



*Prosiding Seminar Nasional Pertanian Pesisir (SENATASI) Jurusan
Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu
Bengkulu, 29 November 2023*

PENINGKATAN FISIOKIMIA TANAH BEKAS TAMBANG EMAS : MENCIPTAKAN KEDAULATAN PANGAN DENGAN APLIKASI TERRA PRETA

*Improving The Physiochemistry of Former Gold Mining Soil : Creating Food Estate with Terra
Preta Application*

Elsa Lolita Putri^{1*}, Gusmini², Adrinal², Yaherwandi³, dan M. Faiz Barchia¹

¹)Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu

²)Jurusan Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas

³)Jurusan Hama Penyakit Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas

*Corresponding author : elsalolita putri@unib.ac.id

ABSTRAK

Proses kerusakan sifat fisik dan kimia tanah bekas penambangan emas yang disebabkan oleh transformasi kondisi tanah yang berbeda dalam lahan sawah alami menjadi lahan bekas tambang. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan perbedaan karakteristik tanah bekas penambangan emas dengan aplikasi Tetadi. Penelitian dilakukan dalam dua tahap; yang pertama adalah survei lahan sawah di Padang Sibusuk, Kabupaten Sijunjung, di tanah yang telah direklamasi dengan penambahan terra preta. Tahap kedua adalah eksperimen di rumah kaca pada tanah bekas penambangan emas dengan penerapan Tetadi (biochar padi Terra preta) menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan enam perlakuan dan empat ulangan. Dosis perlakuan terdiri dari A = kontrol, B = 10 ton/ha Tetadi, C = 15 ton/ha Tetadi, D = 20 ton/ha Tetadi, E = 25 ton/ha Tetadi, dan F = 30 ton/ha Tetadi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lahan sawah yang telah direklamasi mengalami peningkatan kadar bahan organik tanah secara moderat, diikuti oleh perbaikan sifat fisik dan kimia tanah lainnya. Lahan sawah juga menunjukkan sifat fisik dan kimia tanah yang baik untuk tanaman, namun tanaman ini mengandung merkuri organik dan anorganik yang melebihi ambang batas yang diizinkan. Teknologi TETADI menunjukkan perbaikan tanah yang optimal, yaitu peningkatan kadar bahan organik dan perbaikan sifat fisik dan kimia tanah lainnya pada dosis 25 ton/ha.

Kata Kunci : reklamasi sawah bekas tambang, bahan organik, fisiokimia tanah

ABSTRACT

The process of deterioration of the physical and chemical properties of former gold mining soil is caused by the transformation of different soil conditions in natural rice fields into former mining fields. This research aims to determine the differences in the characteristics of former gold mining soil with the application of Tetadi. The study was

conducted in two stages; the first was a survey of rice fields in Padang Sibusuk, Sijunjung Regency, on land that had been reclaimed with the addition of terra preta. The second stage was a greenhouse experiment on former gold mining land with the application of Tetadi (Terra preta paddy biochar) using a Complete Random Design with six treatments and four replicates. The treatment doses consisted of A = control, B = 10 tons/ha Tetadi, C = 15 tons/ha Tetadi, D = 20 tons/ha Tetadi, E = 25 tons/ha Tetadi, and F = 30 tons/ha Tetadi. The results of the study showed that reclaimed rice fields experienced a moderate increase in soil organic matter content, followed by improvements in other soil physical and chemical properties. The rice fields also exhibited good soil physical and chemical properties for plants, but these plants contained organic and inorganic mercury levels that exceeded the permissible threshold. The TETADI technology demonstrated optimal soil improvement, specifically an increase in organic matter content and enhancements in other soil physical and chemical properties at a dosage of 25 tons/ha.

Key word : paddy field ex-gold mining reclamation, organic matter, fisiochemical properties

PENDAHULUAN

Kabupaten Sijunjung Sumatera Barat merupakan kawasan yang memiliki potensi sumberdaya tanah tidak hanya untuk produksi pertanian namun juga mengandung berbagai sumberdaya mineral (bahan tambang) seperti batu bara, emas, biji besi, batu gamping/kapur, dolomit, batu marmer, dan batu granit (Anderson, 2018). Industri pertambangan merupakan salah satu industri yang diandalkan pemerintah Indonesia untuk mendatangkan devisa. Selain mendatangkan devisa industri, pertambangan juga menyediakan lapangan kerja serta sumber Pendapatan Asli Daerah (PAD) bagi kabupaten/kota). Kegiatan pertambangan tersebut meliputi: eksplorasi, eksploitasi, pengolahan/pemurnian, pengangkutan mineral/bahan tambang. Sumber daya mineral yang berupa endapan bahan galian memiliki sifat khusus dibandingkan dengan sumber daya lain yaitu *wasting assets* atau diusahakan ditambang, maka bahan galian tersebut tidak akan “tumbuh” atau diperbarui kembali (*unrenewable resources*).

Kenagarian Padang Sibusuk di Kecamatan Kupitan Kabupaten Sijunjung, Sumatera Barat merupakan salah satu nagari yang memiliki kandungan emas yang tinggi namun berada pada kawasan budidaya khususnya padi sawah masyarakat sekitar. Kegiatan penambangan emas di kawasan budidaya ini mengakibatkan gangguan terhadap produksi tanah terutama budidaya pertanian. Aktivitas penambangan emas tersebut dapat berdampak pada kondisi lingkungan baik secara fisik, kimia, dan biologi. Secara fisik dapat dilihat dari terbukanya lahan yang cukup luas menjadi lahan tandus berwujud padang pasir berisi *tailing*. Secara kimiawi menyebabkan pencemaran air, tanah, dan vegetasi akibat dari penggunaan zat yang berbahaya seperti merkuri. Secara biologi dapat dilihat dari hilangnya vegetasi dan asosiasi organisme. Hal lain yang menjadi sorotan dari kerusakan lahan akibat penambangan emas ini adalah adanya Penambang Emas Tanpa Izin (PETI) yang selain merusak lingkungan juga membahayakan jiwa penambang karena keterbatasan pengetahuan penambang dan juga tidak adanya pengawasan dari dinas instansi terkait (Gusmini et al., 2022; Gusmini, Adrinal, Putri, et al., 2021; Gusmini, Adrinal, Yaherwandi, et al., 2021).

Hasil wawancara dengan masyarakat di Jorong Ladang Kapeh Nagari Padang Sibusuk Kabupaten Sijunjung diperoleh informasi bahwa penambangan emas pada lahan sawah produktif sudah berlangsung sejak tahun 2004, namun berhenti pada tahun 2016. Setelah terhentinya kegiatan PETI tersebut (2016-sekarang) lahan sawah yang telah mengalami degradasi di Jorong Ladang Kapeh Nagari Padang Sibusuk dan ada yang telah direklamasi secara sederhana oleh masyarakat dengan cara menimbun kembali sawah dengan tanah dari daerah lain sehingga permukaan tanah bekas tambang yang dipenuhi *tailing* dapat tertutupi oleh tanah timbunan serta penggenangan sawah dapat dilakukan kembali. Walaupun sudah dilakukan reklamasi secara tradisional, namun produksi padi sawah di lokasi ini hanya sekitar 50% dibandingkan dengan produksi sebelum kegiatan penambangan emas. Rendahnya produktivitas lahan bekas tambang emas ini berakibat pada sedikitnya masyarakat yang tertarik untuk mereklamasi kembali tanah sawah sehingga banyak sawah yang masih terlantar dan tidak bisa digunakan lagi untuk budidaya pertanian.

Upaya pemulihan perlu dilakukan dengan menerapkan teknologi yang ramah lingkungan serta mudah diadopsi dan diterapkan oleh petani padi sawah sehingga dapat memperbaiki kembali kualitas tanah bekas tambang emas ini dapat dimanfaatkan oleh masyarakat dan kualitas lingkungan hingga kesehatan masyarakat sekitar dapat terpelihara. Teknologi Terra Preta Biochar Sekam Padi (TETADI). Teknologi ini merupakan tanah hitam yang terdiri dari kombinasi limbah organik, pupuk kandang, dan biochar sekam padi yang diaplikasikan ke dalam tanah. Teknik Terra Preta merupakan adopsi tanah hitam yang sudah dikenal berasal dari kawasan Amazon (Amerika Selatan) yang telah ribuan tahun mengandung arang bersifat sangat subur dan kaya dengan bahan organik (Gani,2009). TETADI merupakan salah satu solusi dalam perbaikan sifat tanah baik fisika, kimia, maupun biologi pada tanah terdegradasi hingga mampu mesuplai hara tanah bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian

Rancangan percobaan yang digunakan pada penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari 6 perlakuan dosis Terra Preta Biochar Sekam Padi (TETADI) yang berbeda dengan 3 kali ulangan, seluruhnya terdiri dari 18 satuan percobaan.. Perlakuan TETADI yang diberikan sebagai berikut:

Tabel 1. Rancangan Penelitian

Kode	Perlakuan Terra Preta
A	Kontrol (Tanpa Terra Preta <i>biochar</i> sekam padi)
B	10 ton/ha TETADI (Terra Preta <i>biochar</i> sekam padi)
C	15 ton/ha TETADI (Terra Preta <i>biochar</i> sekam padi)
D	20 ton/ha TETADI (Terra Preta <i>biochar</i> sekam padi)

E	25 ton/ha TETADI (Terra Preta <i>biochar</i> sekam padi)
F	30 ton/ha TETADI (Terra Preta <i>biochar</i> sekam padi)

Tanah dengan perlakuan TETADI dilakukan inkubasi selama 21 hari. Data hasil pengamatan tanah dibandingkan dengan kriteria penilaian sifat tanah lalu dianalisis secara statistik dengan uji F pada taraf nyata 5%. Jika berbeda nyata (F hitung lebih besar dari F tabel 5%), maka dilanjutkan dengan uji *Duncan's New Multipl Range Test* (DNMRT) pada taraf 5%.

Pembuatan Terra Preta

Terra Preta Biochar Sekam Padi (TETADI) yang digunakan berasal dari kombinasi biochar sekam padi, limbah organik, dan pupuk kandang yang sudah dikomposkan. Sumber biochar yang digunakan dari hasil proses pembakaran dengan suplai energi terbatas (pirolisis) dari arang sekam padi. Limbah organik yang digunakan berasal dari sisa pembuangan sampah sayuran dari limbah rumah tangga serta pupuk kandang dari kotoran sapi peternakan. Komposisi biochar sekam padi, limbah organik dan pupuk kandang adalah 1:1:1 yang dikomposkan hingga matang dan menyerupai struktur tanah untuk dapat diaplikasikan.

Pengambilan sampel tanah percobaan pot

Sampel Tanah yang digunakan untuk percobaan diambil di lahan bekas tambang emas secara komposit pada kedalaman 0-20 cm dari beberapa titik pengambilan sampel untuk mewakili areal tersebut. Kemudian sampel tanah dikering anginkan, dihaluskan kemudian diayak dengan ayakan 2 mm dan diaduk hingga homogen. Kadar air tanah ditetapkan, kemudian sampel tersebut dimasukkan kedalam pot masing-masingnya 8 kg tanah setara berat kering mutlak (BKM).

Pemberian perlakuan dan inkubasi

TETADI dengan takaran sesuai perlakuan, dicampur dengan tanah dan diaduk hingga rata. Setelah itu tanah disiram dengan air hingga kapasitas lapang, lalu ditutup dengan plastik untuk mengurangi penguapan dan diinkubasi selama 21 hari. Setelah masa inkubasi selesai, dilakukan pengambilan sampel tanah untuk dilakukan analisis indeks kualitas tanah setelah inkubasi.

Analisis tanah di laboratorium

Setelah masa inkubasi selesai, sampel tanah diambil sesuai parameter analisis yang digunakan. Sampel tanah terganggu di kering anginkan, dihaluskan dan diayak sesuai dengan kebutuhan tanah untuk analisis. Adapun analisis sifat fisika, kimia dan biologi tanah serta metodenya secara lengkap tertera pada Tabel 2.

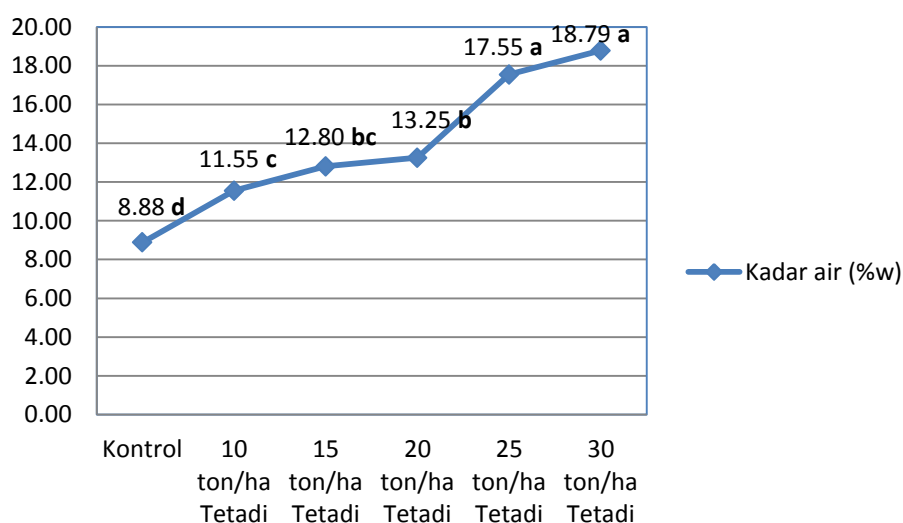
Tabel 2. Parameter Penelitian

No	Parameter	Satuan	Metoda Analisis	Sampel
1	Sifat Fisika			
	Bobot volume tanah	g/cm ³	Bongkah alami	Utuh
	Total ruang pori	%	Pendekatan BV dan BJ	Utuh
	Tekstur	-	Ayakan & pipet	Komposit
2	Sifat Kimia			
	pH tanah (pH H ₂ O)	-	Potensiometrik	Komposit
	pH tanah (pH KCl)	-	Potensiometrik	Komposit
	C-organik	%	Walkley-Black	Komposit

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisika Tanah

Hasil analisis kadar air tanah sawah bekas tambang emas yang diberikan perlakuan Terra Preta Biochar Sekam Padi (Tetadi) dapat dilihat pada diagram di bawah ini.



Gambar 1. Diagram kadar air tanah (% w) tanah perlakuan Tetadi

Kadar air pada tanah sawah bekas tambang emas di Nagari Padang Sibusuk Kabupaten Sijunjung ini memiliki nilai yang rendah. Hal ini berkaitan dengan kandungan fraksi tanah yang didominasi oleh pasir serta bobot volume tanah yang tinggi dan diikuti oleh total ruang pori yang rendah. Total ruang pori merupakan jumlah dari pori yang ada dalam tanah baik itu pori makro, pori meso hingga pori mikro (Adriana et al., 2021).

Tanah bekas penambangan emas ini memiliki fraksi pasir yang lebih mendominasi sehingga hal ini juga akan berkaitan dengan bobot volume dan total ruang pori tanah terhadap ketersediaan air di dalam tanah untuk pertumbuhan tanaman (Barchia et al., 2023). Tanah berpasir akan memiliki pori makro yang lebih banyak sehingga daya pegang air oleh tanah menjadi rendah dan air akan mudah lolos di kondisi tanah seperti ini atau yang lebih

sering disebut dengan tanah poros. Oleh sebab itu tanah berpasir tidak baik bagi perakaran tanaman untuk mencari air di dalam tanah (Putri et al., 2022).

Tanah bekas tambang emas diaplikasikan dengan Tetadi yang merupakan bahan organik yang terdiri dari komposisi biochar sekam padi, kotoran hewan, dan limbah organik dikomposkan dengan bantuan biofaktor EM₄ hingga teksturnya menyerupai tanah untuk siap aplikasikan menunjukkan terjadinya peningkatan kadar air tanah. Hal ini disebabkan karena bahan organik mempunyai pori-pori mikro yang lebih banyak dibandingkan dengan partikel mineral. Kondisi ini sangat baik diaplikasikan pada tanah dengan pori makro yang banyak karena bahan organik mampu membuat kapasitas simpanan air menjadi lebih tinggi. Bahan organik yang lebih banyak akan berkolerasi dengan tingginya kadar air di dalam tanah (Lubis et al., 2015). Dominasi fraksi liat juga tidak baik untuk pertumbuhan tanaman. Hal ini karena fraksi liat akan menyebabkan terbentuknya banyak pori-pori mikro sehingga daya pegang terhadap air menjadi kuat dan akar menjadi semakin sulit untuk berpenetrasi hingga akhirnya sirkulasi air dan udara juga akan terhambat (Lopulisa et al., 2009). Selain itu meningkatnya kandungan pori mikro di dalam tanah juga menyebabkan luas permukaan sentuh tanah menjadi lebih luas sehingga pegang air menjadi sangat kuat. Air yang masuk ke pori-pori tanah khususnya mikro menjadi terperangkap serta udara menjadi sulit masuk (Sharifianpour et al., 2014).

Tanah di lokasi penambangan emas di Nagari Padang Sibusuk Kabupaten Sijunjung ini memiliki kadar air yang rendah. Hal ini karena tanah memiliki bobot volume yang tinggi serta total ruang pori yang rendah karena didominasi oleh pori makro. Penambahan Terra Preta yang merupakan input bahan organik tanah dengan komposisi biochar sekam padi, sampah organik, dan kotoran hewan yang sudah dikomposkan mampu meningkatkan kadar air yang ada pada tanah bekas tambang dengan fraksi pasir yang besar. Perlakuan 30 ton/ha Tetadi dengan masa inkubasi selama 21 hari mampu meningkat dari tanah kontrol dengan kadar air sebesar 8.88% hingga mencapai 18.80%. (Smiciklas et al., 2008) menyatakan bahwa iklim, kandungan bahan organik, fraksi lempung tanah, dan topografi bisa menjadi faktor yang menentukan kondisi kadar air di dalam tanah. Faktor lempung tanah yang tinggi juga ditunjukkan dari hasil penelitian lain tentang aplikasi jerami pada tanah sawah untuk budidaya tanaman semangka menunjukkan dengan aplikasi 5 ton/ha jerami dapat menurunkan kadar air tanah sebanyak 16% dibanding tanah sawah tanpa perlakuan. Tingkat kelembungan tanah sawah yang tinggi ini menunjukkan bahwa tidak mempunyai air masuk ke dalam tanah baik itu air dari penyiraman maupun air yang berasal dari air hujan atau disebut dengan *water repellency*.

Hampir disetiap periode pertumbuhan padi berada pada kondisi yang jenuh air sehingga kebutuhan air juga meningkat. Kebutuhan air untuk padi berkisar antara 350-700 mm/masa tanam dan sangat sensitif terhadap cengkaman air. Pada fase vegetatif merupakan masa evapotranspirasi yang tinggi hingga maksimumnya berada saat sebelum pembungaan sampai awal pengisian polong. Jika kadar air tanah turun hingga 70-80% dari kondisi jenuh air, akan menyebabkan produksi padi turun, dan kadar air tanah jika berada di 50% maka produksi padi menurun hingga 50-60% (Zaremanesh et al., 2020). Oleh sebab itu perlu adanya manajemen untuk mengatur kondisi kadar air di dalam tanah. *Management Allowable Depletion (MAD)* atau *maximum allowable depletion* merupakan penurunan maksimum kadar air yang masih memberikan optimalisasi pertumbuhan dan

produktivitas tanaman. MAD juga diartikan sebagai derajat kekeringan tanah yang masih diperbolehkan untuk menghasilkan produksi tanaman optimum. Manajemen ini diperlukan untuk menentukan jumlah dan frekuensi pemberian air irigasi sehingga nilai kritis penurunan kadar air pada tanah dapat diketahui serta dapat diketahui kadar air yang masih mampu menghasilkan efisiensi penggunaan air (*water use efficiency/WUE*) yang optimum (Hussain et al., 2017).

Tanah bekas tambang emas ini sangat diperlukan perbaikan sifat fisik tanahnya, salah satunya Terra Preta yang mampu berperan sebagai bahan organik dalam pembenahan tanah. Air irigasi yang biasanya diterapkan pada tanah sawah belum mampu langsung diaplikasikan pada tanah bekas tambang emas ini, karena masih dipengaruhi oleh faktor tanah pasir serta faktor tanah liat yang memiliki sifat mengembang dan mengerut (Rodrigues et al., 2015). Tanah pasir mampu melepaskan air hingga 80% serta tanah liat mampu menahan air kuat (*high water holding capacity*). Oleh sebab itu sebelum perbaikan sifat fisika tanah ini dilakukan dengan cara penambahan bahan organik, pertimbangan aplikasi irigasi belum efisien dilakukan untuk pertumbuhan dan perkembangan akar tanaman khususnya padi sehingga nantinya mampu memenuhi kebutuhan air bagi tanaman (*crop water use*)(Gusmini, Adrinal, Putri, et al., 2021).

Hasil analisis tekstur tanah pada tanah bekas tambang emas di Nagari Padang Sibusuk Kabupaten Sijunjung dengan perlakuan Terra Preta Biochar Sekam Padi beberapa dosis yang diinkubasi selama 21 hari sebagai berikut.

Tabel 3. Tekstur tanah bekas tambang emas dengan aplikasi Tetadi

Perlakuan	Pasir	Debu (%)	Liat	Kriteria
Kontrol	87.09	10.35	2.56	Pasir berlempung
10 ton/ha Tetadi	85.77	11.27	2.96	Pasir berlempung
15 ton/ha Tetadi	84.97	12.55	2.48	Pasir berlempung
20 ton/ha Tetadi	82.07	12.71	5.21	Pasir berlempung
25 ton/ha Tetadi	78.44	12.03	9.53	Pasir berlempung
30 ton/ha Tetadi	78.72	14.23	7.05	Pasir berlempung

Pada Tabel 3 terlihat bahwa tekstur tanah bekas penambangan emas di Nagari Padang Sibusuk Kabupaten Sijunjung dengan perlakuan Terra Preta Biochar Sekam Padi (Tetadi) dengan lima dosis yang berbeda dan satu kontrol menunjukkan kriteria yang sama yaitu pasir berlempung. Namun terlihat penurunan persentase pasir disetiap penambahan dosis Tetadi serta peningkatan debu dan liat sehingga hal ini menandakan Tetadi mampu dalam inkubasi pertama yang menggunakan waktu 21 hari untuk mereklamasi tanah bekas tambang dan menurunkan kadar *tailing* yang ada di permukaan olah tanah sawah bekas tambang emas ini.

Tekstur tanah lempung berdebu merupakan tekstur yang baik untuk pertumbuhan tanaman karena perbandingan pasir, debu, dan liat berada dalam jumlah yang seimbang (Henrianto et al., 2019). Namun dalam kondisi tanah bekas tambang emas di Nagari Padang Sibusuk Kabupaten Sijunjung ini memiliki banyak fraksi, hal ini menyebabkan tanah ini sangat poros dan mudah terangkut atau mengalami erosi hingga kurang kuat

dalam mengikat unsur hara. Tekstur tanah yang ideal untuk proses budidaya yaitu tanah dengan kelas tekstur lempung berdebu dengan komposisi yang terdiri dari 5% bahan organik, 25% udara, dan 25% air (S Hardjowigeno, 2007). Tekstur tanah sangat mempengaruhi proses pengolahan tanah yang diterapkan, kandungan air untuk tanaman, hingga menentukan kebutuhan nitrogen untuk pertumbuhan tanaman. Tanah pasir yang memiliki pori makro dalam jumlah banyak menjadikan tanah ini mudah diolah namun kurang baik dalam ketersediaan air untuk pertumbuhan tanaman, dan juga sebaliknya yang terjadi pada tanah dengan fraksi liat yang tinggi akan sulit untuk diolah namun memiliki daya ikat air yang kuat sehingga air tersedia bagi tanaman lebih banyak dibandingkan tanah pasir (Henrianto et al., 2019).

Tanah bekas tambang emas yang diinkubasi dengan Terra Preta Biochar Padi menunjukkan kelas tekstur pasir berlempung disetiap dosis perlakuannya. Tanah berlempung ini memiliki faktor penghambat untuk terjadi infiltrasi di dalam tanah. Selain itu faktor yang menghambat infiltrasi ini diantaranya kelembaban tanah yang tinggi, kontak langsung dengan batuan, tidak adanya vegetasi di permukaan tanah yang terjadi pada tanah *tailing* bekas penambangan emas di Nagari Padang Sibusuk Kabupaten Sijunjung ini, kedalaman air tanah yang dangkal, hingga terdapatnya pemadatan tanah (Setyowati, 2007). Terjadinya penghambatan infiltrasi ini sesungguhnya ideal untuk terbentuknya lapisan tapak bajak di tanah sawah, namun pada tanah bekas tambang emas ini yang terjadi lapisan olah tanah yang memiliki kondisi berlempung oleh sebab itu perlunya dilakukan proses pengolahan sawah yang membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mengembalikan kondisi sifat fisik tanah menjadi kondisi sawah idealnya (Limbong et al., 2017).

Sifat fisika tanah yang berupa tekstur memiliki peran dalam proses terbentuknya tanah sawah yang baik untuk budidaya tanaman padi. Pembentukan lapisan tapak bajak yang dibutuhkan dalam tanah sawah ini memperhatikan komposisi mineral liat dan tekstur tanah lainnya. Lapisan tapak bajak adalah lapisan tipis pada sawah yang terbentuk akibat proses pengolahan tanah seperti penggunaan alat mekanisasi maupun secara tradisional dengan bantuan manusia atau hewan serta lapisan ini bukan merupakan horizon genetik yang ada di dalam tanah (Sarwono Hardjowigeno & Widiatmaka, 2001).

Tanah sawah pada umumnya memiliki tekstur yang padat dan ada tanda-tanda genangan air permanen atau intermitten seperti terlihat pemisahan besi dan mangan pada matriks tanah (Adeniran et al., 2010). Lapisan tapak bajak akan memiliki ketebalan meningkat mengikuti umur budidaya dan cara pengolahan tanah yang diterapkan seperti mekanisasi, manusi, maupun bantuan hewan (Janssen & Lennartz, 2007). Lapisan olah tanah pada tanah bekas tambang emas yang diinkubasi dengan Tetadi masih memiliki tekstur kasar yaitu kandungan pasir yang tinggi, hal ini mengharuskan waktu yang lebih lama dalam pembentukan lapisan tapak bajak yaitu sekitar 3 hingga 200 tahun, selain itu pembentukan ini juga dipengaruhi oleh jenis tanah, iklim, hidrologi, serta frekuensi genangan air di permukaan tanah (Witt, 2005). Penelitian lain menunjukkan bahwa pematangan lapisan tapak bajak di tanah sawah hingga mencapai hasil yang memuaskan membutuhkan waktu selama 10 – 20 tahun dengan proses pengolahan tanah dengan cara dibajak dan pemadatan tanah (Jin et al., 2020). Reklamasi tanah bekas penambangan emas ini juga dapat dibantu dalam proses pembentukan lapisan tapak bajaknya dengan cara memperpanjang masa genangan selama periode awal penanaman padi. Hal ini karena

genangan selain mampu mempercepat terbentuknya lapisan tapak bajak yang dipadatkan, namun juga secara substansial menurunkan laju infiltrasi (Kukal & Sidhu, 2004).

Sifat Kimia Tanah

Hasil analisis pH tanah pada sawah bekas tambang emas yang diinkubasi dengan Terra Preta Biochar Sekam Padi selama 21 hari adalah sebagai berikut.

Tabel 4. pH tanah bekas tambang emas dengan aplikasi Tetadi

Perlakuan	pH		Δ pH
	H ₂ O	KCl	
Kontrol	4.68 c	4.10 c	0.58 b
10 ton/ha Tetadi	5.13 b	4.23 c	0.90 ab
15 ton/ha Tetadi	5.20 b	4.20 c	1.00 a
20 ton/ha Tetadi	5.45 ab	4.28 bc	1.18 a
25 ton/ha Tetadi	5.63 a	4.45 ab	1.18 a
30 ton/ha Tetadi	5.70 a	4.63 a	1.08 a
	KK= 2.13%	KK= 3.37%	KK= 14.86%

Keterangan : angka-angka pada grafik yang diikuti oleh huruf kecil yang berbeda adalah berbeda nyata pada taraf 5% menurut DNMR

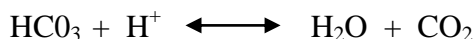
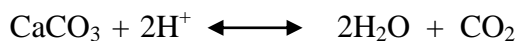
Aplikasi Terra Preta Biochar Padi pada tanah sawah bekas tambang emas ini menunjukkan peningkatan pH disetiap penambahan dosis yang diberikan. Perbedaan nyata yang terjadi antara tanah dengan Tetadi 30 ton/ha dibandingkan tanah kontrol menunjukkan aplikasi Tetadi ini mampu memperbaiki tingkat kemasaman tanah bekas tambang emas di Nagari Padang Sibusuk Kabupaten Sijunjung ini. Selisih nilai pH juga terlihat meningkat pada setiap perlakuan sehingga hal ini dapat digunakan untuk mengetahui besar kapasitas sanggah tanah dan faktor kunci dalam menentukan tingkat kemasaman tanah (Xu et al., 2021).

Terra Preta Biochar Padi merupakan bahan organik yang terdiri dari biochar sekam padi, kotoran ternak, dan limbah organik yang dikomposkan dengan perbandingan 1:1:1. Biochar mengandung pH dan cadangan karbon yang tinggi sehingga membantu dalam pertumbuhan tanaman. Biochar juga mampu memperturkan dan menjerap kation yang tinggi di dalam tanah sehingga biochar mampu membantu meningkatkan ketersediaan unsur di dalam tanah. Biochar efektif meretensi hara yang tersedia bagi tanaman. Hal ini diakibatkan karena biochar memiliki luas jerapan yang besar sehingga biochar mampu meningkatkan serapan hara di dalam tanah (Bella, 2020). Biochar memiliki zat alkali dan pH yang tinggi sehingga dapat digunakan untuk mengurangi tingkat kemasaman pada tanah (Choy et al., 2015; Tatomir et al., 2023). Biochar memiliki empat kategori bagian alkali, diantaranya adalah :

- Kelompok organik fungsional permukaan
(Biochar -- COO⁻ dan --O⁻)

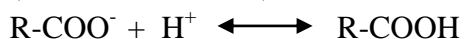
$$\text{Biochar -- COO}^- + \text{H}^+ \longleftrightarrow \text{Biochar -- COOH}$$

$$\text{Biochar -- O}^- + \text{H}^+ \longleftrightarrow \text{Biochar -- OH}$$
- Kation dari karbonat
(seperti CaCO₃, Ca(HCO₃)₂)



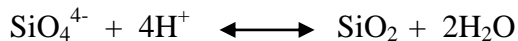
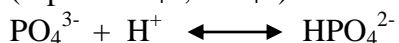
c. Senyawa organik terlarut

(R-COO^- dan R-O^-)



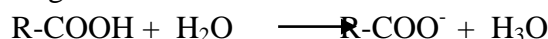
d. Basa anorganik lainnya

(seperti PO_4^{3-} , SiO_4^{4-})



Kategori alkali di atas menunjukkan bahwa biocar mampu menetralkan kemasaman tanah serta meningkatkan pH di dalam tanah. Kandungan pH tanah merupakan faktor yang mampu mempengaruhi pertumbuhan tanaman serta aktivitas mikroba di dalam tanah hingga ketersediaan hara bagi tanaman. Manfaat biochar dalam meningkatkan pH tanah menunjukkan pH tanah memiliki efek pengapuran di dalam tanah serta menjadi mekanisme untuk peningkatan produktivitas tanaman (Downie et al., 2011). Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa pH tanah bekas tambang timah dapat meningkat hingga 0.3 – 0.7 dengan aplikasi biochar di dalamnya, serta biochar juga mampu secara signifikan menurunkan logam-logam berat di dalamnya seperti Al, Cd, Cu, Pb, dan Zn (Smiciklas et al., 2008).

Terra Preta Biochar Sekam Padi yang diaplikasikan merupakan amelioran yang dibuat dari pengomposan biochar sekam padi, kotoran ternak, dan limbah organik terlihat mampu meningkatkan pH pada tanah bekas tambang emas ini. Hal ini disebabkan karena asam organik yang dihasilkan dari bahan organik tersebut mengalami disosiasi OH sehingga menimbulkan muatan negatif hingga mampu meningkatkan pH tanah masam di daerah ini. Reaksi dari asam-asam organik seperti karboksilat dan fenolat yang mengalami disosiasi OH dan pH meningkat sebagai berikut.



Asam-asam organik yang berasal dari dekomposisi bahan organik juga mampu menghasilkan oksida-oksida yang akan menaikkan nilai pH tanah tersebut. Hasil penelitian (Lingling Wang et al., 2020) menunjukkan bahwa aplikasi bahan organik mampu meningkatkan ΔpH tanah dibandingkan tanpa aplikasi bahan organik. Penambahan bahan organik berupa kapur dan pupuk kandang yang menyebabkan ΔpH meningkat memiliki kompleks jerapan yang didominasi oleh muatan positif oleh sebab itu kapasitas tukar kation tanah menjadi lebih besar daripada kapasitas tukar anionnya sehingga tanah didominasi oleh muatan negatif. Tinggi ΔpH dan meningkatnya kapasitas sangga tanah akan menjadikan tanah sulit mengalami perubahan pH saat ditambahi asam maupun basa. Bahan organik mampu meningkatkan hingga 75% kapasitas sangga tanah, hal ini disebabkan karena protonasi dari gugus karboksil bahan organik mampu meningkatkan ketahanan tanah terhadap pemasaman (Campana et al., 2017; Li Wang et al., 2023).

Kompos memiliki sifat hidrofobik yang menyebabkan tingginya kemampuan tanah dalam memegang air. Kompos juga memiliki kelebihan dalam menurunkan kepadatan tanah yang akan mempengaruhi perkembangan akar dan kemampuan penyerapan unsur

hara di dalam tanah yang lebih baik (Sunuk et al., 2018). Pemberian kompos juga dapat merubah sifat tanah diantaranya adalah warna tanah, pH, C-organik, N, P, dan K. Aplikasi Terra Preta Biochar Sekam Padi ini juga menjadi alternatif ameliorasi berupa kompos yang ramah lingkungan serta mudah dikembangkan untuk mencapai perbaikan tanah sawah bekas tambang di Nagari Padang Sibusuk ini serta terwujudnya pertanian yang berkelanjutan hingga mencapai cita nasional yaitu swasambada pangan.

Hasil analisis C organik tanah bekas tambang emas di Nagari Padang Sibusuk Kabupaten Sijunjung yang direklamasi dengan Terra Preta Biochar Sekam Padi dengan beberapa dosis dapat dilihat pada Tabel 9 di bawah ini.

Tabel 5. C-organik tanah bekas tambang emas dengan aplikasi Tetadi

Perlakuan	C-organik (%)	Kriteria
Kontrol	1.34 a	Rendah
10 ton/ha Tetadi	1.61 a	Rendah
15 ton/ha Tetadi	1.58 a	Rendah
20 ton/ha Tetadi	1.89 a	Rendah
25 ton/ha Tetadi	1.91 a	Rendah
30 ton/ha Tetadi	2.02 a	Sedang
KK = 28.35%		

Keterangan : angka-angka pada grafik yang diikuti oleh huruf kecil yang sama adalah tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut DNMRT

Tabel 5 menunjukkan bahwa tanah bekas tambang emas yang direklamasi dengan inkubasi Terra Preta Biochar Sekam Padi dapat meningkatkan kandungan C organik di dalam tanah namun tidak menunjukkan berbeda nyata antara masing-masing dosis yang diberikan antara kontrol, dosis 10 ton/ha, 15 ton/ha, 20 ton/ha, 25 ton/ha, hingga 30 ton/ha. Hasil analisis ini juga memperlihatkan bahwa dosis Tetadi tertinggi yaitu 30 ton/ha mampu meningkatkan kriteria kandungan C organik dari rendah menuju sedang sehingga kondisi ini bisa memberikan dampak lebih baik bagi kesehatan tanah dan pertumbuhan tanaman di atasnya.

Terra Preta Biochar Sekam Padi merupakan input bahan organik kepada tanah sebagai alternatif reklamasi yang diberikan pada tanah degradasi seperti tanah bekas tambang emas ini. Bahan organik membantu merubah sifat fisik tanah termasuk lahan sawah bekas tambang emas ini. Bahan organik memiliki peran dalam kesuburan tanah, selain itu bahan organik juga memberikan perubahan sifat-sifat tanah seperti sifat fisik, biologis, dan kimia tanah. Bahan organik yang telah mengalami dekomposisi di dalam tanah dapat meningkatkan kandungan C organik dan kandungan asam-asam H_2SO_4 dan HNO_3 yang berasal dari pelapukan bahan organik. Kenaikan C organik juga akan menghasilkan perbaikan terhadap sifat fisik tanah (Handayani, 2004). Oleh sebab itu, bahan organik merupakan bahan yang penting dalam menciptakan kesuburan tanah baik secara fisika, kimia, dan biologi tanah (Yulnafatmawita et al., 2011).

Bahan organik di dalam tanah merupakan pembentuk granulasi dalam pembentukan agregat tanah yang stabil. Input bahan organik mampu menurunkan berat tanah serta tanah menjadi berstruktur remah dan lebih ringan. Hal ini juga dapat memperbaiki pergerakan vertikal atau infiltrasi air di dalam tanah dan dapat menyerap air lebih cepat dari

permukaan hingga penambahan bahan organik ini juga mampu meminimalisir terjadinya erosi tanah. Aerasi tanah yang diberikan tambahan bahan organik menjadi lebih baik diakibatkan karena meningkatnya ruang pori tanah oleh pembentukan agregat. (Swanda et al., 2015) menyatakan bahwa kandungan C organik tanah ini akan membantu dalam pembentukan agregat tanah dalam dua aspek yaitu sebagai inti yang dikelilingi oleh tanah liat yang membentuk agregat, dan kedua sebagai penghubung antar partikel yang memiliki ukuran berbeda melalui ikatan fisik dalam membentuk agregat. Selain itu bahan organik juga mampu mengurangi dispersi agregat di dalam tanah karena stabilitas agregat yang besar (Johansson & Isgren, 2017).

Aplikasi gabungan dari pupuk organik dan pupuk anorganik juga lebih kondusif dalam pembentukan agregat tanah serta untuk memperbaiki struktur tanah (Huang et al., 2015). Namun secara khusus, kandungan pupuk organik memiliki kemampuan meningkatkan kandungan agregat lebih besar dibandingkan dengan pupuk anorganik karena pupuk organik seperti kotoran ternah memiliki volume lebih besar serta mengandung nutrisi yang lebih seimbang sehingga mampu mendorong percepatan pembentukan agregat tanah. Selain itu, hasil penelitian (Zheng et al., 2009) membuktikan bahwa aplikasi pupuk organik dalam jangka panjang juga dapat mendorong pembentukan agregat tanah, selain itu juga memiliki kelebihan dalam meningkatkan porositas tanah, meningkatkan permeabilitas air tanah, dan kapasitas tanah dalam menahan air. Hasil lain juga menunjukkan bahwa gabungan aplikasi pupuk organik dan pupuk anorganik mampu mengurangi dampak negatif dari pemakaian pupuk anorganik terutama pada sifat fisika tanah tersebut. Salah satu contoh pupuk organik yang bisa diaplikasikan adalah pupuk hijau. Hasil penelitian (Yang et al., 2023) memperlihatkan bahwa pemberian pupuk hijau mampu meningkatkan pembentukan agregat tanah yang stabil terhadap air tanah serta mampu memperbaiki struktur tanah, porositas tanah, mengurangi kerapuhan tanah, serta meningkatkan bahan organik di dalam tanah. Hasil ini juga menunjukkan dalam pemberian pupuk hijau selama tiga tahun mampu mengurangi kepadatan tanah permukaan.

Penurunan bobot volume tanah akibat penambahan bahan organik ini merupakan salah satu manfaat pupuk organik terhadap minimalisir dampak negatif penggunaan pupuk anorganik bagi sifat fisik tanah (Rubio et al., 2013). Hasil penelitian (Campana et al., 2017) juga menunjukkan bahwa pemberian pupuk hijau yang merupakan salah satu dari pupuk organik tanah mampu menurunkan berat jenis dan pH tanah hingga meningkatkan bahan organik dan mikroba tanah. Penurunan bobot volume ini disebabkan karena efek pengenceran fraksi mineral padat tanah yang dihasilkan oleh bahan organik pada lapisan tanah serta perbaikan struktur menuju total ruang pori tanah yang lebih baik (Rodrigues et al., 2015). Kandungan bahan organik yang semakin meningkat akan berpengaruh terhadap penurunan bobot volume suatu tanah (Purwanto et al., 2021). Rendahnya bobot volume tanah juga diakibatkan karena bahan organik yang memiliki berat lebih ringan dari bahan mineral serta bahan organik juga mampu memperbesar pori tanah sehingga *bulk density* tanah akan menjadi rendah (Zeng-ping et al., 2012).

Sifat fisik lain yang dipengaruhi oleh bahan organik juga dapat dilihat pada air tersedia tanah serta penyediaan nutrisi dalam memenuhi kebutuhan mikroorganisme untuk beraktivitas di dalam tanah. Tingginya pori bahan organik menyebabkan kapasitas simpan air tanah meningkat. Sehingga hal ini menunjukkan bahwa meningkatnya bahan organik di

dalam tanah juga akan meningkatkan kadar air pada tanah tersebut (Lubis et al., 2015). Penambahan bahan organik pada tanah yang didominasi fraksi pasir akan meningkatkan pori meso dan menurunkan pori makro di tanah tersebut, sehingga daya pegang air tanah menjadi meningkat dan berdampak pada ketersediaan air untuk pertumbuhan tanaman (Scholes et al., 1994). Berbeda dengan aplikasi bahan organik pada tanah berlempung akan meningkatkan kemampuan infiltrasi tanah karena bahan organik mampu meningkatkan pori meso serta menurunkan pori mikro di dalam tanah tersebut (Atmojo, 2003).

Terra Preta Biochar Sekam Padi dibuat dengan teknologi pengomposan sebagai upaya perbaikan tanah bekas tambang emas yang ada di Nagari Padang Sibusuk Kabupaten Sijunjung. Teknologi pengomposan dikembangkan dengan proses menguraikan material organik yang terjadi di alam bebas. Proses pengomposan secara alami dapat dibuktikan dengan terbentuknya humus di hutan. Pengomposan alami ini dapat berjalan lambat sehingga membutuhkan waktu yang lama, namun saat ini banyak teknologi pengomposan yang dibuat oleh ilmuwan dalam memodifikasi proses penguraian material organik tersebut dalam waktu yang lebih singkat. Hasil dari pengomposan ini mampu memperbaiki sifat fisika, kimia, hingga biologi tanah. Kompos terutama teknologi Tetadi ini mampu menjadi alternatif perbaikan tanah bekas tambang emas dan juga sebagai media tanam.

Tanah bekas tambang yang miskin hara sangat membutuhkan pembenah tanah seperti kompos untuk kebutuhan pertumbuhan tanaman di atasnya (Patangga dan Yuliarti, 2016). Pembenah tanah adalah amelioran untuk menanggulangi degradasi tanah yang terdiri dari bahan alami maupun sintetik mineral (Dariah, 2007). Kompos memiliki karbon yang tinggi dan mampu menjadi sumber energi bagi mikroba di dalam tanah. Kompos bersifat hidrofilik yaitu mampu meningkatkan kemampuan tanah dalam memegang air, dan kompos mampu memberikan perubahan bagi tanah namun dalam waktu yang tidak cepat (Sunuk et al., 2018). Kompos memiliki kemampuan mengurangi kepadatan tanah sehingga memudahkan akar tanaman untuk berkembang dan menyerap hara di dalam tanah, serta pengguna kompos seperti Tetadi dapat menjadi alternatif pupuk yang ramah lingkungan dan mudah dikembangkan untuk mewujudkan kesehatan tanah hingga pertanian yang berkelanjutan.

KESIMPULAN

Penerapan Tetadi pada lahan bekas tambang emas juga menunjukkan hasil optimal dalam meningkatkan sifat fisik dan kimia tanah. Peningkatan kandungan karbon organik, pH tanah pada tingkat perlakuan TETADI sebesar 25 ton/ha

DAFTAR PUSTAKA

- Adeniran, K. A., Amodu, M. F., Amodu, M. O., & Adeniji, F. A. (2010). *Water requirements of some selected crops in Kampe dam irrigation project. I*(4), 119–125.
- Adrinal, Gusmini, Darfis, I., & Putri, E. L. (2021). Performance of Some Soil Physical Properties of Arabica Coffee Plantation in Solok Regency Performance of Some Soil Physical Properties of Arabica Coffee Plantation in Solok Regency. *IOP Conference*

Series: Earth and Environmental Science, 741. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/741/1/012028>

- Anderson, F. (2018). *Konversi lahan pertanian menjadi lahan pertambangan terhadap lingkungan dengan gis (geographic information system) di nagari padang sibusuk kabupaten sijunjung.*
- Barchia, M. F., Sulisty, B., Putri, E. L., & Herman, W. (2023). Spatial Prediction of Soil Erodibility Indices of the Sensitive Landscape of Bengkulu Watershed , Indonesia. *International Journal of Enviromental Science and Development*, 14(3), 190–194. <https://doi.org/10.18178/ijesd.2023.14.3.1433>
- Bella, S. E. (2020). Aplikasi Biochar Sekam Padi dalam Memperbaiki Sifat Kimia Tanah Bekas Tambang Emas untuk Budidaya Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.). *Skripsi Unand.*
- Campana, P. E., Leduc, S., Kim, M., Olsson, A., Zhang, J., Liu, J., Kraxner, F., McCallum, I., Li, H., & Yan, J. (2017). Suitable and optimal locations for implementing photovoltaic water pumping systems for grassland irrigation in China. *Applied Energy*, 185, 1879–1889. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.004>
- Choy, S. Y., Wang, K., Qi, W., Wang, B., Chen, C. L., & Wang, J. Y. (2015). Co-composting of horticultural waste with fruit peels, food waste, and soybean residues. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 36(11), 1448–1456. <https://doi.org/10.1080/09593330.2014.993728>
- Downie, A. E., Van Zwieten, L., Smernik, R. J., Morris, S., & Munroe, P. R. (2011). Terra Preta Australis: Reassessing the carbon storage capacity of temperate soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140(1–2), 137–147. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.11.020>
- Gusmini, Adrinal, Putri, E. L., Romadon, P., & Husna, F. E. (2021). Phytoremediation Agents of Rice Biochar and Cage Fertilizer in Ex-Gold Mining and The Sunflower Growth Phytoremediation Agents of Rice Biochar and Cage Fertilizer in Ex-Gold Mining and The Sunflower Growth. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/741/1/012034>
- Gusmini, Adrinal, Yaherwandi, Putri, E. L., & Romadon, P. (2021). Improvement of nutrient status in ex-gold mining land with the application of rice terra preta biochar technology Improvement of nutrient status in ex-gold mining land with the application of rice terra preta biochar technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 741, 1–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/741/1/012031>
- Gusmini, Arlius, F., Adrinal, Fauzan, R., & Putri, E. L. (2022). Restoration of soil chemical and mercury content in former mining land with the application of biochar , manure and clay for the sunflower growth and production Restoration of soil chemical and mercury content in former mining land with the application of. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1160/1/012029>
- Handayani, I. P. (2004). *Soil Quality Changes Following Forest Clearance*. 22.
- Hardjowigeno, S. (2007). *Ilmu Tanah*.
- Hardjowigeno, Sarwono, & Widiatmaka. (2001). Kesesuaian lahan dan perencanaan tataguna lahan. *Jurusan Tanah Fakultas Pertanian, Insitut Pertanian Bogor*.
- Henrianto, A., Okalia, D., & Mashadi, M. (2019). Uji Beberapa Sifat Fisika Tanah Bekas

- Tambang Emas Tanpa Izin (Peti) Di Tiga Kecamatan Di Daratan Sepanjang Sungai Kuantan. *Jurnal Agronomi Tanaman Tropika (Juatika)*, 1(1), 19–31. <https://doi.org/10.36378/juatika.v1i1.41>
- Huang, L. M., Thompson, A., Zhang, G. L., Chen, L. M., Han, G. Z., & Gong, Z. T. (2015). The use of chronosequences in studies of paddy soil evolution: A review. *Geoderma*, 237(December 2017), 199–210. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.09.007>
- Hussain, S., ZHANG, J. hua, ZHONG, C., ZHU, L. feng, CAO, X. chuang, YU, S. miao, Allen Bohr, J., HU, J. jie, & JIN, Q. yu. (2017). Effects of salt stress on rice growth, development characteristics, and the regulating ways: A review. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(11), 2357–2374. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61608-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61608-8)
- Janssen, M., & Lennartz, B. (2007). Horizontal and vertical water and solute fluxes in paddy rice fields. *Soil and Tillage Research*, 94(1), 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.07.010>
- Jin, Z., Shah, T., Zhang, L., Liu, H., Peng, S., & Nie, L. (2020). Effect of straw returning on soil organic carbon in rice–wheat rotation system: A review. *Food and Energy Security*, 9(2), 1–13. <https://doi.org/10.1002/fes3.200>
- Johansson, E. L., & Isgren, E. (2017). Local perceptions of land-use change: Using participatory art to reveal direct and indirect socioenvironmental effects of land acquisitions in Kilombero Valley, Tanzania. *Ecology and Society*, 22(1). <https://doi.org/10.5751/ES-08986-220103>
- Kukal, S. S., & Sidhu, A. S. (2004). Percolation losses of water in relation to pre-puddling tillage and puddling intensity in a puddled sandy loam rice (*Oryza sativa* L.) field. *Soil and Tillage Research*, 78(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.still.2003.12.010>
- Limbong, W. M. M., Sabrina, T., & Lubis, A. (2017). *Perbaikan Beberapa Sifat Fisika Tanah Sawah Ditanami Semangka Melalui Pemberian Bahan Organik*. 5(1), 152–158.
- Lopulisa, C., Zubair, H., & Rasyid, B. (2009). *Karakteristik Pori dan Hubungannya dengan Permeabilitas pada Tanah Vertisol Asal Jeneponto Sulawesi Selatan*. 1957.
- Lubis, D. S., Hanafiah, A. S., & Sembiring, M. (2015). Pengaruh pH Terhadap Pembentukan Bintil Akar , Serapan Hara N, Pdan Produksi Tanaman pada Beberapa Varietas Kedelai pada Tanah Inseptisol Di Rumah Kasa. *Jurnal Online Agroetnologi*, 3(3), 1111–1115.
- Purwanto, S., Gani, R. A., & Suryani, E. (2021). Characteristics of Ultisols derived from basaltic andesite materials and their association with old volcanic landforms in Indonesia. *Sains Tanah*, 17(2), 135–143. <https://doi.org/10.20961/STJSSA.V17I2.38301>
- Putri, E. L., Fitriani, N., Hermawan, B., & Herman, W. (2022). Pola Frekuensi Kebutuhan Air Irigasi pada beberapa Penggunaan Lahan dengan Teknologi Otomatisasi Monitoring Pengendalian Kelembaban Tanah berbasis Sensor Dielektrik. *Jurnal Solum*, 19(2), 53–61.
- Rodrigues, M., Sergio, P., John, P., Withers, A., Paula, A., Teles, B., Ferney, W., & Herrera, B. (2015). Science of the Total Environment Legacy phosphorus and no tillage agriculture in tropical oxisols of the Brazilian savanna. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.118>

- Rubio, R., Pérez-Murcia, M. D., Agulló, E., Bustamante, M. A., Sánchez, C., Paredes, C., & Moral, R. (2013). Recycling of Agro-food Wastes into Vineyards by Composting: Agronomic Validation in Field Conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44(1–4), 502–516. <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.744152>
- Setyowati, D. L. (2007). Sifat Fisik Tanah dan Kemampuan Tanah meresapkan Air pada Lahan Hutan, Sawah, dan Pemukiman. *Jurnal Geografi*, 4(3), 114–128.
- Sharifianpour, G., Zaharah, A. R., Ishak, C. F., Hanafi, M. M., Khayyambashi, B., & Sharifkhani, A. (2014). Effect of Different Rates of Zinc on Root Morphological Traits among Different Upland Rice Landraces in Malaysia. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 4(3), 255–260. <https://doi.org/10.5923/j.ijaf.20140403.18>
- Smiciklas, K. D., Walker, P. M., & Kelley, T. R. (2008). Evaluation of Compost for Use as a Soil Amendment in Corn and Soybean Production. *Compost Science and Utilization*, 16(3), 183–191. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2008.10702376>
- Sunuk, Y., Montolalu, M., & Tamod, Z. E. (2018). Aplikasi Kompos Sebagai Pembenhah Pada Bahan Induk Tanah Tambang Emas Di Desa Tatelu Kecamatan Dimembe. *Cocos*, 1(1).
- Swanda, J., Hanum, H., & Marpaung, P. (2015). The Change of Inceptisol Chemical Characteristics with Humic Material Application from Extract Peat which Incubated for Two Weeks. *Journal Online Agroekoteknologi*, 3(1), 79–86.
- Tatomir, H. G. A. B., Steeb, N. K. K. H., & Sauter, M. (2023). Effect of Pore Space Stagnant Zones on Interphase Mass Transfer in Porous Media , for Two - Phase Flow Conditions. *Transport in Porous Media*, 146(3), 639–667. <https://doi.org/10.1007/s11242-022-01879-0>
- Wang, Li, Zhang, F., Wang, G., Zeng, C., Chen, Y., Shi, X., Tang, H., Zhao, G., Xu, C., & Li, X. (2023). Response of Soil Erosion to Climate and Subsequent Vegetation Changes in a High-Mountain Basin. *Sustainability MDPI*, 15(3220).
- Wang, Lingling, Yang, L., Xiong, F., Nie, X., Li, C., Xiao, Y., & Zhou, G. (2020). Nitrogen fertilizer levels affect the growth and quality parameters of *Astragalus mongolica*. *Molecules*, 25(2), 1–14. <https://doi.org/10.3390/molecules25020381>
- Witt, C. (2005). Paddy soils. *Elsevier Ltd.All Rights Reserved*, 10.
- Xu, C., Li, R., Song, W., Wu, T., Sun, S., Hu, S., Han, T., & Wu, C. (2021). Responses of branch number and yield component of soybean cultivars tested in different planting densities. *Agriculture (Switzerland)*, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.3390/agriculture11010069>
- Yang, M., Yang, Q., Zhang, K., Wang, C., & Pang, G. (2023). International Soil and Water Conservation Research Effects of soil rock fragment content on the USLE-K factor estimating and its in fl uencing factors. *International Soil and Water Conservation Research*, 11(2), 263–275. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.07.003>
- Yulnafatmawita, Y., Adrinal, A., & Hakim, A. F. (2011). Pencucian Bahan Organik Tanah Pada Tiga Penggunaan Lahan Di Daerah Hutan Hujan Tropis Super Basah Pinang-Pinang Gunung Gadut Padang. *Jurnal Solum*, 8(1), 34. <https://doi.org/10.25077/js.8.1.34-42.2011>
- Zaremanesh, H., Akbari, N., Eisvand, H. ., Ismaili, A., & Feizian, M. (2020). The Effect of Humic Acid on Soil Physicochemical and Biological Properties under Salinity Stress Conditions in Pot Culture of *Satureja khuzistanica* Jamzad. *ECOPERSIA*, 8(3), 147–

154. <https://doi.org/http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222700.2020.8.3.2.5>

Zeng-ping, Y., Ming-gang, X. U., Sheng-xian, Z., Jun, N. I. E., Ju-sheng, G. A. O., & Yu-lin, L. (2012). Effects of Long-Term Winter Planted Green Manure on Physical Properties of Reddish Paddy Soil Under a Double-Rice Cropping System. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(4), 655–664. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(12\)60053-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(12)60053-7)

Zheng, L., Huang, F., Narsai, R., Wu, J., Giraud, E., He, F., Cheng, L., Wang, F., Wu, P., Whelan, J., & Shou, H. (2009). Physiological and transcriptome analysis of iron and phosphorus interaction in rice seedlings. *Plant Physiology*, 151(1), 262–274. <https://doi.org/10.1104/pp.109.141051>