

Studi Karakteristik Fisika Tanah Zona Perakaran dan Produksi Tanaman Kopi (*Coffea* sp.) di Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang

Dinna Hadi Sholikhah^{1*}, Syifa Salsabila Bratawijaya², Aldo Jetco Husada¹, Raihan Naufal¹, Kurniawan Sigit Wicaksono³, dan Soemarno³

¹Manajemen Sumberdaya Lahan, Program Doktor Ilmu Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya Program Studi Agroekoteknologi, Minat Manajemen Sumberdaya Lahan, Departemen Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya; *e-mail: dinnahs@student.ub.ac.id

²Program Studi Agroekoteknologi, Minat Manajemen Sumberdaya Lahan, Departemen Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya

³Departemen Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya

ABSTRAK

Karakteristik fisika tanah yang sesuai untuk perakaran tanaman kopi akan mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman kopi. Penurunan produksi tanaman kopi pada tahun 2020 di Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang mendasari dilakukannya analisis kesesuaian lahan pada zona perakaran, analisis hubungan antara sifat fisik tanah berupa kedalaman efektif, berat isi tanah, berat jenis tanah, porositas tanah, dan tekstur. Penelitian ini dilakukan menganalisis hubungan antara sifat-sifat fisika tanah seperti kedalaman efektif, berat isi tanah, berat jenis tanah, porositas dan tekstur tanah, dengan produksi tanaman kopi di wilayah Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang. Penelitian dilakukan menggunakan batas lahan berupa Satuan Peta Lahan dengan penentuan titik berupa *stratified random sampling*. Parameter penelitian berupa kedalaman efektif, tekstur tanah, berat isi (0-30 cm dan 30-60 cm), berat jenis (0-30 cm dan 30-60 cm), porositas (0-30 cm dan 30-60 cm), berat basah buah kopi (kg/100 m²). Metode kesesuaian lahan menggunakan matching antara data dari lapangan dengan syarat tumbuh di zona perakaran tanaman kopi. Hasil penelitian didapatkan bahwa sifat fisik tanah yang memiliki korelasi yang signifikan dengan produksi tanaman yaitu berat isi tanah sebesar 18,58% dan 22%, berat jenis kedalaman 0-30 cm sebesar 32,29%, porositas kedalaman 30-60 cm sebesar 34,27% dan persentase fraksi pasir sebesar 41,08%. Uji regresi berganda menunjukkan bahwa sifat fisik tanah yang paling mempengaruhi produksi Tanaman Kopi di Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang yaitu berat jenis kedalaman 0-30 cm karena dapat menurunkan 2,14 kg/100m² produksi Tanaman Kopi di Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang.

Kata kunci: Tanaman kopi, kesesuaian lahan, zona perakaran

ABSTRACT

Soil physical characteristics suitable for coffee plant roots will support the growth and development of coffee plants. The decline in coffee production in 2020 in Wajak District, Malang Regency, underlies land suitability analysis for the root zone. In addition to the land suitability analysis of the Coffee Plant root zone, an analysis of the relationship between the physical properties of the soil in the form of root effective depth, soil bulk density, soil specific gravity, soil porosity, and texture. This study analyzed the relationship between soil physical properties, such as effective depth, weight of soil content, soil specific gravity, porosity, and soil texture, with coffee plant production in Wajak District, Malang Regency. The study used land boundaries as Land Map Units with point determination in the form of stratified random sampling. The research parameters are effective depth, soil texture, bulk density (0-30 cm and 30-60 cm), specific gravity (0-30 cm and 30-60 cm), porosity (0-30 cm and 30-60 cm), wet weight of coffee fruit (kg/100 m²). The land suitability method uses matching data from the field with the condition that it grows in the root zone of coffee plants. Based on the research results, it was found that the physical properties of the soil had a significant correlation with crop production, namely the soil density of 18.58% at a depth of 0-30 cm and 22% at a depth of 30-60 cm, the specific gravity for a depth of 0-30 cm was 32.29%, the porosity of 30-60 cm depth is 34.27%. The percentage of the sand fraction is 41.08%. Based on the results of multiple regression tests, it was found that the physical properties of the soil that most influenced coffee plant production in Wajak District, Malang Regency, namely the specific gravity at a depth of 0-30 cm because it could reduce 2.14 kg/100 m² of coffee plant production in Wajak District, Malang Regency.

Keywords: Coffee plants, suitability land, root zone

Citation: Dinna. H. S., S. S. Bratawijaya., A. J. Husada, R. Naufal, K. S. Wicaksono, Soemarno. (2024). Studi Karakteristik Fisika Tanah Zona Perakaran dan Produksi Tanaman Kopi (*Coffea* sp.) di Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 731-742, doi:10.14710/jil.22.3.731-742

1. PENDAHULUAN

Tanaman kopi (*Coffea* sp.) merupakan salah satu komoditas sektor perkebunan yang banyak dibudidayakan oleh masyarakat (Apriliyanto et al., 2018). Menurut data Biro Perencanaan Kementerian Pertanian tahun 2020, Indonesia merupakan negara produsen kopi terbesar ke-4 dunia dengan total produksi mencapai lebih dari 700 ton (Saptana et al., 2019). Tanaman kopi di Indonesia secara umum tumbuh di lokasi yang memiliki ketinggian lebih dari 500 mdpl (Condro et al., 2020), curah hujan 1500-2500 mm/tahun (Ovalle-Rivera et al., 2015), dan suhu udara rata-rata 15°C-25°C (Noviani et al., 2018). Tanaman kopi memiliki jenis akar tunggang yang dengan panjang 40-50 cm pada kedalaman 0-30 cm untuk menyerap unsur hara dan air pada musim hujan; sedangkan akar-akar pada kedalaman tanah 30-60 cm dimanfaatkan selama musim kemarau (Ningsih, 2020). Perakaran tanaman menjadi salah satu bagian penting karena mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman kopi. Menurut (Hartatie dan Donianto, 2021), rambut akar (akar halus) tanaman kopi berfungsi untuk menyerap unsur hara dan air untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Ulfa dan Budiman, 2019). Pertumbuhan akar-akar rambut ini dipengaruhi oleh sifat-sifat fisika tanah, seperti porositas tanah, agregasi tanah, tata-udara dan tata-air tanah, serta ketersediaan unsur hara di zone perakaran (Nuraida et al., 2021; Saidi & Suryani, 2021).

Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang merupakan salah satu kecamatan yang sebagian besar masyarakatnya membudidayakan tanaman kopi. Akan tetapi, pada tahun 2019 produksi tanaman kopi di Kecamatan Wajak mengalami penurunan, dari sekitar 47 ton (tahun 2019) menjadi sekitar 36 ton (Badan Pusat Statistik, 2020). Penurunan produksi kopi ini ada kaitannya dengan sifat-sifat fisika tanah di zona perakaran tanaman kopi, sebagian besar kebun kopi di wilayah ini tanahnya berpasir yang kemampuannya menyimpan air sangat rendah. Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat fisika dan kimia tanah di zone perakaran tanaman kopi sangat mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman kopi (Ajayi et al., 2021; Al-Musyafa et al., 2016; Carducci et al., 2013; Hanuf et al., 2021; Masaka & Khumbula, 2007; Rekik et al., 2018).

Hasil penelitian Suhartini et al. (2021) di wilayah Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang, menunjukkan bahwa tanah-tanah kebun kopi di wilayah ini teksturnya berpasir, berkembang dari bahan endapan pasir vulkanik dari Gunung Semeru. Umumnya, tekstur tanah berpasir ini kurang sesuai bagi tanaman, karena mudah meloloskan air dan unsur hara. Tanah-tanah di wilayah ini mempunyai tekstur berpasir (60%-80% fraksi pasir) dan tekstur ini mempengaruhi sifat fisika tanah lainnya, seperti berat isi (0,94 g cm⁻³ - 1,23 g cm⁻³), berat jenis (2,08 g cm⁻³ - 2,64 g cm⁻³), dan porositas tanah (40%-80%). Menurut (R. Agustina et al., 2016), tekstur tanah berpasir umumnya memiliki status kesuburan yang

rendah karena unsur hara tersedia tercuci oleh proses leaching yang intensif. Karakteristik tanah berpasir seperti itu, secara langsung dan tidak langsung mempengaruhi produktivitas tanaman kopi. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis hubungan antara sifat-sifat fisika tanah seperti kedalaman efektif, berat isi tanah, berat jenis tanah, porositas dan tekstur tanah, dengan produksi tanaman kopi di wilayah Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi dua tahap yaitu tahap Survei lapangan dan tahap analisis laboratorium selama Februari hingga September 2022. Kegiatan analisis contoh tanah dilaksanakan di Laboratorium Fisika dan Kimia Tanah, Departemen Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya.

2.2 Metode Pengumpulan Data

2.2.1 Pra Survei Lapangan

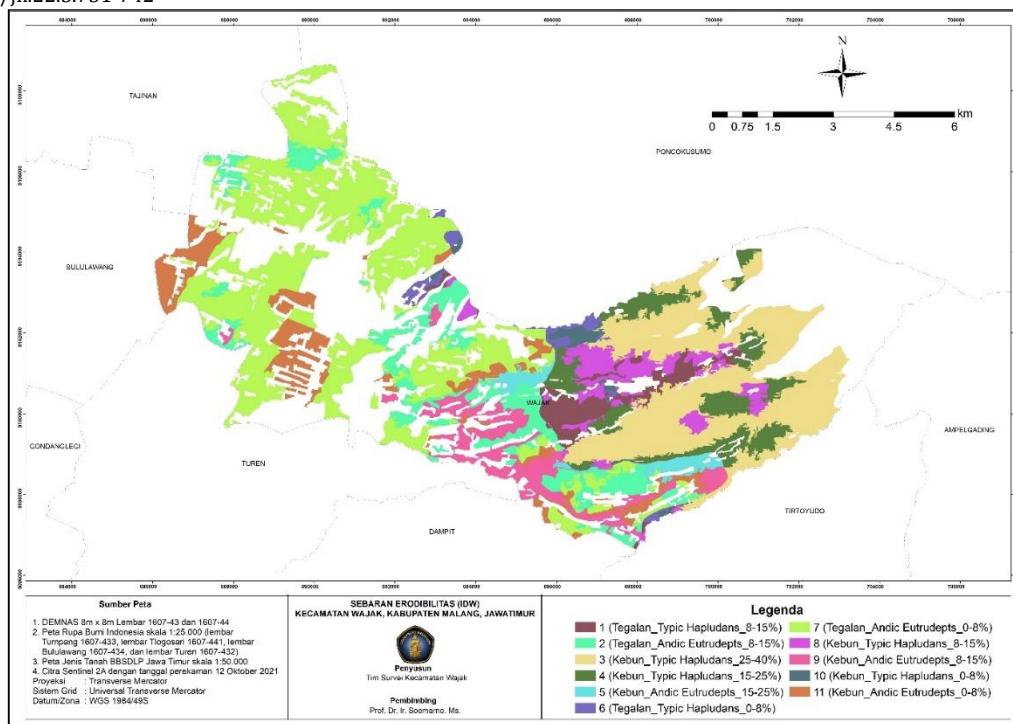
Kegiatan pra-survei penelitian dilakukan pengumpulan dan pembuatan peta dasar (Nugraha et al., 2021). Selanjutnya membuat peta kerja sebagai acuan dalam kegiatan survei berupa pembuatan Satuan Peta Lahan (SPL) yang didasari oleh peta kemiringan Lahan, peta penggunaan lahan, dan peta jenis tanah (Ballabio et al., 2019). Satuan Peta Lahan (SPL) disajikan pada Gambar 1.

2.2.2 Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan dengan menggunakan bahan dan peralatan survei tanah, pengambilan sampel tanah utuh pada kedalaman 0-30 cm dan 30-60 cm untuk pengamatan berat isi tanah, berat jenis tanah, dan porositas tanah. Sedangkan analisis tekstur tanah menggunakan sampel tanah biasa. Selain itu dilakukan pengamatan berat basah buah kopi sebagai parameter produksi tanaman kopi. Penentuan titik survei dilakukan di setiap SPL, dengan metode penentuan titik berupa *stratified random sampling* (Bhardwaj, 2019). Strata yang digunakan berupa luas lahan yang digunakan >0,25 ha, tanaman kopi yang seragam, dan aksesibilitas mudah. Plot pengamatan yang berukuran 10 m × 10 m di masing-masing titik observasi.

2.2.3 Analisis Laboratorium

Analisis laboratorium dilakukan untuk mengetahui karakteristik tanah yang tidak dapat diamati langsung di lapangan, seperti berat isi tanah, berat jenis dan porositas tanah. Parameter dan metode yang digunakan dalam analisis laboratorium disajikan pada Tabel 1. Setelah mendapatkan hasil analisis laboratorium dilakukan metode *matching* untuk melihat kesesuaian karakteristik fisika tanah dengan produksi tanaman kopi. Berikut ini merupakan kriteria kelas kesesuaian sifat fisika tanah (kedalaman efektif dan tekstur) pada zona perakaran tanaman kopi (Tabel 2).



Gambar 1. Satuan Peta Lahan di Kecamatan Wajak Kabupaten Malang

Tabel 1. Parameter Pengamatan Tanah

No	Parameter	Metode	Sumber
1.	Kedalaman Efektif (cm)	Observasi lapangan	(Azsari dan Cut Mulyani, 2022)
2.	Tekstur	Pipet	(Igaz et al., 2020)
3.	Berat Isi Kedalaman 0-30 cm dan 30-60 cm ($g\ cm^{-3}$)	Silinder	(Roessler & Katterfeld, 2019)
4.	Berat Jenis Kedalaman 0-30 cm dan 30-60 cm ($g\ cm^{-3}$)	Piknometer	(Sipangkar et al., 2023)
5.	Porositas Kedalaman 0-30 cm dan 30-60 cm (%)	Perhitungan	(Suci et al., 2022)
6.	Berat Basah Buah Kopi ($kg/100\ m^2$)	Penimbangan	(Afrizon et al., 2020)

Tabel 2. Kriteria Teknis Kesesuaian Lahan Tanaman Kopi

Karakteristik Lahan	Kelas Kesesuaian Lahan			
	S1	S2	S3	N
Kedalaman efektif (cm)	>150	100-150	60-100	<60
Tekstur	Lempung berpasir, Lempung berliat, Lempung berdebu, Lempung liat berdebu	Pasir berlempung, Liat berpasir, Liat berdebu	Liat	Pasir, Liat berat

Keterangan: S1: Sangat sesuai, S2: Sesuai, S3: Sesuai marginal, N: Tidak Sesuai

Sumber : (Pertanian, 2014)

Tabel 3. Kelas Porositas Tanah (Chairani et al., 2018a)

Porositas (%)	Kelas
80-100	Sangat Porus
60-80	Porus
50-60	Baik
40-50	Kurang baik
30-40	Jelek
<30	Sangat jelek

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Produksi Tanaman Kopi

Produksi tanaman kopi menjadi parameter utama bagi petani pengelola kebun kopi. Hal tersebut disebabkan produksi tanaman kopi mampu mempengaruhi pendapatan dan keuntungan yang diperoleh petani (Jena dan Grote, 2022). Apabila produksi tanaman tinggi, maka diharapkan keuntungannya juga tinggi. Produksi tanaman juga menjadi indikator suatu lahan sesuai untuk ditanami tanaman tersebut. Produksi kopi dapat dilihat melalui berat segar (berat basah) buah kopi saat panen. Berat

basah kopi menjadi salah satu parameter yang dapat diukur untuk menunjukkan produksi tanaman kopi (Astuti et al., 2020; Sembiring, 2015). Besarnya produksi kopi di Kecamatan Wajak ada dalam Tabel 4.

Berdasarkan data produksi yang tersaji pada Tabel 4 dapat diketahui bahwa berat basah buah kopi yang tertinggi terdapat pada SPL 8 dengan penggunaan lahan kebun, jenis tanah berupa Typic Hapludands dan kemiringan lahan 8-15%. Nilai rata-rata berat basah buah kopi pada SPL 8 yaitu sebesar 5,46 kg/100 m^2 . Sedangkan berat basah buah kopi terendah terdapat pada SPL 2 dengan penggunaan lahan

tegalan, jenis tanah berupa Andic Eutrudepts dan kemiringan lahan 8-15%. Menurut Kustantini (2014), kemiringan lahan kebun kopi berpengaruh terhadap produksi kopi. Pada umumnya kemiringan lahan <25% lebih sesuai bagi pertumbuhan tanaman kopi dan pengelolaan kebun kopi, dibandingkan dengan kemiringan lahan >25% (Santana et al., 2021). Hal tersebut berhubungan dengan laju erosi dan runoff, di mana lahan yang miring dapat menyebabkan tingginya laju erosi dan runoff yang dapat mengganggu pertumbuhan tanaman kopi (El Jazouli et al., 2019). Selain itu, penggunaan lahan berupa kebun kopi (kebun campuran) dapat lebih mengendalikan erosi dibandingkan dengan penggunaan lahan tegalan tanaman palawija semusim (Dariah & Agus, 2021; Kitheka et al., 2022; Sumarniasih & Antara, 2020). Ordo tanah berupa Inceptisols dan Andisols merupakan tanah yang baru awal berkembang (Garcia-Perez et al., 2022; Roa García et al., 2020). Inceptisols memiliki total ruang pori yang ideal bagi pertumbuhan tanaman, banyak air tersedia yang tertampung dalam tanah, sehingga mampu mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Munir & Herman, 2019; Usharani et al., 2019).

3.2 Kedalaman Efektif

Pengamatan kedalaman efektif tanah dilakukan langsung di lapangan dengan menggunakan pengamatan minipit dan pengeboran tanah. Kedalaman efektif merupakan kedalaman tanah yang dapat ditembus oleh akar hingga lapisan tanah yang keras (Basir, 2019). Kedalaman efektif berperan penting pada zona perakaran tanaman untuk mendukung pertumbuhan tanaman (Baghdadi et al., 2021; Purba et al., 2022). Kedalaman efektif tanah yang sangat sesuai untuk pertumbuhan perakaran tanaman kopi yaitu >150 cm, sedangkan kedalaman efektif 100-150 cm merupakan kedalaman tanah yang sesuai untuk perakaran tanaman kopi, kedalaman 60-100 cm merupakan kedalaman yang sesuai marginal, sedangkan kedalaman <60 cm tidak sesuai untuk perakaran tanaman kopi (Sandabunga et al., 2019). Kelas kesesuaian kedalaman efektif di lokasi penelitian disajikan pada Tabel 5. Data pada Tabel 5 menunjukkan bahwa kedalaman efektif di lokasi penelitian memiliki kelas S1 (sangat sesuai). Lahan yang memiliki kelas kedalaman efektif S1 (sangat sesuai), S2 (cukup sesuai), dan S3 (sesuai marginal) dapat ditanami kopi dengan baik untuk perakaran tanaman. Sedangkan kelas kedalaman efektif N (tidak sesuai) tidak dapat ditanami kopi karena akan mengganggu perakaran tanaman kopi (Karim et al., 2020; Muliarsi & Dewi, 2022).

SPL yang memiliki rata-rata kedalaman efektif tertinggi yaitu SPL 3 sebesar 168,33 cm dengan kondisi penggunaan lahan berupa kebun, jenis tanah berupa Typic Hapludands dan kemiringan lahan 25-40%. Sedangkan rata-rata kedalaman efektif terendah terdapat pada SPL 9 sebesar 155 cm dengan kondisi penggunaan lahan kebun, jenis tanah berupa Andic

Eutrudepts, dan kemiringan lahan 8-15%. Menurut (Barbosa et al., 2020). Kedalaman efektif tanah dapat mempengaruhi pertumbuhan perakaran tanaman kopi karena kedalaman efektif menyediakan ruang bagi perkembangan perakaran tanaman (Barbosa et al., 2020; Hairiah et al., 2020). Apabila kedalaman efektif dangkal maka dapat menghambat perkembangan akar tanaman, sedangkan kedalaman efektif yang dalam dapat membantu perkembangan perakaran tanaman secara lebih luas (Defrenet et al., 2016; Pinheiro et al., 2005; Sakai et al., 2015; Vicente et al., 2017). Karena itu, dari hasil penelitian di 33 titik pengamatan di Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang didapatkan tanah di lokasi penelitian berkedalaman efektif tanah yang sesuai bagi tanaman kopi.

3.3 Tekstur Tanah

Tekstur tanah merupakan perbandingan fraksi debu, liat dan pasir dalam suatu tanah. Pada umumnya tekstur tanah berhubungan dengan sifat-sifat fisika yang lain. Beberapa sifat fisika tanah yang dipengaruhi oleh tekstur yaitu berat isi, berat jenis dan porositas. Menurut Rosyidah dan Wirosedarmo (2013), tekstur tanah berpengaruh terhadap tata air, tata udara, kemudahan pengolahan tanah, dan struktur tanah. Semakin kasar tekstur tanah (tanah-tanah berpasir) biasanya semakin besar porositas-makro, dan semakin kecil porositas mikronya (Ile et al., 2021; Santoso et al., 2019; Xiong et al., 2019). Tekstur tanah di lokasi penelitian ada pada Tabel 6.

Berdasarkan Tabel 6 didapatkan bahwa tekstur tanah di lokasi penelitian didominasi oleh lempung berpasir yang memiliki kelas kesesuaian lahan S1 atau sangat sesuai untuk tanamaan kopi. Selain itu, terdapat tekstur pasir berlempung yang masuk ke dalam kelas kesesuaian lahan S2 atau sesuai. Tekstur tanah yang sesuai untuk tanaman kopi yaitu tanah yang memiliki tekstur lempung berpasir, lempung liat berdebu, dan liat (Ismawati et al., 2022; Karim et al., 2020; Sandabunga et al., 2019). Hal tersebut disebabkan tanah dengan kandungan liat tinggi menyebabkan infiltrasi rendah, sehingga air yang masuk ke lahan lebih banyak mengalami limpasan permukaan (*runoff*) (Tarigan et al., 2015). Selain itu, tanah-tanah liat biasanya mempunyai ketahanan penetrasi yang tinggi, sehingga membatasi pertumbuhan akar-akar halus tanaman kopi (da Silva et al., 2016 (da Silva et al., 2016; Riyanto et al., 2022).

3.4 Porositas Tanah

Porositas tanah merupakan salah satu sifat fisik tanah yang mempengaruhi perakaran tanaman. Hal tersebut dikarenakan porositas tanah dapat membantu perkembangan akar tanaman dan meningkatkan penyebaran akar tanaman sehingga lebih mudah menyerap unsur hara untuk kebutuhan tanaman (Surya et al., 2017). Kelas porositas tanah dibagi menjadi 6 kelas (Chairani et al., 2018a). Adapun hasil penelitian porositas pada kedalaman 0-30 cm dan 30-60 cm di Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang dapat dilihat pada Tabel 7.

Berdasarkan Tabel 7, dapat diketahui bahwa rata-rata persentase porositas pada kedalaman 0-30 cm tertinggi terdapat pada SPL 3 yaitu sebesar 59,98% (baik) dan persentase porositas terendah terdapat pada SPL 5 yaitu sebesar 52,52% (baik). Sedangkan porositas pada kedalaman 30-60 cm tertinggi pada SPL 2 sebesar 71,9% (porous) sedangkan terendah pada SPL 4 dengan porositas sebesar 47,33% (kurang baik). Tanah memiliki porositas yang baik

menggambarkan bahwa tanah tersebut gembur dan memiliki banyak pori tanah yang dapat membantu penyimpanan air (Hudek et al., 2022; Ju et al., 2021). Selain itu, porositas yang baik akan membantu perakaran tanaman tumbuh dan berkembang sehingga dapat mendukung penyerapan hara dan penyerapan air untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Sutarta dan Yusuf, 2017).

Tabel 4. Produksi Tanaman Kopi Kecamatan Wajak Kabupaten Malang

SPL	Kemiringan Lahan (%)	Penggunaan Lahan	Jenis Tanah	Berat Basah (kg/100 m ²)
1	8-15	Tegalan	Typic Hapludands	2,95
2	8-15	Tegalan	Andic Eutrudepts	0,37
3	25-40	Kebun	Typic Hapludands	1,64
4	15-25	Kebun	Andic Eutrudepts	2,93
5	15-25	Kebun	Andic Eutrudepts	4,06
6	0-8	Tegalan	Andic Eutrudepts	1,65
7	0-8	Tegalan	Andic Eutrudepts	2,56
8	8-15	Kebun	Typic Hapludands	5,46
9	8-15	Kebun	Andic Eutrudepts	3,44
10	0-8	Kebun	Typic Hapludands	1,26
11	0-8	Kebun	Andic Eutrudepts	4,38

Tabel 5. Kelas Kesesuaian Kedalaman Efektif Tanah Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang

SPL	Kemiringan Lahan (%)	Penggunaan Lahan	Jenis Tanah	Kedalaman Efektif (cm)	Kelas Kesesuaian untuk Tanaman Kopi
1	8-15	Tegalan	Typic Hapludands	158,33	S1
2	8-15	Tegalan	Andic Eutrudepts	158,33	S1
3	25-40	Kebun	Typic Hapludands	168,33	S1
4	15-25	Kebun	Andic Eutrudepts	161,67	S1
5	15-25	Kebun	Andic Eutrudepts	165	S1
6	0-8	Tegalan	Andic Eutrudepts	156,57	S1
7	0-8	Tegalan	Andic Eutrudepts	165	S1
8	8-15	Kebun	Typic Hapludands	163,33	S1
9	8-15	Kebun	Andic Eutrudepts	155	S1
10	0-8	Kebun	Typic Hapludands	158,33	S1
11	0-8	Kebun	Andic Eutrudepts	156,67	S1

Keterangan: S1: Sangat sesuai, S2: Sesuai, S3: Sesuai marginal, N: Tidak Sesuai

Tabel 6. Kelas Kesesuaian Tekstur Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang

SPL	Kemiringan Lahan (%)	Penggunaan Lahan	Jenis Tanah	Kelas Tekstur	Kelas Kesesuaian Lahan Tanaman Kopi
1	8-15	Tegalan	Typic Hapludands	Lempung berpasir	S1
2	8-15	Tegalan	Andic Eutrudepts	Pasir berlempung	S2
3	25-40	Kebun	Typic Hapludands	Lempung berpasir	S1
4	15-25	Kebun	Andic Eutrudepts	Lempung berpasir	S1
5	15-25	Kebun	Andic Eutrudepts	Lempung	S1
6	0-8	Tegalan	Andic Eutrudepts	Lempung berpasir	S1
7	0-8	Tegalan	Andic Eutrudepts	Lempung berpasir	S1
8	8-15	Kebun	Typic Hapludands	Lempung	S1
9	8-15	Kebun	Andic Eutrudepts	Lempung berpasir	S1
10	0-8	Kebun	Typic Hapludands	Pasir berlempung	S2
11	0-8	Kebun	Andic Eutrudepts	Lempung berpasir	S1

Keterangan: S1: Sangat sesuai, S2: Sesuai, S3: Sesuai marginal, N: Tidak Sesuai

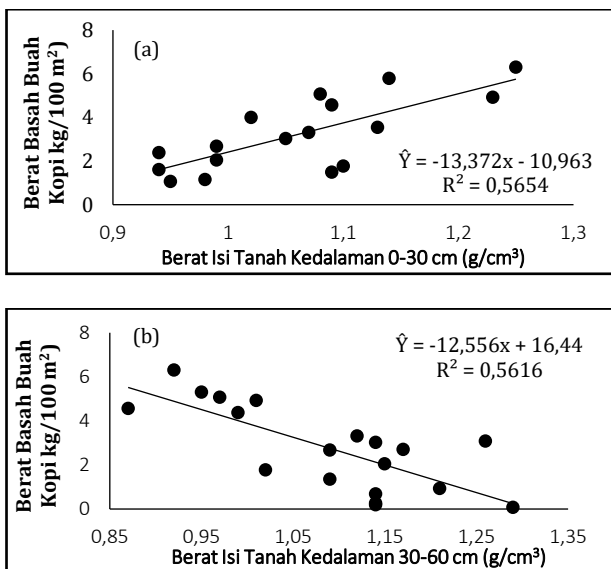
Tabel 7. Kelas Porositas Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang

SPL	Kemiringan Lahan (%)	Penggunaan Lahan	Jenis Tanah	Porositas (%) pada kedalaman:			
				0-30 cm	Kelas	30-60 cm	Kelas
1	8-15	Tegalan	Typic Hapludands	57,21	Baik	63,66	Porous
2	8-15	Tegalan	Andic Eutrudepts	53,66	Baik	71,9	Porous
3	25-40	Kebun	Typic Hapludands	59,98	Baik	59,39	Baik
4	15-25	Kebun	Andic Eutrudepts	56,25	Baik	47,33	Kurang baik
5	15-25	Kebun	Andic Eutrudepts	52,52	Baik	62,7	Porous
6	0-8	Tegalan	Andic Eutrudepts	55,47	Baik	52,21	Baik
7	0-8	Tegalan	Andic Eutrudepts	54,7	Baik	52,02	Baik
8	8-15	Kebun	Typic Hapludands	52,81	Baik	50,73	Baik
9	8-15	Kebun	Andic Eutrudepts	55,73	Baik	44,82	Kurang Baik
10	0-8	Kebun	Typic Hapludands	58,88	Baik	62,68	Porous
11	0-8	Kebun	Andic Eutrudepts	57,2	Baik	46,53	Kurang Baik

3.5 Pengaruh Sifat Fisik Tanah dengan Produksi Tanaman Kopi

3.5.1 Pengaruh berat isi tanah dengan produksi kopi

Berat isi tanah menjadi salah satu faktor penting dalam menyimpan unsur hara dan air untuk tanaman. Berat isi berhubungan erat dengan porositas tanah dan agregasi tanah (Dabin et al., 2019). Berat isi menunjukkan kepadatan suatu tanah, semakin tinggi bobot isi maka kepadatan tanah juga tinggi dan persentase porositas tanah semakin kecil. Bobot isi yang tinggi akan membuat air akan sulit menyerap dan tersedia di dalam tanah. Selain itu, bobot isi yang tinggi membuat unsur hara dalam tanah tidak dapat diserap oleh akar tanaman dan dapat mempengaruhi produksi tanaman (Minangkabau et al., 2022). Pengaruh berat isi tanah terhadap produksi kopi pada kedalaman 0-30 cm dan 30-60 cm ditunjukkan menggunakan analisis regresi yang disajikan pada Gambar 2 (a) dan (b).



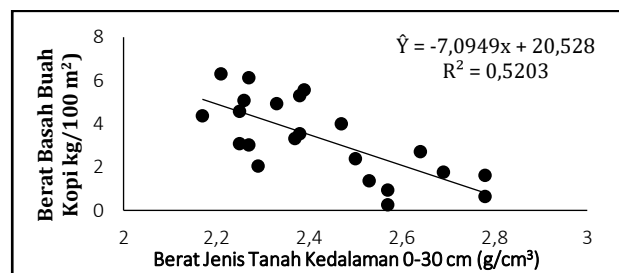
Gambar 2. Pengaruh antara berat isi tanah lapisan 0-30 cm (a) dan 30-60 cm (b) dengan berat basah buah kopi (kg/100 m²)

Berdasarkan Gambar 2 (a), berat isi kedalaman 0-30 cm dan 30-60 cm berpengaruh dengan berat basah buah kopi berturut-turut memiliki koefisien determinasi masing-masing sebesar $R^2 = 56,54\%$ dan $R^2 = 56,16\%$. Berat isi pada kedalaman 30-60 cm memiliki arah hubungan dengan berat basah kopi negatif. Hal tersebut menunjukkan apabila berat isi tinggi maka produksi tanaman kopi rendah. Menurut (Nuraida et al., 2021), tanah yang memiliki berat isi yang tinggi memiliki ruang pori yang rendah, sehingga ruang tersimpannya air semakin rendah dan menyebabkan kebutuhan air tanaman tidak terpenuhi sehingga dapat berdampak terhadap produksi tanaman. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Yulina dan Ambarsari (2021), berat isi tanah yang tinggi dapat menghambat air dan udara yang tersimpan di dalam tanah, sehingga akan menghambat pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Sedangkan berat isi yang terlalu rendah menunjukkan pori makro tanah tinggi yang berdampak pada produksi tanaman karena air tidak bisa tersedia akibat gaya gravitasi yang tinggi, sehingga tanah dapat meloloskan air dengan mudah. Hasil penelitian Khodijah dan Soemarno (2019) menunjukkan bahwa tanah yang mengandung banyak pori makro mempunyai kapasitas air tersedia yang rendah, pori makro mudah meloloskan air karena adanya gaya gravitasi.

3.5.2 Pengaruh berat jenis tanah dengan produksi kopi

Berat jenis tanah merupakan perbandingan berat padatan tanah dengan volume tanah (Blayi et al., 2020). Berat jenis tanah sangat dipengaruhi oleh jenis mineral padatan tanah, bentuk dan ukuran butiran tanah (Putinella, 2014). Tanah-tanah yang didominasi oleh fraksi pasir umumnya memiliki berat jenis yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah-tanah liat dan debu. Tanah yang didominasi oleh fraksi pasir biasanya mempunyai makroporositas yang tinggi (Centeno et al., 2020). Berdasarkan uji regresi didapatkan bahwa berat jenis tanah lapisan 0-30 cm memiliki hubungan yang signifikan dengan berat basah buah kopi (Gambar 3).



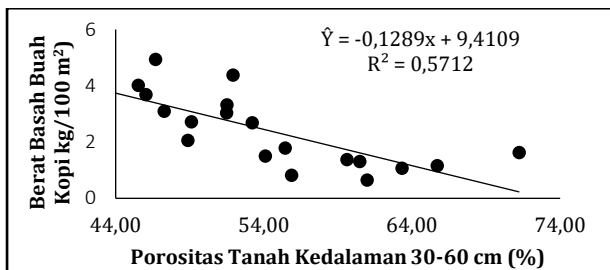
Gambar 3. Pengaruh antara berat jenis tanah kedalaman 0-30 cm dengan berat basah buah kopi (kg/100 m²)

Berdasarkan Gambar 3 didapatkan bahwa berat jenis tanah kedalaman 0-30 cm mempengaruhi berat basah buah kopi sebesar 52,03%. Selain itu didapatkan persamaan regresi $\hat{Y} = -7,0949x + 20,528$ yang menunjukkan bahwa peningkatan berat jenis tanah lapisan 0-30 cm akan menurunkan produksi kopi. Pengaruh berat jenis tanah terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman biasanya berkaitan dengan tekstur tanah dan karakteristik tanah lainnya (Tashayo et al., 2020; Zhang et al., 2020). Tanah pada kedalaman 0-30 cm memiliki peran penting bagi perakaran tanaman kopi karena banyaknya akar-akar yang terdapat pada kedalaman 0-30 cm. Tanaman kopi memiliki perakaran tunggang yang dangkal dan hampir 90% akar-akarnya tumbuh dan berkembang pada lapisan tanah 0-30 cm (Defrenet et al., 2016).

3.5.3 Pengaruh total porositas tanah dengan produksi kopi

Porositas tanah berhubungan dengan ketersediaan unsur hara dan air yang dapat diserap

oleh tanah, sehingga nilai porositas dapat mempengaruhi produksi tanaman. Porositas berperan dalam transportasi dan penyimpanan air serta unsur hara dalam tanah (Ghosh et al., 2020). Porositas tanah juga mempengaruhi zona perakaran tanaman, apabila porositas rendah dan tanahnya padat maka ruang untuk perakaran tanaman juga terbatas. Akar tanaman tidak dapat berkembang apabila tanah mengalami pemadatan sehingga dapat mengganggu perkembangan perakaran dan dapat mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman (Widodo dan Kusuma, 2018). Berdasarkan analisis regresi diketahui bahwa porositas tanah kedalaman 30-60 cm mempengaruhi berat basah buah kopi. Hasil uji regresi antara porositas tanah dengan berat basah buah kopi disajikan pada Gambar 4.



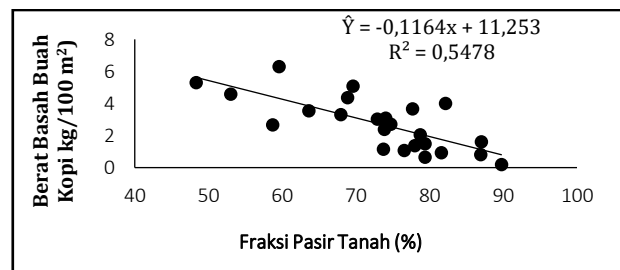
Gambar 4. Pengaruh antara porositas tanah kedalaman 30-60 cm dengan berat basah buah kopi (kg/100 m²)

Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa porositas tanah pada kedalaman 30-60 cm mempengaruhi produksi buah kopi sebesar 57,12%. Porositas tanah pada kedalaman 30-60 cm ini menunjukkan ruang pertumbuhan akar-akar tanaman kopi yang berfungsi untuk menyerap air dari tanah lapisan bawah (30-60 cm). Porositas tanah juga berperan dalam menyimpan unsur hara dan air yang dapat diserap oleh tanaman. Pada tanah-tanah yang porositasnya tinggi, terutama porositas-makro, ukuran pori yang besar (pori makro) dapat membuat air mudah lolos ke luar zone akar tanaman dan tidak dapat diserap oleh akar tanaman. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Yang et al. (2021), pergerakan air dalam tanah dan laju perubahan kadar air tanah sangat ditentukan oleh karakteristik pori tanah. Berdasarkan hasil penelitian, wilayah Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang memiliki tanah yang bertekstur pasir dan pori tanahnya didominasi oleh pori makro. Tanah-tanah berpasir yang memiliki pori makro yang dominan umumnya mudah meloloskan air dan kapasitas air tersedianya rendah (Masria et al., 2018). Tanah-tanah berpasir ini dicirikan oleh pergerakan udara dan air yang mudah dan cepat ke luar zona perakaran tanaman, sehingga air tidak dapat diserap oleh akar tanaman (Haridjaja et al., 2013). Sehingga pada tanah-tanah berpasir yang porositasnya tinggi, maka peningkatan porositas tanah dapat menurunkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman, sebagai akibat dari keterbatasan ketersediaan air tanah bagi tanaman kopi (DaMatta et al., 2003; Praxedes et al., 2006;

Sarmiento-Soler et al., 2019). Oleh karena itu, diperlukan upaya-upaya khusus di kebun-kebun kopi dengan tanah berpasir untuk meningkatkan kapasitas tanah menahan air tersedia. Beberapa peneliti menyarankan untuk menurunkan porositas makro (pori drainage) dan meningkatkan porositas meso dan porositas mikro dengan mengaplikasikan bahan organik dan/atau menambahkan liat ke tanah-tanah berpasir untuk memacu agregasi tanah (Cao et al., 2021; Herawati et al., 2021; Ibrahim et al., 2021).

3.5.4 Pengaruh fraksi partikel primer tanah dengan produksi kopi

Tekstur merupakan salah satu sifat fisik tanah yang dapat mempengaruhi produksi tanaman. Hal tersebut dikarenakan tekstur tanah memengaruhi karakteristik tanah yang lainnya, termasuk karakteristik pori tanah dan ketersediaan air dalam tanah. Menurut (Chairani et al., 2018b), tanah-tanah liat memiliki pori mikro lebih banyak sehingga daya hantar air (konduktivitas hidroliknya) rendah dan sirkulasi udara juga lambat; akan tetapi tanah-tanah liat ini memiliki kemampuan yang tinggi untuk menahan unsur hara dan air. Dalam penelitian ini dilakukan analisis hubungan antara persentase fraksi tanah dengan produksi buah kopi di wilayah Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang. Berdasarkan uji regresi linear ternyata fraksi pasir memiliki hubungan signifikan dengan berat basah buah kopi (Gambar 5).



Gambar 5. Pengaruh antara porositas tanah kedalaman 30-60 cm dengan berat basah buah kopi (kg/100 m²)

Hasil-hasil analisis regresi (Gambar 5) menunjukkan bahwa kandungan fraksi pasir dalam tanah mempengaruhi produksi tanaman kopi. Fraksi pasir dalam tanah akan mempengaruhi karakteristik dan distribusi pori tanah. Tanah-tanah berpasir biasanya memiliki pori makro yang dominan, dan kemampuan yang rendah untuk menyimpan air tersedia dalam zone perakaran tanaman. Menurut Haridjaja et al. (2013), tanah-tanah yang bertekstur liat dan debu memiliki kemampuan yang besar dalam menampung air dibandingkan dengan tanah-tanah berpasir. Air tersedia dalam tanah sangat mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman. Apabila air dalam tanah cukup tersedia bagi tanaman dalam zona perakarannya, maka tanaman dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik (Yahya et al., 2022). Hal ini sesuai dengan pendapat Praxedes et al. (2006), ketersediaan air bagi tanaman sangat penting,

karena berhubungan dengan transportasi fotosintat, menjaga turgiditas sel, penyusun utama dari protoplasma serta, mengatur suhu tanah dan tanaman, sehingga apabila air tanah kurang dapat mempengaruhi produksi tanaman. Hasil penelitian di kebun kopi juga menyatakan bahwa cekaman air (kekeringan) berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produksi kopi (Cheserek & Gichimu, 2012; DaMatta et al., 2007; Venancio et al., 2020).

3.5.5. Pengaruh antara karakteristik fisika tanah dengan produksi kopi

Berdasarkan hasil uji regresi linear didapatkan bahwa terdapat beberapa karakteristik fisika tanah yang berkorelasi signifikan dengan produksi kopi, yaitu berat jenis tanah lapisan 0-30 cm, Berat isi tanah lapisan 0-30 cm, berat isi tanah lapisan 30-60 cm; porositas tanah lapisan 30-60 cm dan persentase fraksi pasir. Oleh sebab itu, dilakukan uji regresi berganda untuk mengetahui karakteristik fisika tanah yang mempengaruhi produksi tanaman kopi. Hasil uji regresi linear berganda disajikan pada Tabel 8.

Berdasarkan hasil uji regresi linear berganda didapatkan nilai koefisien determinasi sebesar 0,5369 yang menunjukkan bahwa karakteristik fisika tanah, yaitu berat isi lapisan tanah 0-30 cm, berat isi tanah lapisan 30-60 cm, berat jenis tanah lapisan 0-30 cm, porositas-total tanah lapisan 30-60 cm dan persentase fraksi pasir secara bersama-sama mempengaruhi produksi kopi. Persamaan regresi bergandanya adalah $\hat{Y} = 14,06 - 0,94X1 - 0,78X2 - 2,14X3 - 0,03X4 - 0,05X5$ dengan nilai p-value=0.00007. Berdasarkan nilai-nilai koefisien regresinya diketahui bahwa sifat tanah lapisan atas (0-30 cm) yang penting adalah BI dan BJ, sedangkan sifat tanah lapisan bawah yang lebih penting adalah BI nya. Hal tersebut berarti bahwa berat isi dan berat jenis tanah lapisan 0-30 cm dan berat isi tanah lapisan bawah (30-60 cm) sangat mempengaruhi berat basah buah kopi. Peningkatan BI dan BJ tanah lapisan 0-30 cm dan 30-60 cm diperkirakan dapat menurunkan produksi buah kopi.

Berat isi (BI) tanah berpasir berkaitan dengan porositas drainage, peningkatan BI diikuti dengan peningkatan porositas-total dan porositas drainage atau porositas makro (Urbina et al., 2019). Hal ini juga berdampak pada kemampuan tanah menyimpan air tersedia bagi tanaman, peningkatan porositas makro berkaitan dengan menurunnya kapasitas air tersedia dalam tanah dan meningkatnya efek cekaman air bagi tanaman (Ceballos et al., 2002; Fries et al., 2020; Huang & Hartemink, 2020). Dampak selanjutnya

adalah semakin besarnya cekaman air yang dialami oleh pohon kopi, terutama selama musim kemarau yang panjang; hal ini mengakibatkan rendahnya produksi buah kopi (Bhattacharya & Bhattacharya, 2021; DaMatta et al., 2007; Dias et al., 2007; León-Burgos et al., 2022; Pinheiro et al., 2005).

Berat jenis tanah merupakan nilai yang menunjukkan massa partikel tanah sehingga nilai berat jenis tanah menunjukkan jenis bahan mineral penyusun tanah. Pada umumnya berat jenis tanah-tanah pasir lebih tinggi karena fraksi pasir terdiri atas mineral-mineral dengan berat jenis yang tinggi (Dane & Topp, 2020). Tanah-tanah di wilayah Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang umumnya bertekstur pasir dengan berat jenis yang tergolong tinggi. Hal ini tersebut sesuai dengan pendapat (Siranga et al., 2021) bahwa pasir memiliki berat jenis yang tinggi yaitu berkisar 2,65-2,68 g/cm³. Selain berkaitan dengan tekstur tanah, berat jenis tanah juga berkaitan dengan sifat-sifat fisika tanah, seperti porositas tanah (Hao et al., 2008). Umumnya, tanah yang berpasir memiliki berat jenis yang tinggi, nilai porositas yang tinggi, dan didominasi oleh pori makro atau pori drainage (Araujo et al., 2021; Brogowski et al., 2014). Menurut Brady dan Weil (2008), fraksi pasir berkaitan dengan porositas makro (pori drainage) fraksi debu dengan porositas meso (pori meso) dan fraksi liat berkaitan dengan porositas mikro (pori mikro).

Tanah-tanah yang porositasnya didominasi oleh pori makro (pori drainage) sulit untuk menahan air, karena air mudah bergerak (mengalir) di bawah pengaruh gaya gravitasi. Menurut Holilullah et al. (2015), pori makro yang banyak terdapat pada tanah berpasir memiliki sifat mudah meloloskan air sehingga aerasinya baik, tetapi hal ini dapat berdampak buruk pada tanaman karena air dengan cepat bergerak ke luar zona perakaran tanaman. Apabila pori makro banyak terdapat di lapisan tanah 0-30 cm kebun kopi dapat berdampak buruk pada tanaman kopi, terutama selama musim kemarau. Tanaman kopi memiliki perakaran tunggang, sekitar 90% akar-akar pohon kopi ditemukan pada lapisan tanah 0-30 cm (Siregar et al., 2021). Hasil-hasil penelitian lainnya menunjukkan bahwa sekitar 55% akar tanaman kopi berada di lapisan tanah 0-30 cm; dan lebih dari 95 % akar tanaman kopi tumbuh dan berkembang di lapisan tanah 0-150 cm (DaMatta et al., 2007). Hal ini menandakan pentingnya karakteristik tanah di kebun kopi bagi peroduktivitas pohon kopi, baik tanah lapisan atas (0-30 cm) maupun tanah lapisan bawah (> 30 cm) (DaMatta, 2018).

Tabel 8. Hasil Uji Regresi Linear Berganda

Karakteristik Fisika Tanah	Rentang Nilai
Berat Isi (BI) tanah lapisan 0-30 cm (X1)	0,94-1,31 (g/cm ³)
Berat Isi (BI) tanah lapisan 30-60 cm (X2)	0,84-1,23 (g/cm ³)
Berat jenis (BJ) tanah lapisan 0-30 cm (X3)	2,07-2,88 (g/cm ³)
Porositas-total tanah lapisan 30-60 cm (X4)	37,59-87,91 (%)
Persentase Fraksi Pasir tanah lapisan 0-30 cm (X5)	50,95-89,8 %
R ²	0,5369
Persamaan Regresi Linear Berganda:	$\hat{Y} = 14,06 - 0,94X1 - 0,78X2 - 2,14X3 - 0,03X4 - 0,05X5$ (p= 0.00007)
Y: Berat Basah Buah Kopi (kg/pohon)	

4. KESIMPULAN

Sifat fisik tanah berpengaruh secara signifikan dengan produksi tanaman meliputi berat isi tanah, berat jenis, porositas dan persentase fraksi pasir. Sifat fisik tanah yang paling mempengaruhi produksi kopi yaitu berat jenis tanah kedalaman 0-30 cm, yang mampu mempengaruhi penurunan produksi kopi paling tinggi dibandingkan sifat fisik tanah yang lain yaitu sebesar 2,14 kg/100 m². Kesesuaian kualitas zona perakaran tanaman kopi di lokasi penelitian didominasi oleh kelas S1 (sesuai) untuk mendukung pertumbuhan tanaman kopi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada seluruh pihak yang terlibat selama penelitian berlangsung hingga akhir dan tidak lupa penulis ucapkan terima kasih kepada Program Hibah Inisiasi Menuju CoE Universitas Brawijaya 2023 dengan nomor kontrak 989.1/UN10.C20/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrizon, A., Ishak, A., & Mussaddad, D. (2020). Upaya Peningkatan Produksi Kopi Dengan Panen Petik Merah di Kabupaten Rejang Lebong. *AGRITEPA: Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pertanian*, 7(1), 31-40.
- Agustina, C., Rayes, M. L., & Kuntari, M. (2020). Pemetaan sebaran status unsur hara N, P dan K pada lahan sawah di Kecamatan Turen, Kabupaten Malang. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 7(2), 273-282.
- Agustina, R., Syah, H., & Moulana, R. (2016). Characteristic Drying of Coffee Beans Using a Dryer with the Heat Source of Coffe Husk Furnace and Solar Collectors. *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian AGROTECHNO*, 1, 20-27.
- Ajayi, A. E., Tassinari, D., Araujo-Junior, C. F., Faloye, O. T., Abayomi, F., & Curi, N. (2021). Long-term no tillage management impact on soil hydro-physical properties in coffee cultivation. *Geoderma*, 404, 115306.
- Al-Musyafa, M. N., Afandi, A., & Novpriansyah, H. (2016). Kajian sifat fisik tanah pada lahan pertanaman nanas (*Ananas comosus L.*) produksi tinggi dan rendah di PT Great Giant Pineapple Lampung Tengah. *Jurnal Agrotek Tropika*, 4(1).
- Apriliyanto, A. M., Purwadi, P., & Puruhito, D. D. (2018). Daya saing komoditas kopi (*Coffea sp.*) di Indonesia. *Jurnal Masepi*, 3(2).
- Araujo, G. L. S., Moreno, J. A. S., & Zornberg, J. G. (2021). Shear behavior of mixtures involving tropical soils and tire shreds. *Construction and Building Materials*, 276, 122061.
- Astuti, Y. T. M., Santosa, T. N. B., Putra, D. P., Rahayu, E., Solifudin, A., & Nugraha, G. H. (2020). Karakteristik vegetatif dan taksasi produksi kopi robusta tahun 2018 dan 2019 (survey pada perkebunan kopi rakyat di Dusun Mandang, Desa Sucen, Kecamatan Gemawang, Kabupaten Temanggung). *AGROMIX*, 11(2), 125-135.
- Azsari, R. M., & Cut Mulyani, I. (2022). Evaluasi Kesesuaian Lahan Untuk Tanaman Kopi Robusta (*Coffea canephora*) di Desa Punti Payong Kecamatan Ranto Peureulak Kabupaten Aceh Timur. *Jurnal Penelitian Agrosamudra*, 9(2), 61-70.
- Badan Pusat Statistik. (2020). *Kecamatan Wajak Dalam Angka 2020*. Kurnia Offshet.
- Baghdadi, A., Paknejad, F., Golzardi, F., Hashemi, M., & Ilkaee, M. N. (2021). Suitability and benefits from intercropped sorghum-amaranth under partial root-zone irrigation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(14), 5918-5926.
- Ballabio, C., Lugato, E., Fernández-Ugalde, O., Orgiazzi, A., Jones, A., Borrelli, P., Montanarella, L., & Panagos, P. (2019). Mapping LUCAS topsoil chemical properties at European scale using Gaussian process regression. *Geoderma*, 355, 113912.
- Barbosa, S. M., Silva, B. M., de Oliveira, G. C., Benevenuto, P. A. N., da Silva, R. F., Curi, N., da Silva Moretti, B., Silva, S. H. G., Norton, L. D., & Pereira, V. M. (2020). Deep furrow and additional liming for coffee cultivation under first year in a naturally dense inceptisol. *Geoderma*, 357, 113934.
- Basir, M. (2019). Pemanfaatan Lahan Bekas Penggalan Tanah Pembuatan Batu Bata untuk Persawahan di Desa Gentungang Kecamatan Bajeng Barat Kabupaten Gowa. *Jurnal Environmental Science*, 1(2), 18-27.
- Bhardwaj, P. (2019). Types of sampling in research. *Journal of the Practice of Cardiovascular Sciences*, 5(3), 157.
- Bhattacharya, A., & Bhattacharya, A. (2021). Effect of soil water deficit on growth and development of plants: A review. *Soil Water Deficit and Physiological Issues in Plants*, 393-488.
- Blayi, R. A., Sherwani, A. F. H., Ibrahim, H. H., Faraj, R. H., & Daraei, A. (2020). Strength improvement of expansive soil by utilizing waste glass powder. *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00427.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). The soils around us. *The Nature and Properties of Soils, 14th Ed Pearson Prentice Hall, New Jersey and Ohio*, 1-31.
- Brogowski, Z., Kwasowski, W., & Madyniak, R. (2014). Calculating particle density, bulk density, and total porosity of soil based on its texture. *Soil Science Annual*, 65(4), 139.
- Cao, S., Zhou, Y., Zhou, Y., Zhou, X., & Zhou, W. (2021). Soil organic carbon and soil aggregate stability associated with aggregate fractions in a chronosequence of citrus orchards plantations. *Journal of Environmental Management*, 293, 112847.
- Carducci, C. E., Oliveira, G. C. de, Zeviani, W. M., Lima, V. M., & Serafim, M. E. (2013). Bimodal pore distribution on soils under conservation management system for coffee crop. *Engenharia Agrícola*, 33, 291-302.
- Ceballos, A., Martinez-Fernández, J., Santos, F., & Alonso, P. (2002). Soil-water behaviour of sandy soils under semi-arid conditions in the Duero Basin (Spain). *Journal of Arid Environments*, 51(4), 501-519.
- Centeno, L. N., Hu, W., Timm, L. C., She, D., da Silva Ferreira, A., Barros, W. S., Beskow, S., & Caldeira, T. L. (2020). Dominant control of macroporosity on saturated soil hydraulic conductivity at multiple scales and locations revealed by wavelet analyses. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 1686-1702.
- Chairani, S., Idkham, M., & Wahyuliana, D. (2018a). *Analisis pengolahan tanah dengan menggunakan traktor roda empat dan pemberian sekam padi terhadap perubahan sifat fisika dan mekanika tanah*. 3(1).
- Chairani, S., Idkham, M., & Wahyuliana, D. (2018b). *Analisis pengolahan tanah dengan menggunakan traktor*

- roda empat dan pemberian sekam padi terhadap perubahan sifat fisika dan mekanika tanah. 3(1).
- Cheserek, J., & Gichimu, B. M. (2012). *Drought and heat tolerance in coffee: A review*.
- Condro, A. A., Setiawan, Y., Prasetyo, L. B., Pramulya, R., & Siahaan, L. (2020). Retrieving the national main commodity maps in indonesia based on high-resolution remotely sensed data using cloud computing platform. *Land*, 9(10), 377.
- da Silva, É. A., Silva, S. H. G., de Oliveira, G. C., & Carducci, C. E. (2016). Root spatial distribution in coffee plants of different ages under conservation management system. *African Journal of Agricultural Research*, 11(49), 4970–4978.
- Dabin, Z., Zhiyuan, Y., Jiao, C., Pengwei, Y., Na, Z., Wenxiang, H., Yangyang, L., Suiqi, Z., Bingnian, Z., & Zhaohui, W. (2019). Improving soil aggregation, aggregate-associated C and N, and enzyme activities by green manure crops in the Loess Plateau of China. *European Journal of Soil Science*, 70(6), 1267–1279.
- DaMatta, F. M. (2018). Coffee tree growth and environmental acclimation. In *Achieving sustainable cultivation of coffee* (pp. 39–66). Burleigh Dodds Science Publishing.
- DaMatta, F. M., Chaves, A. R., Pinheiro, H. A., Ducatti, C., & Loureiro, M. E. (2003). Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. *Plant Science*, 164(1), 111–117.
- DaMatta, F. M., Ronchi, C. P., Maestri, M., & Barros, R. S. (2007). Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19, 485–510.
- Dane, J. H., & Topp, C. G. (2020). *Methods of soil analysis, Part 4: Physical methods* (Vol. 20). John Wiley & Sons.
- Dariah, A., & Agus, F. (2021). *Soil quality of the land under coffee-based farming system (Case study at Sumberjaya, West Lampung)*.
- Defrenet, E., Rouspard, O., Van den Meersche, K., Charbonnier, F., Pastor Pérez-Molina, J., Khac, E., Prieto, I., Stokes, A., Roumet, C., & Rapidel, B. (2016). Root biomass, turnover and net primary productivity of a coffee agroforestry system in Costa Rica: Effects of soil depth, shade trees, distance to row and coffee age. *Annals of Botany*, 118(4), 833–851.
- Dias, P. C., Araujo, W. L., Moraes, G. A., Barros, R. S., & DaMatta, F. M. (2007). Morphological and physiological responses of two coffee progenies to soil water availability. *Journal of Plant Physiology*, 164(12), 1639–1647.
- El Jazouli, A., Barakat, A., Khellouk, R., Rais, J., & El Baghdadi, M. (2019). Remote sensing and GIS techniques for prediction of land use land cover change effects on soil erosion in the high basin of the Oum Er Rbia River (Morocco). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 13, 361–374.
- Fries, A., Silva, K., Pucha-Cofrep, F., Oñate-Valdivieso, F., & Ochoa-Cueva, P. (2020). Water balance and soil moisture deficit of different vegetation units under semi-arid conditions in the andes of southern Ecuador. *Climate*, 8(2), 30.
- Garcia-Perez, T., Pelaez-Samaniego, M. R., Delgado-Noboa, J., & Chica, E. J. (2022). Combined Effect of Biochar and Fertilizers on Andean Highland Soils before and after Cropping. *Sustainability*, 14(14), 8912.
- Ghosh, T., Maity, P. P., Das, T., Krishnan, P., Bhatia, A., Bhattacharya, P., & Sharma, D. (2020). Variation of porosity, pore size distribution and soil physical properties under conservation agriculture. *Indian J. Agric. Sci*, 90, 2051–2058.
- Hairiah, K., Widiyanto, W., Suprayogo, D., & Van Noordwijk, M. (2020). Tree roots anchoring and binding soil: Reducing landslide risk in Indonesian agroforestry. *Land*, 9(8), 256.
- Hanuf, A. A., Prijono, S., & Soemarno, S. (2021). Improvement of soil available water capacity using biopore infiltration hole with compost in a coffee plantation. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 8(3), 2791.
- Hao, X., Ball, B., Culley, J., Carter, M., & Parkin, G. (2008). Soil density and porosity. *Soil Sampling and Methods of Analysis*, 2, 179–196.
- Haridjaja, O., Baskoro, D. P. T., & Setianingsih, M. (2013). Perbedaan nilai kadar air kapasitas lapang berdasarkan metode alhricks, drainase bebas, dan pressure plate pada berbagai tekstur tanah dan hubungannya dengan pertumbuhan bunga matahari (*Helianthus annuus* L.). *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 15(2), 52–59.
- Hartatie, D., & Donianto, M. (2021). *Penambahan Pupuk Hayati Mikoriza Terhadap Kualitas Pertumbuhan Bibit Kopi Arabika (Coffea Arabica L.) Klon Andungsari 2K*. 34–45.
- Herawati, A., Syamsiyah, J., Baldan, S., & Arifin, I. (2021). *Application of soil amendments as a strategy for water holding capacity in sandy soils*. 724(1), 012014.
- Holilullah, H., Afandi, A., & Novpriansyah, H. (2015). Karakteristik sifat fisik tanah pada lahan produksi rendah dan tinggi di pt great giant pineapple. *Jurnal Agrotek Tropika*, 3(2).
- Huang, J., & Hartemink, A. E. (2020). Soil and environmental issues in sandy soils. *Earth-Science Reviews*, 208, 103295.
- Hudek, C., Putinica, C., Otten, W., & De Baets, S. (2022). Functional root trait-based classification of cover crops to improve soil physical properties. *European Journal of Soil Science*, 73(1), e13147.
- Ibrahim, A., Marie, H., & Elfaki, J. (2021). Impact of biochar and compost on aggregate stability in loamy sand soil. *Agric. Res. J*, 58, 34–44.
- Igaz, D., Aydin, E., Šinkovičová, M., Šimanský, V., Tall, A., & Horák, J. (2020). Laser diffraction as an innovative alternative to standard pipette method for determination of soil texture classes in central Europe. *Water*, 12(5), 1232.
- Ile, O. J., Aguilos, M., Morkoc, S., Heitman, J., & King, J. S. (2021). Root Biomass Distribution and Soil Physical Properties of Short-Rotation Coppice American Sycamore (*Platanus occidentalis* L.) Grown at Different Planting Densities. *Forests*, 12(12), 1806.
- Ismawati, I., Priyantari, N., & Suprianto, A. (2022). *Preliminary study utilization of resistivity method to identify soil types for agricultural purposes*. 2663(1), 040001.
- Jena, P. R., & Grote, U. (2022). Do certification schemes enhance coffee yields and household income? Lessons learned across continents. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 716904.
- Ju, X., Jia, Y., Li, T., Gao, L., & Gan, M. (2021). Morphology and multifractal characteristics of soil pores and their functional implication. *Catena*, 196, 104822.
- Karim, A., Sugianto, S., Fazlina, Y. D., Rusdi, M., Manfarizah, M., & Hifnalisa, H. (2020). Land Arrangement for Citronella (*Cymbopogon Nardus*) and Arabica Coffee

- Dinna, H.S., S. S. Bratawijaya., A. J. Husada, R. Naufal, K. S. Wicaksono, Soemarno. (2024). Studi Karakteristik Fisika Tanah Zona Perakaran dan Produksi Tanaman Kopi (*Coffea sp.*) di Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 731-742, doi:10.14710/jil.22.3.731-742
- in the Cultivation Area in Gayo Lues District, Aceh Province Indonesia: A Land Suitability Approach. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 9(3), 207–215.
- Khodijah, S., & Soemarno, S. (2019). Studi Kemampuan Tanah Menyimpan Air Tersedia Di Sentra Bawang Putih Kecamatan Pujon, Kabupaten Malang. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 6(2), 1405–1414.
- Kitheka, J. U., Kitheka, L. M., & Njogu, I. N. (2022). Suspended sediment transport in a tropical river basin exhibiting combinations of land uses/land covers and hydroclimatic conditions: Case study of upper Athi Basin, Kenya. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 41, 101115.
- Kustantini, D. (2014). Pentingnya Konservasi Tanah pada Pengelolaan Kebun Sumber Benih Kopi. *Balai Besar Perbenihan Dan Proteksi Tanaman Perkebunan (BBPPTP)*. Surabaya.
- León-Burgos, A. F., Unigarro, C., & Balaguera-López, H. E. (2022). Can prolonged conditions of water deficit alter photosynthetic performance and water relations of coffee plants in central-west Colombian? *South African Journal of Botany*, 149, 366–375.
- Masaka, J., & Khumbula, N. (2007). The effect of soil compaction levels on germination and biometric characteristics of coffee (*Coffea arabica*) seedlings in the nursery. *International Journal of Agricultural Research*, 2(7), 581–589.
- Masria, M., Lopulisa, C., Zubair, H., & Rasyid, B. (2018). Karakteristik pori dan hubungannya dengan permeabilitas pada tanah Vertisol asal Jeneponto Sulawesi Selatan. *Jurnal Ecosolum*, 7(1), 38–45.
- Minangkabau, A. F., Supit, J. M., & Kamagi, Y. E. (2022). Kajian permeabilitas, bobot isi dan porositas pada tanah yang diolah dan diberi pupuk kompos di Desa Talikuran Kecamatan Remboken Kabupaten Minahasa. *Soil Environmental*, 22(1), 1–5.
- Muliasari, A., & Dewi, H. (2022). *Spatial analysis for land suitability of Arabica coffee (Coffea arabica L.) in Bogor District*. 974(1), 012096.
- Munir, J., & Herman, W. (2019). Fenomena Berbagai Sifat Fisika dan Kimia Tanah Mendukung Ketahanan Tanaman Pangan di Sumatera Barat. *ZIRAA'AH MAJALAH ILMIAH PERTANIAN*, 44(2), 146–153.
- Ningsih, Y. C. (2020). *Pengaruh pupuk organik cair kulit kopi robusta terhadap produktivitas cabai merah keriting (Capsicum annum L.)*.
- Noviani, W., Khasanah, S. N. K., Dani, R., Ardiyanti, M., Savitri, A. D., & Priyatmoko, A. (2018). Keanekaragaman Vegetasi Rumput dan Pohon di Kawasan Hutan Wisata Tinjomoyo. *SEMNAS BIO VI*, 111.
- Nugraha, A. S. A., Atmaja, D. M., & Citra, I. P. A. (2021). Pelatihan Geography Information System (GIS) Bagi Aparat Desa Tegallingah Untuk Updating Peta Dusun Lebah Pupan. *Proceeding Senadimas Undiksha, Hal*, 1134–1140.
- Nuraida, N., Alim, N., & Arhim, M. (2021). *Analisis kadar air, bobot isi dan porositas tanah pada beberapa penggunaan lahan*. 7(1), 357–361.
- Ovalle-Rivera, O., Läderach, P., Bunn, C., Obersteiner, M., & Schroth, G. (2015). Projected shifts in *Coffea arabica* suitability among major global producing regions due to climate change. *PLoS One*, 10(4), e0124155.
- Pertanian, P. M. (2014). *Pedoman Teknis Budidaya Kopi yang Baik (Good Agriculture Practices/Gap On Coffee)*. Direktorat Jenderal Perkebunan Nomor, 49.
- Pinheiro, H. A., DaMATTA, F. M., Chaves, A. R., Loureiro, M. E., & Ducatti, C. (2005). Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. *Annals of Botany*, 96(1), 101–108.
- Praxedes, S. C., DaMatta, F. M., Loureiro, M. E., Ferrao, M. A., & Cordeiro, A. T. (2006). Effects of long-term soil drought on photosynthesis and carbohydrate metabolism in mature robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre var. Kouillou) leaves. *Environmental and Experimental Botany*, 56(3), 263–273.
- Purba, K., Hartawan, R., & Marpaung, R. (2022). Uji Efektivitas Natrium Nitrofenol Dalam Menunjang Pertumbuhan Setek Kopi Robusta (*Coffea canephora* L.). *Jurnal Media Pertanian*, 7(1), 1–6.
- Putinella, J. A. (2014). Perubahan distribusi pori tanah regosol akibat pemberian kompos ela sagu dan pupuk organik cair. *Buana Sains*, 14(2), 123–129.
- Rekik, F., van Es, H., Hernandez-Aguilera, J. N., & Gómez, M. I. (2018). Soil health assessment for coffee farms on andosols in Colombia. *Geoderma Regional*, 14, e00176.
- Riyanto, S. R., Hanuf, A. A., Alista, F. A., Yumna, A., & Soemarno, S. (2022). Analysis of Soil Penetration Resistance in Coffee Plantation Agroecosystems in Bangelan, Malang, East Java. *PLANTA TROPIKA: Jurnal Agrosains (Journal of Agro Science)*, 10(2), 111–125.
- Roa García, C., Brown, S., Krzic, M., Lavkulich, L., & Roa-García, M. C. (2020). Relationship of soil water retention characteristics and soil properties: A case study from the Colombian Andes. *Canadian Journal of Soil Science*, 101(1), 147–156.
- Roessler, T., & Katterfeld, A. (2019). DEM parameter calibration of cohesive bulk materials using a simple angle of repose test. *Particuology*, 45, 105–115.
- Saidi, B. B., & Suryani, E. (2021). Evaluasi Kesesuaian Lahan Untuk Pengembangan Kopi Liberika Di Kabupaten Tanjung Jabung Timur Jambi. *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi/ JIITUJ*, 5(1), 1–15.
- Sakai, E., Barbosa, E. A. A., de Carvalho Silveira, J. M., & de Matos Pires, R. C. (2015). Coffee productivity and root systems in cultivation schemes with different population arrangements and with and without drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 148, 16–23.
- Sandabunga, R., Umar, A., Millang, S., Bachtiar, B., Paembonan, S., Restu, M., & Larekeng, S. (2019). *Land compliance of agroforestry compiler components evaluation in Pangli sub-district Desean district, North Toraja regency*. 343(1), 012053.
- Santana, L. S., Ferraz, G. A. e S., Cunha, J. P. B., Santana, M. S., Faria, R. de O., Marin, D. B., Rossi, G., Conti, L., Vieri, M., & Sarri, D. (2021). Monitoring errors of semi-mechanized coffee planting by remotely piloted aircraft. *Agronomy*, 11(6), 1224.
- Santoso, S., Rudiarto, I., & Luqman, Y. (2019). *Arahan Penataan Kawasan Permukiman Di Kota Palu Berdasarkan Kesesuaian Lahan Permukiman Terhadap Potensi Bencana Dan Kerentanan Sosial Ekonomi*.
- Saptana, H., Sativa, M., Senoadji, T., Gabriella, S., & Ar-rozy, A. (2019). *Pemetaan dan Reviu Proses Bisnis Perencanaan Wilayah Hortikultura (Komoditas Bawang putih)*, Jakarta: Biro Perencanaan, Kementerian Pertanian; 181 p.

- Sarmiento-Soler, A., Vaast, P., Hoffmann, M. P., Rötter, R. P., Jassogne, L., Van Asten, P. J., & Graefe, S. (2019). Water use of *Coffea arabica* in open versus shaded systems under smallholder's farm conditions in Eastern Uganda. *Agricultural and Forest Meteorology*, 266, 231–242.
- Sembiring, S. A. (2015). Kajian Jumlah Biji Basah dan Berat Biji Basah Kopi Robusta (*Coffea robusta* Lindl.) Pada Beberapa Ketinggian, Kemiringan Lereng dan Jenis Tanah di Kecamatan Silima Pungga-Pungga Kabupaten Dairi. *Agroekoteknologi*, 4(1).
- Sipangkar, S. O., Peslinof, M., & Fendriani, Y. (2023). Analisis Sifat Fisis Tanah pada Stabilitas Tanah Lempung dengan Penambahan Kapur Tohor (CaO). *JlIF (Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika)*, 7(1), 78–89.
- Siranga, M. M., Tonapa, S. R., & Phengkarsa, F. (2021). Pengaruh Penggunaan Pasir Putih Sebagai Bahan Campuran Beton Mutu Tinggi. *Paulus Civil Engineering Journal*, 3(3), 341–352.
- Siregar, T. H., Rlyadi, S., & Nuraeni, L. (2021). *Panduan Praktis Budidaya KAKAO*. Penebar Swadaya Grup.
- Suci, R. T., Manfarizah, M., & Basri, H. (2022). Penentuan Nilai Konduktivitas Hidrolik Jenuh pada Beberapa Jenis Tanah dan Penggunaan Lahan. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 7(4), 1015–1021.
- Suhartini, S., Nurika, I., Paul, R., & Melville, L. (2021). Estimation of biogas production and the emission savings from anaerobic digestion of fruit-based agro-industrial waste and agricultural crops residues. *BioEnergy Research*, 14(3), 844–859.
- Sumarniasih, M. S., & Antara, M. (2020). Land suitability for food crops and plantations in Bangli regency Province Bali-Indonesia. *Plant Archives*, 20(1), 1693–1701.
- Surya, J. A., Nuraini, Y., & Widiyanto, W. (2017). Kajian porositas tanah pada pemberian beberapa jenis bahan organik di perkebunan kopi robusta. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 4(1), 463–471.
- Sutarta, E. S., & Yusuf, M. A. (2017). Distribusi Hara dalam Tanah dan Produksi Akar Tanaman Kelapa Sawit pada Metode Pemupukan yang Berbeda. *Jurnal Pertanian Tropik*, 4(1), 84–94.
- Tarigan, B., Sinarta, E., Guchi, H., & Marbun, P. (2015). Evaluasi status bahan organik dan sifat fisik tanah (bulk density, tekstur, suhu tanah) pada lahan tanaman kopi (*coffea* sp.) di beberapa kecamatan kabupaten Dairi. *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, 3(1), 103124.
- Tashayo, B., Honarbakhsh, A., Akbari, M., & Eftekhari, M. (2020). Land suitability assessment for maize farming using a GIS-AHP method for a semi-arid region, Iran. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(5), 332–338.
- Ulfa, Y. S., & Budiman, A. (2019). Analisis Suseptibilitas Magnetik Tanah Pada Lahan Perkebunan Kopi di Kabupaten Solok. *Jurnal Fisika Unand*, 8(3), 219–226.
- Urbina, C. F., Van Dam, J., Hendriks, R., van den Berg, F., Gooren, H., & Ritsema, C. (2019). Water flow in soils with heterogeneous macropore geometries. *Vadose Zone Journal*, 18(1), 1–17.
- Usharani, K., Roopashree, K., & Naik, D. (2019). Role of soil physical, chemical and biological properties for soil health improvement and sustainable agriculture. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(5), 1256–1267.
- Venancio, L. P., Filgueiras, R., Mantovani, E. C., do Amaral, C. H., da Cunha, F. F., dos Santos Silva, F. C., Althoff, D., Dos Santos, R. A., & Cavatte, P. C. (2020). Impact of drought associated with high temperatures on *Coffea canephora* plantations: A case study in Espírito Santo State, Brazil. *Scientific Reports*, 10(1), 19719.
- Vicente, M. R., Mantovani, E. C., Fernandes, A. L. T., Neves, J. C. L., Figueredo, E. M., & Delazari, F. T. (2017). Spacial distribution of fertigated coffee root system. *Ciência e Agrotecnologia*, 41, 72–80.
- Widodo, K. H., & Kusuma, Z. (2018). Pengaruh kompos terhadap sifat fisik tanah dan pertumbuhan tanaman jagung di inceptisol. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 5(2), 959–967.
- Xiong, Y., Ola, A., Phan, S. M., Wu, J., & Lovelock, C. E. (2019). Soil structure and its relationship to shallow soil subsidence in coastal wetlands. *Estuaries and Coasts*, 42, 2114–2123.
- Yahya, S., Ariyanti, M., & Asbur, Y. (2022). Perpektif Baru: Manajemen Vegetasi Bawah Tegakan Pada Budidaya Kelapa Sawit Berkelanjutan. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 50(3), 343–356.
- Yang, B., Liu, J., Zhao, X., & Zheng, S. (2021). Evaporation and cracked soda soil improved by fly ash from recycled materials. *Land Degradation & Development*, 32(9), 2823–2832.
- Yulina, H., & Ambarsari, W. (2021). Hubungan Kadar Air dan Bobot Isi Tanah Terhadap Berat Panen Tanaman Pakcoy pada Kombinasi Kompos Sampah Kota dan Pupuk Kandang Sapi. *AGRO TATANEN/ Jurnal Ilmiah Pertanian*, 3(2), 1–6.
- Zhang, Q., Song, Y., Wu, Z., Yan, X., Gunina, A., Kuzyakov, Y., & Xiong, Z. (2020). Effects of six-year biochar amendment on soil aggregation, crop growth, and nitrogen and phosphorus use efficiencies in a rice-wheat rotation. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118435.