

Hubungan Keanekaragaman Makrofauna Tanah dengan Beberapa Sifat Kimia Tanah pada Umur yang Berbeda di Lahan Reklamasi Pasca Tambang Batu Bara PT Singlurus Pratama

Relationship of Soil Macrofauna Diversity with Some Soil Chemical Properties at Different Ages in Post Coal Mining Reclamation Land of PT Singlurus Pratama

MUHAMMAD ALFIAN HOLIL^{1)*}, HAMSYPIN¹⁾

¹⁾Program Studi Magister Pertanian Tropika Basah, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman. Jl. Pasir Balengkong, Kampus Gunung Kelua, Samarinda 75119, Kalimantan Timur, Indonesia. Tel: +62-821-48436646, Fax: +62-821-48436646,

*email: alfianholil21@gmail.com

Manuscript received: February 14, 2026 Revision accepted: June 5, 2026

ABSTRACT

Coal mining activities cause the loss of topsoil and litter layers that function as protective covers and nutrient reservoirs for soil organisms. Consequently, land reclamation is necessary to restore and improve soil physical, chemical, and biological properties. Soil macrofauna play an important role in maintaining land productivity and are widely used as bioindicators of environmental quality. Low soil macrofauna diversity generally indicates poor environmental conditions, whereas high diversity reflects better environmental quality. This study aimed to determine the soil macrofauna diversity index and evaluate its relationship with selected soil chemical properties at different reclamation ages in the post-coal mining reclamation areas of PT Singlurus Pratama. An exploratory survey was conducted on reclaimed lands aged 4, 8, and 13 years. Sampling sites were selected randomly and systematically based on vegetation uniformity, topography, and slope conditions. Data were analyzed using the Shannon–Wiener diversity index and regression analysis. The results showed that the highest soil macrofauna diversity index (H') was recorded in the 13-year-old reclamation area ($H' = 1.0$), followed by the 8-year-old ($H' = 0.9$) and 4-year-old ($H' = 0.7$) reclamation areas. However, all diversity indices were classified as low. Soil macrofauna diversity showed weak to moderate positive correlations with soil organic-C ($r = 0.0933-0.6823$) and soil organic matter ($r = 0.1242-0.6575$). In contrast, soil pH ($r = 0.0519-0.9368$), total-N ($r = 0.1071-0.5192$), and the C/N ratio ($r = 0.25-0.5951$) exhibited variable relationships with soil macrofauna diversity, ranging from weak to strong correlations, either positive or negative.

Key words: Reclamation Land, Biodiversity, Soil Macrofauna, Soil Chemical Properties

ABSTRAK

Penambangan batu bara menyebabkan hilangnya lapisan tanah subur dan seresah sebagai pelindung dan simpanan hara organisme tanah sehingga perlu dilaksanakan reklamasi untuk memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Makrofauna tanah berperan menentukan produktivitas lahan dan bioindikator tingkat kualitas lingkungan. Apabila suatu lokasi tingkat keanekaragaman makrofauna tanahnya rendah maka tingkat kualitas lingkungan lokasi rendah dan apabila keanekaragaman makrofauna tanahnya tinggi maka tingkat kualitas lingkungan lokasi baik. Penelitian dilakukan untuk mengetahui indeks keanekaragaman makrofauna tanah dan hubungan keanekaragaman makrofauna tanah dengan beberapa sifat kimia tanah pada umur yang berbeda di lahan reklamasi pasca tambang batu bara PT Singlurus Pratama. Penelitian dilakukan menggunakan metode eksploratif (survei) pada lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 4, 8, dan 13 tahun berdasarkan keseragaman vegetasi, topografi, lereng secara acak dan sistematis. Analisis data menggunakan indeks keanekaragaman Shannon dan Wiener serta rumus *regresi* pada aplikasi Microsoft Excel 2010. Hasil Penelitian menunjukkan Indeks keanekaragaman (H') tertinggi pada lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 13 tahun yaitu 1,0 tetapi masih tergolong rendah, diikuti umur 8 tahun yaitu 0,9 dan 4 tahun yaitu 0,7 tergolong rendah. Hubungan keanekaragaman makrofauna tanah (H') dengan beberapa sifat kimia tanah di lahan reklamasi pasca tambang batu bara menunjukkan C-organik ($r = 0,0933-0,6823$) dan bahan organik ($r = 0,1242-0,6575$) dengan hubungan positif rendah dan substansial, tetapi pH ($r = 0,0519-0,9368$), N-total ($r = 0,1071-0,5192$), C/N rasio ($r = 0,25-0,5951$) dengan hubungan negatif maupun positif rendah, substansial dan tinggi.

Kata kunci: Lahan Reklamasi, Keanekaragaman, Makrofauna tanah, Sifat Kimia Tanah

PENDAHULUAN

Batu bara merupakan batuan hidrokarbon padat yang terbentuk dari berbagai tumbuhan dalam lingkungan bebas oksigen dan terkena pengaruh tekanan serta panas yang sangat lama. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Kalimantan Timur bahwa produksi batu bara mencapai 308.672.77ton pada tahun 2024 (BPS 2026). Aktivitas penambangan batu bara menimbulkan kerusakan pada kondisi lingkungan yaitu hilangnya vegetasi hutan menyebabkan terganggunya fungsi hidrologi, keragaman jenis (*biodiversity*), serapan C (*C sequestration*) pemasok O₂ dan pengatur suhu lingkungan. Selain itu, produktivitas tanah menurun, pemadatan tanah, terjadinya erosi, sedimentasi, gerakan tanah, longsor, terganggunya flora dan fauna maupun keamanan dan kesehatan masyarakat, serta perubahan iklim (Sarie 2019). Kegiatan pertambangan juga menyebabkan hilangnya lapisan tanah yang subur dan serasah sebagai pelindung sekaligus simpanan hara sebelum terdekomposisi oleh organisme tanah (Hilwan dan Handayani, 2013). Akibat kerusakan tersebut maka pemerintah mewajibkan perusahaan tambang batu bara melaksanakan reklamasi areal pasca tambang dan daerah sekitarnya yang terganggu akibat aktivitas pertambangan.

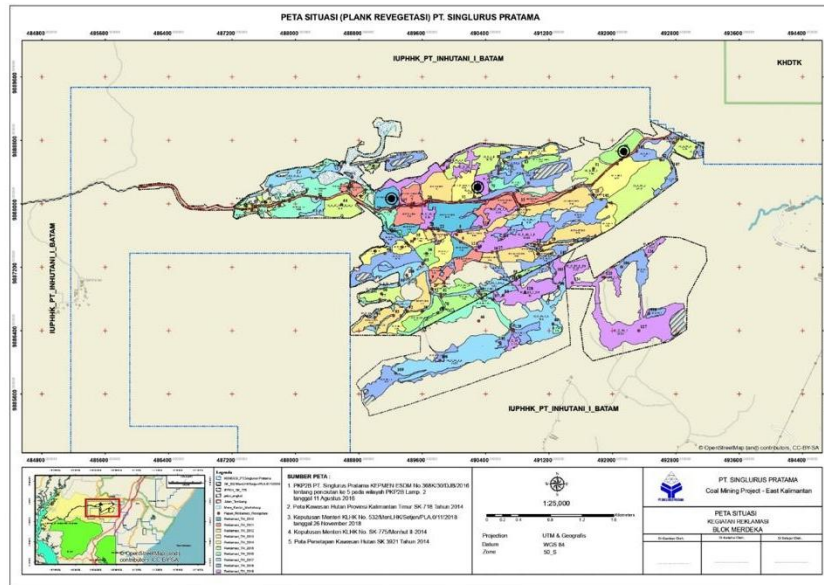
Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (2018) menjelaskan bahwa Reklamasi merupakan kegiatan yang dilaksanakan sepanjang usaha pertambangan untuk menata, memperbaiki, kualitas lingkungan dan ekosistem agar dapat berfungsi kembali sesuai peruntukannya. Hasil dari reklamasi diharapkan mampu memberikan dampak terhadap suatu ekosistem seperti pengaturan keseimbangan karbon dioksida dan oksigen dalam udara, pengaturan tata air dan perbaikan sifat-sifat tanah yaitu sifat fisik dan kimia tanah maupun sifat biologi tanah. salah satu dari sifat biologi tanah yaitu kehidupan fauna tanah (Patiung *et al.* 2011). keberadaan dan kepadatan populasi fauna tanah sangat ditentukan oleh faktor lingkungan yaitu iklim (curah hujan, suhu), sinar matahari, kemasaman tanah, kelembaban tanah, suhu tanah, unsur hara tanah dan vegetasi (hutan, padang rumput) terutama bagi makrofauna tanah (Sugiyarto *et al.* 2007)

Salah satu peran makrofauna tanah adalah menjaga kesuburan tanah dengan perombakan bahan organik tanah, mendistribusikan nutrisi, serta meningkatkan aerasi tanah. Makrofauna tanah sangat berhubungan erat pada ketersediaan sumber makanan dan energi berupa bahan organik dan biomassa, yang berkaitan dengan aliran siklus karbon tanah dan mempengaruhi ketersediaan serta perbaikan sifat kimia tanah lainnya. Jika energi dan nutrisi bagi kebutuhan makrofauna tanah tersedia, maka perkembangan maupun aktivitas keberadaan makrofauna tanah akan berlangsung dengan baik serta berdampak positif terhadap kesuburan tanah (Saputra 2022). Keberadaan makrofauna tanah suatu lokasi dapat menjadi bioindikator tingkat kualitas lingkungan pada lokasi tersebut. Apabila suatu lokasi tingkat keanekaragaman makrofauna tanah rendah maka tingkat kualitas dari lingkungan lokasi tersebut rendah dan apabila keanekaragaman makrofauna tanah tinggi maka tingkat kualitas lingkungan lokasi tersebut baik (Saputra 2022) terutama bagi lahan reklamasi pascatambang, semakin lama umur lahan reklamasi maka akan mempengaruhi kondisi lingkungan sekitar salah satunya peningkatan makrofauna tanah. Berdasarkan uraian tersebut, maka perlu dilakukan eksplorasi makrofauna tanah dengan mengkaji hubungan keanekaragaman makrofauna tanah dengan beberapa sifat kimia tanah (pH, C-Organik, Bahan Organik, N-Total, dan C/N Rasio) pada umur yang berbeda di lahan reklamasi pasca tambang batu bara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui indeks keanekaragaman makrofauna tanah dan hubungan keanekaragaman makrofauna tanah dengan beberapa sifat kimia tanah pada umur yang berbeda di lahan reklamasi pasca tambang batu bara PT Singlurus Pratama.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2023 – Januari 2024 di PT Singlurus Pratama, Kecamatan Samboja, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur, dan Analisis Kimia Tanah di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman Samarinda. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah contoh tanah yang diambil pada setiap umur reklamasi yang telah ditetapkan, air, bahan kimia yang digunakan untuk analisis beberapa sifat kimia tanah di laboratorium. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Peta Lahan Reklamasi PT Singlurus Pratama, cangkul, linggis, plastik, botol spesimen, parang, karung, terpal, alat tulis, kertas label, meteran, kamera digital, GPS (*Global Positioning System*). Penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksploratif berupa survei. Pengambilan sampel tanah dan makrofauna tanah dilakukan pada lahan reklamasi pasca tambang batu bara pada umur 4, 8, dan 13 tahun. Persiapan penelitian yang dilakukan meliputi pengurusan izin penelitian ke PT Singlurus Pratama, melakukan survei lokasi penelitian, penyediaan bahan dan alat yang diperlukan dalam penelitian. Penentuan lokasi pengambilan sampel berdasarkan keseragaman

vegetasi yang tumbuh, topografi, dan lereng. Kemudian ditentukan tiga titik plot sampel dengan ukuran petak sampling 0,5 x 0,5 m pada setiap umur lahan reklamasi yang telah ditentukan. Jarak antar titik plot sampel sejauh 5 m dan ditetapkan secara acak maupun sistematis. Pengambilan sampel makrofauna dilaksanakan siang hari dimulai antara pukul 09.00 – 11.00 WITA karena waktu tersebut menunjukkan puncak aktivitas bagi makrofauna sebelum suhu udara meningkat. Perhitungan populasi makrofauna tanah dengan cara metode sortir tangan (*Hands Sorting Method*). Pengambilan sampel menggunakan alat bantu cangkul dengan kedalaman tanah 0-20 cm pada tiap titik plot sampel, tanah diangkat dan diletakkan diatas karung dan terpal. Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan perlakuan yaitu sampel tanah terusik dengan menggunakan cangkul. Sampel tanah diambil setiap titik plot sampel pada umur yang berbeda di lahan reklamasi pasca tambang batu bara pada kedalaman 0-20 cm dari permukaan tanah. Sampel tanah diambil sebanyak 1 kg pada masing-masing titik plot sampel.



Gambar 1. Peta Lokasi Eksplorasi

Pengambilan data yang dilakukan dalam penelitian ini berupa data lokasi lahan berdasarkan keseragaman vegetasi yang tumbuh, topografi, dan lereng yang diperoleh dari manajemen PT Singlurus Pratama dan data analisis sifat kimia tanah yaitu pH (Metode pH meter), C-organik (Metode Walkley dan Black), bahan organik (Metode Walkley dan Black), N-total (Metode Destilasi Kjeldahl), dan C/N rasio (%C/%N) yang diperoleh setelah analisis sampel tanah di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman.

Data penelitian yang telah diperoleh dari hasil pengamatan, kemudian dianalisis dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

1. Indeks keanekaragaman makrofauna tanah diketahui dengan rumus Shannon dan Wiener (Wijaya 2015), dengan rumus sebagai berikut:

$$H' = - \sum \left(\frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N} \right)$$

Keterangan:

H' = Indeks Keanekaragaman

n_i = Jumlah Individu

N = Jumlah Total Individu

Nilai Kriteria Indeks Keanekaragaman berkisar 1,5 – 3,5 yaitu:

< 1,5 = Keanekaragaman Rendah

1,5 – 3,5 = Keanekaragaman Sedang

> 3,5 = Keanekaragaman Tinggi

2. Hubungan keanekaragaman makrofauna tanah dengan beberapa sifat kimia tanah diketahui dengan menggunakan rumus *regresi* pada aplikasi Microsoft Excel 2010.
Ukuran Regresi menurut (Sulaiman 2002) sebagai berikut.
- 0,70 – 1,00 (baik positif maupun negatif) menunjukkan adanya tingkat hubungan yang tinggi.
 - 0,40 – 0,70 (baik positif maupun negatif) menunjukkan tingkat hubungan yang substansial.
 - 0,20 - < 0,40 (baik positif maupun negatif) menunjukkan tingkat hubungan yang rendah.
 - < 0,20 (baik positif maupun negatif) menunjukkan tidak adanya hubungan.

HASIL DAN DISKUSI

Hasil

Deskripsi Umum Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di Kecamatan Samboja, Kabupaten Kutai Kartanegara. Secara geografis, letak lokasi penelitian disajikan pada Tabel 1. sebagai berikut.

Tabel 1. Letak Lokasi Penelitian

No.	Nama Plot Lokasi Penelitian	Koordinat	Luas (ha)
1.	Lahan Reklamasi Umur 4 Tahun	1°00'41.2"S, 116°54'46.1"E	4,96
2.	Lahan Reklamasi Umur 8 Tahun	1°00'26.5" S, 116°55'45.7"E	9,4
3.	Lahan Reklamasi Umur 13 Tahun	1°00'46.2" S, 116°54'10.9" E	7,09

Kondisi cuaca pada saat melakukan pengamatan adalah berawan. Topografi pada lokasi penelitian dan sekitarnya umumnya adalah datar dan sedikit berbukit dengan kelerengan datar-landai. Vegetasi yang terdapat pada lokasi penelitian adalah sengon (*Albizia chinensis*) dan laban (*Vitex pubescens* Vahl).

Keanekaragaman Makrofauna Tanah di Lahan Reklamasi Pasca Tambang Batu Bara pada Umur 4 Tahun

Dari hasil pengamatan yang telah dilakukan, terdapat empat (4) jenis makrofauna tanah yang ditemukan yaitu *Lumbricus* sp., *Camponotus pennsylvanicus*, *Camponotus atriceps*, *Tenebrio molitor*. Adapun indeks keanekaragaman makrofauna tanah (H') Umur 4 Tahun disajikan pada Tabel 2. sebagai berikut.

Tabel 2. Indeks Keanekaragaman Makrofauna Tanah (H') Umur 4 Tahun

No	Makrofauna	Umur Reklamasi 4 Tahun		
		A	B	C
1	<i>Lumbricus</i> sp.	10	7	7
2	<i>Componotus pennsylvanicus</i>	10	0	18
3	<i>Componotus atriceps</i>	0	13	0
4	<i>Oniscus</i> sp.	0	0	0
5	<i>Tenebrio molitor</i>	1	0	0
6	<i>Coptotermes</i> sp.	0	0	0
Total Individu		21	20	25
Keanekaragaman H'		0,9	0,6	0,6
Rata-Rata H'		0,7		

Berdasarkan hasil pengamatan seperti pada Tabel 2, menunjukkan bahwa pada umur reklamasi 4 tahun di tiga plot sampel dengan nilai keanekaragaman tertinggi terdapat pada plot sampel titik a dengan nilai H' 0,9 sedangkan titik b dan titik c dengan nilai H' yang sama yaitu 0,6. Nilai rata-rata keanekaragaman (H') yaitu 0,7 dari nilai tersebut menunjukkan bahwa lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 4 tahun memiliki keanekaragaman (H') makrofauna tanah yang rendah.

Keanekaragaman Makrofauna Tanah di Lahan Reklamasi Pasca Tambang Batu Bara pada Umur 8 Tahun

Dari hasil pengamatan yang telah dilakukan, terdapat empat (4) jenis makrofauna tanah yang ditemukan yaitu *Lumbricus* sp., *Camponotus pennsylvanicus*, *Oniscus* sp., *Tenebrio molitor*. Adapun indeks keanekaragaman makrofauna tanah (H') Umur 8 Tahun disajikan pada Tabel 3. sebagai berikut.

Tabel 3. Indeks Keanekaragaman Makrofauna Tanah (H') Umur 8 Tahun

No	Makrofauna	Umur Reklamasi 8 Tahun		
		A	B	C
1	<i>Lumbricus</i> sp.	20	25	13
2	<i>Camponotus pennsylvanicus</i>	9	15	5
3	<i>Camponotus atriceps</i>	0	0	0
4	<i>Oniscus</i> sp.	2	5	3
5	<i>Tenebrio molitor</i>	0	1	0
6	<i>Coptotermes</i> sp.	0	0	0
Total Individu		31	46	21
Keanekaragaman H'		0,8	1,0	0,9
Rata-Rata H'		0,9		

Berdasarkan hasil pengamatan seperti pada Tabel 3, menunjukkan bahwa pada umur reklamasi 8 tahun di tiga plot sampel dengan nilai keanekaragaman tertinggi terdapat pada plot sampel titik b dengan nilai H' 1,0 diikuti titik c dengan nilai H' 0,9 dan titik a dengan nilai H' 0,8. Nilai rata-rata keanekaragaman (H') yaitu 0,9 dari nilai tersebut menunjukkan bahwa lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 8 tahun memiliki keanekaragaman (H') makrofauna tanah yang rendah.

Keanekaragaman Makrofauna Tanah di Lahan Reklamasi Pasca Tambang Batu Bara pada Umur 13 Tahun

Dari hasil pengamatan yang telah dilakukan, terdapat enam (6) jenis makrofauna tanah yang ditemukan yaitu *Lumbricus* sp., *Camponotus pennsylvanicus*, *Camponotus atriceps*, *Oniscus* sp., *Tenebrio molitor*, *Coptotermes* sp. Adapun indeks keanekaragaman makrofauna tanah (H') Umur 13 Tahun disajikan pada Tabel 4. sebagai berikut.

Tabel 4. Indeks Keanekaragaman Makrofauna Tanah (H') Umur 13 Tahun

No	Makrofauna	Umur Reklamasi 13 Tahun		
		A	B	C
1	<i>Lumbricus</i> sp.	24	28	17
2	<i>Camponotus pennsylvanicus</i>	13	18	7
3	<i>Camponotus atriceps</i>	0	5	0
4	<i>Oniscus</i> sp.	2	0	3
5	<i>Tenebrio molitor</i>	0	1	0
6	<i>Coptotermes</i> sp.	0	17	0
Total Individu		39	69	27
Keanekaragaman H'		0,8	1,3	0,9
Rata-Rata H'		1,0		

Berdasarkan hasil pengamatan seperti pada Tabel 4, menunjukkan bahwa pada umur reklamasi 13 tahun di tiga plot sampel dengan nilai keanekaragaman tertinggi terdapat pada plot sampel titik b dengan nilai H' 1,3 diikuti titik c dengan nilai H' 0,9 dan titik a dengan nilai H' 0,8. Nilai rata-rata keanekaragaman (H') yaitu 1,0 dari nilai tersebut menunjukkan bahwa lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 13 tahun memiliki keanekaragaman (H') makrofauna tanah yang rendah.

Hasil Analisis Sifat Kimia Tanah pada Lahan Reklamasi Pasca Tambang Batu Bara Umur 4, 8, 13 Tahun

Hasil analisis sifat kimia tanah pada lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 4, 8, dan 13 tahun setelah dilakukan analisis di Laboratorium Tanah Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman disajikan pada Tabel 5. sebagai berikut.

Tabel 5. Hasil Analisis Beberapa Sifat Kimia Tanah

No	Kode Lapangan	pH Tanah		C-Organik		Bahan Organik		N Total		C/N rasio	
		Nilai	Status	Nilai	Status	Nilai	Status	Nilai	Status	Nilai	Status
1	R4a	3,65	SM	1,02	R	1,77	R	0,23	S	4,43	SR
2	R4b	3,78	SM	1,00	R	1,72	R	0,21	S	4,76	SR
3	R4c	3,67	SM	1,02	R	1,76	R	0,23	S	4,43	SR
4	R8a	3,85	SM	1,11	R	1,91	R	0,20	R	5,55	R
5	R8b	3,90	SM	1,16	R	2,01	S	0,29	S	4,00	SR
6	R8c	4,06	SM	1,00	R	1,73	R	0,17	R	5,88	R
7	R13a	3,68	SM	1,12	R	1,93	R	0,28	S	4,00	SR
8	R13b	3,55	SM	1,21	R	2,08	S	0,28	S	4,32	SR
9	R13c	3,69	SM	1,06	R	1,82	R	0,29	S	3,66	SR

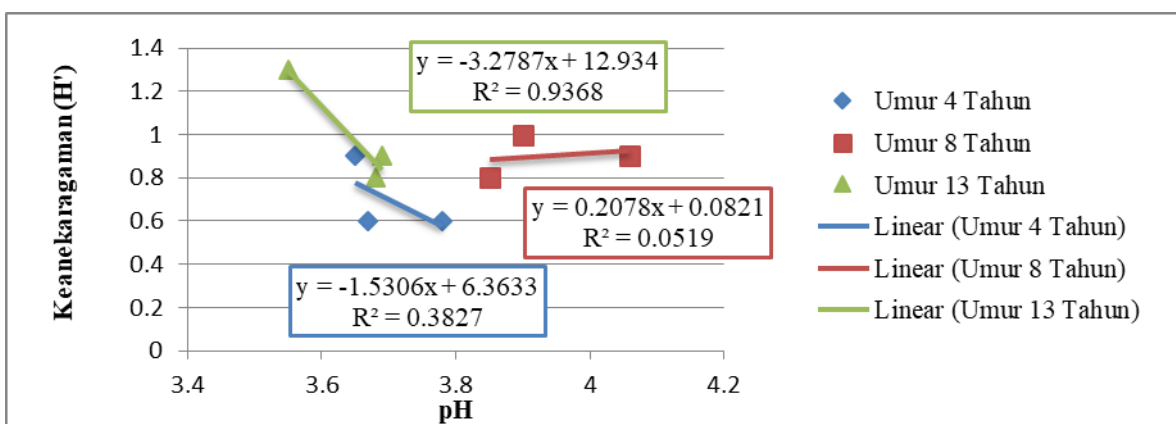
Keterangan: R= Reklamasi; 4,8,13 = Umur Lahan Reklamasi; a,b,c = Plot Sampel Penelitian; SM = Sangat Masam; SR= Sangat Rendah; R=Rendah; S=Sedang

Hubungan Keanekaragaman Makrofauna Tanah dengan Beberapa Sifat Kimia Tanah Reaksi Tanah/Kemasaman Tanah (pH)

Hasil analisis regresi pada lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 4 tahun antara keanekaragaman makrofauna tanah (H') dengan nilai pH tanah yaitu 0,3827. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan tingkat hubungan yang rendah tetapi bersifat linear negatif, hal ini dibuktikan pada Gambar 1. Bahwa penurunan pH tanah diikuti dengan kenaikan nilai keanekaragaman makrofauna tanah yaitu semakin tinggi pH maka keanekaragaman makrofauna tanah semakin rendah.

Hasil analisis regresi pada lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 8 tahun antara keanekaragaman makrofauna tanah (H') dengan nilai pH tanah yaitu 0,0519. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan tidak adanya hubungan tetapi bersifat linear positif, hal ini dibuktikan pada Gambar 1. Bahwa kenaikan pH tanah diikuti dengan kenaikan nilai keanekaragaman makrofauna tanah yaitu semakin tinggi pH tanah maka keanekaragaman makrofauna tanah tinggi.

Hasil analisis regresi pada lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 13 tahun antara keanekaragaman makrofauna tanah (H') dengan nilai pH tanah yaitu 0,9368. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan tingkat hubungan yang tinggi tetapi bersifat linear negatif, hal ini dibuktikan pada Gambar 1. Bahwa penurunan pH tanah diikuti dengan kenaikan nilai keanekaragaman makrofauna tanah yaitu semakin tinggi pH maka keanekaragaman makrofauna tanah semakin rendah.



Gambar 1. Hubungan Keanekaragaman (H') dengan pH

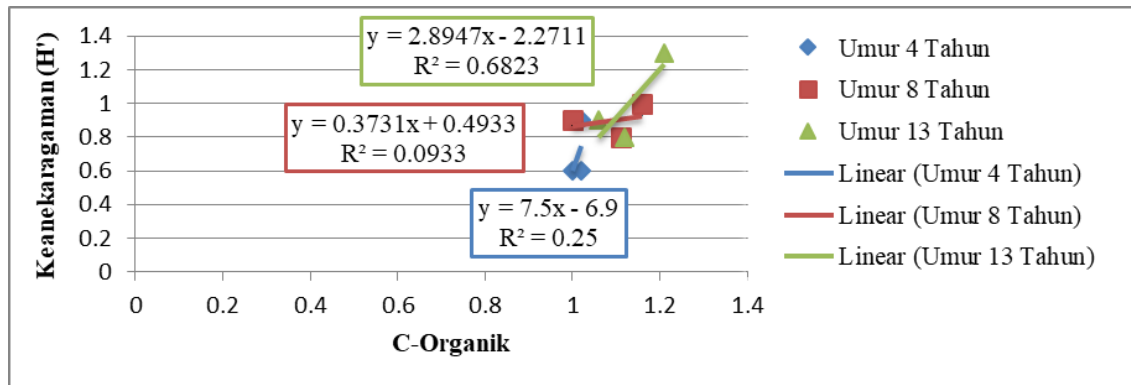
Hubungan regresi antara indeks keanekaragaman makrofauna tanah (H') dengan pH tanah pada tiga umur berbeda di lahan reklamasi pasca tambang batu bara menunjukkan hubungan yang bersifat negatif maupun positif.

Karbon Organik

Hasil analisis regresi pada lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 4 tahun antara keanekaragaman makrofauna tanah (H') dengan nilai c-organik tanah yaitu 0,25. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan tingkat hubungan yang rendah tetapi bersifat linear positif, hal ini dibuktikan pada Gambar 2. Bahwa kenaikan C-organik tanah diikuti dengan kenaikan nilai keanekaragaman makrofauna tanah yaitu semakin tinggi C-organik tanah maka keanekaragaman makrofauna tanah semakin tinggi.

Hasil analisis regresi pada lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 8 tahun antara keanekaragaman makrofauna tanah (H') dengan nilai C-organik tanah yaitu 0,0933. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan tidak adanya hubungan tetapi bersifat linear positif, hal ini dibuktikan pada Gambar 2. Bahwa kenaikan C-organik tanah diikuti dengan kenaikan nilai keanekaragaman makrofauna tanah.

Hasil analisis regresi pada lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 13 tahun antara keanekaragaman makrofauna tanah (H') dengan nilai C-organik tanah yaitu 0,6823. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan tingkat hubungan yang substansial dan bersifat linear positif, hal ini dibuktikan pada Gambar 2. Bahwa kenaikan C-organik tanah diikuti dengan kenaikan nilai keanekaragaman makrofauna tanah yaitu semakin tinggi C-organik tanah maka keanekaragaman makrofauna tanah semakin tinggi.



Gambar 2. Hubungan Keanekaragaman (H') dengan C-Organik

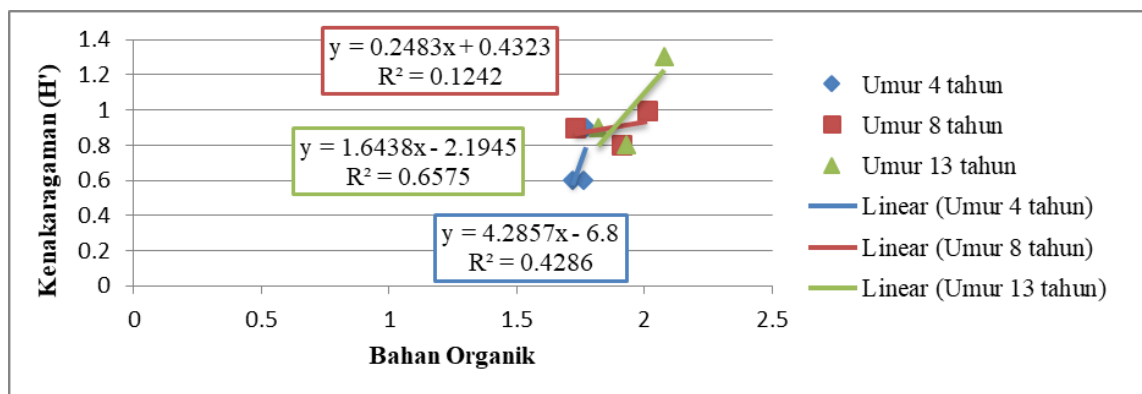
Hubungan regresi antara indeks keanekaragaman makrofauna tanah (H') dengan C-organik tanah pada tiga umur berbeda di lahan reklamasi pasca tambang batu bara menunjukkan hubungan yang bersifat positif.

Bahan Organik

Hasil analisis regresi pada lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 4 tahun antara keanekaragaman makrofauna tanah (H') dengan bahan organik tanah yaitu 0,4286. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan tingkat hubungan yang substansial dan bersifat linear positif, hal ini dibuktikan pada Gambar 3. Bahwa kenaikan bahan organik tanah diikuti dengan kenaikan nilai keanekaragaman makrofauna tanah yaitu semakin tinggi bahan organik tanah maka keanekaragaman makrofauna tanah semakin tinggi.

Hasil analisis regresi pada lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 8 tahun antara keanekaragaman makrofauna tanah (H') dengan nilai bahan organik tanah yaitu 0,1242. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan tidak adanya hubungan tetapi bersifat linear positif, hal ini dibuktikan pada Gambar 3. Bahwa kenaikan bahan organik tanah diikuti dengan kenaikan nilai keanekaragaman makrofauna tanah.

Hasil analisis regresi pada lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 13 tahun antara keanekaragaman makrofauna tanah (H') dengan nilai bahan organik tanah yaitu 0,6575. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan tingkat hubungan yang substansial dan bersifat linear positif, hal ini dibuktikan pada Gambar 3. Bahwa kenaikan bahan organik tanah diikuti dengan kenaikan nilai keanekaragaman makrofauna tanah yaitu semakin tinggi bahan organik tanah maka keanekaragaman makrofauna tanah semakin tinggi.



Gambar 3. Hubungan Keanekaragaman (H') dengan Bahan Organik

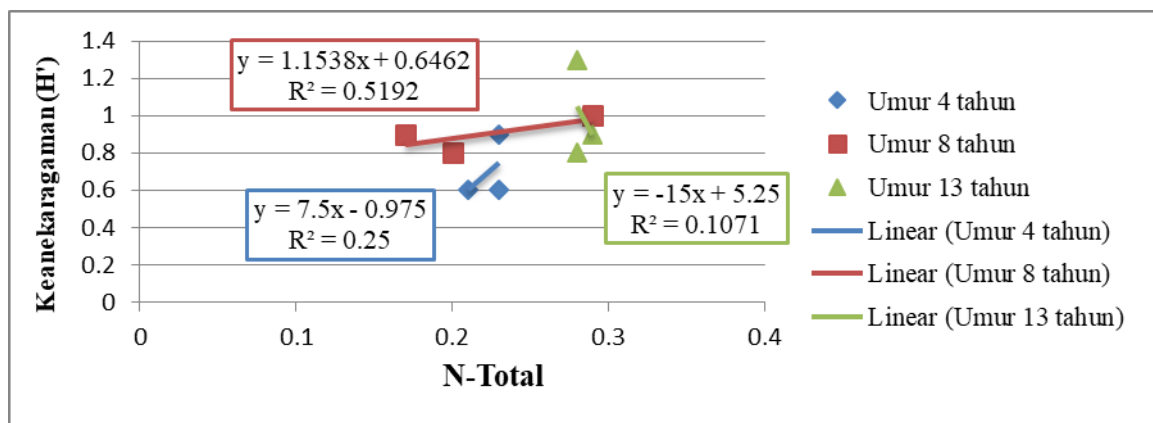
Hubungan regresi antara indeks keanekaragaman makrofauna tanah (H') dengan bahan organik tanah pada tiga umur berbeda di lahan reklamasi pasca tambang batu bara menunjukkan hubungan yang bersifat positif.

N-Total

Hasil analisis regresi pada lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 4 tahun antara keanekaragaman makrofauna tanah (H') dengan nilai N-total tanah yaitu 0,25. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan tingkat hubungan yang rendah dan bersifat linear positif, hal ini dibuktikan pada Gambar 4. Bahwa kenaikan N-total tanah diikuti dengan kenaikan nilai keanekaragaman makrofauna tanah yaitu semakin tinggi N-total tanah maka keanekaragaman makrofauna tanah semakin tinggi.

Hasil analisis regresi pada lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 8 tahun antara keanekaragaman makrofauna tanah (H') dengan nilai N-total tanah yaitu 0,5192. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan tingkat hubungan yang substansial dan bersifat linear positif, hal ini dibuktikan pada Gambar 4. Bahwa kenaikan N-total tanah diikuti dengan kenaikan nilai keanekaragaman makrofauna tanah yaitu semakin tinggi N-total tanah maka keanekaragaman makrofauna tanah semakin tinggi.

Hasil analisis regresi pada lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 13 tahun antara keanekaragaman makrofauna tanah (H') dengan nilai N-total tanah yaitu 0,1071. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan tidak adanya hubungan tetapi bersifat linear negatif, hal ini dibuktikan pada Gambar 4. Bahwa rendahnya N-total tanah diikuti dengan kenaikan nilai keanekaragaman makrofauna tanah.



Gambar 4. Hubungan Keanekaragaman (H') dengan N-Total

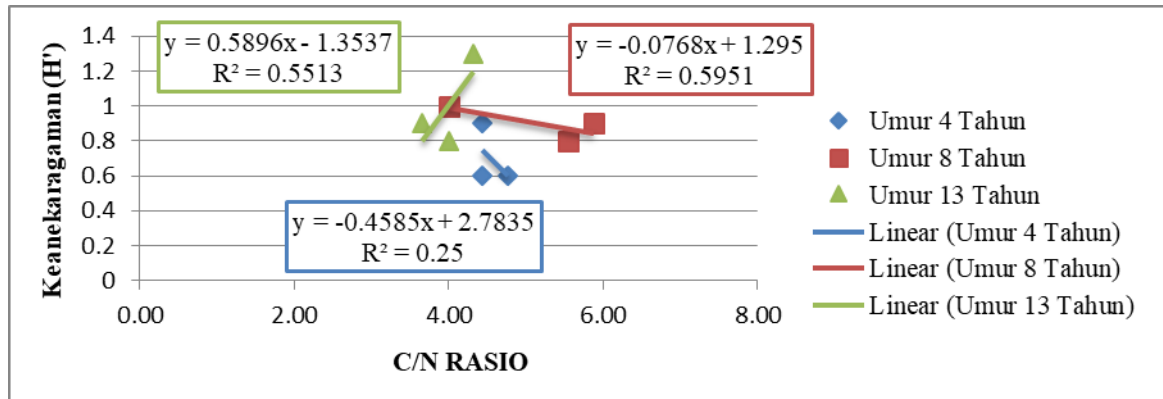
Hubungan regresi antara indeks keanekaragaman makrofauna tanah (H') dengan N-total tanah pada tiga umur berbeda di lahan reklamasi pasca tambang batu bara menunjukkan hubungan yang bersifat negatif maupun positif.

Nisbah C/N (C/N Rasio)

Hasil analisis regresi pada lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 4 tahun antara keanekaragaman makrofauna tanah (H') dengan nilai C/N rasio tanah yaitu 0,25. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan tingkat hubungan yang rendah tetapi bersifat linear negatif, hal ini dibuktikan pada Gambar 5. Bahwa penurunan C/N rasio diikuti dengan kenaikan nilai keanekaragaman makrofauna tanah yaitu semakin rendah C/N rasio maka keanekaragaman makrofauna tanah semakin tinggi.

Hasil analisis regresi pada lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 8 tahun antara keanekaragaman makrofauna tanah (H') dengan nilai C/N rasio tanah yaitu 0,5951. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan tingkat hubungan yang substansial tetapi bersifat linear negatif, hal ini dibuktikan pada Gambar 5. Bahwa penurunan C/N rasio diikuti dengan kenaikan nilai keanekaragaman makrofauna tanah yaitu semakin rendah C/N rasio maka keanekaragaman makrofauna tanah semakin tinggi.

Hasil analisis regresi pada lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 13 tahun antara keanekaragaman makrofauna tanah (H') dengan nilai C/N rasio tanah yaitu 0,5513. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan tingkat hubungan yang substansial tetapi bersifat linear positif, hal ini dibuktikan pada Gambar 5. Bahwa kenaikan C/N rasio diikuti dengan kenaikan nilai keanekaragaman makrofauna tanah semakin tinggi.



Gambar 5. Hubungan Keaneekaragaman (H') dengan C/N Rasio

Hubungan regresi antara indeks keaneekaragaman makrofauna tanah (H') dengan C/N rasio tanah pada tiga umur berbeda di lahan reklamasi pasca tambang batu bara menunjukkan hubungan yang bersifat negatif maupun positif.

Pembahasan

Keanekaragaman Makrofauna Tanah di Lahan Reklamasi Pasca Tambang Batu Bara

Indeks keaneekaragaman makrofauna tanah pada umur 4, 8, dan 13 tahun di lahan reklamasi pasca tambang batu bara menunjukan rata-rata keaneekaragaman makrofauna tanah yang rendah diduga karena kondisi lahan yang masih dalam tahap pemulihan setelah aktivitas penambangan yang terjadi dilahan tersebut sehingga kondisi tanah belum sepenuhnya pulih kembali seperti kondisi awalnya. Tetapi sejalan dengan peningkatan umur lahan reklamasi, kondisi tanah terus mengalami peningkatan terutama pada peningkatan kondisi biologi tanah (kelimpahan dan keaneekaragaman makrofauna tanah). Hal ini sejalan dengan pendapat (Sofyan *et al.* 2017), bahwa peningkatan umur lahan reklamasi akan memberikan perbaikan terhadap kondisi tanah karena adanya aktivitas perakaran tanaman dan aktivitas makro maupun mikroorganisme di dalam tanah yang dapat meningkatkan ruang pori tanah. seiring dengan pertambahan umur lahan reklamasi juga adanya peningkatan dari kerapatan jenis vegetasi, produksi seresah dan peningkatan aktivitas organisme tanah (Patiung *et al.* 2011).

Makrofauna yang terdapat di lahan reklamasi pasca tambang batu bara beragam pada setiap umurnya. Setiap makrofauna yang ditemukan memiliki karakteristik berbeda-beda sesuai dengan kondisi ekosistem sekitarnya, hal ini sesuai dengan pendapat (Saputra 2022) bahwa keberadaan makrofauna tanah pada suatu lokasi dapat menjadi bioindikator dari tingkat kualitas lingkungan pada lokasi tersebut, jika kualitas lingkungan rendah maka keaneekaragaman rendah dan jika kualitas lingkungan tinggi maka keaneekaragaman juga tinggi. Makrofauna yang telah ditemukan terdiri atas beberapa spesies yaitu *Lumbricus sp.*, *Camponotus pennsylvanicus*, *Camponotus articeps*, *Oniscus sp.*, *Tenebrio molitor*, *Coptotermes sp.*

Spesies *Lumbricus sp.* (Cacing tanah) adalah makrofauna tanah heterotrof, yang memiliki sifat hermafrodit biparental. *Lumbricus sp.* termasuk filum *Annelida*, famili *Lumbricidae*. *Lumbricus sp.* ditemukan pada tanah dengan kondisi lahan kering masam sampai alkali dengan air yang cukup. *Lumbricus sp.* juga biasa di temukan hidup pada tanah yang memiliki tekstur halus, umumnya liat, liat berdebu atau lempung berdebu, dan jarang ditemukan pada kondisi tanah berpasir. Secara umum *Lumbricus sp.* hidup pada kondisi tanah dengan pH 4,5 – 6,6, namun dengan kondisi tanah pH 3,0 mampu hidup dan berkembang pada bahan organik tanah yang tinggi (Fender and McKey-Fender 1990). *Lumbricus sp.* juga memiliki sifat *litter feeder* (pemakan seresah). *Lumbricus sp.* memiliki peranan yang cukup besar dalam proses dekomposisi bahan organik, baik secara langsung sebagai pemakan bahan organik maupun secara tidak langsung dengan cara mencampur bahan organik ke dalam tanah dan merangsang adanya aktivitas mikroorganisme dengan kotorannya dan sekitar liang. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang menunjukkan umur lahan reklamasi 4,8 dan 13 terdapat spesies *Lumbricus sp.* yang cukup banyak dari spesies lain, diduga karena kondisi ekosistem sekitar memungkinkan berkembang biak dan toleran terhadap kondisi pH yang sangat masam serta bahan organik yang cukup tinggi. *Lumbricus sp.* mampu mengurai atau mendekomposisi bahan organik 3 hingga 5 kali lebih cepat dibandingkan proses penguraian sampah secara alami (Hatta 2010). *Lumbricus sp.* (cacing tanah) memakan bahan organik setiap hari setara berat tubuh (Parmelee *et al.* 1990). Selain itu, *Lumbricus sp.* menggunakan sebagian hasil proses dekomposisi untuk keperluan hidup dan pertumbuhan hidupnya, sehingga sebagian besar tersimpan dalam tubuh cacing tanah dan akan dilepaskan kembali ke dalam tanah setelah cacing tanah mati (Amrullah 2019).

Spesies *Camponotus pennsylvanicus*, sebagian besar hidup pada kawasan tropika. Serangga ini Termasuk serangga sosial, dengan koloni dan memiliki sarang-sarang yang teratur dengan beranggotakan ribuan serangga per sarangnya atau koloni (Hidayah *et al.* 2022). *Camponotus pennsylvanicus* telah dikenal di masyarakat sebagai semut kayu. Dalam suatu agroekosistem, serangga ini membuat sarang dalam kayu lapuk maupun pada batang-batang tanaman berkayu keras. Selain itu, kepadatan pohon memiliki efek signifikan pada sejumlah koloni penting dalam *Camponotus pennsylvanicus* (Buczowski 2011). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa spesies *Camponotus pennsylvanicus* terdapat pada umur lahan reklamasi 4, 8, dan 13 tahun diduga kondisi ekosistem sekitar sesuai dengan habitatnya yang berada di daerah semak belukar dengan tanaman batang berkayu seperti tanaman paku-pakuan dan sekitar vegetasi pepohonan sengon maupun *halaban* serta sisa-sisa pelapukan batang tanaman.

Spesies *Camponotus atriceps* ditemukan pada umur lahan reklamasi umur 4 dan 13 tahun diduga karena daerah sekitar sesuai habitat makrofauna yang di temukan tersebut daerah semak-belukar yang lebat dan vegetasi yang tumbuh cukup lebat. *Camponotus atriceps* adalah salah satu spesies yang termasuk dalam kelas *insecta* dimana spesies ini termasuk dalam famili *formicidae*. Spesies semut yang biasanya ditemukan pada berbagai habitat lembab dan berhutan, termasuk dataran rendah basah, hutan, hujan tropis, hutan pinus, dan hutan pegunungan. *Camponotus atriceps* adalah semut berukuran sedang hingga besar dengan ukuran panjang 6 mm. Kepala berbentuk lonjong dengan mempunyai sepasang antena di atas kepala, mata kecil dan lonjong, bentuk mulut seperti capit, warna tubuh secara keseluruhan coklat kehitaman. Spesies ini dapat dikenali dari rambut tegak yang ada pada bentang antena. Mereka memakan banyak hal tergantung pada apa yang tersedia di sekitar mereka, mulai dari memakan semut lain, serangga mati, sayuran, buah-buahan hingga kayu atau daging yang telah membusuk (Dewi 2021).

Spesies *Oniscus* sp. hidup di antara seresah dan sering kali masuk ke dalam tanah permukaan. Kelimpahan Spesies *Oniscus* sp. disebabkan karena melimpahnya seresah yang terdapat di permukaan tanah. *Oniscus* sp. juga sebagai *Communitor* seperti halnya dengan *isopoda* dan *milipoda* yang mempunyai peran dalam proses dekomposisi secara langsung karena memakan seresah yang menghasilkan feses dan mempunyai efisiensi asimilasi rendah. Feses *Oniscus* sp. mempunyai rasio C/N lebih rendah dari seresah (Musyafa 2004). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian bahwa spesies *Oniscus* sp. terdapat pada umur lahan reklamasi 8 dan 13 tahun yang memiliki kondisi ekosistem sekitar cukup banyak seresah sehingga memungkinkan terdapat spesies *Oniscus* sp. ini walaupun dalam jumlah yang sedikit.

Spesies *Tenebrio molitor* merupakan hewan kelas insekta biasanya sebagian besar hidupnya melalui fase larva. Larva *Tenebrio molitor* sangat membutuhkan banyak makan untuk proses pertumbuhan tubuh hingga larva mencapai fase *moulting* (pupa). Larva *Tenebrio molitor* merupakan omnivora dan dapat memakan semua jenis bahan tanaman serta produk hewan seperti daging dan bulu (Maha 2021). Hal ini sejalan dengan hasil penelitian bahwa spesies ini terdapat pada umur 4, 8, dan 13 tahun walaupun dalam jumlah yang sangat sedikit diduga karena daerah sekitar lokasi penelitian terdapat seresah dan semak belukar yang cukup. Keberadaannya juga yang sangat sedikit karena adanya faktor pembatas derajat kemasaman (pH) tanah yang menunjukkan sangat masam.

Spesies *Coptotermes* sp. atau dikenal masyarakat dengan rayap merupakan salah satu jenis makrofauna tanah dari famili *Termitidae*. Spesies ini cukup melimpah terutama pada lahan reklamasi umur 13 tahun karena di lahan tersebut tersedia sumber makan yang diperlukan untuk kelangsungan hidupnya. Sisa-sisa bagian tumbuhan yang tumbuh di lahan tersebut seperti seresah yang merupakan penyumbang selulosa yang penting bagi kehidupan dan perkembangan rayap (*Coptotermes* sp.), terutama sebagai sumber makanan. Hal ini sesuai dengan pendapat dalam Amrullah (2019) menyatakan bahwa kelimpahan rayap pada suatu daerah karena disebabkan oleh melimpahnya bahan organik yang berasal dari tumpukan seresah. Famili *Termitidae* berperan dalam proses dekomposisi bahan organik (Amrullah 2019). Keberadaan koloni *Coptotermes* sp. dalam suatu agroekosistem memiliki peranan sebagai serangga dekomposer yang merombak kayu, seresah tanaman, serta sisa bahan organik lainnya yang terdapat di tanah (Ramadhan *et al.* 2020). Rayap mampu menghancurkan seresah yang mengandung selulosa dikarenakan pada saluran pencernaan rayap terdapat mikroorganisme sionim penghasil enzim selulase yang mampu mendegradasi selulosa (Amrullah 2019). Dalam suatu agroekosistem spesies *Coptotermes* sp. dapat menyuburkan tanah melalui proses dekomposisi namun spesies ini juga dikenal sebagai hama pemukiman (*urban pest*) karena dapat merusak material bangunan dan perabotan yang berbahan dasar kayu (Ramadhan *et al.* 2020).

Kelimpahan populasi makrofauna tanah diduga juga dipengaruhi oleh faktor abiotik tanah seperti suhu, kelembaban, dan derajat kemasaman tanah (pH). Hal ini sesuai dengan pendapat bahwa faktor abiotik di tanah seperti suhu tanah, kelembaban tanah, dan derajat keasaman (pH) tanah mempengaruhi aktivitas kehidupan makrofauna tanah. Aktivitas makrofauna tanah sangat terbatas pada suhu di bawah 10 °C, laju optimum aktivitas biota tanah yang menguntungkan terjadi pada suhu 18-30 °C. Jumar menyatakan bahwa kisaran suhu tanah yang

efektif untuk fauna tanah dalam perkembangan hidup yaitu antara 15-40, dengan kisaran suhu optimum berkembang biak yaitu suhu 25. Sedangkan untuk fauna yang berada di dalam tanah (*burrowing*) seperti cacing tanah memiliki suhu optimum untuk pertumbuhan sebesar 30 °C, sedangkan suhu optimum untuk reproduksi adalah 20,7 °C sampai 29 °C. Nitrifikasi juga berlangsung optimum pada temperatur sekitar 30°C. Pada suhu diatas 30°C lebih banyak unsur K dapat tukar dibebaskan pada temperatur rendah (Amrullah 2019).

Hubungan Keanekaragaman Makrofauna Tanah dengan Beberapa Sifat Kimia Tanah

a. Reaksi Tanah/ Kemasaman Tanah (pH)

Lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 4 tahun menunjukkan hubungan yang rendah dan lahan reklamasi umur 13 tahun menunjukkan hubungan tinggi namun bersifat linear negatif (H'), yaitu penurunan pH tanah diikuti dengan kenaikan keanekaragaman makrofauna tanah. Hal ini diduga karena toleransi hewan tanah terhadap pH tanah umumnya bervariasi untuk setiap spesiesnya (Edwards dan Lofty 1977). Selanjutnya pendapat dalam Amrullah (2019) menyatakan bahwa ada fauna tanah yang hidup pada tanah yang memiliki pH basa dan ada juga fauna tanah yang hidup pada tanah asam. Untuk jenis fauna tanah yang memilih hidup pada tanah yang asam disebut dengan golongan *acidofil*, yang memilih hidup pada tanah yang basa disebut dengan golongan *kalinofil*, sedangkan yang dapat hidup pada tanah asam dan basa disebut golongan *indifferen* atau *netrofil*. Sehingga pH tanah pada lahan reklamasi umur 4 dan 13 tahun yang menunjukkan keadaan sangat masam masih terdapat makrofauna tanah yang toleran walaupun dalam tingkat keanekaragaman yang rendah baik berhubungan tinggi maupun rendah.

Pada lahan reklamasi umur 8 tahun tidak menunjukkan adanya hubungan namun bersifat linear positif yaitu kenaikan pH tanah yang diikuti dengan kenaikan keanekaragaman. Hal ini diduga terdapat makrofauna tanah pada nilai pH yang lebih tinggi/meningkat dari pH tanah umur 4 dan 13 tahun namun tidak berpengaruh secara signifikan. Sehingga pH tanah pada lahan reklamasi umur 8 tahun yang menunjukkan keadaan sangat masam masih terdapat makrofauna tanah yang toleran walaupun dalam tingkat keanekaragaman yang rendah.

Selain itu, diduga terdapat faktor lain yang mempengaruhi adanya makrofauna tanah. faktor yang mempengaruhi adanya makrofauna tanah yaitu keadaan iklim daerah dan berbagai tanaman yang tumbuh pada tanahnya serta berlimpahnya mikroorganisme yang mendiami suatu daerah sangat mempengaruhi keanekaragaman relatif populasi mikroorganisme. Selain itu juga yang mempunyai pengaruh terhadap keanekaragaman relatif populasi mikroorganisme adalah reaksi yang berlangsung di dalam tanah, kadar kelembaban tanah serta kondisi-kondisi serasi (Leksono 2007).

b. Karbon Organik (C-organik)

Kesuburan tanah berasal dari ketersediaan C-organik tanah, rendahnya ketersediaan hara mencerminkan rendahnya kesuburan tanah, sehingga keberadaan makrofauna tanah sebagai perombak bahan organik menentukan ketersediaan hara dalam menyuburkan tanah (Nasirudin dan Susanti 2018). Lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 4 tahun menunjukkan hubungan rendah dan bersifat linear positif. Hal ini terjadi karena diduga bahan organik pada lahan tersebut belum terdekomposisi secara sempurna menjadi senyawa karbon di dalam tanah sehingga keberadaan makrofauna tanah berhubungan rendah. Sesuai dengan pendapat Masrun (2018) bahwa C-organik merupakan bagian tanah yang memiliki sistem kompleks dan dinamis berasal dari sisa tanaman dan atau binatang tanah yang selalu mengalami perubahan terus-menerus melalui dekomposisi baik bentuk, fisik maupun kimia. C-organik juga memiliki bahan organik yang terkandung dalam tanah maupun dipermukaan tanah yang berasal dari senyawa karbon dalam dan semua jenis senyawa organik yang terdapat dalam tanah termasuk serasah, fraksi bahan organik ringan, biomassa organisme, bahan organik dalam air maupun bahan organik stabil atau humus.

Lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 8 tahun tidak menunjukkan adanya hubungan tetapi bersifat linear positif. Hal ini diduga ada faktor-faktor lain yang lebih dominan mempengaruhi keanekaragaman makrofauna tanah sehingga keanekaragaman makrofauna tanah tidak berhubungan secara langsung dengan bahan organik. Faktor dominan lain tersebut seperti nitrogen dan faktor abiotik seperti kelembaban maupun suhu pada tanah maupun daerah sekitar.

Lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 13 tahun menunjukkan hubungan yang substansial dan bersifat linear positif. Hal ini terjadi karena daerah sekitar lokasi penelitian terdapat serasah yang cukup banyak dan tebal serta pertumbuhan vegetasi sekitar dan telah mengalami dekomposisi lanjut dalam tanah menjadi senyawa karbon dalam tanah sehingga memungkinkan kepadatan makrofauna tanah pada daerah tersebut karena sumber makanan makrofauna tanah tersedia dengan cukup terutama bagi makrofauna tanah. sejalan dengan pendapat bahwa Karbon (C) merupakan salah satu komponen penting bahan organik tanaman yang menentukan

laju dekomposisi dan karbon yang terakumulasi di dalam tanah (*soil C stock*) dipengaruhi oleh perubahan-perubahan pada vegetasi dan pertumbuhannya, sisa biomassa melalui pemanenan, dan gangguan mekanis pada tanah, misalnya pengolahan tanah (Amrullah 2019).

c. Bahan Organik

Lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 4 dan 13 tahun menunjukkan hubungan substansial dan bersifat linear positif. Hal ini terjadi karena daerah sekitar lokasi penelitian terdapat seresah yang cukup banyak dan tebal sehingga memungkinkan kepadatan makrofauna tanah pada daerah tersebut karena sumber makanan makrofauna tanah tersedia dengan cukup terutama bagi makrofauna tanah perombak selulosa dari seresah maupun sisa tumbuhan dan hewan lainnya. Sejalan dengan pendapat yang menyatakan bahwa bahan organik tanah sangat menentukan kepadatan populasi organisme tanah salah satunya adalah fauna tanah di mana semakin tinggi kandungan bahan organik tanah maka semakin beraneka ragam fauna tanah (makrofauna tanah) yang terdapat pada suatu ekosistem dan tersedianya seresah yang cukup banyak menentukan kepadatan fauna tanah (makrofauna tanah) (Nurrohman *et al.* 2018). Meningkatnya keanekaragaman makrofauna di dalam tanah dengan meningkatnya kandungan bahan organik tanah dan dominansi vegetasi bawah disebabkan oleh karena bahan organik tanah maupun sisa-sisa tanaman dari vegetasi bawah dapat dimanfaatkan oleh makrofauna di dalam tanah sebagai sumber makanannya.

Lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 8 tahun tidak menunjukkan adanya hubungan tetapi bersifat linear positif. Hal ini diduga ada faktor-faktor lain yang lebih dominan mempengaruhi keanekaragaman makrofauna tanah sehingga keanekaragaman makrofauna tanah tidak berhubungan secara langsung dengan bahan organik. Faktor dominan lain tersebut seperti nitrogen dan faktor abiotik seperti kelembaban maupun suhu pada tanah.

d. Nitrogen (N-total)

Nitrogen di dalam tanah berasal dari bahan organik (halus maupun kasar) (Hanafiah 2005). Perubahan bentuk bahan organik dalam tanah menjadi nitrogen melalui beberapa proses seperti pembentukan senyawa amino (aminisasi), pembentukan amonium (amonifikasi), dan perubahan menjadi nitrit (nitrifikasi) (Hardjowigeno 2015). Lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 4 tahun menunjukkan hubungan rendah dan bersifat linear positif. Hal ini diduga karena lebih berpengaruh dominan bahan organik dari pada nitrogen akan tetapi nitrogen dalam tanah menunjukkan hubungan signifikan namun tergolong rendah.

Lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 8 tahun menunjukkan hubungan substansial dan bersifat linear positif. Hal ini diduga karena makrofauna tanah banyak memperoleh nitrogen (N) dari pada tumbuhan dan sekitar pada fase vegetatif. sejalan dengan pendapat yang menjelaskan bahwa metode utama kandungan nitrogen masuk ke dalam tanah dengan adanya kegiatan organisme dalam tanah, baik hidup berukuran besar maupun kecil yang bersimbiosis oleh tanaman (Hakim *et al.* 1986). Organisme fauna tanah dan tanaman pada fase vegetatif akan bersaing dalam mendapatkan nitrogen (N) yang juga sebagai bahan untuk kebutuhan hidupnya dan N cenderung banyak diperoleh organisme fauna tanah (Nasirudin dan Susanti 2018).

Lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 13 tahun tidak menunjukkan adanya hubungan dan bersifat linear negatif. hal ini diduga faktor bahan organik dan C-organik lebih dominan mempengaruhi keanekaragaman makrofauna tanah dan belum mengalami dekomposisi maupun perubahan bentuk menjadi nitrogen. Hal ini sejalan dengan pendapat Hardjowigeno (2015) bahwa perubahan bentuk bahan organik dalam tanah menjadi nitrogen melalui beberapa proses seperti pembentukan senyawa amino (aminisasi), pembentukan amonium (amonifikasi), dan perubahan menjadi nitrit (nitrifikasi), sehingga keanekaragaman makrofauna tanah tidak berhubungan secara langsung dengan nitrogen pada tanah.

e. Nisbah C/N (C/N Rasio)

Lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 4 tahun menunjukkan tingkat hubungan yang rendah dan bersifat linear negatif yaitu penurunan C/N rasio diikuti dengan kenaikan keanekaragaman makrofauna tanah. Hal ini diduga karena makrofauna pada lahan tersebut lebih berpengaruh dominan bahan organik dari pada nitrogen akan tetapi nitrogen dalam tanah menunjukkan hubungan signifikan namun tergolong rendah.

Lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 8 tahun menunjukkan tingkat hubungan yang substansial dan bersifat linear negatif yaitu penurunan C/N rasio diikuti dengan kenaikan keanekaragaman makrofauna tanah (H'). Hal ini diduga makrofauna lebih berpengaruh signifikan dengan nitrogen sebagai bahan untuk kebutuhan hidupnya sehingga dekomposisi bahan organik lebih cepat, sesuai dengan pendapat bahwa rasio C/N rendah maka bahan mengandung banyak N dan mudah terdekomposisi, sehingga cepat dalam memasok N bagi tanaman

(Munawar 2011). Organisme fauna tanah dan tanaman pada fase vegetatif akan bersaing dalam mendapatkan nitrogen (N) yang juga sebagai bahan untuk kebutuhan hidupnya dan N cenderung banyak diperoleh organisme fauna tanah (Nasirudin dan Susanti 2018).

Lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 13 tahun menunjukkan tingkat hubungan yang substansial dan bersifat linear positif, dari hasil tersebut dikarenakan kondisi lingkungan sekitar memiliki banyak seresah dedaunan dengan ketebalan yang cukup tinggi, sehingga dari hal tersebut menyebabkan proses dekomposisi menjadi lambat. Namun, sumber makanan bagi makrofauna tanah tersedia dalam jangka yang panjang sehingga keanekaragaman cukup tinggi dari pada umur reklamasi 4 dan 8 tahun. Makrofauna tanah yang mendominasi pada areal lahan reklamasi tersebut yaitu *Lumbricus* sp. dan *Camponotus pennsylvanicus* yang juga merupakan makrofauna pendekomposer bahan organik. Hal ini sejalan dengan suatu penelitian yang menyatakan bahwa *Lumbricus* sp. mampu mengurai atau mendekomposisi bahan organik tiga (3) hingga lima (5) kali lebih cepat dibandingkan proses penguraian sampah secara alami (Hatta 2010). *Lumbricus* sp. (cacing tanah) memakan bahan organik setiap hari setara dengan berat tubuh (Parmelee *et al.* 1990) Serangga memiliki berbagai peranan dalam agroekosistem meliputi serangga hama, polinator, predator, parasitoid, dan dekomposer (Ramadhan *et al.* 2020).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Indeks keanekaragaman makrofauna tanah (H') yang tertinggi terdapat pada lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 13 tahun yaitu 1,0 tetapi masih tergolong rendah, diikuti dengan lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 8 tahun tergolong rendah yaitu 0,9 dan lahan reklamasi pasca tambang batu bara umur 4 tahun tergolong rendah yaitu 0,7.
2. Hubungan antara keanekaragaman makrofauna tanah (H') dengan beberapa sifat kimia tanah pada umur yang berbeda di lahan reklamasi pasca tambang batu bara menunjukkan C-organik ($r = 0,0933 - 0,6823$) dan bahan organik ($r = 0,1242 - 0,6575$) dengan hubungan positif dari rendah hingga substansial, tetapi pH ($r = 0,0519 - 0,9368$), N-total ($r = 0,1071 - 0,5192$), C/N rasio ($r = 0,25-0,5951$) dengan hubungan negatif maupun positif dari rendah, substansial hingga tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Amrullah A. 2019. Hubungan Keanekaragaman Makrofauna Tanah dengan Kandungan C-Organik Pada Lahan Reklamasi Bekas Tambang Kapur di Kabupaten Tuban. [Tugas Akhir]. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. [Indonesia]
- BPS. 2026. Produksi Batubara (Ton) 2016-2025. Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Kalimantan Timur. Badan Pusat Statistik. Samarinda.
- Buczowski G. 2011. Suburban Sprawl: Environmental Features Affect Colony Social and Spatial Structure In the Black Carpenter Ant, *Camponotus pennsylvanicus*. *Ecological Entomology*. 36(1): 62–71.
- Dewi FY. 2021. Studi Keanekaragaman Insekta Pada Vegetasi Pohon Pinus (*Pinus merkusii*) di Wisata Kampong Pinus Sarangan Magetan Sebagai Media Pembelajaran Berupa Booklet. [Skripsi]. Universitas Islam Negeri Sayyid Ali Rahmatullah, Tulungagung. [Indonesia]
- Edwards CA, Lofty JR. 1977. *Biology of Earthworms*. A Halsted Press Boo, John Wiley & Sons. New York.
- Fender WM, McKey-Fender D. 1990. Oligochaeta: Megascolecidae and Other Earthworms from Western North America, In Dindal, D.L., (ed.). *Soil Biology Guide*. p: 379 –391. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons. New York. Chichester. Brisbane. Toronto. Singapore.
- Hakim N, Nyakpa NY, Lubis S, Nugroho G, Saul R, Diha MH, Go Ban Hong, Baley HH. 1986. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Lampung University Press, Lampung.
- Hanafiah KA. 2005. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Hardjowigeno S. 2015. *Ilmu Tanah*. Akademika Pressindo, Jakarta.
- Hatta M. 2010. *Kepadatan dan Distribusi Cacing Tanah di TPA*. [Skripsi]. Universitas Riau, Pekanbaru. [Indonesia]
- Hidayah M, Nurmasari F, As'ari H, Suwito A. 2022. Inventarisasi Keanekaragaman Serangga di Kawasan Mangrove Kawang Wringin Putih Kecamatan Muncar Kabupaten Banyuwangi. *Prosiding Seminar Nasional MIPA UNIBA, Banyuwangi*. 225-234. [Indonesia]

- Hilwan I, Handayani, EP. 2013. Keanekaragaman Mesofauna dan Makrofauna Tanah pada Areal Bekas Tambang Timah di Kabupaten Belitung Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 4(1): 35-41.
- Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral. 2018. Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. No. 1827K/30/MEM/2018. Jakarta.
- Leksiono AS. 2007. Ekologi Pendekatan Deskriptif dan Kuantitatif. Bayumedia, Malang.
- Maha IV. 2021. Pemanfaatan Limbah Organik Sebagai Media Pakan *Tenebrio molitor*. *Jurnal Jeumpa*. 8(1): 516-524.
- Masrun A. 2018. Analisa Kadar C-Organik Pada Tanah dengan Metode Strefotometri di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS). [Tugas Akhir]. Fakultas MIPA. Universitas Sumatera Utara, Medan. [Indonesia]
- Munawar A. 2011. Kesuburan Tanah dan Nutrisi Tanaman. IPB Press, Bogor.
- Musyafa. 2004. Peranan Makrofauna Tanah dalam Proses Dekomposisi Seresah *Acacia mangium* Wild. *Biodiversitas*. 6(1): 65-65.
- Nasirudin M, Susanti A. 2018. Hubungan Kandungan Kimia Tanah Terhadap Keanekaragaman Makrofauna Tanah pada Perkebunan Apel Semi Organik dan Anorganik. *Jurnal Edubiotik*. 3(2): 5-11.
- Nurrohman E, Rahardjanto A, Wahyuni S. 2018. Studi Hubungan Keanekaragaman Makrofauna Tanah dengan Kandungan C-Organik dan Organophosfat Tanah di Perkebunan Coklat (*Theobroma cacao* L.) Kalibaru Banyuwangi. *Jurnal Bioeksperimen*. 4(1): 1-10.
- Parmelee RW, Beare MH, Cheng W, Hendrix PF, Rider SJ, Crossley Jr DA, Coleman DC. 1990. Earthworm and Enchytraeids in Conventional and No-tillage Agroecosystems: A Biocide approach to assess their role in organic matter breakdown. *Biol. Fertil.* 10: 1-10.
- Patiung O, Sinukaban N, Tarigan SD, Darusman D. 2011. Pengaruh Umur Reklamasi Lahan Bekas Tambang Batubara Terhadap Fungsi Hidrologis. *J. Hidrolitan*. 2(2): 60-73.
- Ramadhan RAM, Mirantika D, Septria D. 2020. Keragaman Serangga Nokturnal dan Peranannya Terhadap Agroekosistem di Kota Tasikmalaya. *Agroscript*. 2(2): 114-125.
- Saputra IK. 2022. Keanekaragaman Makrofauna Tanah di Lahan Pasca Tambang BatuBara dan Hutan di Sekitar Desa Sungai Akar Kabupaten Indragiri Ulu. [Skripsi]. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim, Riau. [Indonesia]
- Sarie H. 2019. Potensi Bahaya Kontaminasi Logam Berat di Lahan Bekas Tambang Batubara yang Digunakan Sebagai Lahan Pertanian. *Buletin LOPE*. 15(2).
- Sofyan RH, Wahjunie ED, Hidayat Y. 2017. Karakteristik Fisik dan Kelembaban Tanah pada Berbagai Umur Reklamasi Lahan Bekas Tambang. *Buletin Tanah dan Lahan*. 1(1): 72-78.
- Sugiyarto EM, Mahajoeno E, Sugito Y, Handayanto E, Agustina L. 2007. Preferensi Berbagai Jenis Makrofauna Tanah Terhadap Sisa Bahan Organik Tanaman pada Intensitas Cahaya Berbeda. *Biodiversitas*. 8(2): 96-100.
- Sulaiman W. 2002. Jalan Pintas Menguasai SPSS 10. 171 Hal. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Wijaya S. 2015. Studi Hubungan Makrofauna Tanah dengan Beberapa Sifat Fisika dan Kimia Tanah pada Tiga Penggunaan Lahan Desa Loa Lepu Kecamatan Tenggarong Seberang. [Skripsi]. Universitas Mulawarman, Samarinda. [Indonesia]