

Kesesuaian Lahan untuk Tanaman Kopi di Daerah Tangkapan Air (DTA) Danau Toba

Indra Agus Riyanto^{1*}, Heru Hendrayana², Ahmad Priyo Sambodo³, Yuli Widyaningsih⁴, Galih Dwi Jayanto⁵

¹ *Departement Sains Informasi Geografi, Fakultas Sains, Teknologi, Teknik, dan Matematika, Universitas Maha Karya Asia, Yogyakarta, Indonesia*

² *Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta 55281, Indonesia*

³ *Pusat Studi Pengelolaan Sumber Daya Lahan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta 55281, Indonesia*

⁴ *CV Lapitaya, Sleman Yogyakarta*

⁵ *Pusat Studi Lingkungan Hidup, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta 55281, Indonesia*

Email koresponden: : indraagusriyanto@unmaha.ac.id

Submit : 2024-02-13 Direvisi: 2024-03-30 Accepted: 2024-05-18 Publish: 2024-08-08

©2024 Fakultas Geografi UGM dan Ikatan Geograf Indonesia (IGI)

©2024 by the authors. Majalah Geografi Indonesia.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons

Attribution (CC BY SA) <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Abstrak *Youngest Toba Tuff (YTT)* merupakan material pembentuk tanah andosol yang dominan di Kaldera Toba. YTT memiliki karakteristik yang berbeda dengan tanah andosol hasil dari material gunungapi aktif. YTT tersusun atas material ignimbrite tebal yang kaya akan batupung. Material YTT tersebut tergolong subur untuk berbagai jenis tanaman yang ada pada Kaldera Toba bagian dalam. Kajian kesesuaian lahan untuk peruntukan tanaman tertentu belum pernah dilakukan di Kaldera Toba bagian dalam. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kesesuaian lahan untuk tanaman kopi. Metode yang digunakan adalah *weight matching* dengan konsep faktor terberat menjadi penentu klasifikasi utama kelas kesesuaian lahan. Unit analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem lahan. Karakteristik klimatologi DTA Danau Toba sesuai untuk tanaman kopi dengan curah hujan 2.000-2.500 mm/tahun, bulan kering < 2 bulan, suhu 18,4-19,4°C, dan kelembaban 84-91%. karakteristik fisik tanah DTA Danau Toba dominan termasuk sesuai (S2) dengan bahan organik (BO) 1-2%, tekstur geluh pasir, dan permeabilitas agak cepat. Kelas S2 terdapat pada sistem lahan MBI, SAR, BTA, dan BTG, dan TWI. Kelas tidak sesuai (N) terdapat pada sistem lahan ASA dan BTG dengan kedalaman tanah tipis (<25cm) dan tekstur lempung liat. Kelas kesesuaian lahan sesuai marginal (S3) terdapat pada sistem lahan BBG, BPD, BPP, SLK, dan TBG. Kelas kesesuaian lahan sangat sesuai (S1) terdapat pada sistem lahan UBD dan SLK dengan dengan berat volum (0,8-1,1 gram/cm³), kedalaman tanah (75-100) cm, BO (>3%), permeabilitas cepat, dan tekstur geluh pasir. Formasi YTT termasuk dalam kelas kesesuaian lahan S1 dan S2 untuk tanaman kopi, sedangkan material endapan danau, dan lava termasuk kelas S3 dan N untuk tanaman kopi.

Kata kunci: YTT, andosol, *weight matching*, ignimbrite, kaldera Toba bagian dalam, kesesuaian lahan, sifat fisik tanah

Abstract *Youngest Toba Tuff (YTT)* is the dominant andosol soil-forming material in the Toba Caldera. YTT has different characteristics from the andosole soil resulting from active volcanic material. YTT is composed of thick ignimbrite material that is rich in pumice. YTT material belongs fertile to various kinds of plants that exist on the Toba Caldera inside. Soil suitability studies to have never been carried out in the inner Toba caldera. Therefore, this study aims to examine the suitability of the soil for coffee crops. The method used is *weight matching* with the concept of the heaviest factor being the primary determinant of the classification of the land suitability class. The unit of analysis used in this study is the land system. Climate Characteristics Toba Caldera is suitable for coffee plants with rainfall of 2,000-2,500 mm/year, dry months < 2 months, temperature 18,4-19,4°C, and humidity 84-91%. Dominant Toba Caldera soil physical characteristics include matching (S2) with organic material (BO) 1-2%, sandy loam texture, and relatively fast permeability. Class S2 is available on MBI, SAR, BTA, and BTG, and TWI land systems. The class non-conform (N) is found on ASA, BTG land systems with thin soil depths (<25cm) and clay texture. Marginal soil compatibility classes (S3) are found on BBG, BPD, BPP, SLK, and TBG soil systems. Very suitable soil (S1) is present on UBD and SLK soil system with volume weights (0.8-1.1 grams/cm³), soil deep (75-100) cm, BO (>3%), fast permeability, and sandy loam textures. YTT material belongs to the soil suitability classes S1 and S2 for coffee plants, while lake sediment and lava are classified in the classes S3 and N for coffee plantations.

Keywords: YTT, andosols, *weight matching*, ignimbrite, Inner Toba Caldera, land suitability, soil physical properties

PENDAHULUAN

Youngest Toba Tuff (YTT) merupakan material hasil erupsi 74.000 tahun lampau yang tersebar merata di Pulau Sumatra seluas 20.000 km² (Aldiss et al., 1984; Chesner and

Rose, 1991). Formasi YTT tersusun atas tuff, abu, dan batu apung (Nishimura et al., 1984; Chesner, 1998). Formasi YTT memiliki ketebalan yang bervariasi maksimum 100-200 meter dan minimum 10 m (Chesner et al., 1991). Formasi

YTT berkembang menjadi tanah Andosol di dataran tinggi sekitar Danau Toba (Sukarman dan Dariah, 2014). Material tanah andosol sangat subur untuk tanaman pertanian dan perkebunan. Formasi YTT yang tergolong tua memiliki perbedaan dengan material hasil gunungapi yang masih aktif dalam menghasilkan tanah Andosol. Material tanah andosol pada gunungapi aktif memiliki karakteristik tekstur tanah yang dominan pasir. Tanah pasir tersebut memiliki karakteristik drainase sangat cepat, bahan organik rendah, pH rendah, kapasitas tukar kation (KTK) lebih rendah, K total rendah, dan kejenuhan basa terlampaui tinggi (Sukarman et al., 2020). Material tanah yang dominan pasir pada gunungapi aktif kurang sesuai untuk tanaman kopi (Wardhani et al., 2017; Nugroho, 2017).

Beberapa litologi kurang subur untuk mendukung untuk pertanian dan perkebunan di sekitar area Danau Toba. Hasil pengangkatan Pulau Samosir pada 33.000 tahun yang lalu membuat lapisan endapan sedimen danau (Formasi Samosir) berada pada lapisan permukaan (de Silva et al., 2015). Lapisan tersebut terdiri atas perselingan lempung dan lanau dengan tebal rerata 3-7 meter dengan maksimum > 8m (Solada et al., 2020). Lapisan sedimen danau tersebut termasuk tanah yang kurang subur karena memiliki tekstur lempung yang sangat liat sehingga kedap air dan sulit ditembus oleh zona perakaran tanaman. Material hasil lava juga cukup banyak tersebar di sekitar area Danau Toba meliputi Pusuk Bukit, Tanduk Benua, Pardepur, dan singkapan batuan beku berupa lava andesit (Chesner et al., 1991). Material lava andesit memiliki lapisan tanah yang tipis sehingga kurang sesuai untuk tanaman perkebunan dan pertanian. Tanah tipis (< 25 cm) di atas material lava andesit kontak dengan batuan induk atau lapukan batuan induk sehingga lapisan akar tidak bisa menembus lebih dalam.

Variasi keunikan geologi disekitar area Danau Toba memiliki perbedaan pengaruh terhadap kondisi tanaman yang dapat tumbuh di atasnya. Tanah yang terdapat di DTA Danau Toba terdiri atas empat variasi yaitu andosol dari material piroklastik dan tuf, spodosol dari material piroklastik dan tuf dengan suhu rendah dan curah hujan tinggi, histosols dari material endapan danau, dan inceptisol dari material lava (Suharta & Prasetya, 2009; Yatno & Suharta, 2011; Prasetya & Suharta, 2011; Marbun et al., 2020). Penggunaan lahan yang terdapat pada Formasi YTT dominan berupa tanaman hutan, hutan tanaman industri, perkebunan dan pertanian. Penggunaan lahan yang terdapat pada material endapan danau, dan lava andesit didominasi oleh padang rumput, semak, dan belukar. Pola tersebut menunjukkan belum maksimalnya keragaman penggunaan lahan di area sekitar Danau Toba berbasis material penyusunnya. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian kesesuaian lahan untuk tanaman baik pertanian dan perkebunan untuk mendukung kegiatan pemanfaatan lahan.

Formasi YTT yang berkembang menjadi tanah Andosol belum pernah dilakukan kajian kesesuaian lahan untuk tanaman pertanian dan perkebunan. Material endapan danau, dan lava andesit juga belum dilakukan kajian kesesuaian tanaman selain tanaman eksisting. Penelitian ini ditujukan untuk mengkaji kesesuaian lahan tanaman kopi pada Daerah Tangkapan Air (DTA) Danau Toba bagian Sungai Asahan hulu. Tanaman kopi merupakan tanaman perkebunan yang dominan di area kajian. Dataran tinggi sekitar Danau Toba Sumatra Utara merupakan salah satu penghasil kopi terbesar di Indonesia (Saragih, 2018). Dataran tinggi disekitar area

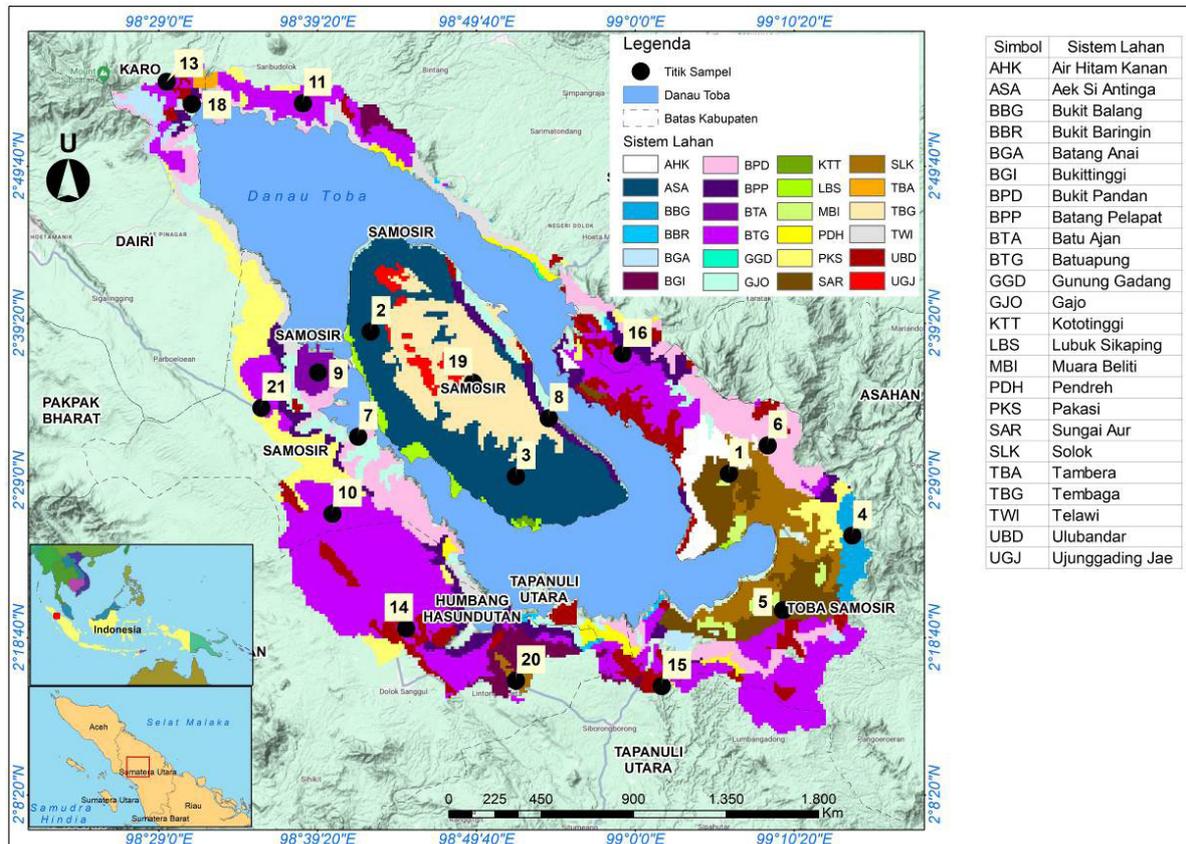
Danau Toba memiliki komoditas utama sebagai lahan kopi seluas 57.149 Ha dengan produktivitas 54.492 ton/tahun (BPS, 2023). Lahan kopi yang luas dan produktivitas kopi tinggi menjadikannya sebagai komoditas penting dan utama di sekitar area Danau Toba. Penelitian kesesuaian lahan untuk tanaman kopi masih jarang dilakukan di area tersebut (Silaban et al., 2016; Sihombing et al., 2019). Kondisi iklim area Danau Toba memiliki suhu berkisar 16-20 °C dengan curah hujan 200-300 mm/bulan (Irwandi et al., 2023) yang sesuai untuk tanaman kopi. Kondisi mata pencaharian utama penduduk di sekitar area Danau Toba dominan berupa petani dan pekerja kebun (Tamba et al., 2022; Nainggolan et al., 2023) merupakan faktor penting dalam meningkatkan komoditas kopi.

Komoditas kopi di area sekitar Danau Toba perlu dinilai berdasarkan kajian kesesuaian lahan. Kajian kesesuaian lahan menjadi penting untuk mengetahui karakteristik lahan sesuai dengan syarat tumbuh tanaman (Sitorus, 1985). Kajian kesesuaian lahan mengikuti setiap satuan geomorfologi (Sartohadi dkk., 2010). Karakteristik kesesuaian lahan yang dikaji meliputi tanah, iklim, geologi, sifat fisik tanah, kimia tanah, dan biologi tanah (Hardjowigeno dan Widiatmaka, 2011). Hasil klasifikasi kesesuaian lahan akan dilakukan perbaikan tanah sesuai dengan faktor pembatas (Arsyad, 2010). Perbaikan tanah dapat meningkatkan kemampuan lahan sehingga dapat mendukung komoditas yang ditanam. Kajian kesesuaian lahan menjadi rekomendasi dalam pengelolaan lahan untuk meningkatkan produktivitas tanaman kopi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kesesuaian lahan *single step* dari hasil pengukuran dilapangan dan analisis laboratorium. Analisis kesesuaian lahan yang digunakan adalah *weight matching*. Hasil akhir dari penelitian ini berupa peta dan tabel kesesuaian lahan. Lokasi kajian berada disekitar area tangkapan air Danau Toba Sungai Asahan bagian hulu yang meliputi Kabupaten Dairi, Simalungun, Tapanuli Utara, Karo, Toba, dan Samosir (**Gambar 1**). Lokasi kajian secara absolut terletak pada koordinat Zona 47N x: 440000-620000 mT, y: 3200000-2500000 mU.

METODE PENELITIAN

Penelitian kesesuaian lahan dilakukan dalam lima tahapan yaitu studi literatur, pengambilan data lapangan, uji laboratorium, pengambilan data sekunder, dan pengolahan data. Tahapan studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan referensi terkait kondisi geologi sekitar area Danau Toba dari peta geologi skala 1:100.000 Lembar Sidikalang dan Sinabang. Peta geologi digunakan untuk mengetahui sebaran Formasi YTT dan material lainnya yang ada di Kaldera Toba. Peta tanah yang digunakan adalah peta sistem lahan skala 1:50.000 yang dikeluarkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) sebagai dasar pengambilan sampel untuk survei tanah. Hasil kedua studi literatur tersebut dikombinasikan dalam sebuah peta untuk dijadikan pedoman dalam pengambilan sampel tanah. Sampel tanah yang diambil sejumlah 19 sampel sesuai dengan 19 sistem lahan yang terluas di area kajian (**Gambar 1**). Penentuan titik sampel pada satu sistem lahan dipilih pada kelas lereng yang sama yaitu 15-25%. Pemilihan titik sampel pada kelas lereng tersebut ditujukan untuk memperoleh proses perkembangan tanah yang lengkap dan mendapatkan profil batuan induk/lapukan batuan induk.

Kegiatan lapangan yang dilakukan adalah survei tanah untuk mengidentifikasi karakteristik fisik tanah dan pengambilan sampel tanah. Survei tanah dilakukan dengan melakukan pengamatan sifat fisik tanah berupa kedalaman



Gambar 1. Lokasi Sebaran Titik Sampel Pengamatan Tanah (Sumber Peta : BIG 2019)

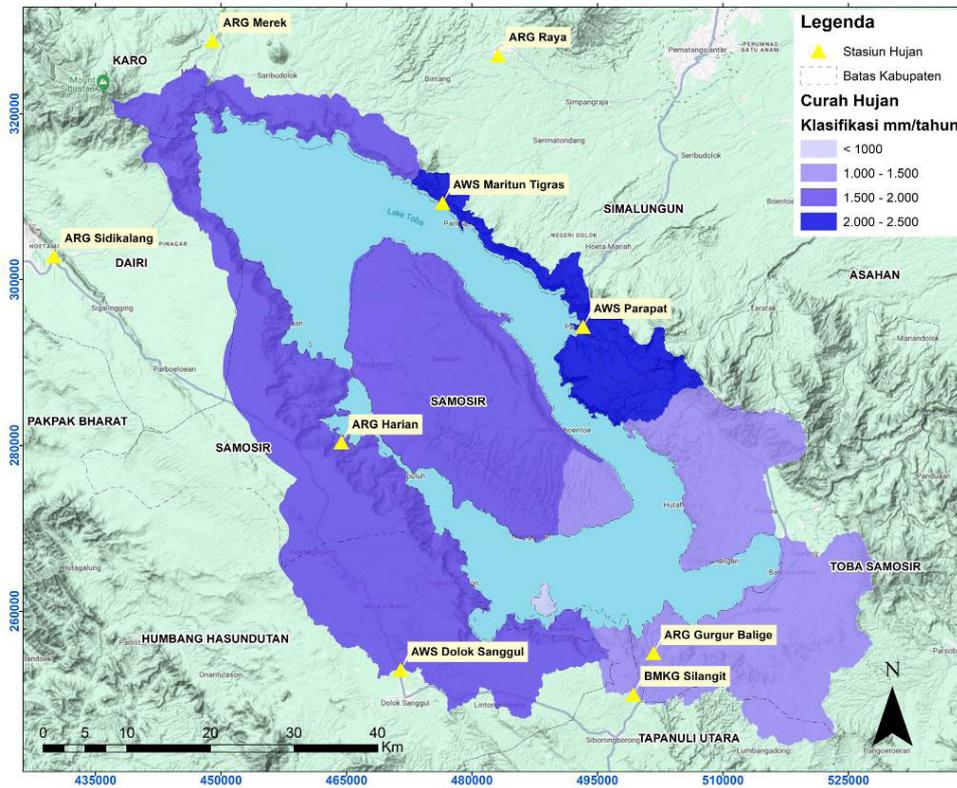
tanah, horison tanah, warna tanah, dan kedalaman zona perakaran. Pengamatan tanah dilakukan pada profil tanah yang terdapat di lapangan. Profil tanah dibersihkan dan dilakukan pengamatan setiap lapisan horison tanah. Sampel tanah yang diambil untuk uji laboratorium meliputi campuran keseluruhan horison tanah. Sampel tanah yang diambil untuk analisis berat volum (BV) dan permeabilitas diambil pada lapisan tanah atas. Alat yang digunakan dalam kegiatan lapangan berupa meteran untuk mengukur ketebalan tanah, batas antar horison, dan kedalaman perakaran, sekop untuk mengambil sampel tanah, buku *munsell* untuk mengidentifikasi warna tanah, ring permeabilitas untuk uji berat volum dan permeabilitas tanah, dan plastik sampel untuk mengambil sampel tanah.

Uji laboratorium yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji bahan organik tanah, permeabilitas tanah, berat volum, dan tekstur tanah. Uji laboratorium dilakukan di Lab Cp Lapataya, Sleman, Yogyakarta. Uji tekstur tanah dilakukan dengan metode *hydrometer*, uji berat volum dilakukan dengan metode *gravimetric*, uji bahan organik dilakukan dengan metode *walkey and black*, dan uji permeabilitas tanah dilakukan dengan metode *constant head* dan *falling head test*. Sampel tanah untuk uji tekstur dicampur pada semua lapisan horison pada setiap titik sampel tanah. Sampel tanah yang diuji bahan organik (BO) dan BV hanya diuji pada lapisan atas tanah yang diambil menggunakan ring permeabilitas. Hasil dari uji laboratorium berupa tabel nilai besaran bahan organik (%), nilai permeabilitas cm/jam, berat volum tanah (g/cm^3), dan tekstur tanah persentase pasir, debu, lempung dan klasifikasinya.

Pengambilan data sekunder yang dilakukan dalam penelitian ini adalah data iklim. Data iklim yang digunakan dalam kajian kesesuaian lahan meliputi suhu, kelembaban,

dan curah hujan. Data iklim penelitian ini diperoleh dari ARG Merek, ARG Sidikalang, ARG Harian, AWS Parapat, AWS Dolok Sanggul 1, AWS Maritun Tigras tahun 2017-2022 dari PT Jasa Tirta 1 dan Stasiun Klimatologi BMKG Silangit tahun 2020-2023 (Gambar 2). Data sekunder tersebut tersebar merata di area sekitar Danau Toba. Data iklim tersebut diolah menggunakan Arc GIS dengan metode isohyet untuk mendapatkan data sebaran suhu, kelembaban, dan curah hujan.

Analisis pertama yang dilakukan berupa deskripsi karakteristik fisik tanah dari hasil pengamatan lapangan dan uji laboratorium. Analisis spasial keterkaitan secara umum, sebaran, dan pola karakteristik fisik tanah dideskripsikan secara detail. Analisis kedua yang dilakukan adalah kesesuaian lahan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kesesuaian lahan untuk tanaman kopi. Teknik yang digunakan dalam kajian kesesuaian lahan adalah *weight matching*. Teknik *weight matching* merupakan teknik pengkelasan kesesuaian lahan berdasarkan keterdapatn kelas terberat pada setiap parameter. Tahapan pertama yang dilakukan adalah mengklasifikasikan nilai setiap parameter suhu, kelembaban, bulan kering, curah hujan, tekstur tanah, permeabilitas, BO, BV, dan kedalaman tanah sesuai pada Tabel 1. Setiap parameter dikelaskan sesuai dengan kelas klasifikasi S1 (sangat sesuai), S2 (cukup sesuai), S3 (Sesuai marginal), dan N (tidak sesuai) dalam bentuk tabel. Tahapan kedua menentukan klasifikasi teknik *weight matching* berdasarkan kelas terberat pada keseluruhan parameter tiap sampelnya. Kelas terberat akan menjadi nilai akhir kesesuaian lahan di area tersebut. Tahapan ketiga memberikan keterangan faktor pembatas pada setiap parameter yang mempengaruhi. Faktor pembatas disimbolkan dengan huruf alfabet kecil yang menandakan parameter yang menghambat pertumbuhan tanaman.



Gambar 2. Peta Hujan Wilayah Lokasi Kajian

Tabel 1. Parameter Kesesuaian Lahan

Parameter	S1	S2	S3	N	
Temperatur (°C)		22-25	25-28	28-32	>32
Kelembaban (%)		<80	80-80	>90	<30
Bulan Kering (<75mm)		2-3	3-5	5-6	>6
Curah Hujan (mm/tahun)		1.500-2.500	2.500-3.000	3.000-4.000	>4.000
Tekstur Tanah	Pasir Geluhan/Geluh Pasiran	Geluh Lempungan/Lempung Debuhan	Lempung	Pasir/Liat Berat	
Permeabilitas	Sangat Cepat dan Cepat	Agak Cepat dan Sedang	Agak Lambat	Lambat dan Sangat Lambat	
BO (%)	>3	1 - 2	0,5-1	<0,5	
Kedalaman Tanah (cm)	>100	100-75	75-60	<60	
BV (gram/cm3)	<0,8	0,8-1,1	1,1-1,4	>1,4	

Sumber : Hardjowigeno dan Widiatmaka, 2011; Djaenuin et al., 2011; dan Chairuddin et al., 2023

Hasil analisis kesesuaian lahan tanaman kopi disajikan dalam bentuk tabel dan peta. Tabel kesesuaian lahan setiap sistem lahan menampilkan kelas kesesuaian. Hasil kesesuaian lahan berupa peta diolah dengan menggunakan *software* Arc GIS. Hasil kelas kesesuaian lahan dimasukkan kedalam atribut tabel *shape file* sistem lahan. Kelas kesesuaian lahan ditampilkan pada peta dan di analisis sebaran dan pengelompokannya. Analisis ketiga yang dilakukan penyusunan rekomendasi pengelolaan untuk perbaikan tanah. Penyusunan rekomendasi ini bersifat perbaikan kondisi fisik agar pemanfaatan lahan untuk tanaman kopi dapat berlangsung secara lestari. Metode penyusunan teknik rekomendasi perbaikan tanah diperoleh dari studi literatur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Tanah

Tanah di DTA Danau Toba memiliki rerata kelas kedalaman sedang (50 cm) hingga sangat dalam (100-160

cm) (Tabel 2). Titik pengamatan tanah nomor 14 memiliki kelas kedalaman sangat dangkal yaitu < 25cm. Titik nomor 9 memiliki kedalaman tanah >200 cm yang termasuk pada kelas sangat dalam. Titik nomor 9 diambil pada sistem lahan Batu Ajan yang merupakan kerucut gunungapi muda. Titik 9 memiliki kedalaman tanah tebal karena adanya proses alterasi. Alterasi merupakan perubahan mineral-mineral tanah sebagai akibat dari suhu dan tekanan yang sangat tinggi. Titik sampel nomor 8, 9, 16 dan 20 menunjukkan perbedaan kedalaman material tanah kelas dalam (150-200 cm) pada sistem lahan yang berbeda.

Kedalaman tanah yang ada di area DTA Danau Toba termasuk dominan termasuk dalam kelas S1, meskipun terdapat 1 kelas N pada sistem Lahan BTG dan 1 sistem lahan kelas S3 yaitu TBG. Tanah di sekitar Danau Toba memiliki kedalaman yang cukup tebal karena hasil lapukan dari material erupsi yang besar dari tuf liparit, tuf riolit, dan riodasit (Prasetyo et al., 2009). Pola kedalaman tanah pada gunungapi

lainnya juga memiliki pola yang sama yaitu ketebalan lebih 100 cm termasuk dalam kategori S1 (Widayani & Usdori, 2020; Dahlia et al., 2021). Kedalaman tanah penting bagi pertumbuhan efektif kopi jika kedalaman tanah lebih dari 100 cm. Kedalaman tanah tipis di DTA Danau Toba terdapat pada bukit intrusi dan lava andesit karena proses pelapukannya cukup lama dari bahan induk yang sangat keras. Lapisan tanah tipis lainnya terdapat pada Pulau Samosir dengan batuan induk berupa endapan danau lempung dan lanau yang kurang berkembang dalam pembentukan tanah (Solada et al., 2020; Harbowo & Zahra, 2021).

Karakteristik tanah berdasarkan hasil uji laboratorium dapat ditunjukkan oleh Tabel 3. Tekstur tanah di DTA Danau Toba didominasi oleh geluh pasir dan geluh lempungan. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian di Dataran Tinggi Toba didominasi oleh tekstur tanah geluh pasir (Suharta & Prasetyo, 2009). Beberapa titik sampel tanah menunjukkan tekstur pasir geluhan terdapat pada titik 1. Tekstur tanah

lempung terdapat pada titik 2 dan titik 8. Tekstur tanah lempung debu terdapat pada titik 9. Karakteristik tekstur tanah geluh pasir dan geluh lempungan sangat sesuai untuk perkembangan tanaman kopi (S1). Hasil yang berbeda terdapat pada tanah andosol yang terbentuk dari material gunungapi aktif yang dominan berupa pasir sehingga kurang sesuai untuk tanaman kopi (S3-N) (Wardhani et al., 2017; Nugroho, 2017; Dahlia et al., 2021). Tekstur tanah pasir kurang sesuai untuk pertumbuhan tanaman kopi (Hardjowigeno dan Widiatmaka, 2011). Titik 2 memiliki tekstur lempung karena berasal dari lapukan material sedimen danau. Titik 8 memiliki tekstur lempung karena berasal dari lapukan material lava. Hasil yang berbeda dari lapukan Formasi YTT menjadi dominan tekstur geluh pasir. Persentase material pasir semakin besar maka kemampuan tanah meloloskan air semakin tinggi. Persentase lempung semakin besar maka kemampuan tanah dalam meloloskan air semakin rendah.

Tabel 3. Profil Tanah Area Kajian







Kelas permeabilitas tanah di DTA Danau Toba didominasi oleh kelas agak cepat dan sangat cepat (**Tabel 3**). Nilai permeabilitas tertinggi mencapai 59,75 cm/jam (sangat cepat) dan terendah pada titik 2 mencapai 0,09 cm/jam (sangat lambat). Laju permeabilitas tanah yang tinggi di DTA Danau Toba dipengaruhi oleh kondisi tekstur tanah dominan geluh pasir dan bahan organik yang tinggi-sangat tinggi. Fraksi pasir dari hasil pelapukan Formasi YTT memiliki sifat mudah meloloskan air di DTA Danau Toba. Tanaman kopi sangat sesuai pada tanah yang memiliki permeabilitas tinggi dan tidak tergenang. Permeabilitas tanah di DTA Danau Toba termasuk sangat sesuai untuk tanaman kopi (S1). Titik sampel nomor 5,6, dan 7 menunjukkan profil tanah pada kelas permeabilitas yang berbeda. Keterdapatan permeabilitas rendah dan sangat rendah di DTA Danau Toba terdapat di Pulau Samosir akibat tekstur berupa lempung dan keterdapatan endapan sedimen danau yang kedap air pada titik 2,3, dan 19. Kondisi tergenang dan kedap di Pulau Samosir dibuktikan dengan terdapatnya banyak genangan air danau danau kecil dengan dasar lapisan berupa sedimen kedap lempung dan lanau. Tanaman kopi dapat terganggu pertumbuhannya dan mati pada lahan yang tergenang dan memiliki permeabilitas rendah.

Bahan organik (BO) di DTA Danau memiliki variasi yang beragam yaitu kelas sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi (**Tabel 3**). Titik 3 memiliki kandungan BO terendah dengan 0,66%, sedangkan BO tertinggi mencapai 12,89% terdapat pada Titik 21. BO di DTA Danau Toba tergolong baik karena di dominasi oleh kelas sangat tinggi-sedang. Kelas BO sangat tinggi-sedang merupakan hasil lapukan Formasi YTT yang kaya akan BO (Prasetyo et al., 2009). Hasil yang berbeda terdapat pada tanah andosol yang terbentuk dari material gunungapi aktif yang dominan memiliki BO sangat rendah sehingga kurang sesuai untuk tanaman kopi (S3-N) (Wardhani et al., 2017; Nugroho, 2017; Dahlia et al., 2021). Bahan organik yang rendah diakibatkan oleh proses pembentukan tanah baru dari erupsi gunungapi aktif, hasil tersebut berbeda dengan YTT yang sudah mengalami pembentukan tanah yang lebih lama sehingga BO lebih tinggi. Terdapat pula Formasi YTT

dengan BO yang rendah dikarenakan penggunaan lahan yang berupa semak, tegalan, dan padang rumput pada titik 1 dan 4. Titik 18 memiliki BO rendah karena merupakan tanah dari material lapukan lava. Nilai BO sangat rendah lainnya terdapat pada titik 2,3, dan 19 di Pulau Samosir karena tanah tipis hasil lapukan dari endapan sedimen danau. Titik sampel nomor 3,13,21, dan 15 menunjukkan profil tanah beberapa titik pengamatan pada kandungan bahan organik yang berbeda. Kandungan BO di DTA Danau Toba termasuk dalam kategori sangat sesuai S1 karena tergolong kelas sangat tinggi-sedang. Bahan organik diperlukan untuk nutrisi tanaman kopi supaya dapat tumbuh optimal.

Nilai albedo tanah menunjukkan rerata jumlah sinar matahari yang dipantulkan kembali oleh tanah. Nilai albedo semakin rendah nilai maka warna tanah semakin gelap. Nilai albedo tanah berpengaruh terhadap proses evapotranspirasi tanah dan siklus air di dalam tanah. Nilai albedo tanah diperoleh dari rumus matematis nilai value tanah. Nilai perhitungan albedo tanah di DTA Danau Toba menunjukkan pola semakin tinggi nilai value, maka semakin tinggi nilai albedo tanah. Nilai value tanah mencerminkan tingkat kecerahan tanah. Nilai value tanah semakin tinggi maka tingkat kecerahan tanah semakin tinggi. Titik sampel tanah dengan rerata nilai value rendah terdapat pada titik nomor 8. Nilai value tinggi terdapat pada titik 18 dan 19. Titik sampel nomor 21,15,18, dan 19 menunjukkan variasi warna tanah di DTA Danau Toba.

Profil tanah nomor 21 terletak pada sistem lahan Batuapung dengan topografi dataran. Penggunaan lahan pada titik 21 merupakan hutan tanaman industri. Titik 21 memiliki 4 lapisan horison. Horison A terdapat pada kedalaman 0-24 cm. Horison A memiliki warna tanah 7,5 YR 5/2 dengan kenampakan visual warna hitam. Horison A memiliki struktur tanah granular. Horison B memiliki kedalaman 24-64 cm dengan warna 7,5 YR 3/2 (kenampakan visual coklat gelap). Horison B memiliki struktur tanah agregasi. Horison C memiliki kedalaman 64-103 cm dengan warna tanah 7,5 YR 5/6 (kenampakan visual coklat terang). Horison C memiliki

Tabel 2. Karakteristik tanah pada DTA Danau Toba, Provinsi Sumatera Utara

Sampel	Sistem Lahan	X	Y	Parameter Lapangan				
				Lapisan	Kedalaman Tanah (cm)	Warna Tanah	Nilai Albedo	Kedalaman Perakaran
1	Muara Beliti	510400	277540	1.1	0-20	7.5 YR 3/2	0.093	v
				1.2	20-30	7.5 YR 4/4	0.162	v
				1.3	30-50	7.5 YR 6/8	0.3	v
				1.4	50-65	7.5 YR 5/4	0.231	v
				1.5	65-75	7.5 YR 4/3	0.162	v
				1.6	75-95	7.5 YR 3/4	0.093	v
				1.7	>95	7.5 YR 5/8	0.231	v
2	Aek Si Antinga	468781	287605	2.1	0-10	7.5 YR 4/2	0.162	v
				2.2	20-27	7.5 YR 5/1	0.231	v
				2.3	27-50	7.5 YR 6/1	0.3	-
				2.4	50-104	7.5YR 7/1	0.369	-
				3.1	0-35	7.5 YR 6/3	0.3	v
				3.2	35-63	7.5 YR 5/4	0.231	v
				3.3	63-85	7.5 YR 7/3	0.369	v
3	Aek Si Antinga	495186	276128	3.4	85-98	7.5 YR 7/1	0.369	v
				3.5	98-120	7.5 YR 5/1	0.231	v
				3.6	>120	7.5 YR 6/1	0.3	v
				4.1	0-60	7.5 YR 7/6	0.369	v
				4.2	60-98	7.5 YR 6/6	0.3	-
				4.3	98-127	7.5 YR 5/8	0.231	-
				4.4	127-194	10 R 5/8	0.093	-
4	Bukit Balang	525453	266876	4.5	>94	7.5 YR 7/8	0.369	-
				5.1	0-30	7.5 YR 3/1	0.093	v
				5.2	30-80	7.5 YR 5/6	0.231	v
				5.3	80-120	7.5 YR 6/8	0.3	v
				6.1	0-2	5 YR 5/3	0.231	v
				6.2	2-14	5 YR 5/3	0.231	v
5	Sungai Aur	517316	258746	6.3	14-50	5YR 6/8	0.3	v
				6.4	50-83	5 YR 3/2	0.093	v
				6.5	83-104	5 YR 5/8	0.231	v
				6.6	104-127	5YR 4/2	0.162	v
				6.7	>127	5 YR 6/8	0.3	-
				7.1	0-35	7.5 YR 3/3	0.093	v
				7.2	35-60	7.5 YR 4/4	0.162	-
6	Bukit Pandan	521755	2739	7.3	60-90	7.5 YR 5/6	0.231	-
				7.4	90-120	7.5 YR 4/6	0.162	-
				7.5	>120	5 YR 5/8	0.231	-
				8.1	0-44	7.5 YR 2.5/1	0.0585	v
				8.2	44-62	7.5 YR 3/3	0.093	v
				8.3	61-116	7.5 YR 5/8	0.231	v
				8.4	116-160	7.5 YR 6/4	0.3	-
7	Bukit Pandan	466375	279661	8.5	> 160		0.093	-
				9.1	0-40	7.5 YR 2.5/1	0.0585	v
				9.2	40-125	7.5 YR 3/3	0.093	-
				9.3	125-200	7.5 YR 5/8	0.231	-
				9.4	>200	-	0.093	-
				10.1	0-11	7.5 YR 2.5/2	0.0585	v
				10.2	11-56	7.5 YR 4/4	0.162	v
8	Batang Pelapat	489163	282181	10.3	56-87	10 YR 6/6	0.3	v
				10.4	>87	10 YR 8/6	0.438	-
9	Batu Ajan	461694	290199					
10	Batuapung	461913	271236					
10	Batuapung	461913	271236					

				11.1	0-5	7.5 YR 2.5/2	0.0585	v
11	Batuapung	459447	322239	11.2	5-55	7.5 YR 5/6	0.231	-
				11.3	>55	7.5 YR 4/3	0.162	-
				13.1	0-34	7.5 YR 5/6	0.231	-
13	Batuapung	443866	323614	13.2	34-55	7.5 YR 5/4	0.231	-
				13.3	55-115	7.5 YR 5/3	0.231	-
				13.4	>115	7.5 YR 5/2	0.093	-
				14.1	0-10	7.5 YR 2/2	0.024	v
14	Batuapung	471030	254991	14.2	10-25	7.5 YR 6/8	0.3	v
				14.3	>25	7.5 YR 6/8	0.3	-
				15.1	0-50	7.5 YR 2.5/2	0.0585	v
				15.2	50-70	7.5 YR 5/6	0.231	v
15	Ulubandar	503561	249487	15.3	70-120	7.5 YR 7/8	0.369	-
				15.4	120-160	7.5 YR 7/8	0.369	-
				15.5	>160	7.5 YR 5/2	0.231	-
				16.1	0-23	10 YR 2/2	0.024	v
				16.2	23-29	10 YR 2/2	0.024	v
16	Batuapung	498572	289614	16.3	29-43	7.5 YR 5/6	0.231	v
				16.4	43-55	2.5Y 6/8	0.3	v
				16.5	55-80	2.5Y 7/8	0.369	v
18	Telawi	446817	319251	18.1	0-40	7.5 YR 2.5/2	0.0585	v
				18.2	40-130	7.5 YR 3/3	0.093	-
19	Tembaga	480138	287093	19.1	0-20	7.5 YR 5/6	0.231	v
				19.2	20-70	7.5YR 6/4	0.3	v
				19.3	70-85	7.5 YR 7/2	0.369	-
19	Tembaga	480138	287093	19.4	85-105	7.5YR 6/2	0.3	-
				19.5	105-152	7.5 YR 6/2	0.3	-
				19.6	152-165	7.5 YR 7/8	0.369	-
				19.7	>165		0.093	-
				20.1	0-25	7.5 YR 5/4	0.231	v
20	Solok	485374	249747	20.2	25-33	7.5 YR 5/8	0.231	v
				20.3	33-65	7.5 YR 5/6	0.231	-
				20.4	>65	7.5 YR 3/2	0.093	-
				21.1	0-5	7.5 YR 5/2	0.231	v
				21.2	5-24	7.5 YR 2.5/2	0.0585	v
				21.3	24-40	7.5 YR 3/2	0.093	v
21	Batuapung	456840	281389	21.4	40-54	7.5 YR 3/3	0.093	-
				21.5	54-75	7.5 YR 5/6	0.231	-
				21.6	75-83	7.5 YR 6/6	0.3	-
				21.7	83-95	5 YR 4/4	0.162	-
				21.8	95-103	7.5 YR 5/2	0.231	-
				21.9	>103		0.093	-

Sumber : Pengukuran Lapangan (2023)

struktur tanah pejal. Horison R memiliki kedalaman >103 cm. Titik 21 termasuk dalam tekstur tanah berupa geluh pasir dengan bahan organik sebesar 12,89%.

Profil tanah nomor 14 terletak pada sistem lahan Batuapung dengan topografi perbukitan. Penggunaan lahan pada titik 14 merupakan hutan pinus dan belukar. Titik 14 memiliki 3 lapisan horison. Horison A terdapat pada kedalaman 0-10 cm. Horison A memiliki warna tanah 7.5 YR 2/2 dengan kenampakan visual warna hitam. Horison A memiliki struktur tanah granular. Horison C memiliki kedalaman 10-25 cm dengan warna 7.5 YR 6/8 (kenampakan visual coklat terang). Horison C memiliki struktur tanah

pejal. Horison R terdapat pada kedalaman > 25 cm dengan warna 10 YR 6/8 (kenampakan visual coklat pucat). Horison R merupakan lapukan batuan. Tekstur tanah pada titik 14 termasuk geluh pasir dengan bahan organik sebesar 9,39%.

Profil tanah nomor 2 terletak pada sistem lahan Aek Si Antinga dengan topografi bergelombang. Penggunaan lahan pada titik 2 merupakan belukar dan pinus. Titik 2 memiliki 3 lapisan horison. Horison A terdapat pada kedalaman 0-27 cm. Horison A memiliki warna tanah 7.5 YR 4/2 dengan kenampakan visual warna hitam. Horison A memiliki struktur tanah granular. Horison C memiliki kedalaman 27-50 cm dengan warna 7.5 YR 6/1 (kenampakan visual coklat

pucat). Horison C memiliki struktur tanah pejal. Horison R memiliki kedalaman > 50 cm dengan warna putih . Horison R merupakan batuan induk yang tersusun atas endapan sedimen lempung dan lanau. Tekstur tanah pada titik 2 termasuk lempung dengan bahan organik sebesar 1,29%.

Profil tanah nomor 7 terletak pada sistem lahan Bukit Pandan dengan topografi perbukitan. Penggunaan lahan pada titik 7 merupakan padang rumput dan semak belukar. Titik 7 memiliki 4 lapisan horison. Horison A terdapat pada kedalaman 0-35 cm. Horison A memiliki warna tanah 7,5 YR 3/3 dengan kenampakan visual warna coklat gelap. Horison A memiliki struktur tanah granular. Horison B memiliki kedalaman 35-60 cm dengan warna 7,5 YR 4/4 (kenampakan visual coklat terang). Horison B memiliki struktur tanah teragregasi. Horison C terdapat pada kedalaman 60-120 cm dengan warna 7,5 YR 5/6 (kenampakan visual coklat pucat). Horison C memiliki struktur tanah pejal. Horison C2 terdapat pada kedalaman >120 cm yang merupakan hasil proses alterasi dengan warna 5 YR 5/8 (kenampakan visual warna merah). Titik 7 termasuk dalam tekstur tanah berupa geluh lempungan dengan bahan organik sebesar 2,88%.

Profil tanah nomor 13 terletak pada sistem lahan Batuapung dengan topografi dataran. Penggunaan lahan pada titik 13 merupakan belukar dan permukiman. Titik 13 memiliki 4 lapisan horison. Horison A terdapat pada kedalaman 0-34 cm. Horison A memiliki warna tanah 7.5 YR 5/6 dengan kenampakan visual warna coklat gelap. Horison A memiliki struktur tanah granular. Horison B memiliki kedalaman 34-55 cm dengan warna 7.5 YR 5/4 (kenampakan visual coklat). Horison B memiliki struktur tanah teragregasi. Horison C1 terdapat pada kedalaman 55-115 cm dengan warna 7.5 YR 5/3 (kenampakan visual coklat pucat). Horison C1 memiliki

struktur tanah pejal. Horison C2 terdapat pada kedalaman >115 cm dengan warna 7.5 YR 5/2 (kenampakan visual coklat sangat pucat). Horison C2 memiliki struktur tanah pejal. Titik 13 termasuk dalam tekstur tanah berupa geluh pasir dengan bahan organik sebesar 1,87%.

Profil tanah nomor 18 terletak pada sistem lahan Telawi dengan topografi perbukitan. Penggunaan lahan pada titik 18 merupakan padang rumput dan belukar. Titik 18 memiliki 3 lapisan horison. Horison A terdapat pada kedalaman 0-40 cm. Horison A memiliki warna tanah 7,5 YR 2,5/2 dengan kenampakan visual warna hitam. Horison A memiliki struktur tanah granular. Horison C memiliki kedalaman 40-130 cm dengan warna 7,5 YR 3/3 (kenampakan visual coklat). Horison C memiliki struktur tanah pejal. Horison R memiliki kedalaman >130 cm dengan material berupa batuan beku. Titik 18 termasuk dalam tekstur tanah berupa geluh lempung pasir dengan bahan organik sebesar 0,07%.

Kondisi Iklim

Kondisi iklim di DTA Danau Toba diperoleh variasi yang beragam (**Gambar 3**). Suhu di DTA Danau Toba berkisar 18,4-19,4°C. Nilai suhu tersebut termasuk dalam kategori kelas S1 (sangat sesuai). Suhu yang rendah akan membuat biji kopi matang sempurna dan naik produktivitasnya, sebaliknya jika suhu terlampau tinggi akan mengugurkan bunga tanaman kopi (Bertrand et al., 2011). Kelembaban di DTA Danau Toba berkisar 84-91%. Nilai kelembaban tersebut termasuk dalam kategori kelas S2 (cukup sesuai). Kelembaban yang sesuai 74% - 85% dapat menumbuhkan tanaman kopi secara maksimal (Khusnul et al., 2021). Curah hujan di DTA Danau Toba berkisar 100-250 mm/bulan dengan total hujan 2.000 – 2.500 mm/tahun. Nilai hujan bulanan dan hujan tahunan

Tabel 3. Hasil analisis uji laboratorium sampel tanah pada DTA Danau Toba, Provinsi Sumatera Utara

Kode	BO (%)	Harkat	Permeabilitas (cm/jam)	Harkat	BV (g/cm ³)	Tekstur			Kelas
						%Pasir	%Debu	%Lempung	
1	3.12	Rendah	29.19	Sangat Cepat	1.17	85.68	6.89	7.43	Pasir geluhan
2	1.29	Sangat Rendah	0.09	Sangat Lambat	1.26	25.11	34.71	40.17	Lempung
3	0.66	Sangat Rendah	3.72	Sedang	0.85	73.87	16.87	9.26	Geluh pasir
4	0.91	Sangat Rendah	14.82	Cepat	0.97	23.13	41.04	35.83	Geluh lempungan
5	1.17	Sangat Rendah	13.30	Cepat	1.26	82.76	4.31	12.94	Geluh pasir
6	2.81	Rendah	7.40	Agak Cepat	1.06	53.22	10.39	36.38	Geluh pasir
7	2.88	Rendah	0.72	Agak Lambat	1.19	26.88	45.35	27.77	Geluh lempungan
8	7.03	Tinggi	59.75	Sangat Cepat	0.56	5.28	34.01	60.70	Lempung
9	6.23	Tinggi	42.35	Sangat Cepat	0.62	23.39	39.89	36.73	Geluh lempungan
10	12.52	Sangat Tinggi	7.97	Agak Cepat	0.50	80.31	3.86	15.84	Geluh pasir
11	3.83	Sedang	0	Sangat Lambat	1.22	73.03	14.15	12.82	Geluh pasir
13	1.87	Sangat Rendah	26.59	Sangat Cepat	0.73	64.72	22.88	12.41	Geluh pasir
14	9.39	Sangat Tinggi	76.92	Sangat Cepat	0.66	81.96	2.37	15.66	Geluh pasir
15	8.23	Tinggi	37.28	Sangat Cepat	0.67	66.26	15.16	18.58	Geluh pasir
16	4.42	Sedang	56.73	Sangat Cepat	0.94	85.29	1.65	13.06	Pasir geluhan
18	0.70	Sangat Rendah	14.42	Cepat	1.04	60.21	18.75	21.04	Geluh lempung pasir
19	0.93	Sangat Rendah	6.56	Agak Cepat	0.84	4.56	53.23	42.20	Lempung debu
20	3.62	Sedang	12.47	Agak Cepat	0.95	63.51	21.04	15.44	Geluh pasir
21	12.89	Sangat Tinggi	23.89	Cepat	0.58	53.82	27.34	18.85	Geluh pasir

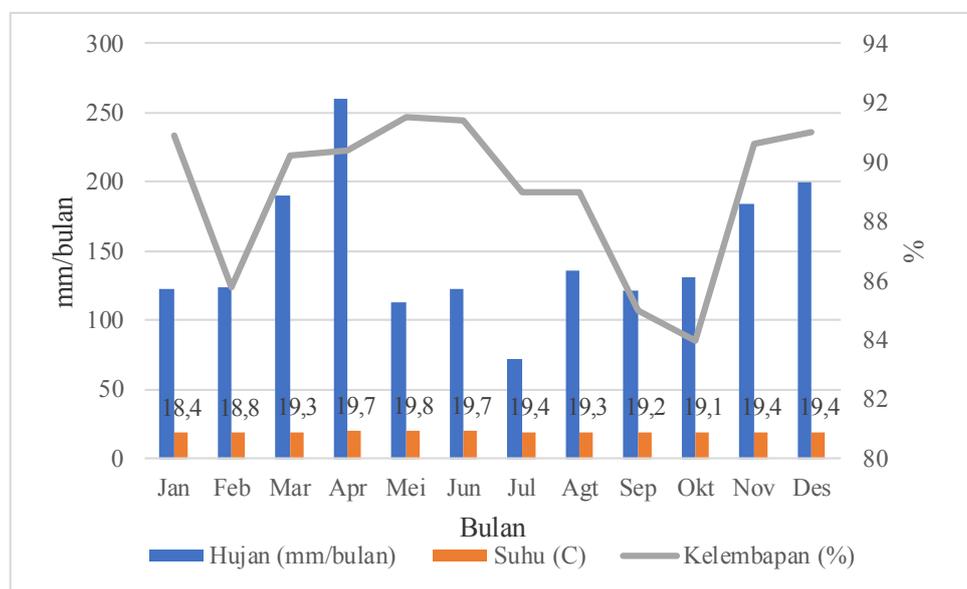
Sumber : Uji Laboratorium (2023)

Tabel 4. Hasil Kesesuaian Lahan pada DTA Danau Toba, Provinsi Sumatera Utara

Titik Sampel	Sistem Lahan	BO K	Permeabilitas K	Berat Volum K	Tekstur K	Kedalaman Tanah K	Kesesuaian Lahan
1	MBI	3.12 S1	29.19 S1	1.17 S2	Pasir geluhan	S1 95	S2 S2
2	ASA	1.29 S2	0.09 N	1.26 S2	Lempung	S3 104	S1 Ntp
3	ASA	0.66 S3	3.72 S2	0.85 S1	Geluh pasiran	S1 120	S1 S3b
4	BBG	0.91 S3	14.82 S1	0.97 S1	Geluh lempungan	S2 94	S2 S3b
5	SAR	1.17 S2	13.30 S1	1.26 S2	Geluh pasiran	S1 120	S1 S2
6	BPD	2.81 S1	7.40 S1	1.06 S2	Geluh pasiran	S1 127	S1 S2
7	BPD	2.88 S1	0.72 S3	1.19 S2	Geluh lempungan	S2 120	S1 S3p
8	BPP	7.03 S1	59.75 S1	0.56 S1	Lempung	S3 160	S1 S3t
9	BTA	6.23 S1	42.35 S1	0.62 S1	Geluh lempungan	S2 200	S1 S2
10	BTG	12.52 S1	7.97 S1	0.50 S1	Geluh pasiran	S1 87	S1 S1
11	BTG	3.83 S1	0 N	1.22 S2	Geluh pasiran	S1 55	N Npk
13	BTG	1.87 S2	26.59 S1	0.73 S1	Geluh pasiran	S1 115	S1 S2
14	BTG	9.39 S1	76.92 S1	0.66 S1	Geluh pasiran	S1 25	N Nk
15	UBD	8.23 S1	37.28 S1	0.67 S1	Geluh pasiran	S1 160	S1 S1
16	BTG	4.42 S1	56.73 S1	0.94 S1	Pasir geluhan	S1 80	S2 S2
18	SLK	0.70 S3	14.42 S1	1.04 S2	Geluh lempung pasiran	S1 130	S1 S3b
19	TWI	0.93 S2	6.56 S1	0.84 S1	Lempung debuan	S2 165	S1 S2
20	TBG	3.62 S1	12.47 S1	0.95 S1	Geluh pasiran	S1 65	S3 S3k
21	SLK	12.89 S1	23.89 S1	0.58 S1	Geluh pasiran	S1 103	S1 S1

Keterangan : Klasifikasi (K), faktor pembatas : t (tekstur tanah), p (permeabilitas), k (kedalaman tanah), dan b (bahan organik)

Sumber : Hasil Pengolahan (2023)



Gambar 3. Klimograph Area DTA Danau Toba

tersebut termasuk pada kelas S1 (sangat sesuai). Bulan kering dengan curah hujan <75mm/bulan di DTA Danau Toba hanya terjadi 2 kali dalam 1 tahun. Bulan kering kurang dari 3 bulan termasuk dalam kategori kelas S1 (sangat sesuai). Curah hujan yang terlampau tinggi dapat menyebabkan biji kopi berjamur dan cacat (Kath et al., 2021). Kondisi iklim di DTA Danau Toba sangat sesuai (S1) untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman kopi. Kondisi iklim di DTA Danau Toba termasuk stabil dengan kenaikan suhu 0,006 °C/tahun

dan kenaikan rerata hujan 0,71 mm/tahun dalam periode 1951-2020 (Irwandi et al., 2023). Tanaman kopi di DTA Danau Toba tumbuh sangat baik dan banyak dijumpai tersebar di area kajian (Gambar 4).

Kesesuaian Lahan

Analisis kesesuaian lahan untuk tanaman kopi di DTA Danau Toba diperoleh hasil S1 hingga kelas N (Gambar 5). Luasan tertinggi kesesuaian lahan di DTA Danau Toba

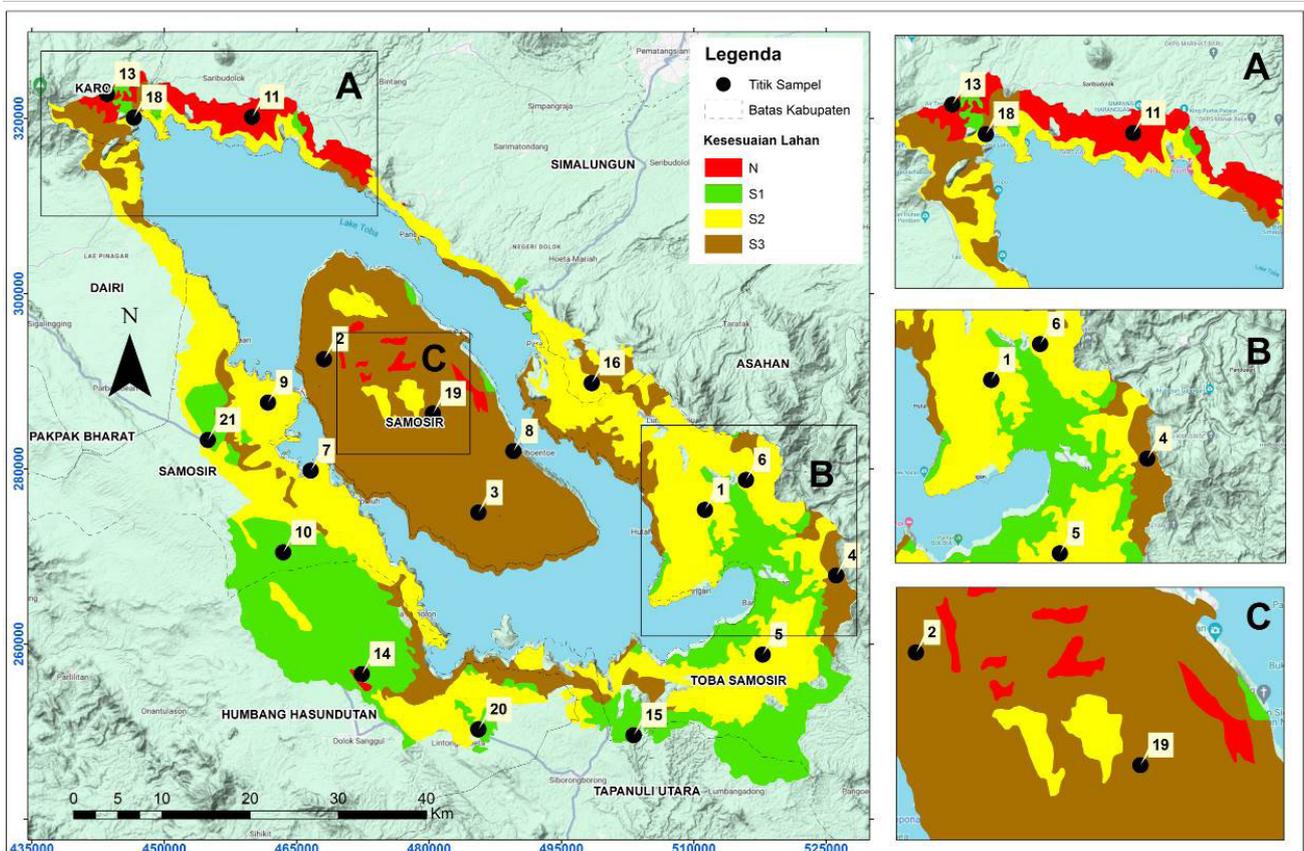
terdapat pada kelas S2 sebesar 95.773 Ha dan luasan terendah pada kelas N sebesar 9.856 Ha (**Tabel 5**). Kelas kesesuaian lahan S1 (sangat sesuai) tersebar pada beberapa sistem lahan yaitu BTG, UBD, dan SLK. Kesesuaian lahan kelas S1 berada pada Formasi YTT yang berada di area dataran. Kesesuaian lahan yang dominan terdapat di DTA Danau Toba adalah kelas S2 (cukup sesuai) yang tersebar pada 7 sistem lahan yaitu MBI, SAR, BPD, BTA, dan BTG, dan TWI. Kesesuaian lahan kelas S2 terdapat pada Formasi YTT pada area berbukit dan bergelombang. Kelas S3 (sesuai marginal) terdapat pada 6 sistem lahan yaitu ASA, BBG, BPD, BPP, SLK, dan TBG. Kesesuaian lahan kelas S3 dominan berada pada Pulau Samosir yang bertanah tipis dan bertekstur tanah lempung. Keenam sistem lahan tersebut memiliki faktor pembatas berupa bahan organik yang minim (b), kedalaman tanah tipis (k), tekstur

tanah lempung (t), dan permeabilitas rendah (p) (**Tabel 4**).

Kelas N di DTA Danau Toba terdapat pada dua sistem lahan yaitu ASA dan BTG. Kelas N diakibatkan karena kedalaman tanah tipis (25 cm), tekstur tanah berupa lempung, dan permeabilitas rendah. Kesesuaian lahan kelas N terdapat pada bagian utara Danau Toba yaitu area Parapat dan Harangagol yang tanahnya berasal dari material lava (**Gambar 5A**). Pada area tersebut banyak didominasi oleh tanaman semak dan belukar karena lapisan tanah tipis. Hasil yang berbeda pada **Gambar 5B** didominasi oleh kelas S1 dan S2. Area B memiliki beberapa penggunaan lahan kebun tanaman kopi yang tersebar. **Gambar 5C** menunjukkan area Pulau Samosir yang kurang sesuai (S3). Hasil tersebut sesuai dengan dominasi penggunaan lahan yang ada di Pulau Samosir berupa tanaman tegalan dan semak belukar.



Gambar 4. Kebun Kopi di Pulau Samosir (A) dan Kebu Kopi Di Area Sekitar Danau Toba (B)



Gambar 5. Peta Kesesuaian Lahan untuk Tanaman Kopi DTA Danau Toba

Hasil kesesuaian lahan di area kajian sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Penelitian sebelumnya dilakukan pada beberapa area Kecamatan Samosir termasuk kelas S3 (Silaban et al., 2016) dan di Kecamatan Lumban Kabupaten Toba Samosir termasuk kelas S2 dan S3 (Sihombing et al., 2019). Nilai S2 dan S3 tersebut dikarenakan nilai kapasitas tukar kation (KTK) dan kejenuhan basa (KB) termasuk kategori sedang-rendah. Hasil analisis kandungan ion tanah Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , dan K^+ disekitar area Danau Toba tergolong rendah-sedang (Handayani et al., 2023). Hasil lainnya menunjukkan kandungan kimia tanah berdasarkan P_2O_5 dan K_2O di sekitar area Danau Toba tergolong dalam kelas tinggi (Suharta dan Prasetya, 2009). Hasil P_2O_5 dan K_2O di sekitar area Danau Toba dapat meningkatkan kelas kesesuaian lahan S2 dan S3 di area kajian. Penelitian ini tidak melakukan analisis KTK, KB, P_2O_5 , K_2O , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , dan K^+ karena berfokus pada karakteristik fisik tanah dan kondisi iklim. Kelas kesesuaian lahan untuk tanaman kopi pada penelitian ini dapat berubah apabila ditambahkan informasi uji kimia tanah.

Karakteristik tanah berdasarkan parameter fisik tanah di DTA Danau Toba secara umum termasuk dalam kelas S1 dan S2 yaitu sangat sesuai dan sesuai. Hasil tersebut diperkuat dari hasil uji laboratorium pada **Tabel 4** menunjukkan dominasi klasifikasi bahan organik (S1 dan S2), permeabilitas tanah (S1), berat volum tanah (S1-S2), tekstur tanah (S1-S2), dan kedalaman tanah (S1). Namun terdapat beberapa parameter fisik tanah yang kurang sesuai masuk klasifikasi S3 dan N. Hasil tersebut berdampak pada kelas kesesuaian lahan secara keseluruhan yang dihasilkan dari metode *weight matching* yaitu kelas S1 dan S2 menjadi minim. Upaya untuk meningkatkan kelas kesesuaian lahan keseluruhan yang didominasi oleh kelas S3 dan N maka perlu dilakukan perbaikan tanah. Perbaikan tanah dilakukan berdasarkan faktor pembatas pada setiap kelas kesesuaian lahan keseluruhan.

Faktor pembatas berupa bahan organik dapat diperbaiki dengan pemberian pupuk organik, pupuk kandang, dan pupuk hijau. Penambahan pupuk dapat meningkatkan bahan organik tanah dan memperbaiki sifat fisik tanah (Hartono et al., 2018). Penambahan bahan organik berupa pupuk dilakukan pada sampel titik 3,4, dan 18. Pupuk organik dan anorganik dapat meningkatkan kandungan kimia pada tanah meliputi KTK, KB, P_2O_5 , K_2O , dan ion Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , dan K^+ (Lumbanraja & Harahap, 2015; Munirta & Taher, 2021). Permeabilitas tanah yang rendah dapat diperbaiki dengan pembuatan drainase. Pembuatan drainase dapat dilakukan dengan pembuatan parit dan sumur resapan (Susilo dan Wicaksono, 2023). Drainase dan sumur resapan dapat dibuat pada sampel titik 2,7, dan 11. Kedalaman tanah tipis dapat

diperbaiki dengan mengolah lapisan padas/batuan induk/lapukan batuan dibawahnya (Jawang et al., 2018). Perbaikan kedalaman tanah tipis dapat dilakukan pada titik sampel 11 dan 14. Faktor pembatas berupa tekstur tanah berupa lempung dapat diperbaiki dengan menambahkan bahan organik dari kompos granul el sagu dan pupuk fosfat (Habi dan Umasagaji, 2021). Perbaikan tekstur tanah dengan penambahan pupuk dapat dilakukan pada sampel titik 2,8, dan 19. Penambahan pupuk dapat menurunkan berat volum tanah, meningkatkan berat jenis butiran tanah, meningkatkan porositas tanah, dan meningkatkan pori air tersedia.

KESIMPULAN

Kesesuaian lahan untuk tanaman kopi di DTA Danau Toba termasuk kategori sangat sesuai (S1) dari parameter curah hujan, jumlah bulan kering, suhu, dan kelembaban. Karakteristik fisik tanah di DTA Danau Toba termasuk kategori S1 dan S2 (sangat sesuai dan sesuai) dari parameter BO, BV, permeabilitas, tekstur tanah, dan kedalaman tanah. Hasil kesesuaian lahan metode *weight matching* DTA Danau Toba diperoleh dominasi kategori S2 (cukup sesuai) dan S3 (sesuai marginal). Kelas kesesuaian lahan di DTA Danau Toba memiliki persentase luasan S1 (23%), S2 (38%), S3(34%), dan N (3,9%). Kelas S2 terdapat pada sistem lahan MBI, SAR, BPD, BTA, dan BTG, dan TWI dan kelas S3 terdapat pada sistem lahan ASA, BBG, BPD, BPP, SLK, dan TBG. Kategori S1 terdapat pada sistem lahan BTG, UBD, dan SLK. Kategori kesesuaian lahan kelas N (tidak sesuai) terdapat pada dua sistem lahan ASA dan BTG. Kelas N diakibatkan kedalaman tanah tipis dan tekstur tanah berupa lempung dan tanah tipis. Formasi YTT yang berkembang menjadi tanah andosol sangat sesuai untuk tanaman kopi. Formasi YTT termasuk dalam kelas S1 dan S2. Material endapan danau, dan lava andesit kurang sesuai untuk tanaman kopi. Material endapan danau, dan lava andesit termasuk dalam klasifikasi S3-N. Karakteristik tanah yang berkembang di DTA Danau Toba memiliki beberapa lapisan horison A, B, C, dan R. Tanah yang kurang berkembang di DTA Danau Toba hanya memiliki lapisan horison A-R dan A-C. Faktor pembatas yang terdapat pada kelas S3 dan N dapat diperbaiki dengan pembuatan drainase, penambahan pupuk, dan pengolahan batuan induk dan hasil lapukan batuan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis sampaikan kepada Departemen Teknik Geologi Universitas Gadjah Mada atas perizinan dan dukungan dalam kegiatan lapangan. Selain itu penulis juga menyampaikan terimakasih atas kolaborasi penelitian bersama dengan PT Jasa Tirta 1.

Tabel 5. Luasan Kelas Kesesuaian Lahan

Kelas Kesesuaian Lahan	Luas (Ha)	Persentase (%)
S1	58.794	23,34
S2	95.773	38,02
S3	87.452	34,72
N	9.856	3,91
Total	251.875	100

KONTRIBUSI PENULIS

Penulis Pertama mendisain metode penelitian, analisis data, dan membuat naskah publikasi; **Penulis Kedua** melakukan analisis data dan interpretasi hasil; **Penulis Ketiga** coding program dan review naskah publikasi; **Penulis Keempat** melakukan uji laboratorium dan melengkapi data; **Penulis Kelima** mengolah data klimatologi dan membuat peta.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldiss, D. T., & Ghazali, S. A. (1984). The regional geology and evolution of the Toba volcano-tectonic depression, Indonesia. *Journal of the Geological Society*, 141(3), 487–500. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.141.3.0487>
- Arsyad. (2010). *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
- Bertrand, B., Alpizar, E., Lara, L., SantaCrea, R., Hidalgo, M., Quijano, J. M., Montagnon, C., Georget, F., & Etienne, H. (2011). Performance of *Coffea arabica* F1 hybrids in agroforestry and full-sun cropping systems in comparison with American pure line cultivars. *Euphytica*, 181(2), 147–158. <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0372-7>
- BIG. 2019. Peta Sistem Lahan Sumatera 50 K. Cibinong: Badan Informasi Geospasial.
- BPS. (2023). *Sumatera Utara Dalam Angka 2023*. Badan Pusat Statistik : Medan.
- Chairuddin, Z., Isra, N., & Khaerunnisa. (2023). Mapping the Land Suitability Rating of Arabica Coffee Crops: A Geographical Indication Factor-Based Approach. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(20), 1320–1336. <https://doi.org/10.9734/ijpps/2023/v35i203931>
- Chesner, C. A. (1998). Petrogenesis of the Toba Tuffs, Sumatra, Indonesia. *Journal of Petrology*, 39(3): 397-438.
- Chesner, C. A. (2012). The Toba Caldera Complex. *Quaternary International*, 258, 5–18. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.09.025>
- Chesner, C. A., & Rose, W. I. (1991). Stratigraphy of the Toba Tuffs and the evolution of the Toba Caldera Complex, Sumatra, Indonesia. *Bull Volcanol*, 53:343-356.
- Chesner, C.A., Rose, W.I., Deino, A., Drake, R., & Westgate, R. (1991). Eruptive of earth's largest quaternary caldera (Toba, Indonesia) clarified. *Geology*, 19: 200-203.
- Dahlia, S., Taryana, D., & Masitoh, F. (2021). Evaluasi kesesuaian lahan untuk tanaman kopi di Desa Taji Kecamatan Jabung Kabupaten Malang. *Jurnal Integrasi dan Harmoni Inovatif Ilmu-Ilmu Sosial*, 1(12), 1317-1331.
- de Silva, S. L., Mucek, A. E., Gregg, P. M., & Pratomo, I. (2015). Resurgent Toba—field, chronologic, and model constraints on time scales and mechanisms of resurgence at large calderas. *Frontiers in Earth Sciences*, 3, 1–17. <https://doi.org/10.3389/feart.2015.00025>
- Djaenudin, D., Marwan, H., Subagio, H., dan Hidayat, A. (2011). Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan untuk Komoditas Pertanian. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian Badan Litbang Pertanian : Bogor.
- Habi, M.L dan Umasangaji, A. (2021) Perbaikan sifat fisik tanah inceptisol dan pertumbuhan tanaman jagung akibat pemberian kompos granul ela sagu dan pupu fosfat. *Prosiding Seminar Nasional Pembangunan dan Pendidikan Vokasi Pertanian, Politeknik Pembangunan Pertanian Manokwari*, 3i Juli 2021. DOI : <https://doi.org/10.47687/snppvp.v2i1.168>
- Handayani, D., Alhamd, L., Sundari, S., & Kintamani, E. (2023). Kandungan hara tanah dan serasah lantai hutan di kawasan Danau Toba, Sumatera Utara. *Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati*, 22,1, 97-110. <https://doi.org/10.14203/beritabiologi.v20i1.3991>
- Harbowo, D.G., & Zahra, S. (2021). Microscopy observations of Samosir Formation paleosoils, Tuktuk Sidaong, North Sumatera, Indonesia. *Journal of Geoscience Engineering, Environment, and Technology*. 6(1), 9-15.
- Hardjowigeno, S & Widiatmaka. (2011). *Evaluasi Kesesuaian Lahan dan Perencanaan Tataguna Lahan*. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.
- Hartono, B., Rauf, A., Elfiati, D., Harahap, F.S., Sidabuke, S.H. (2018). Evaluasi kesesuaian lahan pertanian pada areal penggunaan lain untuk tanaman kopi arabika di Kecamatan Salak Kabupaten Pak-Pak Bharat. *J. Solum*, 15(2), 66-74.
- Irwandi, H., Rosid, M. S., & Mart, T. (2023). Effects of Climate change on temperature and precipitation in the Lake Toba region, Indonesia, based on ERA5-land data with quantile mapping bias correction. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29592-y>
- Irwandi, H., Rosid, M. S., & Mart, T. (2023). Effects of Climate change on temperature and precipitation in the Lake Toba region, Indonesia, based on ERA5-land data with quantile mapping bias correction. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29592-y>
- Jawang, U.P., Simanjuntak, B.H., dan Prihtanti, T.M. (2018). Evaluasi kesesuaian lahan komoditas unggulan perkebunan kecamatan katiku tana selatan kabupaten sumba tengah. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 8(3), 396-405.
- Kath, J., Mittahalli Byrareddy, V., Mushtaq, S., Craparo, A., & Porcel, M. (2021). Temperature and rainfall impacts on robusta coffee bean characteristics. *Climate Risk Management*, 32. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100281>
- Khusnul, K., Suratno, Asyiah, N. I., & Hariyadi, S. (2021). Analysis of the Effect of Several Types of Shade on the Productivity of Robusta Coffee. *Journal of Physics: Conference Series*, 1751(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1751/1/012060>
- Lumbanraja, P & Harahap, E.M. (2015). Perbaikan kapasitas pegang air dan kapasitas tukar kation tanah berpasir dengan aplikasi pupuk kandang pada ultisol simalingkar. *Jurnal Pertanian Tropik*, 2(2), 53-67.
- Marbun, P., Nasution, Z., Hanum, H., & Karim, A. (2020). The classification, characteristics, and assessment of soil profile fertility on *Coffea arabica* productivity in North Sumatra. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 26(3), 622–632.
- Murnita & Taher, Y.A. (2021). Dampak pupuk organik dan anorganik terhadap perubahan sifat kimia tanah dan produksi tanaman padi. *Menara Ilmu*, 15(2), 67-76.
- Nainggolan, H.L., Ginting, A., Bakkara, S.I., Tampubolon, Y.R., & Trina, S.T. (2023). Pendapatan dan Tingkat Kemiskinan Petani di Kawasan Danau Toba, Kabupaten Toba Samosir, Sumatera Utara. *JURNAL TRITON*, 14(1), 127–140. <https://doi.org/10.47687/jt.v14i1.348>
- Nishimura, S., Abe, E., Nishida, J., Yokoyama, T., Dharma, A., Hehanussa, P., & Hehuwat, F. (1984). A gravity and volcanostratigraphic interpretation of the Lake Toba region, North Sumatra, Indonesia. *Tectonophysics*, 109: 253-372.
- Nugroho, F.B. (2017). Evaluasi kesesuaian lahan kopi arabika di lereng selatan Gunung Merapi sebelum dan sesudah erupsi tahun 2010. Skripsi. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta: Yogyakarta.
- Prasetyo, B.H & Suharta, N. (2011). Genesis and properties of peat at toba highland area of north Sumatra. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 12(1), 1-8.
- Prasetyo, B.H., Suharta, N., & Yatno, E. (2009). Karakteristik tanah-tanah bersifat andik dari bahan piroklastis masam di Dataran Tinggi Toba. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 29, 1-14.
- Saragih, J. R. (2018). Aspek Ekologis dan Determinan Produksi Kopi Arabika Spesialti di Wilayah Dataran Tinggi Sumatera Utara. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 6(2), 74. <https://doi.org/10.14710/jwl.6.2.74-87>
- Sartohadi, J., Jamulya., Dewi, N.I.S. (2012). *Pengantar Geografi Tanah*. Pustaka pelajar : Yogyakarta.

- Sihombing, J. E., Marbun, P., & Marpaung, P. (2019). Pemetaan Status Kesuburan Tanah pada Lahan Kopi Arabika di Kecamatan Lumban Julu Kabupaten Toba Samosir. *Jurnal Agroekoteknologi*, 7(1), 239–245.
- Silaban, S.H., Sitorus, B., & Marbun, P. (2016). Evaluasi Kesesuaian Lahan untuk Tanaman Kopi Arabika, Kentang, Kubis, Jeruk di Kecamatan Hariann Kabupaten Samosir. *Jurnal Agroekoteknologi*, 4(3), 2055–2068.
- Sitorus, S.R.P. (1985). *Evaluasi Sumberdaya Lahan*. Tarsito : Bandung.
- Solada, K. E., Reilly, B. T., Stoner, J. S., de Silva, S. L., Mucek, A. E., Hatfield, R. G., Pratomo, I., Jamil, R., & Setianto, B. (2020). Paleomagnetic observations from lake sediments on Samosir Island, Toba caldera, Indonesia, and its late Pleistocene resurgence. *Quaternary Research*, 95, 97–112. <https://doi.org/10.1017/qua.2020.13>
- Suharta, N & Prasetyo, B.H. 2009. Mineralogical and chemical characteristics of spodosols in Toba highland, North Sumatra. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 10(2), 54-64.
- Sukarman & Dariah, A. (2014). Karakteristik, potensi, kendala, dan pengelolaannya untuk pertanian. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian Kementerian Pertanian: Bogor.
- Sukarman, Dariah, A., & Suratman. (2020). Tanah vulkanik di lahan kering berlereng dan potensinya untuk pertanian di Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian*, 39(1), 21-34.
- Susilo, A dan Wicaksono, S. (2023). Potensi pengembangan tanaman kopi arabika berdasarkan tingkat kesesuaian lahan di Desa Bulukerto, Kecamatan Bumiaji, Kota Batu. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 10(1), 83-95.
- Tamba, H. K., Haloho, H. D., & Diansyah, A. (2022). Kondisi Kehidupan Masyarakat di Tanah Batak Setelah Masuknya Belanda. *MUKADIMAH: Jurnal Pendidikan, Sejarah, Dan Ilmu-Ilmu Sosial*, 6(2), 444–453. <https://doi.org/10.30743/mkd.v6i2.5154>
- Wardhani, P.I., Sartohadi, J., & Sunarto. (2017). Dynamic land resources management at the Mount Kelud, Indonesia. *Forum Geografi*, 31(1), 56-68.
- Widayani, D.P & Usdori, K.S. (2020). Kajian kesesuaian lahan perkebunan kopi rakyat kawasan lereng Gunung Arjuna Kabupaten Malang. *Jurnal Agroteknologi dan Agribisnis*, 4(2), 108-118.
- Yatno, E & Suharta, N. (2011). Andisols derived from acid pyroclastic liparite tuff : their properties and their management strategy for agricultural development. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 33, 49-64.