi literal yang digunakan dalam program. Terdapat aturan tertentu dalam memberikan nama pada pengidentifikasi. Karakter pertama dari pengidentifikasi harus berupa huruf alfabet (a-z) baik itu huruf kecil maupun huruf besar, atau garis bawah (_). Selain karakter pertama, semua karakter lainnya dapat berupa huruf alfabet kecil (a-z), huruf alfabet besar (A-Z), angka (0-9), atau garis bawah (_). Nama pengidentifikasi tidak diperbolehkan mengandung spasi atau karakter khusus seperti tanda seru (!), tanda at (@), pagar (#), persen (%), tanda panah (^), ampersand (&), dan asterisk (*).

Tipe Data pada Python

Variabel dalam Python dapat digunakan untuk menyimpan nilai, dan setiap nilai memiliki tipe data tertentu. Yang menarik dari Python adalah bahasa yang digunakan merupakan bahasa yang dinamis. Artinya tidak perlu mendefinisikan tipe variabel saat mendeklarasikannya. Interpreter Python akan dengan sendirinya mengaitkan nilai dengan jenisnya. Misalnya, ketika mendeklarasikan variabel $a = 5$, variabel a akan memiliki nilai lima yang merupakan tipe data integer. Programmer tidak perlu secara eksplisit mendefinisikan tipe datanya karena interpreter Python akan secara otomatis menginterpretasikan bahwa variabel a adalah tipe data integer. Selain itu, Python juga memberikan fungsi `type ()` yang berguna untuk memeriksa jenis atau tipe data dari sebuah variabel dalam program. Dengan menggunakan fungsi ini, programmer dapat melihat jenis atau tipe data yang terkait dengan suatu variabel (Romzi dan Kurniawan, 2020).

Opreator, Literal pada Python

Operator dalam python adalah simbol yang digunakan untuk melakukan operasi pada satu atau lebih nilai. ada berbagai jenis operator dalam python, seperti operator aritmatika, operator perbandingan, operator penugasan, operator logika, operator bitwise, operator keanggotaan, operator identitas, operator preseden, operator prioritas/precedence (Fahrudin, 2023). Literal adalah representasi tetap dari nilai-nilai yang digunakan dalam kode sumber program. Contoh literal yang telah dijelaskan dalam jawaban sebelumnya adalah angka, string, dan nilai-nilai lainnya seperti `true`, `false`, dan `none` Literal digunakan untuk memberikan nilai langsung ke variabel atau digunakan dalam operasi (Huda et al., 2020).

2.7 Uji Laboratorium P-Tersedia (Fosfor)

Penetapan jumlah P-tersedia dalam tanah harus ditentukan dengan metode yang tepat. Permasalahan P di dalam tanah cukup kompleks, salah satunya adalah sumbernya terbatas dan amat dipengaruhi oleh pH tanah sehingga ketersediannya bagi tanaman sangat kecil. Ada beberapa metode penentuan P tersedia dalam tanah, yaitu Truog, Bray I, Bray II, North Caroline, dan Olsen. Setiap metode mempunyai sifat tersendiri dalam mengekstrak P. Metode yang paling baik adalah metode yang ekstraktannya benar mampu mengekstrak P-tersedia di dalam tanah ataupun paling mendekati P yang terserap oleh tanaman (Ilahi, 2000).

P-tersedia menggunakan dua metode, yaitu metode Bray I dan Bray II. Metode bray I digunakan untuk analisis tanah ultisol sedangkan metode bray II untuk jenis tanah histosol. Keduanya diperlakukan berbeda karena sesuai dengan tingkat kemasaman pada kedua jenis tanah yang berbeda. Tanah gambut

memiliki tingkat kemasaman yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah ultisol. Perbedaan metode bray I dan Bray II terletak pada konsentrasi asam yang digunakan. Bray II memiliki konsentrasi asam yang lebih tinggi dibandingkan dengan bray I. Oleh sebab itu, bray I digunakan untuk jenis tanah ultisol sedangkan bray II digunakan untuk jenis tanah histosol (Handayani dan Karnilawati, 2018).

Ketersediaan fosfat terhadap pengaruh parameter pH dapat digunakan sebagai salah satu tolak ukur untuk membandingkan hasil uji P dari metode uji tanah yang ada. Perbandingan hasil uji P tersedia dari dua metode yang berbeda dalam penerapan uji terhadap suasana pH tanah dapat memberikan rekomendasi pemupukan. Metode Olsen biasanya digunakan untuk tanah ber-pH >5,5, sedangkan metode bray biasanya digunakan untuk tanah ber-pH <5,5. Kedua metode ini bisa dijadikan salah satu tolak ukur pembandingan penggunaan metode berdasarkan perbedaan penerapan dalam suasana tanah, yaitu asam dan basa. Penentuan nilai P-tersedia menggunakan metode Bray, Fosfat dalam keadaan asam akan diikat sebagai senyawa Fe, Al-fosfat yang sukar larut, NH_4F yang terkandung dalam pengekstrak Bray akan membentuk senyawa rangkaian dengan Fe & Al dan membebaskan ion PO_4^{3-} (Sulaeman dkk, 2005).

Tabel 2. 1 Kriteria nilai kandungan P-tersedia tanah (Sumber: LPT 1983).

No	Nilai P-tersedia (%)	Kategori
1	< 4,4	Sangat Rendah
2	4,5 - 6,6	Rendah
3	7,0 - 11,0	Sedang
4	11,4 - 15,3	Tinggi
5	> 15,3	Sangat Tinggi

2.8 Uji Laboratorium C-Organik (Carbon)

Kandungan bahan organik dalam tanah merupakan salah satu faktor yang berperan dalam menentukan keberhasilan suatu budidaya pertanian. Hal ini dikarenakan bahan organik dapat meningkatkan kesuburan kimia, fisika maupun biologi tanah. Penetapan kandungan bahan organik dilakukan berdasarkan jumlah C-organik. Bahan organik tanah sangat menentukan interaksi antara komponen abiotik dan biotik dalam ekosistem tanah. Dalam penelitiannya menyatakan bahwa kandungan bahan organik dalam bentuk C-organik di tanah harus dipertahankan tidak kurang dari 2 persen, Agar kandungan bahan organik dalam tanah tidak menurun dengan waktu akibat

proses dekomposisi mineralisasi maka sewaktu pengolahan tanah penambahan bahan organik mutlak harus diberikan setiap tahun. Kandungan bahan organik antara lain sangat erat berkaitan dengan KTK (Kapasitas Tukar Kation) dan dapat meningkatkan KTK tanah (Musthofa, 2007).

Kandungan C-organik dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah kedalaman tanah. Nilai C-organik pada kedalaman tanah yang semakin tinggi akan diperoleh nilai C-organik yang rendah. Kondisi tersebut disebabkan oleh kebiasaan petani yang memberikan bahan organik dan serasah pada permukaan tanah sehingga bahan organik tersebut mengalami pengumpulan pada bagian atas tanah dan sebagian mengalami pelindihan ke lapisan yang lebih dalam (Sipahutar et al., 2014).

Nilai C-organik menentukan produksi yang dihasilkan oleh tanaman sebagai akibat dari dukungan tanah sebagai media tanam. Kandungan C-organik yang tinggi maka dapat meningkatkan hasil produksi dari tanaman, karena tanaman mampu menyerap unsur hara yang tinggi untuk proses pertumbuhan yang optimal. C-organik dapat meningkatkan tekstur tanah dan agregasi tanah yang nantinya akan berpengaruh pada pertumbuhan tanaman (Hugar et al., 2012). Kandungan bahan organik ditemukan secara tidak langsung yaitu dengan mengalikan kadar C dengan suatu faktor yang umumnya yaitu : kandungan bahan organik = C x 1,724. Bila jumlah C-organik dalam tanah dapat diketahui maka kandungan bahan organik tanah juga dapat dihitung. Kandungan bahan organik merupakan salah satu indikator tingkat kesuburan tanah (Susanto, 2005).

Tabel 2. 2 Kriteria nilai kandungan C-Organik tanah (Sulaeman et al., 2015)

No	Nilai Organik (%)	Kategori
1	< 1	Sangat Rendah
2	1-2	Rendah
3	2-3	Sedang
4	3-5	Tinggi
5	>5	Sangat Tinggi

2.9 Uji Laboratorium N-total (Nitrogen)

Nitrogen merupakan salah satu unsur hara utama dalam tanah yang sangat berperan dalam merangsang pertumbuhan dan memberi warna hijau pada daun. Kekurangan nitrogen dalam tanah menyebabkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman terganggu dan hasil tanaman menurun karena pembentukan klorofil sangat penting untuk proses fotosintesis terganggu (Hakim,

1986). Nitrogen adalah unsur esensial yang diperlukan tanaman dalam jumlah yang besar. Sedangkan kandungan nitrogen tanah sangat bervariasi dan dipengaruhi oleh faktor lain seperti iklim, vegetasi, topografi, dan sifat-sifat fisika dan kimia dari tanah. Metode analitik yang paling umum digunakan dalam penentuan kadar nitrogen adalah metode Kjeldahl. Tahap destruksi merupakan tahap dekomposisi nitrogen dalam sampel menggunakan asam pekat. Tahap ini disempurnakan dengan mendidihkan sampel pada asam sulfat pekat. Hasil akhir destruksi merupakan larutan amonium sulfat.

Metode Kjeldahl atau Kjeldahl digestion dalam analisis kimia berarti sebuah metode yang dipakai dalam melihat nilai kuantitatif determinasi dari nitrogen yang dikembangkan oleh Jhon Kjeldahl pada tahun 1883. Cara Kjeldahl digunakan untuk menganalisis kadar nitrogen. Metode ini terdiri dari tiga cara yaitu; proses destruksi, destilasi dan titrasi. Dalam metode kjeldahl nitrogen dalam diubah menjadi ammonium melalui proses digestion dengan asam sulfat pekat yang berisi bahan-bahan lain yang membantu perubahan tersebut. Amonium yang terbentuk didestilasi dengan menambahkan alkali dan NH_3 yang terdestilasi ditangkap oleh asam dan ditentukan jumlahnya melalui titrasi. Bahan-bahan yang membantu perubahan N menjadi NH_4^+ adalah garam-garam biasanya K_2SO_4 , NaSO_4 , atau H_2SO_4 yang bertujuan untuk meningkatkan suhu. Selain itu beberapa katalisator seperti selenium, air raksa, paraffin cair digunakan untuk merangsang dan mempercepat oksidasi bahan organik (Ginting, et al., 2013).

Tabel 2. 3 Kriteria nilai kandungan N-total tanah (Pusat Penelitian Tanah 1983).

No	Nilai N-total (%)	Kategori
1	< 0,1	Sangat Rendah
2	0,1 - 0,2	Rendah
3	0,21 - 0,5	Sedang
4	0,51 - 0,75	Tinggi
5	> 0,75	Sangat Tinggi

2.10 Regresi linier berganda

Model regresi linier berganda merupakan suatu persamaan yang menggambarkan hubungan antara dua atau lebih variabel bebas/ predictor (X_1, X_2, \dots, X_n) dan satu variabel tak bebas/respon (Y). Tujuan dari analisis regresi linier berganda adalah untuk memprediksi nilai variabel tak bebas/ response (Y) jika nilai variabel-variabel bebas/ predictor (X_1, X_2, \dots, X_n) diketahui. Disamping itu juga untuk mengetahui arah hubungan antara variabel tak bebas dengan variabel-variabel bebas.

Persamaan regresi linier berganda secara matematik diekspresikan oleh :

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n \quad (1)$$

Keterangan :

Y = variable tak bebas (nilai yang akan diprediksi)

a = konstanta

b_1, b_2, \dots, b_n = koefisien regresi

X_1, X_2, \dots, X_n = variable bebas

Bila terdapat 2 variable bebas, yaitu X_1 dan X_2 , maka bentuk persamaan regresinya adalah :

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 \quad (2)$$

Keadaan-keadaan bila nilai koefisien-koefisien regresi b_1 dan b_2 adalah, jika bernilai 0, maka tidak ada pengaruh X_1 dan X_2 terhadap Y , apabila bernilai negatif, maka terjadi hubungan yang berbalik arah antara variabel bebas X_1 dan X_2 dengan variabel tak bebas Y , dan jika bernilai positif, maka terjadi hubungan yang searah antara variabel bebas X_1 dan X_2 dengan variabel tak bebas Y (Supranto, 2001).

Regresi dalam *machine learning* adalah suatu pendekatan analisis statistik yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara satu atau lebih variabel independen (fitur) dengan variabel dependen (target) yang bersifat kontinu. Tujuan utama dari regresi adalah untuk memahami dan memprediksi bagaimana perubahan dalam satu atau lebih variabel independen akan mempengaruhi variabel dependen. Metode regresi mencoba untuk menemukan fungsi matematika yang dapat memetakan fitur-fitur ke nilai-nilai target yang meminimalkan selisih antara nilai yang diprediksi dan nilai yang diamati dalam data pelatihan (Permana et al., 2023).

Sejumlah penelitian telah meneliti bagaimana pH mempengaruhi nutrisi dan unsur-unsur lainnya, namun besarnya pengaruh ini belum sepenuhnya dijelaskan. Oleh karena itu, penelitian ini melakukan model regresi linier berganda untuk mengetahui sejauh mana hubungan antara pH dengan unsur logam, serta unsur hara makro dan mikro. Penerapan model prediksi ini sudah banyak dilakukan. Misalnya model prediksi unsur hara tanah menghasilkan ketelitian pengukuran $R = 0,91$ untuk bahan tanah organik dan lempung dengan $R = 0,93$ (Helfer et al., 2020). Prediksi kandungan logam dengan regresi linier yang berkorelasi dengan kandungan logam pada tumbuhan dijelaskan oleh Ivezic et al., (2015). Prediksi kesuburan tanah, setelah dilakukan pengujian kandungan unsur hara tanah (Ca, Mg, K, dan P) dan unsur Al menggunakan portable X-Ray fluorescence (p-XRF), diuraikan sebagai berikut: Benedet et al., (2021). Oleh karena itu, pemahaman tentang korelasi pH dengan logam tanah dan unsur hara

diharapkan dapat menjadi model prediksi awal yang dapat dikembangkan lebih lanjut, khususnya untuk Ultisol atau tanah dengan $\text{pH} < 6$.”

2.11 Teknik Sampling

Teknik pengambilan sampel yang digunakan untuk analisis kandungan logam pada tanah Ultisol sangat penting dilakukan, karena sampel yang diambil harus mampu mewakili gambaran suatu lahan, pengambilan sampel yang umum dilakukan adalah dengan teknik pencampuran dimana sub sampel dari beberapa titik dilakukan pencampuran kemudian dilakukan pengujian laboratorium yang hasilnya akan menggambarkan kondisi tanah suatu area, umumnya sub sampel diambil minimal 5 sampel namun akan lebih baik menggunakan sampel > 15 sampel, apabila pada suatu lahan terdapat dua perlakuan (pemupukan dan tanah “dibiarkan”) maka sub sampel diambil dari dua kondisi yang berbeda (Walworth, 2013).

Pengambilan sampel juga dipengaruhi dengan jenis tumbuhan pada suatu area dan analisis yang akan dilakukan, baik analisis kandungan logam ataupun nilai keasaman pada tanah. Untuk *sampling* pada lahan sawit untuk pengukuran kandungan hara dilakukan pada radius 3 meter dari pohon sawit (batas area jangkauan pemupukan) dengan kedalaman 0 - 20 cm (Behera, et al., 2018). Pada perkebunan karet teknik sampling digunakan untuk pengukuran agregat, sistem pengambilan digunakan dengan sistem plot (1 m x 2 m) pada setiap plot diambil 5 sampel dengan kedalaman 0 - 10 cm dan 10 - 20 cm kemudian dilakukan pencampuran samper pada masing-masing plot dengan kedalaman yang sama, untuk mewakili suatu area 20 - 23 ha di gunakan 3 plot (Balasubramanian, et al., 2020), berdasarkan perbedaan musim (musim kemarau dan hujan) pada kedalaman 0 - 5 cm; 5 - 15 cm dan 15 - 30 cm (Chen, et al., 2019). Selanjutnya untuk pengukuran kandungan hara tanah pada hutan alami dilakukan pengambilan sampel acak pada kedalaman 0 - 20 cm (Ni, et al., 2021).

Pengukuran dengan teknik laboratorium memberikan hasil pengukuran yang baik namun memerlukan waktu yang lama dan keahlian khusus, serta melalui beberapa tahapan proses dalam pelaksanaannya. Untuk itu kecendrungan peneliti saat ini lebih memilih karakterisasi sampel tanah dengan bantuan alat yang mampu menampilkan hasil pengukuran secara langsung dengan tingkat akurasi yang baik, pemilihan teknologi canggih pun menjadi pilihan seperti *X-ray Fluorescence* (XRF) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

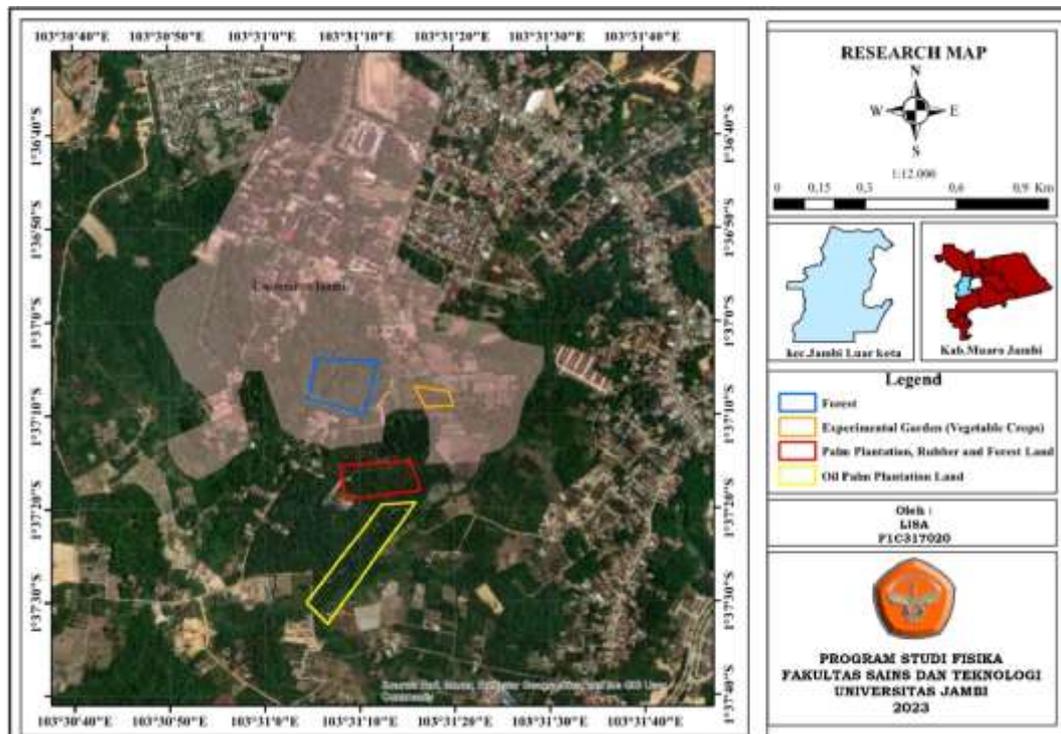
Karakterisasi dengan teknologi canggih memiliki keunggulan namun terkendala dengan biaya karakterisasi yang mahal untuk itu dihadirkan metode pengukuran berbasis sensor. Dalam pengembangan pengukuran berbasis sensor terlebi dahulu dilakukan pengukuran secara konvensional (Laboratorium atau

karakterisasi dengan teknologi tertentu) selanjutnya dilakukan pemodelan sebagai program sensor. Diantara penelitian berbasis sensor yang telah dikembangkan adalah dengan model kalibrasi spektroskopi inframerah dekat (NIRS) didapatkan spektra inframerah dengan panjang gelombang 1.000-2500nm mampu menyajikan hasil pengukuran kandungan tanah, (N) Nitrogen, Fosfort (P), Kalium (K), pH, Magnesium (Mg) dan Kalsium yang selanjutnya dimodelkan dengan regresi parsial kuadrat terkecil (PLSR) untuk dijadikan master program pada sensor (Munawar, 2020). *Dataset* indeks kesuburan tanah (SFI) juga dikembangkan dengan menggunakan pengukuran spectra tampak dan inframerah dekat (Vis-NIR) selanjutnya dilakukan rancangan sensor baru “sensor vis-NIR online” yang mampu memberikan estimasi pengukuran dengan tingkat akurasi 75% ($R=0,75$) (Munaf *et al.*, 2021).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini menggunakan sampel tanah yaitu sampel tanah Ultisol yang terdapat di lingkungan Universitas Jambi. Pengambilan sampel tanah terdiri dari lahan (1) Perkebunan kelapa sawit dengan koordinat $1^{\circ}37'25''\text{S}$ dan $103^{\circ}31'10''\text{E}$, (2) lahan campuran (Perkebunan sawit dan karet) dengan koordinat $1^{\circ}37'17''\text{S}$ dan $103^{\circ}31'10''\text{E}$, (3) Hutan dengan koordinat $1^{\circ}37'8''\text{S}$ dan $103^{\circ}31'6''\text{E}$ serta (4) Perkebunan sayuran dengan koordinat $1^{\circ}37'8''\text{S}$ dan $103^{\circ}31'18''\text{E}$. Kegiatan Penelitian dilaksanakan selama 3 bulan. Penelitian dilakukan pengujian di Laboratorium Fakultas sains dan Teknologi Universitas Jambi, Laboratorium Fakultas Pertanian Universitas Jambi, dan Laboratorium PT. Jambi Lestari Internasional.



Gambar 3. 1 Peta Lokasi Pengambilan Sampel

Teknik pengambilan sampel dilakukan dengan terlebih dahulu memplot lokasi $10\text{ m} \times 20\text{ m}$ pada masing-masing lokasi, selanjutnya pada setiap lokasi diambil sampel pada bagian top (0-20 cm) dan pada bagian sub (20-40 cm) kemudian dilakukan pencampuran (Walworth, 2006). Pada lokasi pertama yaitu lahan (1) perkebunan sawit dengan jumlah sampel tanah yang diambil sebanyak 10 sampel (5 permukaan dan 5 bagian dalam), begitu pula pada lahan (2) campuran (perkebunan sawit dan karet), lahan (3) hutan, dan lahan (4)

perkebunan sayuran, masing-masing dilakukan pengambilan sampel sebanyak 10 sampel.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan Bahan yang digunakan penelitian ini secara umum di kelompokkan menjadi 3 bagian yaitu persiapan dan karakterisasi sampel dan Analisis Sampel. Adapun alat dan bahan yang digunakan seperti pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan Penelitian

No	Alat dan Bahan	Spesifikasi	Fungsi
1.	<i>X-Ray Fluoresence</i> (XRF)	S2 PUMA Seriez 2	Menentukan kandungan unsur hara sampel
2.	Excel 2016	Software	Program pengolah data angka
3.	Matlab	Software	Pengolah data dan angka
4.	PC	Perangkat keras	Penampil data hasil pengukuran
5.	Bor tanah untuk pengambilan sampel tanah 0-20 cm dan 20-40 cm	Sampel tanah	Pengambilan sampel yang akan dilakukan uji kandungan unsur hara
6.	Cangkul dan Sekop	Sampel tanah	Pengambilan sampel dilapangan
7.	Ayakan 15 mesh	Saringan tanah	Preparasi Sampel
8.	Plastik dan Label	Sampel tanah	Wadah dan penanda sampel
9.	Mortar	Lumpang alu sampel	Penumbuk sampel tanah
10.	Timbangan analitik	Timbang sampel	Pengukuran massa sampel tanah
11.	Erlenmeyer	Gelas Laboratrium	Menjadi wadah dari bahan kimia cair

3.3 Metode Penelitian

Sampel tanah yang digunakan adalah sampel tanah Ultisol yang terdapat pada daerah perkebunan Universitas Jambi, adapun area pengambilan sampel terdiri dari lahan perkebunan sawit, lahan perkebunan campuran (Sawit dan Karet), Hutan alami, dan area perkebunan sayuran. Untuk masing-masing area jumlah sampel tanah keseluruhan yang telah dicampur per area yaitu menjadi 8 sampel tanah. Pengambilan sampel dilakukan pada bagian permukaan (0-20 cm) dan bagian dalam (20-40 cm) dengan menggunakan bor tanah. Setelah pengambilan sampel selanjutnya dilakukan preparasi sampel, yaitu sebagai berikut :

- a. Tahap pertama, mengeringkan sampel tanah dengan waktu 3 hingga 5 hari.
- b. Tahap kedua, sampel tanah yang telah kering kemudian dilakukan penumbukan menggunakan mortar.
- c. Tahap ketiga, sampel tanah yang telah ditumbuk kemudian di ayak dengan menggunakan ayakan 15 mesh.
- d. Tahap kelima, sampel tanah yang telah di ayak kemudian di timbang menggunakan timbangan digital analitik, dengan masing-masing 10 gr per sampel tanah.
- e. Setelah itu sampel tanah dilakukan pengujian laboratorium dan XRF.

Penelitian ini dilakukan 2 tahap pengujian yaitu, pengujian XRF dan pengujian laboratorium (C-Organik, P-tersedia, N-total dan pH), yaitu sebagai berikut :

a. Pengukuran dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF)

Pengukuran *X-Ray Fluorescence* (XRF) dilakukan dengan cara menimbang sampel yang sudah dikeringkan sebanyak 10 gr untuk masing-masing sampel. Jenis XRF yang digunakan adalah S2 PUMA Seriez 2, sampel diletakan dengan tempat sampel berdiameter 40 mm-152 mm. selanjutnya dilakukan pengukuran untuk melihat unsur senyawa oksida dan unsur kandungan logam.

b. Pengukuran pH

Pengujian pH dilakukan dengan cara menimbang sampel tanah yang sudah dikeringkan sebanyak 10 gr untuk masing-masing sampel. Sampel tanah yang sudah ditimbang dimasukkan dalam erlenmeyer dan ditambahkan 50 ml KCl (perbandingan sampel: KCl 1 M + 1 : 5). Kocok dengan shaker selama 30 menit. Larutan tanah tersebut diukur dengan pH meter yang sudah dikalibrasi. Selanjutnya catat pH yang terbaca pada alat. Adapun metode yang digunakan dalam analisis pH tanah adalah metode pH meter.

c. Pengujian Laboratorium C-Organik

Pengujian C-organik dilakukan dengan cara menimbang sampel tanah yang sudah dikeringkan, sebanyak 10 mL $K_2Cr_2O_7$ ditambahkan ke dalam larutan tanah. Kemudian penambahan 20 mL H_2SO_4 , bertujuan untuk memutuskan ikatan karbon yang telah terbentuk sebelumnya dengan $K_2Cr_2O_7$. Campuran didinginkan selama 30 menit, hal ini bertujuan untuk pendinginan sebab reaksi antara larutan tanah, $K_2Cr_2O_7$ dan H_2SO_4 merupakan reaksi yang menghasilkan panas atau eksoterm sehingga diperlukan pendinginan dengan maksud recovery atau pemulihan keadaan karbon yang diiringi dengan proses produksi kromat. Langkah selanjutnya ialah pengenceran dengan air, hal ini dimaksudkan agar reaksi H_2SO_4 yang memutuskan ikatan rantai karbon berhenti. Asam fosft

kemudian ditambahkan untuk menghilangkan FeSO_4 pada titrasi, lalu larutan ditambahkan dengan indikator difenilamin dengan tujuan agar larutan memunculkan perubahan warna sebagai tanda akhir dari proses titrasi (Sosiawan, 2010).

d. Pengujian Laboratorium P-Tersedia

Pengujian P-tersedia dilakukan dengan menimbang 2,5 g sampel tanah, ditambah pengekstrak Bray dan Kurt I sebanyak 25 ml, kemudian dikocok selama 5 menit. Saring dan bila larutan keruh kembalikan ke atas saringan semula (proses penyaringan maksimum 5 menit). Dipipet 2 ml ekstrak jernih ke dalam tabung reaksi. Contoh dan deret masing-masing ditambah pereaksi pewarna fosfat sebanyak 10 ml, dikocok dan dibiarkan 30 menit. Diukur absorsinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 693 nm (Sulaeman, et al., 2005).

e. Pengujian Laboratorium N-total

Pengujian N-total Sampel sebanyak 1 g dimasukkan ke dalam labu lalu ditambah katalis N sebanyak 2 g dan H_2SO_4 pekat sebanyak 10 ml untuk didestruksi dalam lemari asam sampai cairan menjadi berwarna bening, lalu diangkat dan dibiarkan sampai benar-benar dingin. Setelah dingin, larutan dimasukkan ke dalam labu destilasi lalu dibilas menggunakan aquades sebanyak 100 ml. Sampel ditambah 10 ml aquadest dan 20 ml larutan $\text{NaOH} - \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, kemudian batu didih dimasukkan ke dalam labu destilasi yang berisi sampel. Larutan NaOH 0,1 N sebanyak 50 ml dimasukkan ke dalam gelas beker dan ditambah 3 tetes MR (merah metil), sebagai penampungan. Sampel didestilasi hingga menghasilkan filtrat sebanyak 75 ml. Filtrat tersebut dititrasi HCl 0,02 N hingga berwarna kuning jerami (Sudarmadji, et al., 2007).

3.4 Analisis Data

Data-data hasil analisis tanah di laboratorium tersebut, dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui kriteria kandungan logam, kandungan hara dan dengan tingkat keasaman pada tanah Ultisol. Metode analisis yang dilakukan adalah dengan mempresentasikan nilai melalui plot pada grafik. Selanjutnya, dengan mengidentifikasi hubungan hasil pengujian presentase kandungan logam, kandungan hara dengan tingkat keasaman pada tanah Ultisol. Kemudian mencari referensi dan jurnal-jurnal nasional tentang kandungan logam, kandungan hara dan tingkat keasaman tanah pada tanah Ultisol. Menentukan jenis unsur yang memiliki urutan presentase sesuai dengan urutan tingkat kriteria nilai yang baik pada tanah Ultisol.

Tabel 3. 2 Uji Laboratorium N, P dan C

No	Sampel	Parameter Uji	Hasil Analisa	Metode Uji
		P-tersedia...	...ppm	...
1.	C. At.1 (...)	C-Organik...	...%	...
		N-total...	...%	...
		P-tersedia...	...ppm	...
2.	C. As.1 (...)	C-Organik...	...%	...
		N-total...	...%	...
	
dst..	...	...	...	...
	

Tabel 3. 3 Uji Kandungan Logam

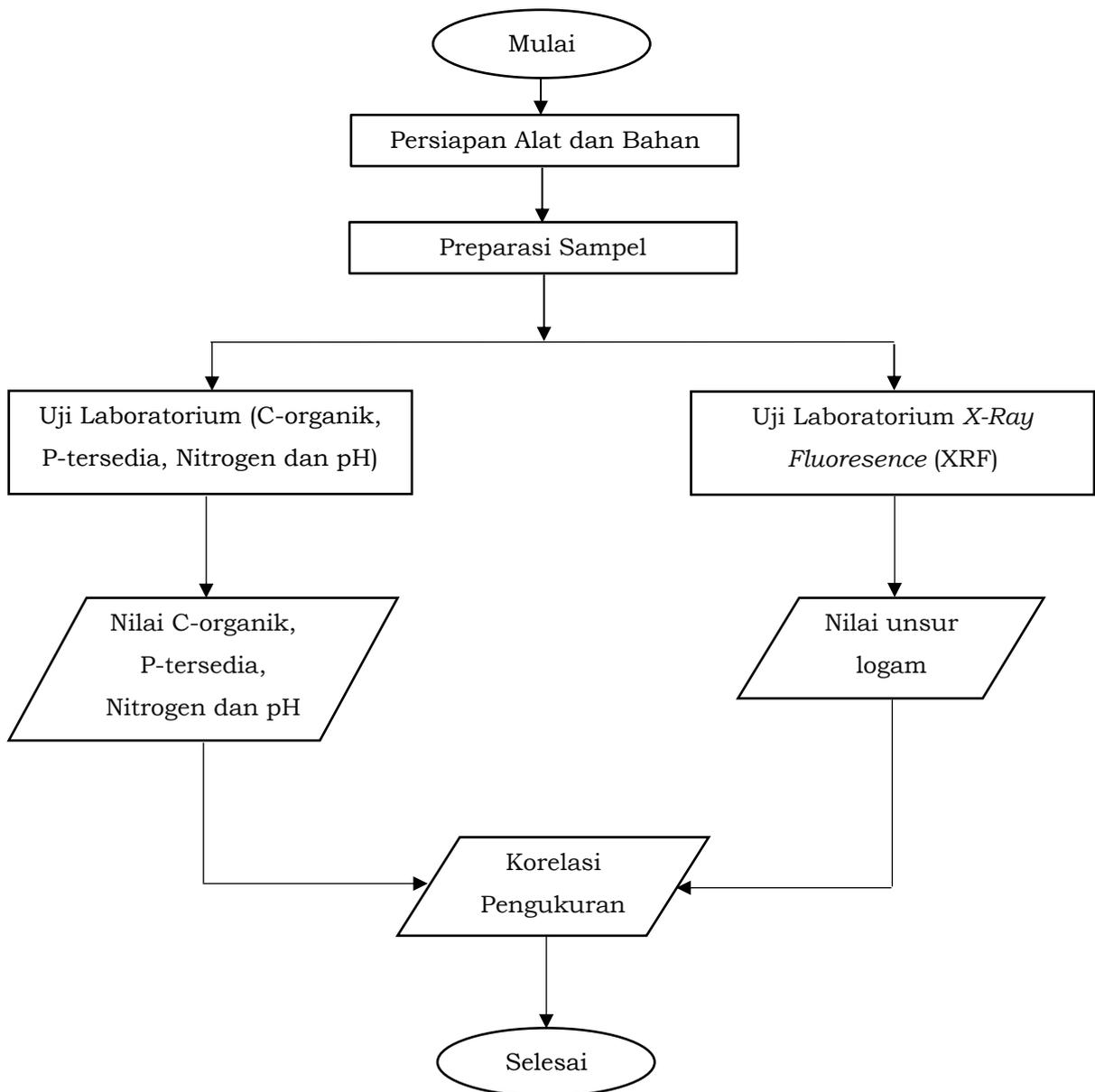
Formula	..	..	...	...
C.At.1 (...)	..	..	...	...
C.As.1 (...)	..	..	...	...
dst...	..	..	...	...

Tabel 3. 4 Uji Laboratorium pH

No	Sampel	Hasil Ph KCl	Metode
1	C. At.1 (...)	...	...
2	C. As.1 (...)	...	...
dst..	...	...	...

Keterangan : C.At.1 (Tanah Campuran dilokasi A top 1); C.As.1 (Tanah Campuran dilokasi A sub 1); C.Bt.2 (Tanah Campuran dilokasi B top 2); C.Bs.2 (Tanah Campuran dilokasi B sub 2); C.Ct.3 (Tanah Campuran dilokasi C top 3); C.Cs.3 (Tanah Campuran dilokasi C sub 3); C.Dt.4 (Tanah Campuran dilokasi D top 4); C.Ds.4 (Tanah Campuran dilokasi D sub 4). Top (kedalaman 0-20 cm) dan Sub (kedalaman 20-40 cm).

3.5 Diagram Alir

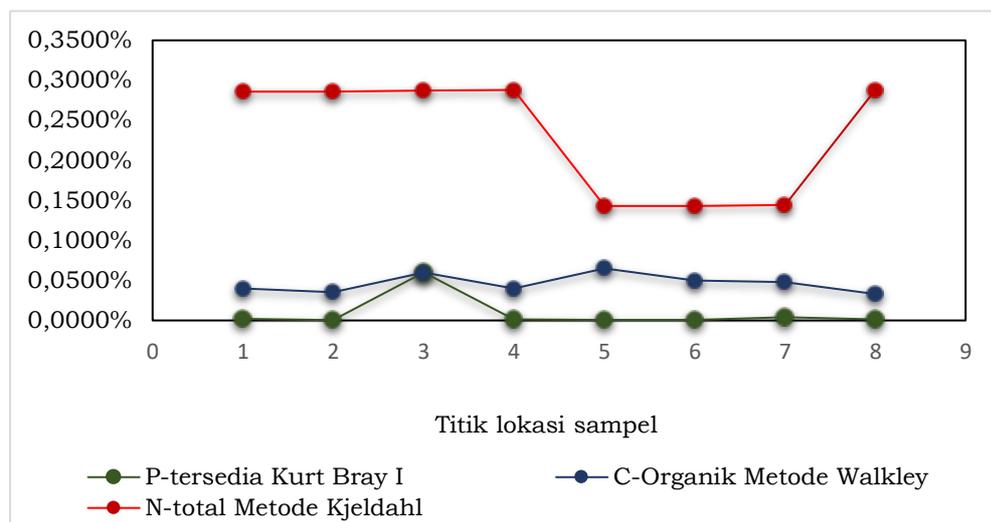


Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan analisis kandungan logam dan kandungan hara tanah Ultisol. Tanah merupakan media yang sangat penting untuk keberlangsungan hidup tanaman, karena tanah dapat memberikan unsur hara kepada tanaman agar dapat tumbuh dan berkembang dengan subur dan memiliki nutrisi yang cukup. Terdapat dua jenis unsur hara yang diperlukan oleh tanah yaitu unsur makro dan mikro sebagai penunjang pertumbuhan dan perkembangan yang optimal pada tanaman atau tumbuhan. Untuk mengetahui kadar hara tanah perlu dilakukan analisis diantaranya metode pengukuran laboratorium konvensional yang salah satu diantaranya adalah metode ekstraksi tanah. selanjutnya pengukuran kandungan logam dan unsur hara lainnya dapat digunakan metode karakterisasi, diantaranya *X-ray fluorescence*.

Unsur hara makro meliputi : karbon (C), hidrogen (H), Oksigen (O), nitrogen (N), posfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), sulfur (S). Unsur hara mikro meliputi : Besi (Fe), Mangan (Mn), Boron (B), Molibdenum (Mo), Tembaga (Cu), Zinc (Zn), Klor (Cl). Tidak lengkapnya unsur hara makro dan mikro, dapat mengakibatkan hambatan bagi pertumbuhan atau perkembangan tanaman dan produktivitasnya (Sutejo, 1987). Berikut ini hasil pengujian laboratorium didapatkan nilai P-tersedia yang selanjutnya dikonversi dalam % agar satuan dapat disetarakan untuk mempermudah pemodelan, C-organik, dan N-total.



Gambar 4. 1 Unsur hara makro (P-tersedia, N-total, dan C-organik)

Keterangan : 1 (Lokasi Perkebunan sawit dititik 1, Top 0-20cm); 2 (Lokasi Perkebunan sawit dititik 1, Sub 20-40cm); 3 (Lokasi Perkebunan sawit dan karet dititik 2, Top 0-20cm); 4 (Perkebunan sawit dan karet dititik 2, Sub 20-

40cm); 5 (Lokasi Hutan dititik 3, Top 0-20cm); 6 (Lokasi Hutan dititik 3, Sub 20-40cm); 7 (Lokasi perkebunan sayur dititik 4, Top 0-20cm); 8 (Lokasi perkebunaan sayur dititik 4 Sub 20-40cm).

Posfor (P-tersedia)

Berdasarkan gambar 4.1, menunjukkan kandungan unsur hara P-tersedia pada tanah Ultisol di 4 lokasi pengambilan sampel, masing-masing dengan kedalaman 0-20cm (Top) dan 20-40cm (Sub) . Kandungan P pada lahan (1) perkebunan sawit sebesar 0,0019%; 0,00048%, lahan (2) perkebunan sawit dan karet sebesar 0,060%; 0,0013%, lahan (3) hutan sebesar 0,0010%; 0,00049%, dan lahan (4) perkebunan sayuran sebesar 0,0043%; 0,0014%. P tertinggi yaitu pada lahan (2) dibagian kedalaman 0-20cm (Top). Menurut Manurung et al., (2017), bahwa wilayah dengan ketersediaan konsentrasi P yang tinggi, berpotensi tinggi dalam penyediaan unsur fosfat yang cukup untuk kebutuhan tanaman. Sumber unsur hara P-tersedia dapat berasal dari mineral yang mengandung unsur P dan bahan organik melalui pelapukan sisa-sisa tanaman yang merupakan salah satu sumber unsur hara di dalam tanah. Unsur hara P akan menjadi tersedia jika mengalami mineralisasi (Handayanto, et al., 2017).

Menurut Siregar et al., (2015) peningkatan P-tersedia juga disebabkan oleh dekomposisi bahan organik yang akan menghasilkan asam-asam organik. Bahan organik dalam proses dekomposisinya melepaskan asam-asam organik yang dapat mengikat Al dan melepaskan P yang terikat oleh Al sehingga unsur P yang terlepas menjadi tersedia di dalam tanah dan diserap oleh tanaman. Hal ini sesuai dengan pernyataan Handayanto, et al., (2017), bahwa kandungan bahan organik yang tinggi dan kecepatan mineralisasi yang memadai akan menyebabkan pelepasan ion P yang cukup untuk pertumbuhan tanaman. Unsur hara Fosfor (P) merupakan unsur hara esensial yang diperlukan oleh tanaman dalam jumlah yang banyak. Fosfor merupakan unsur hara yang sangat penting keberadaannya dalam tanah untuk produktivitas dan kesuburan tanah. Penambahan kompos kotoran sapi dapat dilakukan untuk meningkatkan P-tersedia pada tanah Ultisol (Raiwani, et al., 2016).

Karbon (C-organik)

Kandungan C-organik tanah menunjukkan kadar bahan organik yang terkandung didalam tanah. C-Organik merupakan faktor penting penentu kualitas tanah mineral. Semakin tinggi kadar C-Organik total maka kualitas tanah mineral semakin baik. Terlihat pada gambar 4.1, bahwa kandungan C-organik tinggi pada kedalaman 0-20 cm (Top) di lahan (3) Hutan sebesar 0,065% dan lahan (2) perkebunan sawit dan karet sebesar 0,060% . Hal ini sama dengan

pendapat Sipahutar (2015), bahwa Nilai C-organik pada bagian tanah top-soil menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan lapisan subsoil dan didalamnya. C-organik menggambarkan keadaan bahan organik di dalam tanah.

Sumber utama kandungan C-organik dan ketersediaannya dalam tanah pada umumnya dapat berasal dari pelapukan sisa-sisa tanaman. Kandungan C-organik tanah menunjukkan kadar bahan organik yang terkandung di dalam tanah. Berdasarkan hasil penelitian kandungan C-organik pada kedalaman 0-20cm (Top) dan 20-40cm (Sub) yang masih dalam kategori sangat rendah, dikarenakan nilainya kurang dari 1% (pada Tabel 2.2). Sumber pelapukan bahan organik berada pada lapisan atas tanah dari sisa-sisa vegetasi yang tumbuh di areal penelitian yang merupakan sumber atau penyumbang bahan organik. Pada kedalaman 20-40cm, Kandungan C-organik lebih sedikit tapi tidak berbeda nyata, dimana hal ini disebabkan karena bahan organik pada kedalaman 20-40cm lebih sedikit. Menurut Surya et al., (2017), semakin ke bawah kadar bahan organik semakin berkurang yang disebabkan oleh akumulasi bahan organik terkonsentrasi di lapisan atas. C-organik merupakan unsur yang dapat menentukan kesuburan tanah karena C-organik tergolong unsur esensial di dalam tanah.

Nitrogen (N-total)

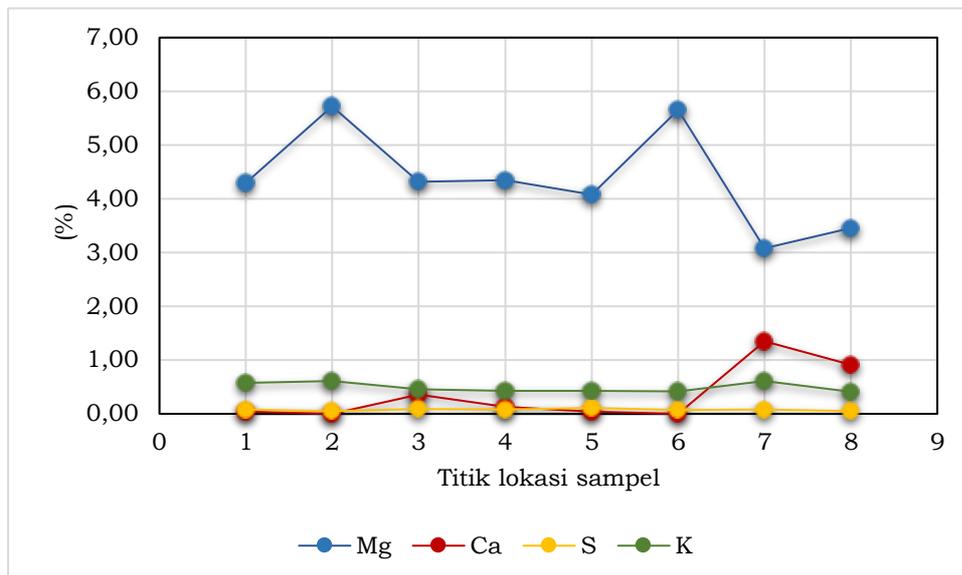
Dari gambar 4.1, terlihat bahwa kandungan N-total pada kedalaman 0-20cm (Top) dan 20-40cm (Sub) termasuk dalam kriteria kandungan nilai N-total sangat rendah (berdasarkan Tabel 2.3). Berdasarkan dari hasil penelitian pada lahan (2) perkebunan sawit, karet dan lahan (4) perkebunan sayuran memiliki nilai N-total yang tertinggi yaitu sebesar 0,288%. Pada kedalaman 0-20cm (Top) kandungan N-total menunjukkan rata-rata 0,215% dengan kriteria sangat rendah dan kedalaman 20-40cm (Sub) menunjukkan nilai rata-rata 0,251% dengan kriteria sangat rendah.

Nitrogen (N) merupakan unsur hara yang sangat penting keberadaannya dalam tanah untuk produktivitas dan kesuburan tanah. Unsur hara N merupakan unsur hara esensial yang diperlukan oleh tanaman dalam jumlah yang banyak. Menurut Sarief (dalam Nurahmi, 2010), salah satu unsur hara yang paling dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang banyak adalah unsur N. Secara umum, nitrogen dalam tanah dikelompokkan menjadi nitrogen organik dan nitrogen anorganik, tetapi sebagian besar nitrogen dalam tanah berada dalam bentuk organik. N-total didefinisikan sebagai jumlah dari N-organik dan N-anorganik

Manfaat dari Nitrogen adalah untuk memacu pertumbuhan tanaman pada fase vegetatif, serta berperan dalam pembentukan klorofil, asam amino,

lemak, enzim, dan persenyawaan lain. Kadar nitrogen tanah biasanya sebagai indikator basis untuk menentukan dosis pemupukan urea. Fungsi N adalah memperbaiki sifat negatif tanaman. Tanaman yang tumbuh pada tanah yang cukup N, berwarna lebih hijau, gejala kekurangan N, tanaman tumbuhan kerdil dan daun-daun rontok dan gugur. N tanah pada lahan gambut biasanya lebih besar dibandingkan pada tanah mineral (Soewandita, 2008).

Hasil pengukuran dengan menggunakan *X-ray fluorescence* (XRF) didapatkan unsur logam dan unsur hara mikro serta beberapa unsur hara makro seperti K, Ca, Mg dan S. Fungsi unsur hara makro ialah merangsang pertumbuhan tanaman secara keseluruhan, meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah, dan membentuk senyawa kompleks dengan ion logam yang meracuni tanaman. Berikut ini merupakan grafik unsur hara makro.



Gambar 4. 2 Grafik Unsur hara makro (Mg, Ca, S dan K).

Magnesium (Mg)

Pada gambar 4.2 menunjukkan kandungan unsur hara makro pada setiap titiknya sangat bervariasi. Kandungan Mg dengan nilai tertinggi berada di kedalaman 20-40 cm (Sub) dengan lokasi di lahan (1) perkebunan sawit (5,72%), dan lahan (3) hutan (5,65%). Selanjutnya kandungan Mg yang terendah pada lahan (2) perkebunan sayuran (3,08%) dengan kedalaman 0-20 cm (Top). Magnesium adalah aktivator yang berperan dalam transportasi energi beberapa enzim di dalam tanaman. Unsur ini sangat dominan keberadaannya di daun, terutama untuk ketersediaan klorofil. Jadi kecukupan magnesium sangat diperlukan untuk memperlancar proses fotosintesis. Setiap molekul klorofil mengandung satu atom magnesium, ketiadaan magnesium ini menjadikan tanaman tidak mampu melakukan fotosintesis. Unsur ini juga merupakan

komponen inti pembentukan klorofil dan enzim di berbagai proses sintesis protein. Menurut Sutejo (1987), Mg yang di dalam tanah berasal dari dekomposisi batuan yang mengandung mineral, seperti : biotit, terpenin, dan olivine. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi ketersediaan magnesium dalam tanah yaitu: temperatur, kelembaban, dan pH.

Kalsium (Ca)

Kandungan unsur Ca pada gambar 4.2 memperlihatkan sebesar 1,35%; 0,91% dilahan (4) perkebunan sayuran lebih tinggi dari pada di lahan (1) perkebunan sawit dan hutan (3) yaitu masing-masing sebesar 0,04%;0%. Kalsium termasuk unsur hara yang esensial bagi tumbuhan, ini mempunyai dua fungsi utama dalam pertumbuhan tanaman yaitu mengatur tekanan osmotik getah sel dan sebagai pengatur metabolisme tanaman. Ca juga merupakan komponen yang menguatkan, dan mengatur daya tembus, serta merawat dinding sel. Perannya sangat penting pada titik tumbuh akar. Bahkan bila terjadi defisiensi Ca, pembentukan dan pertumbuhan akar terganggu, dan berakibat penyerapan hara terhambat (Afandi, 2005).

Sulfur (S)

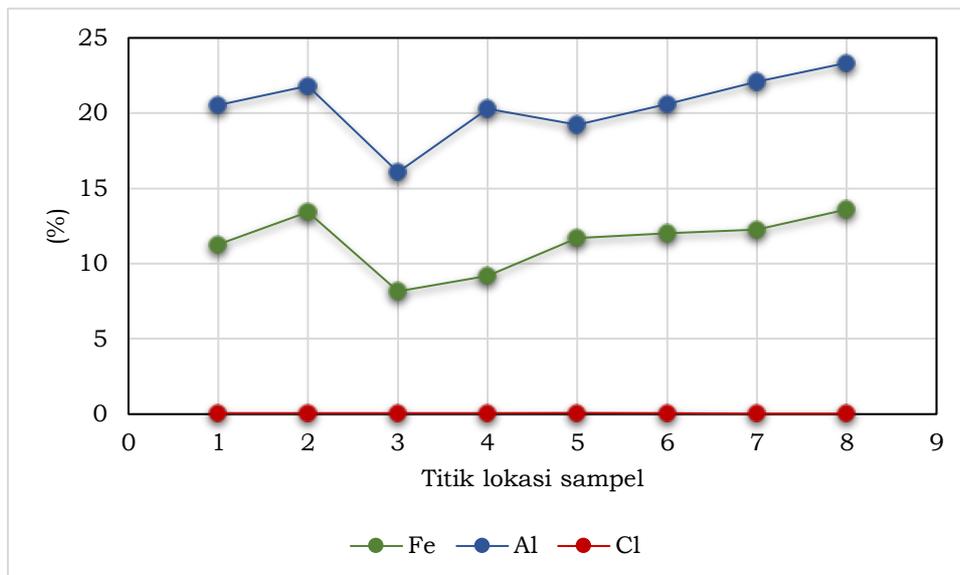
Kandungan Sulfur tertinggi berada pada lahan (3) Hutan yaitu sebesar 0,11%; 0,07% (Top 0-20cm; Sub 20-40cm). Unsur S merupakan bagian dari biotin, tiamin, ko-enzim A dan glutathionin. Diperkirakan 90% S dalam tanaman ditemukan dalam bentuk asam amino, yang salah satu fungsi utamanya adalah penyusun protein yaitu dalam pembentukan ikatan disulfida antara rantai-rantai peptida. S merupakan bagian (*constituent*) dari hasil metabolisme senyawa-senyawa kompleks. Belerang juga berfungsi sebagai aktivator, kofaktor atau regulator enzim dan berperan dalam proses fisiologi tanaman. Yang banyak ditemukan dalam tanah dalam bentuk belerang organik, sedangkan bentuk anorganik hanya sekitar 7% dari total belerang yang terdapat dalam tanah pertanian (Sutejo, 198).

Kalium (K)

Kandungan unsur K tertinggi pada lahan (4) perkebunan sayuran dengan nilai 0,61% dengan kedalaman 0-20 cm dan 0,41% pada kedalaman 20-40 cm. Selanjutnya disusul dengan lahan (1) perkebunan sawit dengan nilai 0,58% dengan kedalaman 0-20 cm dan 0,61% pada kedalaman 20-40cm. Lahan (2) perkebunan sawit dan karet memiliki kandungan K sebesar 0,46%; 0,43%, dan lahan (3) hutan 0,43%; 0,42%. Unsur K berperan sebagai pengatur proses fisiologi tanaman seperti fotosintesis, akumulasi, translokasi, transportasi karbohidrat, membuka menutupnya stomata, atau mengatur distribusi air dalam jaringan dan

sel. Kalium berhubungan erat dengan kalsium dan magnesium. Kekurangan unsur ini menyebabkan daun seperti terbakar dan akhirnya gugur (Salam, 1995).

Unsur hara mikro adalah elemen penting untuk pertumbuhan tanaman, tapi dibutuhkan dalam jumlah yang sedikit dibandingkan dengan nutrisi primer. Unsur tersebut berfungsi sebagai kofaktor enzimatik, hal ini karena mikronutrien umumnya memainkan peranan katalitik yang hanya dibutuhkan oleh tumbuhan dalam jumlah yang kecil. Notohadiprawiro (1998) menjelaskan bahwa naiknya kemasaman tanah disertai dengan naiknya kelarutan logam seperti Al, Fe, Cu, Mn, Zn. Aplikasi kapur ke dalam tanah bertujuan untuk mengatur pH tanah dengan mengurangi kemasaman tanah (pH meningkat). Salam (2017) membagi logam berat menjadi 3 kelompok berdasarkan toksisitasnya, yaitu bersifat toksik tinggi yang terdiri atas unsur-unsur merkuri (Hg), kadmium (Cd), timbal (Pb), tembaga (Cu), dan seng (Zn); bersifat toksik sedang terdiri dari kromium (Cr), nikel (Ni), dan kobalt (Co); bersifat toksik rendah yang terdiri atas unsur mangan (Mn) dan besi (Fe).



Gambar 4. 3 Grafik unsur hara mikro (Fe, Al, dan Cl)

Besi (Fe)

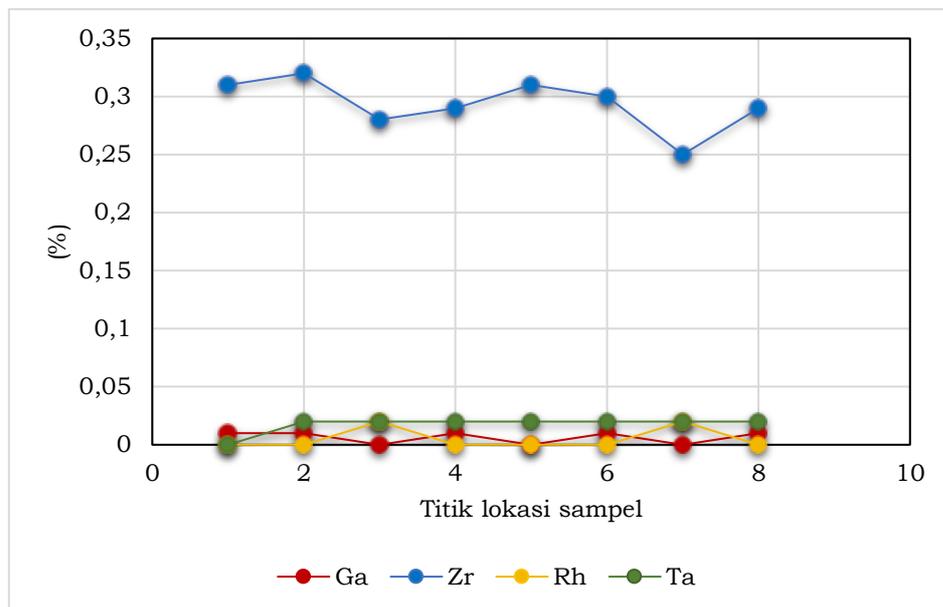
Besi (Fe) berperan dalam proses pembentukan protein, sebagai katalisator pembentukan klorofil. Besi berperan sebagai pembawa elektron pada proses fotosintetis dan respirasi, sekaligus menjadi aktivator beberapa enzim. Unsur ini tidak mudah bergerak sehingga bila terjadi kekurangan sulit diperbaiki. Fe paling sering bertentangan atau antagonis dengan unsur mikro lain. Kekurangan Besi (Fe) ditunjukkan dengan gejala klorosis dan daun menguning atau nekrosa. Daun muda tampak putih karena kurang klorofil. Selain itu terjadi karena kerusakan akar.

Aluminium (Al)

Aluminium merupakan logam yang sangat berlimpah di alam, ditemukan dalam tanah, sekitar 8,3% kerak bumi terdiri dari aluminium dan terbanyak ketiga setelah oksigen 45,5% dan silikon 25,7%. Elemen ini adalah logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik, hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Oleh karena aluminium sangat reaktif khususnya dengan oksigen, unsur aluminium tidak pernah dijumpai dalam keadaan bebas di alam, melainkan sebagai senyawa yang merupakan penyusun utama dari bahan tambang biji bauksit yang berupa campuran oksida dan hidroksida aluminium (Sugiyarto, 2003).

Khlor (Cl)

Khlor (Cl) terlibat dalam osmosis (pergerakan air atau zat terlarut dalam sel), keseimbangan ion yang diperlukan bagi tanaman untuk mengambil elemen mineral dan dalam fotosintesis. Khlor berfungsi untuk memperbaiki dan meningkatkan hasil kering tanaman. Apabila kekurangan Cl (Khlor) Dapat menimbulkan gejala pertumbuhan daun yang kurang normal terutama pada tanaman sayur-sayuran, daun tampak kurang sehat dan berwarna tembaga (Hartati, 1995).



Gambar 4. 4 Grafik Unsur hara mikro (Ga, Zr, Rh, dan Ta)

Galium (Ga)

Unsur Galium (Ga) adalah logam keperakan yang relatif lunak pada suhu dan tekanan standar. Dalam keadaan cair. Galium tidak terdapat sebagai unsur bebas di alam, tetapi sebagai senyawa gallium (III) dalam jumlah kecil dalam bijih seng dan bauksit.

Zirkonium (Zr)

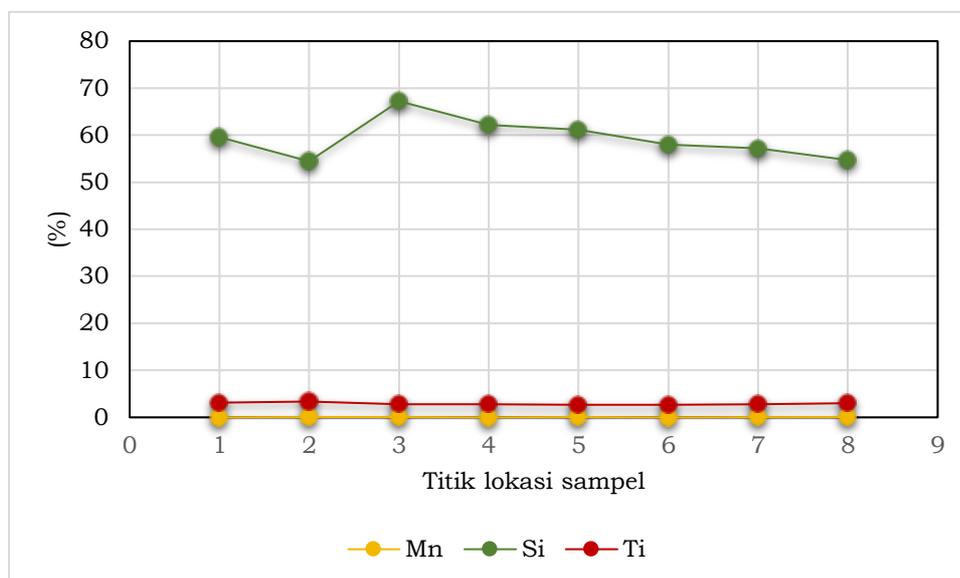
Unsur Zr (Zirkonium) adalah logam putih keabuan yang jarang dijumpai di alam bebas, melainkan dalam bentuk zirkonium silikat pada zircon ($ZrSiO_4$) dan zirkonium oksida pada badelleyit (ZrO_2). Zirkonium merupakan salah satu unsur di aalam yang memiliki sifat tahan terhadap temperatur tinggi. Logam Zirkonium tahan terhadap korosi, tidak bereaksi dengan air, asam (nitrat, sulfat sebagai pelarut) meskipun dengan pemanasan. Pada suhu tinggi, zirkonium dapat bereaksi dengan oksigen, nitrogen, halogen, sulfur, hidrogen maupun karbon (Palar, 1994).

Rodium (Rh)

Rodium (Rh) adalah logam yang mirip dengan platinum dan berwarna putih atau perak terlihat tampak terang dan leih tahan lama. Logam ini sangat keras dan sulit pudar. Rhodium digunakan sebagai bahan paduan untuk mengeraskan dan meningkatkan ketahanan korosi.

Tantalum (Ta)

Tantalum merupakan unsur tanah jarang dengan nomor atom 181. Tantalum (Ta) Logam mengkilat berwarna keperakan yang sangat tahan terhadap korosi (Notohadiprawiro, 2006).



Gambar 4. 5 Grafik Unsur hara mikro (Mn, Si, dan Ti)

Mangan (Mn)

Mangan (Mn) merupakan unsur mikro yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang tidak terlalu banyak. Mangan sangat berperan dalam sintesa klorofil selain itu berperan sebagai koenzim, sebagai aktivator beberapa enzim respirasi, dalam reaksi metabolisme nitrogen dan fotosintesis. Mangan juga diperlukan untuk mengaktifkan nitrat reduktase sehingga tumbuhan yang mengalami

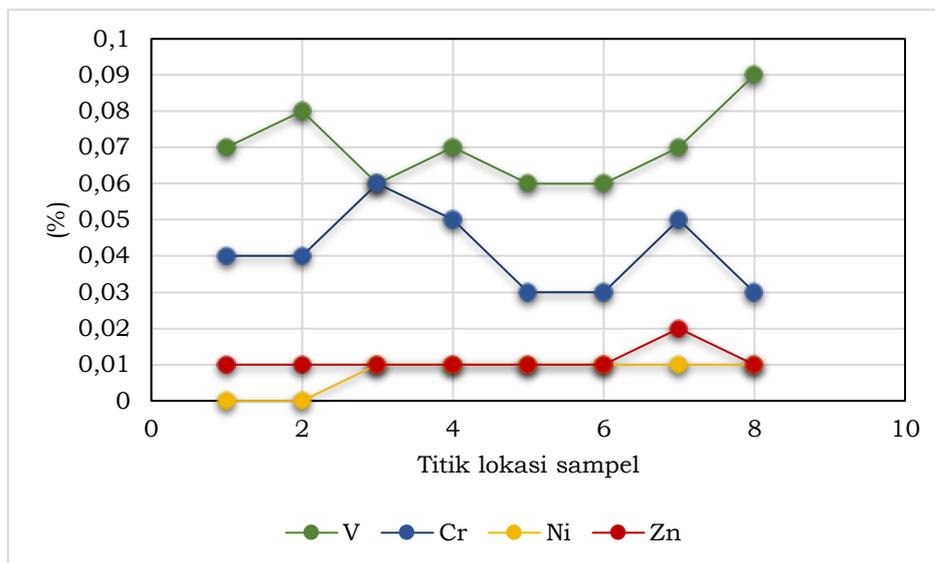
kekurangan mangan memerlukan sumber N dalam bentuk NH_4^+ . Peranan mangan dalam fotosintesis berkaitan dengan pelepasan elektron dari air dalam pemecahannya menjadi hidrogen dan oksigen.

Silikon (Si)

Si (Silikon) dapat meningkatkan hasil melalui peningkatan efisiensi fotosintesis dan menginduksi ketahanan terhadap hama dan penyakit. Ditemukan sebagai komponen dari dinding sel. Tanaman dengan pasokan silikon larut menghasilkan tanaman yang lebih kuat, meningkatkan panas dan kekeringan tanaman, toleransi silikon dapat disimpan oleh tanaman di tempat infeksi oleh jamur untuk memerangi penetrasi dinding sel oleh jamur menyerang (Hidayat, 2015).

Titanium (Ti)

Titanium adalah unsur terbanyak ke sembilan (0,63%) di kerak bumi dan terdistribusi secara luas. Di alam titanium tidak terdapat dalam bentuk bebas melainkan dalam bentuk mineral. Sumber titanium terdapat di banyak mineral dengan unsur utama adalah Rutile (TiO_2) dan Ilmenite (FeTiO_3) dalam bentuk titanium dioksida. Titanium adalah golongan bahan galian vital. Bahan galian vital merupakan bahan galian yang dapat menjamin hajat hidup orang banyak seperti besi, mangan, molibdenum, khromium, wolfram, vanadium, titanium dan lain-lain (Sukandarrumidi, 1999).



Gambar 4. 6 Grafik Unsur hara mikro (Zn, Ni, Cr, dan V)

Titanium (Ti) dianggap sebagai unsur yang bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman. Ti yang diaplikasikan melalui akar atau daun pada konsentrasi rendah telah terbukti meningkatkan kinerja tanaman melalui stimulasi aktivitas enzim

tertentu, meningkatkan kandungan klorofil dan fotosintesis, meningkatkan penyerapan nutrisi, memperkuat toleransi terhadap stres, dan meningkatkan hasil dan kualitas tanaman.

Zinc (Zn)

Kadar Zn dalam tanah juga dipengaruhi oleh kegiatan pertanian itu sendiri. Sumber utama Zn dalam tanah adalah aktivitas pertambangan dan peleburan logam, pertanian yang menggunakan pupuk dari sisa limbah, dan pertanian dengan bahan kimia (pupuk dan pestisida). Zn (Seng/Zinc) hampir mirip dengan Mn dan Mg, yang sangat berperan dalam aktivator enzim, pembentukan klorofil dan membantu proses fotosintesis. Kekurangan biasanya terjadi pada media yang sudah lama digunakan (Notohadiprawiro, 1998).

Nikel (Ni)

Nikel (Ni) diperlukan untuk enzim urease untuk menguraikan urea dalam membebaskan nitrogen ke dalam bentuk yang dapat digunakan untuk tanaman. Nikel diperlukan untuk penyerapan zat besi. Benih perlu nikel untuk berkecambah. Tanaman tumbuh tanpa tambahan nikel akan berangsur-angsur mencapai tingkat kekurangan saat mereka dewasa dan mulai pertumbuhan reproduksi.

Kromium (Cr)

Kromium (Cr) di dalam tanah berada dalam bentuk Cr(II), Cr(III), Cr(VI) dan terikat dengan oksida besi, aluminium dan bahan organik. Ketika jumlah kromium dalam tanah meningkat, hal ini masih dapat menyebabkan konsentrasi yang tinggi pada tanaman. Pengasaman tanah juga dapat mempengaruhi serapan kromium oleh tanaman. Tanaman biasanya hanya menyerap kromium (III). Tetapi ketika konsentrasi melebihi nilai tertentu, efek negatif dapat terjadi (Murray et al., 2005).

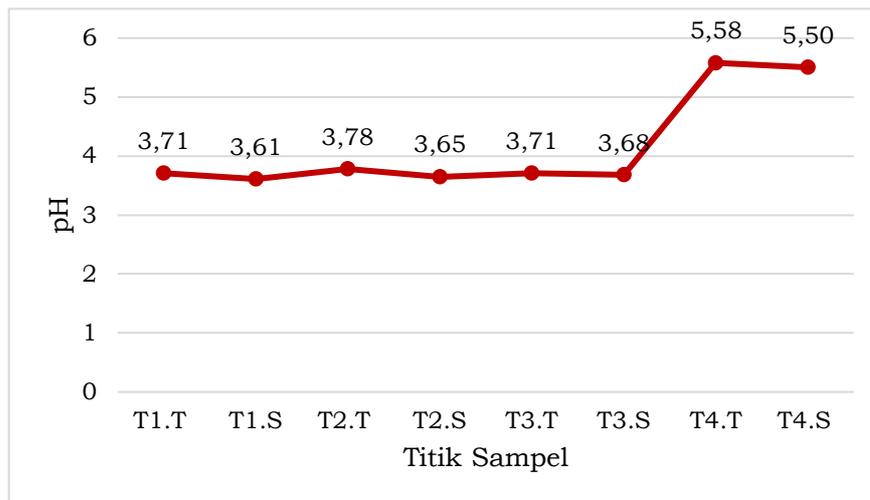
Vanadium (V)

Vanadium yang rendah mempunyai efek menguntungkan pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Namun demikian, V yang berlebihan menimbulkan banyak dampak buruk termasuk mengurangi perkecambahan biji, menghambat pertumbuhan akar dan tunas, menekan fotosintesis, mengganggu pertumbuhan tanaman. Vanadium memiliki peran biologis pada tanaman, dan V dosis rendah mempunyai manfaat bagi pertumbuhan tanaman, antara lain meningkatkan kandungan asam amino, gula, dan klorofil tanaman. Namun, keberadaan kadar V yang tinggi (yaitu beracun) di dalam tanah akan merusak tanaman melalui klorosis dan pertumbuhan terhambat (Yang, et al., 2015).

Parameter pH

Nilai pH menunjukkan banyaknya konsentrasi ion hidrogen (H^+) di dalam tanah. Makin tinggi kadar ion hidrogen di dalam tanah, semakin masam tanah tersebut. Di dalam tanah selain ion hidrogen dan ion-ion lain ditemukan pula ion OH^- , yang jumlahnya berbanding terbalik dengan banyaknya ion H^+ . Pada tanah-tanah yang masam jumlah ion H^+ lebih tinggi daripada ion OH^- , sedangkan pada tanah alkalis kandungan OH^- lebih banyak daripada H^+ (Hardjowigeno, 2007).

Keterangan : T1.T (Titik 1, Top 0-20cm); T1.S (Titik 1, Sub 20-40cm), T2.T (Titik



Gambar 4. 7 Grafik Parameter pH

2, Top 0-20cm); T2.S (Titik 2, Sub 20-40cm), T3.T (Titik 3, Top 0-20cm); T3.S (Titik 3, Sub 20-40cm), T4.T (Titik 4, Top 0-20cm); T4.S (Titik 4, Sub 20-40cm).

Pada pengujian laboratorium parameter pH pada tanah Ultisol didapatkan seperti di gambar 4.7, bahwa dilokasi lahan (1) Perkebunan sawit nilai pH 3,71 (Top, 0-20cm); 3,61 (Sub, 20-40cm), lahan (2) Perkebunan sawit dan karet nilai pH 3,78 (Top, 0-20cm); 3,65 (Sub, 20-40cm), lahan (3) Hutan nilai pH 3,71 (Top, 0-20cm); 3,68 (Sub, 20-40cm), dan lahan (4) Perkebunan Sayuran nilai pH 5,58 (Top, 0-20cm); 5,50 (Sub, 20-40cm). Pada hasil pengujian parameter pH dapat digolongkan pada kategori kriteria masam. Ewin, Fauzi dan Razauli (2015) menjelaskan bahwa kemasaman tanah dapat disebabkan beberapa faktor, antara lain bahan induk tanah, bahan organik, hidrolisis aluminium, reaksi oksidasi terhadap mineral tertentu dan pencucian basa.

Kemasaman (pH) tanah juga berhubungan dengan kandungan Aluminium dapat dipertukarkan, bahwa semakin meningkat nilai pH tanah maka nilai Al-dd di dalam tanah akan semakin menurun. Begitu juga sebaliknya dengan menurunnya pH tanah maka nilai Al-dd di dalam tanah akan semakin meningkat. Hal ini sejalan dengan yang dikemukakan Mulyani, dkk (2010) bahwa nilai pH tanah yang relatif mudah diukur dapat digunakan untuk panduan dalam

menduga tingkat kejenuhan Al. Berdasarkan kandungan Al-dd yang tinggi pH yang tergolong masam dan P-tersedia yang sedikit maka lokasi penelitian sangat perlu peningkatan pemberian pupuk organik karena penyebab P-tersedia sedikit adalah kandungan aluminium didalam tanah yang masih ada dan mengikat fosfor dalam bentuk Al-P sehingga tidak tersedia bagi tanaman.

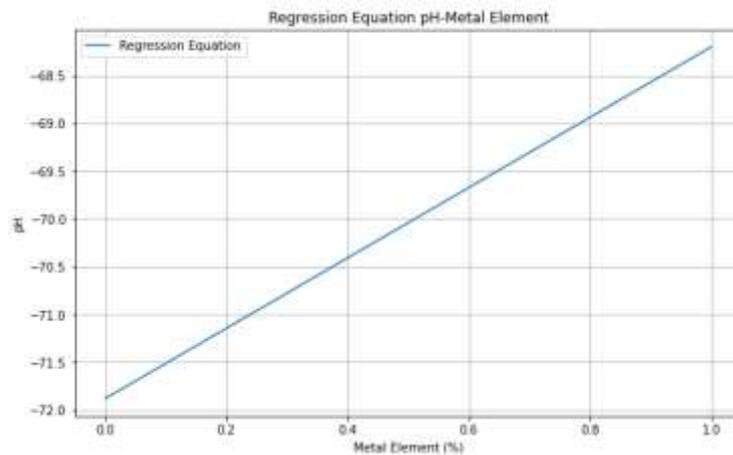
Korelasi pH, Unsur logam, dan Unsur Hara (Makro dan Mikro)

Tabel 4.1 Distribusi kandungan logam, unsur hara dan pH pada lokasi yang berbeda

Element	Kode Sampel								
	T1.T	T1.S	T2.T	T2.S	T3.T	T3.S	T4.T	T4.S	
Unsur Logam (%)	Mg	4,30	5,72	4,35	4,35	4,08	5,65	3,08	3,46
	Al	20,52	21,82	16,08	20,30	19,23	20,59	22,08	23,34
	Si	59,62	54,45	67,22	62,16	61,15	58,05	57,21	54,73
	Fe	11,26	13,43	8,16	9,19	11,71	12,03	12,25	13,60
	S	0,08	0,05	0,09	0,08	0,11	0,07	0,08	0,05
	Cl	0,06	0,05	0,06	0,07	0,08	0,06	0,03	0,03
	K	0,58	0,61	0,46	0,43	0,43	0,42	0,61	0,41
	Ca	0,04	0	0,36	0,13	0,04	0	1,35	0,91
	Ti	3,09	3,37	2,75	2,84	2,72	2,67	0	2,98
	Zn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
	Zr	0,31	0,32	0,28	0,29	0,31	0,30	0,25	0,29
	Ni	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Ga	0,01	0,01	0	0,01	0	0,01	0	0,01
	Mn	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,05	0,02
	Cr	0,04	0,04	0,05	0,05	0,03	0,03	0,05	0,03
	Rh	0	0	0,02	0	0	0	0,02	0
	Ta	0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
V	0,07	0,08	0,06	0,07	0,06	0,06	0,07	0,09	
Unsur Hara Makro (%)	N	0,286	0,286	0,287	0,288	0,143	0,143	0,144	0,288
	P	0,0019	0,00048	0,016	0,0013	0,0010	0,00049	0,0043	0,0014
	C	0,041	0,035	0,060	0,040	0,065	0,050	0,048	0,033
	K	59,62	54,45	67,22	62,16	61,15	58,05	57,21	54,73
	Ca	0,04	0	0,36	0,13	0,04	0	1,35	0,91
	Mg	4,30	5,72	4,35	4,35	4,08	5,65	3,08	3,46
	S	0,08	0,05	0,09	0,08	0,11	0,07	0,08	0,05
Unsur Hara Mikro (%)	Zn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
	Fe	11,26	13,43	8,16	9,19	11,71	12,03	12,25	13,60
	Mn	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,05	0,02
	Si	59,62	54,45	67,22	62,16	61,15	58,05	57,21	54,73
pH	pH	3,71	3,61	3,78	3,65	3,71	3,68	5,58	5,50

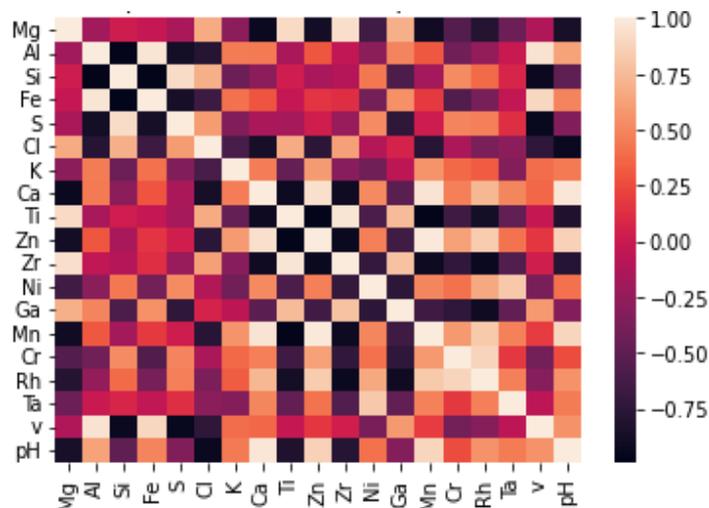
Keterangan : T1.T (Titik 1, Top 0-20cm); T1.S (Titik 1, Sub 20-40cm), T2.T (Titik 2, Top 0-20cm); T2.S (Titik 2, Sub 20-40cm), T3.T (Titik 3, Top 0-20cm); T3.S (Titik 3, Sub 20-40cm), T4.T (Titik 4, Top 0-20cm); T4.S (Titik 4, Sub 20-40cm).

Dari Tabel 4.1, dapat dilihat bahwa peningkatan nilai pH ditandai dengan penurunan kandungan Mg dan peningkatan kandungan Al, pada daerah lapisan atas (Top, 0-20cm) peningkatan pH juga di iringi dengan peningkatan Fe dan Mn (Gryboys, M, et al., 2009; Bahera and Shukla., 2014). Secara umum perubahan pH untuk yang dikorelasikan dengan unsur logam dapat ditandai dengan perubahan unsur Mg, Al, Fe, Cl, Ca, Zn, Zr, Mn. Korelasinya dapat dilihat seperti pada gambar 4.8 berikut.



Gambar 4. 8 Regresi Linier pH terhadap unsur Logam

Dari gambar 4.8 dapat dilihat bahwa grafik yang menggambarkan linearitas hubungan korelasi antara nilai pH dengan unsur logam dengan mempunyai nilai sebesar $R^2 = 0.938$, Adapun sebaran unsur-unsur yang berkorelasi dapat dilihat seperti pada gambar 4.9 berikut.

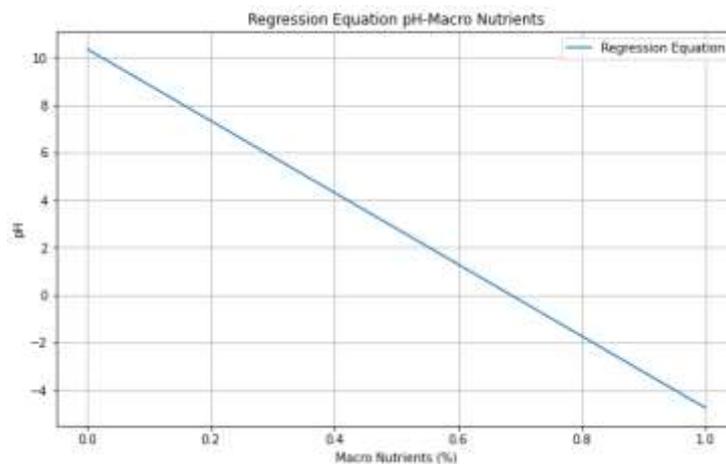


Gambar 4. 9 Peta Sebaran Korelasi pH terhadap unsur Logam

Pada gambar 4.9, menunjukkan korelasi dengan digambarkan oleh *heatmap*. Korelasi *heatmap* diatas adalah representasi visual dari hubungan antara berbagai variabel, dimana intensitas warna pada sel *heatmap* mencerminkan kekuatan dan arah korelasi antara variabel tersebut. Untuk unsur hara makro, peningkatan pH turut mempengaruhi peningkatan kadar Ca dan Penurunan kadar Mg. Oleh karena itu, perubahan pH memiliki pengaruh besar terhadap perubahan unsur hara makro (Meille, et al., 2021) namun secara umum untuk pH dengan rentan 3,5 – 5,6 tidak terlalu memberikan pengaruh terhadap perubahan unsur hara makro (N, P, C dan K).

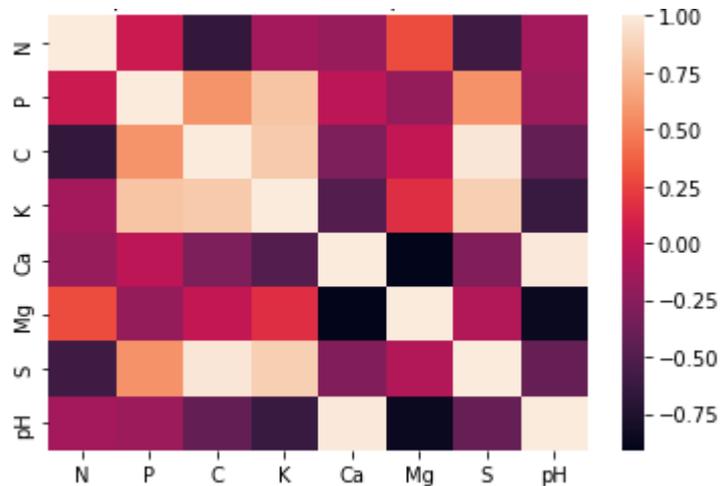
Dalam konteks hubungan antara pH dan unsur hara makro-mikro tanah serta kandungan logam tanah, korelasi *heatmap* dapat memberikan wawasan mendalam tentang sejauh mana pH tanah berkaitan dengan berbagai komponen tersebut. Pada *heatmap* ini, masing-masing sel mencerminkan korelasi antara pH dengan setiap elemen hara makro-mikro tanah dan logam. Jika sel memiliki warna yang lebih terang, itu menunjukkan korelasi positif, sedangkan warna yang lebih gelap menunjukkan korelasi negatif. Korelasi positif (searah) artinya setiap kenaikan nilai pH tanah maka akan meningkatkan kandungan unsur hara ataupun unsur logam, dan sebaliknya. Hubungan korelasi positif terjadi antara nilai pH tanah terhadap unsur Al, Fe, Ca, Zn, Ni, Ta, V, Cr, Rh, dan Mn. Sedangkan korelasi negatif menunjukkan bahwa antara nilai pH tanah terhadap unsur hara makro-mikro serta unsur logam bergerak berlawanan arah, yang artinya jika nilai pH meningkat maka akan menyebabkan penurunan nilai hara dan unsur logam, begitu pula sebaliknya. Korelasi negatif terjadi pada hubungan nilai pH terhadap unsur Mg, Si, S, Cl, K, Ti, Zr, Ga, N, P, dan C.

Adapun korelasi antara nilai pH dan unsur hara makro dapat dilihat seperti pada gambar 4.10 berikut.



Gambar 4. 10 Regresi Linier pH terhadap Unsur Hara Makro

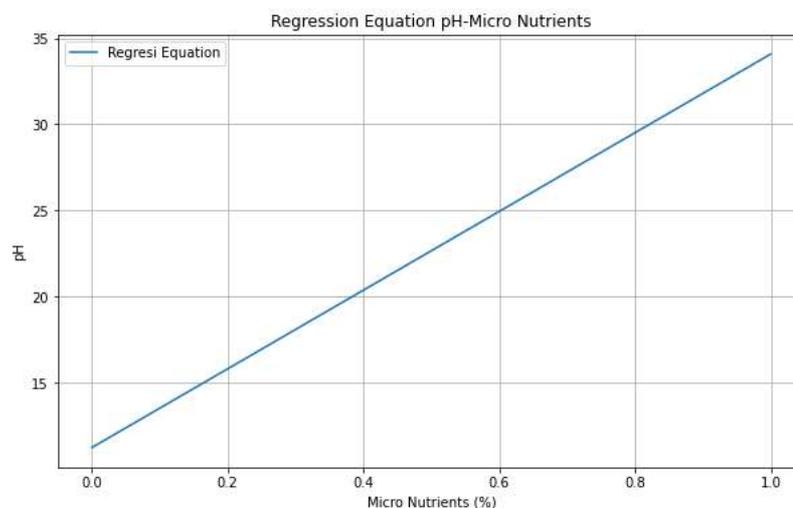
Dari gambar 4.10 dapat diketahui bahwa korelasi pH dengan unsur hara makro (N, P, C, K, Ca, Mg, S) memiliki korelasi yang kuat yaitu sebesar $R^2 = 0.934$. Adapun sebaran unsur yang saling berkorelasi dapat dilihat seperti pada gambar 4.11 berikut.



Gambar 4. 11 Peta Sebaran Korelasi pH dengan Unsur Hara Makro

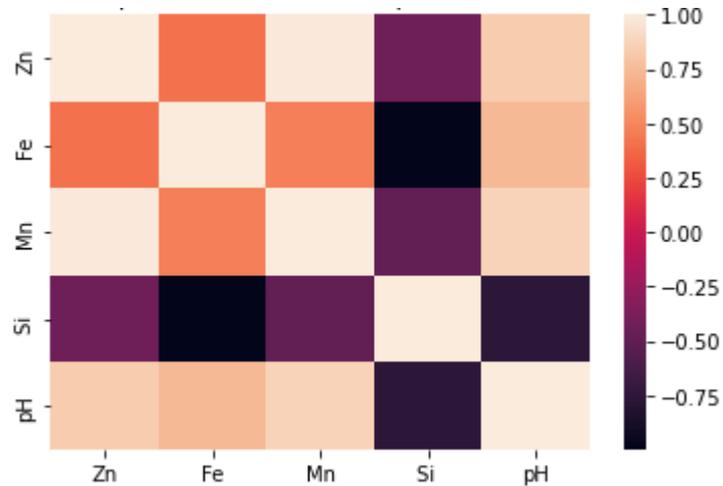
Untuk unsur hara makro, perubahan terjadi ketika peningkatan pH sehingga menyebabkan peningkatan Mg, hal ini sedikit berbeda dengan beberapa penelitian terdahulu (Bahera and Shukla, 2014). Mg dan pH memiliki korelasi negatif, ini menunjukkan bahwa antara nilai pH tanah terhadap Mg bergerak berlawanan arah, yang artinya jika nilai pH meningkat maka akan menyebabkan penurunan nilai Mg, begitu juga sebaliknya. Adapun korelasi nilai pH dengan unsur hara mikro dapat dilihat seperti pada gambar 4.12 berikut.

Gambar 4. 12 Regresi Linier pH terhadap unsur Hara Mikro



Dari gambar 4.12 dapat dilihat bahwa nilai korelasi antara pH dan unsur hara mikro sebesar $R^2 = 0.767$, korelasi ini merupakan korelasi terendah

dibandingkan korelasi pH dengan unsur logam dan unsur hara makro, namun tetap memiliki korelasi yang relatif kuat. Adapun sebaran unsur hara mikro berdasarkan nilai korelasinya dapat dilihat seperti pada gambar 4.13 berikut.



Gambar 4. 13 Peta Sebaran Korelasi pH dengan Unsur Hara Mikro

Pada unsur mikro seperti Fe, Zn, dan Mn terhadap pH bersifat positif terlihat dari warna peta sebaran yang lebih terang, sedangkan pada Si berwarna lebih gelap ini menunjukkan Si bersifat negatif. Korelasi negatif menunjukkan bahwa antara nilai pH tanah terhadap unsur Si bergerak berlawanan arah, yang artinya jika nilai pH meningkat maka akan menyebabkan penurunan nilai unsur logam Si, begitu pula sebaliknya. Sehingga menjadi mudah larut mengakibatkan jumlahnya terlalu besar dan bersifat racun bagi tanaman.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pengujian pada tanah ultisol dengan *X-Ray Fluorescence* (XRF) mendapatkan 18 unsur logam, meliputi Mg, Al, Si, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, Ga, Rh, dan Ta.
2. Hasil uji laboratorium unsur hara meliputi, P-tersedia dengan nilai rata-rata ialah 0,0157% (sangat redah), nilai rata-rata C-organik yaitu 0,046% (sangat rendah), dan nilai rata-rata N-total yaitu 0,233% (sedang).
3. Korelasi pH dengan unsur logam memiliki nilai korelasi paling besar dibandingkan dengan korelasi terhadap unsur hara makro dan mikro yaitu dengan nilai $R^2 = 0,938$, nilai korelasi dengan unsur hara makro sebesar $R^2 = 0,934$ serta unsur hara mikro sebesar 0,767.

5.2 Saran

Adapun saran dalam penelitian ini ialah perlu ditambahkan analisis dari uji unsur logam lainnya, seperti uji ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry*) pada tanah ultisol.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman, A. 1992. Sistem pertanaman lorong : Salah satu alternatif dalam pengembangan pertanian lahan kering di Jambi. Penanganan lahan kering marginal melalui usaha tani terpadu. Balitbang Peertanian, Dinas-dinas Pertanian Provinsi Jambi dan Balai Informasi Pertanian Jambi. Jambi.
- Adiningsih, S., J, Suwardjo dan Mulyadi. 1993. Alternatif teknik rehabilitas dan pemanfaatan lahan alang-alang. Bogor. Badan Litbang Pertanian. (29-50).
- Afandi, R. N. W. 2005. Ilmu Kesuburan Tanah. Penerbit Kansius. Yogyakarta.
- Balasubramanian, D., et al, 2020. Soil organic matter as affected by the conversion of natural tropical rainforest to monoculture rubber plantation under arcic ferralsols. *Journal Catena*. 195; 104753.
- Bandyopadhyay, S., Maiti, S. K., (2021). Application of statistical and machine learning approach for prediction of soil index formulated to evaluate trajectory of ecosystem recovery in coal mine degraded land. *Journal Ecological Enggineering*. 170; 106351.
- Behera, S. J., et al, 2018. Spatial variability of soil properties and delineation of soil management zones of oil palm plantation grown in a hot and humid tropical region of southern India. *Journal Catena*. 165; 251-259.
- Benedet, L., et al, 2021. Rapit soil fertility prediction using X-ray fluorescence data and machine learning algorithms. *Journal Catena*. 197; 1-15.
- Brady N.C and Weil RR. 2002. The Nature and Properties of Soils 10th ed, Macmillan Newyork., pp. 960.
- Buckman, H.O. dan N.C. Brady. 1982. Ilmu Tanah. Bhratarata Karya Aksara. Jakarta. 788.
- Chen, C., Liu, W., Wu, J., Jiang, X & Zhu, X., 2019. Can intercropping with the cash help improve the soil physico-chemical properties of rubber plantations?. *Journal Geoderma*. 335; 149-160.
- Curtin, D., Campbell, CA, Jalil, A. (1998). Pengaruh keasaman pada mineralisasi: ketergantungan pH mineralisasi bahan organik di tanah yang sedikit asam. *Biologi Tanah dan Biokimia*. 30(1); 57-64.
- Darmawijaya, M.I. 1997. Klasifikasi Tanah. Gajah Mada University Press. Yogyakarta. 386 hal.
- Dechert G, Veldkamp E, Anas I. 2004. Is soil degradation unrelated to deforestation? Examining soil parameters of land use systems in upland Central Sulawesi, Indonesia. *Plant and Soil* 265:197–209.
- Diantika, A.S., 2020. Implementasi Machine Learning Pada Aplikasi Penjualan Produk Digital (Studi Pada Grabkios). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa FEB*. 9(1).

- Ewin, S., Fauzi and Razauli. 2015. Karakteristik Sifat Kimia Sub Grup Tanah Ultisol di Beberapa Wilayah Sumatera Utara. *Jurnal Agroteknologi*, 4(11), 572.
- Fitri, I. 2016. Analisis Kandungan Mineral Logam Singkapan Batuan Dikawasan Pertambangan Mangan Desa Kumbewaha Kecamatan Siotapina Kabupaten Buton Dengan Menggunakan Metode X-RF. Hasil Penelitian Universitas Haluoleo. Kendari. Skripsi Universitas Haluoleo.
- Foth, H.D. 1994. Dasar-Dasar Ilmu Tanah (Terjemahan Purbayanti, Lukiwati dan Trimutshih "Fundamental of Soil Science"). Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 782.
- Gosseau, D. 2009. Introduction to XRF Spectroscopy. Online. <http://users.skynet.be/>. diakses tanggal 28 November 2023.
- Ginting, Rosmenda, Sulkifli N. 2013. Pemetaan Status Unsur Hara C-Organik Dan Nitrogen Di Perkebun Nanas (*Ananas comosus* L. Merr) Rakyat Desa Panribuan Kecamatan Dolok Silau Kabupaten. *Jurnal Online Agroekoteknologi* 1(4): 1308–1318.
- Girard, J.E. 2010. Principles of Environmental Chemistry. USA: Jones and Bartlett Publisher.
- Grybos, M., Davranche, M., Gruau, G., Petitjean, P., Pedrot, M. 2009. Increasing pH drives organic Matter Solubilization from Wetland Soils Under Reducting Conditions. *Gederm* 154(1-2); 13-19. doi: 10.1016/j.geoderma.2009.09.001.
- Hakim, N., Nyakpa, M.Y., Lubis, A.M., Nugroho, S.G., Diha, M.A., Hong, G.B. dan Bailey, H.H. 1986. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Universitas Lampung. Lampung. 488.
- Handayani, S., dan Karnilawati, 2018. Karakteristik dan Klasifikasi Tanah Ultisol di Kecamatan Indrajaya Kabupaten Pidie.
- Handayanto, E., Muddarisna, N., dan Fiqri, A. 2017. Pengolahan Kesuburan Tanah.
- Hardjowigeno, S. 2010. Ilmu Tanah. Jakarta : Akademika Pressindo. 288 hal.
- Hartati, R.D. 1995. Penentuan Kandungan Cu, Pb, Zn, Mg, Ag, Fe, dan Au dalam contoh Batuan Sulfida dengan SSA dan Beberapa Cara Dekomposisinya dalam Standarisasi Metode Analisis dan Produk Olahan Bijih Sulfida. Padang: LIPI.
- Helfer, GA, Barbosa, J, L, V., Santos, R, D., Costa, B, D, C. (2020). Model komputasi untuk prediksi kesuburan tanah di bidang pertanian di mana-mana. *Jurnal Komputer dan Elektronika di Bidang Pertanian*.
- Hermawan, M.T.T., Faida, L.R.W., Wianti, K.F., Marhaento, H., Anindia, A. 2014. Pengelolaan Kawasan Konservasi. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hidayat, B. 2015. Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat dengan menggunakan Biochar. *Jurnal Pertanian Tropik*. 1(2):31-41.
- Huda, A dan Ardi, N. 2020. *Dasar-Dasar Pemrograman Berbasis Python*. Padang : UNP PRESS.

- Hugar, G.M, V Sorgenvi dan G.M Hiremath. 2012. Effect of Organic Carbon on Soil Moisture. *Natural Sciences* 3(15): 1191-1235.
- Ilahi, W. 2000. Penetapan Metode Analisis dan Batas Kritis P-Tersedia Tanah Sawah Kelurahan Amplas Air Bersih Kecamatan Medan Denai [skripsi]. Fakultas Pertanian USU, Medan.
- Ivezic, V., Almas, AR, Singh, BR, Lonevaric, Z. (2015). Prediksi konsentrasi logam jejak (Cd, Cu, Fe, Mn, dan Zn) dalam biji gandum dari tanah pertanian yang tidak tercemar. *Acta Agriculturae Scandinavica, Bagian B - Ilmu Tanah & Tanaman*. 63(4); 360-369.
- Kuswandi. 1993. Pengapuran Tanah Pertanian. Kanisius. Yogyakarta.
- Manurung, R., Gunawan, J., Hazriani, R. dan Suharmoko, J. 2017. Pemetaan status unsur hara N, P dan K tanah pada perkebunan kelapa sawit di lahan gambut. *Jurnal Pedon Tropika* 3(1):89- 96.
- Meille, L. J., Holland, J.E., McGrath, S.P., Glendining, M.J., Thomas, C.L., Haefele, S.M. 2021. The grain mineral composition of barley, oat and wheat on soils with pH and soil phosphorus gradients. *European Journal of Agronomy*. 126;126281. doi: 10.1016/j.eja.2021.126281
- Munawar, A. A., Yunus, Y., Devianti & Satrio, P., 2020. Calibration models database of near infrared spectroscopy to predict agricultural soil fertility properties. *Journal data in brief*. 30; 105469.
- Munnaf, M. A., Mouazen, A. M., 2021. Development of a soil fertility index using on-line Vis-NIR spectroscopy. *Journal Computers and Electronics in Agriculture*. 188; 106341.
- Mulyani, A., A. Rachman., dan A. Dairah. 2010. Penyebaran Lahan Masam, Potensi dan Ketersediaannya Untuk Pengembangan Pertanian. dalam Prosiding Simposium Nasional Pendayagunaan Tanah Masam. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor. Hal: 23-34.
- Murray, K. J., Mozafarzadeh, M. L., & Tebo, B. M. 2005. Cr (III) oxidation and Cr toxicity in cultures of the manganese (II) - oxidizing *Pseudomonas putida* strain GB-1. *Geomicrobiology Journal*, 22(3-4), 151-159.
- Mustofa A. 2007. Perubahan Sifat Fisik, Kimia dan Biologi Tanah Pada Hutan Alam yang Diubah Menjadi Lahan Pertanian di Kawasan Taman Nasional Gunung Leuser. [Skripsi]. Bogor: Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor.
- Nawar, S., et al. (2019). Can Spectral analyses improve measurement of key soil fertility parameters with X-ray fluorescence spectrometry?. *Journal geoderma*. 350; 29-39.
- Ni, X., et al. 2021. Decline in nutrient inputs form litterfall following forest plantation in subtropical China. *Journal Forest Ecology and Management*. 496; 119445.

- Notohadiprawiro, T. 1998. Tanah dan Lingkungan. Direktorat Jenral Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Jakarta. 237 Hal.
- Notohadiprawiro, T. 2006. Logam Berat dalam Pertanian. Ceramah di Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Repro. Ilmu Tanah UGM. 10 Hal.
- Nugroho, A.R., dan Nasrudin. 2020. Geografi tanah. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarmasin. Hal 8-10.
- Nurahmi, E. 2010. Kandungan Unsur Hara Tanah Dan Tanaman Selada Pada Tanah Bekas Tsunami Akibat Pemberian Pupuk Organik Dan Anorganik.
- Pairunan. A. K. et.al. 1985. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Ujung Pandang: BKPTINTIM. 375.
- Palar, H. 1994. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Rineka Cipta. Jakarta. 148 Hal.
- Permana, A. Aditya, Wahyuddin, L.W. Santoso, G.W. Wibowo, A.K. Wardhani, A.J. Wahidin, G.E. Yuliasuti, dan R.R. Wijayanti. 2023. *Machine Learning*. Padang : Global Eksekutif Teknologi.
- Prasetyo, B. H., dan Suriadikarta, D. A. 2006. Karakteristik, Potensi, dan Teknologi Pengolahan Tanah Ultisol Untuk Pengembangan Pertanian Lahan Kering di Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian Bogor*, 25 (2):39-47.
- Raiwani, Rumiati, Burhanuddin dan Herlina Darwati. 2016. Pengaruh Pupuk Organik Kotoran Sapi Terhadap Pertumbuhan Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* Linn) Pada Tanah Ultisol. *Jurnal Hutan Lestari* Vol. 4 (4).
- Rajmi. S. L., Margarettha, dan Refliaty. 2018. Peningkatan Ketersediaan P Ultisol dengan menggunakan Fungi Mikoriza Arbuskular. *Jurnal Agroekoteknologi Fakultas Pertanian*, Universitas Jambi, 1(2):45-46.
- Romzi, M. and Kurniawan, B., 2020. Pembelajaran Pemrograman Python Dengan Pendekatan Logika Algoritma. *JTIM: Jurnal Teknik Informatika Mahakarya*. 3(2) : 37-44.
- Salam, A. K. 1995. Imobilisasi Logam Berat di Dalam Tanah selama 15 Tahun. *J. Ilmu-Ilmu Pertanian*. 3(1): 20-27.
- Salam, A. K. 2017. Management of Heavy Metals in Tropical Soil Enviroment. Global Madani Press. Lampung. 257 Hal.
- Santoso, J.T. 2022. Algoritma machine learning dengan python. Malang : Penerbit Yayasan Prima Agus Teknik.
- Septian. 2013. *Belajar Pemrograman Python Dasar*. Bandung : POSS – UPI
- Setiadi Y. 2012. Pembenahan Lahan Pasca Tambang (Soil Amendment Post Mined Land). Post Mining Restoration Technical Note. Tidak Diterbitkan.
- Sipahutar, A. H., P. Marbun, dan Fauzi. 2014. Kajian C-Organik, N Dan P Humitropepts pada Ketinggian Tempat yang Berbeda di Kecamatan Lintong Nihuta. *Agroekoteknologi*, 2(4): 1332-1338.

- Sipahutar, A.H., Marbun, P., dan Fauzi. 2015. Kajian C-organik, N, P dan K Pada Ketinggian Tempat Yang Berbeda Di Kecamatan Lintong Nihuta.
- Siregar, P., Fauzi, dan Supriandi. 2015 Pengaruh Pemberian Beberapa Sumber Bahan Organik dan Masa Inkubasi Terhadap Beberapa Aspek Kimia Kesuburan Tanah Ultisol.
- Soewandita, H. 2008. Studi Kesuburan Tanah dan Analisis Kesesuaian Lahan untuk Komoditas Tanaman Perkebunan di Kabupaten Bengkalis. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*. 10(2)131-132.
- Sosiawan, Hendri. 2010. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi. Jakarta: BinaAksara.
- Subardja, D. 1986. Pedogenesis beberapa profil PMK dari batuan sedimen tufa masam di daerah Lampung. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk*. 7: 83-102.
- Sudarmadji, S., Bambang, H dan Suhardi. 2007. Prosedur analisa untuk bahan makanan dan pertanian. Liberti : yogyakarta.
- Sudarmi, 2013. Pentingnya Unsur Hara Mikro Bagi Pertumbuhan Tanaman. *Jurnal Widyatama*, Fakultas Pertanian Universitas Veteran, 22, 178-183.
- Sugiyarto, Kristian., H. 2003. Dasar-Dasar Kimia Anorganik Logam. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Suharto, Agus. 2023. *Fundamental Bahasa Pemrograman Python*. Purbalingga : CV.EUREKA MEDIA AKSARA.
- Sukandarrumidi, 1999. Bahan Galian. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Sulaeman, Suparto dan Eviati. 2005. Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. Bogor: Balai Penelitian Tanah dan Pengembangan Penelitian, Departemen Pertanian. 82-103.
- Supranto. J. 2001. Statistika Teori dan Aplikasi Edisi Keenam Jilid2. Jakarta : Erlangga.
- Surya, J.A., Nuraini, Y, dan Widiyanto. 2017. Kajian Porositas Tanah Pada Pemberian Beberapa Jenis Bahan Organik Di Perkebunan Kopi Robusta.
- Sutejo, Mul. M. 1987. Pupuk dan Cara Pemupukan. Jakarta : Penerbit Rineka Cipta.
- Syekhfani, 2012. Arti Penting Bahan Organik Bagi Kesuburan Tanah, Kongres I dan Semiloka Nasional, 1-8.
- Teixeria, A. F., et al. 2020. Tropical soil ph and Sorption Complex prediction via portable X-ray fluorescence spectrometry. *Journal Geoderma*. 361; 114132.
- Triono. 2010. Dinas Pertanian Tanaman Pangan dan Hortikultura. [Http://distan.kalbarprov.go.id](http://distan.kalbarprov.go.id).
- Umar, 2003. Optimalisasi analisis X-Ray Fluorescence Spectrophotometer dengan menggunakan metode preparasi sampel Fused Bead (pushed pellet), Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Viklund, A. 2008. Teknik Pemeriksaan Material Menggunakan XRF, XRD dan SEM-EDS, (Online), <http://labinfo.wordpress.com/>, diakses tanggal 28 November 2023.

- Wali, M., Nengsih, T.A., Hts, D.I.G., Choirina, P., Awaludin, A.A.R., Yusuf, M., Aminuddin, F.H., Purwandari, N. dan Baradja, A., 2023. *PENGANTAR 15 BAHASA PEMROGRAMAN TERBAIK DI MASA DEPAN (Referensi & Coding Untuk Pemula)*. Jambi : PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Walworth, J.L, 2006. Soil Sampling and Analysis. College of Agriculture and Life Sciences. The University Of Arizona Cooperative Extensions. Ref 10/11; 1-5.
- Walworth J. 2013. Nitrogen in Soil and the Environment [editorial]. Cooperative extension Publication College of Agriculture and Life Sciences.
- Yang ZB, Horst WJ. 2015. Aluminum-induced inhibition of root growth: Roles of cell wall assembly, structure, and function. Springer. 24: 253–274.

LAMPIRAN

1. Gambar Lokasi Pengambilan Sampel Penelitian



Gambar L.1. Area 1 (Perkebunan Sawit)



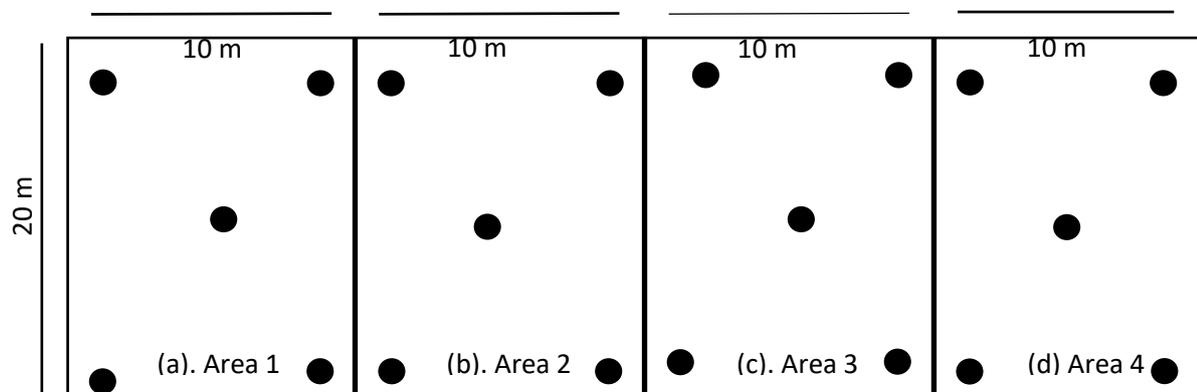
Gambar L.2. Area 2 (Perkebunan Sawit, Karet dan Hutan)



Gambar L.3. Area 3 (Hutan)



Gambar L.4. Area 4 (Perkebunan Sayuran)



2. Gambar Alat dan Bahan Penelitian



Gambar Alat XRF



Gambar Mortal dan Alu



Gambar Timbangan Analitik



Gambar L.4. Ayakan 15 mesh



Gambar Sampel Tanah



Gambar Proses pengambilan Sampel



3. Hasil data pengukuran menggunakan uji *X-ray Fluorescence* (XRF) (P-tersedia, N-total, dan C-organik)

No	Sampel	Parameter Uji	Hasil Analisa	Metode Uji
1.	T. At. 1	P-tersedia Kurt Bray I	19,34 ppm	P tersedia Kurt Bray I
		C-Organik Metode Walkley	0,04%	Wakley & Black
		N-total Metode Kjeldahl	0,286%	AOAC 2001.1
2.	T. As. 1	P-tersedia Kurt Bray I	4,80 ppm	P tersedia Kurt Bray I
		C-Organik Metode Walkley	0,035%	Wakley & Black
		N-total Metode Kjeldahl	0,286%	AOAC 2001.1
3.	T. Bt. 2	P-tersedia Kurt Bray I	160,89 ppm	P tersedia Kurt Bray I
		C-Organik Metode Walkley	0,060%	Wakley & Black
		N-total Metode Kjeldahl	0,287%	AOAC 2001.1
4.	T. Bs. 2	P-tersedia Kurt Bray I	12,96 ppm	P tersedia Kurt Bray I
		C-Organik Metode Walkley	0,040%	Wakley & Black
		N-total Metode Kjeldahl	0,288%	AOAC 2001.1
5.	T. Ct. 3	P-tersedia Kurt Bray I	10,25 ppm	P tersedia Kurt Bray I
		C-Organik Metode Walkley	0,065%	Wakley & Black
		N-total Metode Kjeldahl	0,143%	AOAC 2001.1
6.	T. Cs. 3	P-tersedia Kurt Bray I	4,92 ppm	P tersedia Kurt Bray I
		C-Organik Metode Walkley	0,050%	Wakley & Black
		N-total Metode Kjeldahl	0,143%	AOAC 2001.1
7.	T. Dt. 4	P-tersedia Kurt Bray I	42,75 ppm	P tersedia Kurt Bray I
		C-Organik Metode Walkley	0,048%	Wakley & Black
		N-total Metode Kjeldahl	0,144%	AOAC 2001.1
8.	T. Ds. 4	P-tersedia Kurt Bray I	13,77 ppm	P tersedia Kurt Bray I
		C-Organik Metode Walkley	0,033%	Wakley & Black
		N-total Metode Kjeldahl	0,288%	AOAC 2001.1

4. Uji Laboratorium unsur hara (P-tersedia, N-total, dan C-organik)

Titik	P-tersedia Kurt Bray I	C-Organik Metode Walkley	N-total Metode Kjeldahl
T.At.1	0,0019%	0,040%	0,286%
T.As.1	0,00048%	0,035%	0,286%
T.At.2	0,060%	0,060%	0,287%
T.As.2	0,0013%	0,040%	0,288%
T.At.3	0,0010%	0,065%	0,143%
T.As.3	0,00049%	0,050%	0,143%
T.At.4	0,0043%	0,048%	0,144%
T.As.4	0,0014%	0,033%	0,288%

5. Uji Unsur Kandungan Logam pada tanah Ultisol

a. Unsur hara makro

Formula	Mg	Ca	S	K
T.At.1	4,30	0,04	0,08	0,58
T.As.1	5,72	0	0,05	0,61
T.Bt.2	4,32	0,36	0,09	0,46
T.BS.2	4,35	0,13	0,08	0,43
T.Ct. 3	4,08	0,04	0,11	0,43
T.Cs. 3	5,65	0	0,07	0,42
T.Dt. 4	3,08	1,35	0,08	0,61
T.Ds. 4	3,46	0,91	0,05	0,41

b. Unsur hara mikro

Formula	Fe	Al	Cl
T.At.1	11,26	20,52	0,06
T.As.1	13,43	21,82	0,05
T.Bt.2	8,16	16,08	0,06
T.BS.2	9,19	20,3	0,07
T.Ct. 3	11,71	19,23	0,08
T.Cs. 3	12,03	20,59	0,06
T.Dt. 4	12,25	22,08	0,03
T.Ds. 4	13,60	23,34	0,03

Formula	Mn	Si	Ti
T.At.1	0,01	59,62	3,09
T.As.1	0,02	54,45	3,37
T.Bt.2	0,02	67,22	2,75
T.BS.2	0,01	62,16	2,84
T.Ct. 3	0,02	61,15	2,72
T.Cs. 3	0,01	58,05	2,67
T.Dt. 4	0,05	57,21	2,82
T.Ds. 4	0,02	54,73	2,98

Formula	V	Cr	Ni	Zn
T.At.1	0,07	0,04	0	0,01
T.As.1	0,08	0,04	0	0,01
T.Bt.2	0,06	0,06	0,01	0,01
T.BS.2	0,07	0,05	0,01	0,01
T.Ct. 3	0,06	0,03	0,01	0,01
T.Cs. 3	0,06	0,03	0,01	0,01
T.Dt. 4	0,07	0,05	0,01	0,02
T.Ds. 4	0,09	0,03	0,01	0,01

Formula	Ga	Zr	Rh	Ta
T.At.1	0,01	0,31	0	0
T.As.1	0,01	0,32	0	0,02
T.Bt.2	0	0,28	0,02	0,02
T.BS.2	0,01	0,29	0	0,02
T.Ct. 3	0	0,31	0	0,02
T.Cs. 3	0,01	0,3	0	0,02
T.Dt. 4	0	0,25	0,02	0,02
T.Ds. 4	0,01	0,29	0	0,02

6. Uji Laboratorium pH tanah

No	Titik Sampel	pH	Metode
1	T. At.1	3,71	IKM.JL-123 (Ph meter)
2	T. As.1	3,61	IKM.JL-123 (Ph meter)
3	T. Bt.2	3,78	IKM.JL-123 (Ph meter)
4	T. BS.2	3,65	IKM.JL-123 (Ph meter)
5	T. Ct. 3	3,71	IKM.JL-123 (Ph meter)
6	T. Cs. 3	3,68	IKM.JL-123 (Ph meter)
7	T. Dt. 4	5,58	IKM.JL-123 (Ph meter)
8	T. Ds. 4	5,50	IKM.JL-123 (Ph meter)