

Identifikasi dan Evaluasi Sifat Fisik Dan Kimia Tanah untuk Tanaman Vanili Di Kecamatan Tinangkung Utara Kabupaten Banggai Kepulauan.

Identification and Assessment of Soil Physical and Chemical Properties for Vanili Plants in North Tinangkung District, Banggai Islands Regency

Saipul Saikim¹, Hertasing Yatim², Hidayat AM. Katili^{2*}

¹ Mahasiswa Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Tompotika Luwuk

² Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Tompotika Luwuk

*Email: hidayat.katili11@gmail.com

Kata kunci:

*Fisik Kimia Tanah,
Tanaman Vanili*

ABSTRAK

Salah satu faktor yang mempengaruhi produksi vanili yaitu kondisi lahan yang sesuai untuk budidaya vanili terutama mengenai sifat fisik dan kimia tanah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi sifat fisik dan kimia tanah, menentukan status kesuburan tanah, dan mengevaluasi kesesuaian lahan untuk tanaman vanili pada tiga desa di Kecamatan Tinangkung Utara. Penelitian ini dilaksanakan pada lokasi kebun monokultur vanili yang dibudidayakan oleh petani dalam jangka panjang. Sifat kesuburan yang dianalisis antara lain sifat fisik berupa tekstur (metode pipet) serta sifat kimia tanah berupa pH, kandungan C-organik (Walkey and Black), P₂O₅ (olsen) dan K₂O (HCL25%), kejenuhan basa/KB dan kapasitas tukar kation/KTK (NH₄OAc pH7). Data yang dihasilkan kemudian dicocokkan kedalam kriteria kesuburan tanah PPT dan kesesuaian lahan BBSDLP untuk tanaman vanili. Hasil analisis menunjukkan bahwa lokasi penelitian memiliki tekstur tanah berliat, pH netral, KB dan P₂O₅ sedang serta KTK sedang-tinggi. Sementara itu, tanah yang dianalisis mempunyai kandungan C-organik dan K₂O rendah. Meskipun tingkat kesuburan tanah berstatus rendah, hasil evaluasi kesesuaian menunjukkan bahwa lahan di lokasi penelitian berstatus sesuai marjinal yang dapat ditingkatkan maksimal menjadi sesuai.

Keywords:

*Soil Physical Chemistry,
Vanilla Plants*

ABSTRACT

Soil physical and chemical properties are the main factors that significantly influence vanilla production. This study aimed to identify the soil's physical and chemical properties, determine the soil fertility status, and evaluate the soil suitability for vanilla plants cultivated at three villages in Tinangkung Utara District. This research has been carried out at the long-term monoculture of the vanilla plantation. The soil fertility properties have determined based on physical properties such as texture (pipete method) and chemical properties such as pH, organic C content (Walkey and Black), P₂O₅ (olsen) and K₂O (HCL25%), base saturation/KB dan cation exchange capacity/CEC (NH₄OAc pH7). The data then matched to PPT soil fertility and BBSDLP land evaluation criteria for the vanilla plant. The result showed that the soil in the study site has clayey texture, neutral soil reaction, moderate KB and P₂O₅, and moderate to high CEC. On the other hand, the soil exhibited lower content of organic C and K₂O. Despite soil fertility status determined as low, the evaluation analysis resulted marginally suitable, which could be optimised to highly suitable.

PENDAHULUAN

Tanaman vanili merupakan salah satu komoditas perkebunan yang dibudidayakan oleh masyarakat Desa Palam, Desa Bampang dan Desa Luksagu, Kecamatan Tinangkung Utara, Kabupaten Banggai Kepulauan. Pada perspektif nasional dan global, budidaya tanaman ini

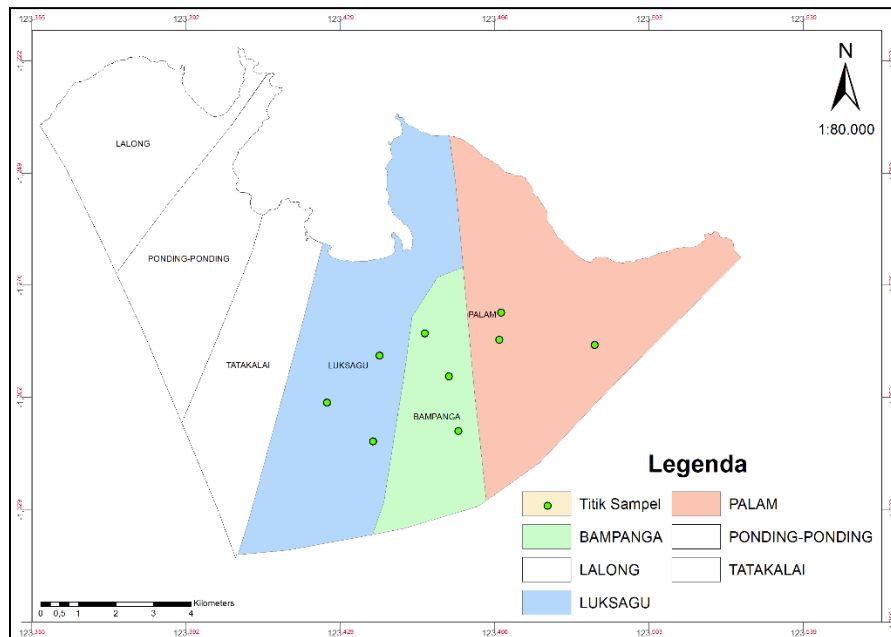
memiliki prospek yang relatif baik, ditandai oleh peningkatan luasan pertanaman vanili Indonesia dari tahun ke tahun serta mutu dan harga vanili ekspor asal Indonesia yang relatif lebih tinggi dibandingkan dari negara lain (Elizabeth 2005; BPPP 2019). Namun, luasan tanaman vanili di Kabupaten Banggai Kepulauan dari tahun ke tahun cenderung stagnan, demikian pula dengan produksinya yang cenderung menurun (BPS Kabupaten Banggai Kepulauan 2017-2018).

Wilayah Desa Palam, Desa Bampanga dan Desa Luksagu, Kecamatan Tinangkung Utara sangat potensial untuk dikembangkan sebagai sentra produksi vanili di wilayah Indonesia bagian timur. Berdasarkan data geologi (Supandjono & Haryono 1993) dan sistem lahan (RePPPRoT 1983), ketiga desa ini didominasi oleh tanah yang berkembang dari batuan kapur dan marl yang memiliki pH dan kejenuhan basa yang tinggi seperti rendolls, hapludalfs dan eutrudepts. Secara umum, ketiga jenis tanah ini memiliki sifat kimia tanah alami yang baik dan termasuk kedalam jenis tanah yang subur. Meskipun demikian, budidaya monokultur vanili yang dilakukan oleh masyarakat secara intensif tanpa diimbangi oleh penggantian hara tersedia dan bahan organik tanah dapat menyebabkan keluarnya hara dari sistem tanah dan oksidasi bahan organik tanah (Kartikawati & Rosman, 2018). Hal tersebut dapat berimplikasi pada potensi penurunan tingkat kesuburan tanah dan terjadinya defisiensi hara pada tanaman vanili (Sutedjo & Kartasapoetra, 2010). Dampak jangka panjang yang akan terjadi adalah risiko penurunan produksi dan berkurangnya pendapatan masyarakat.

Upaya pengembangan dan peningkatan produksi tanaman vanili pada tiga desa di Kecamatan Tinangkung Utara perlu didukung oleh ketersediaan data kesuburan tanah yang memadai. Potensi lahan yang subur secara umum dapat didekati dengan menggunakan peta geologi dan peta sistem lahan berskala 1:250.000 serta peta tanah yang dikeluarkan oleh Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian skala 1:50.000. Namun, data-data yang telah disebutkan diatas hanya cocok untuk keperluan penilaian skala tinjau-regional dan belum bisa memenuhi kebutuhan penilaian status kesuburan tanah dan evaluasi lahan per tapak lahan pertanaman vanili dalam skala detil. Oleh karena itu, sangat diperlukan proses identifikasi parameter fisikokimia tanah yang terkait erat dengan status kesuburan tanah dan kesesuaiannya pada kebun-kebun vanili pada ketiga desa di Kecamatan Tinangkung Utara, Kabupaten Banggai Kepulauan. Informasi yang diperoleh dapat membantu petani dalam menentukan strategi pembudidayaan vanili secara efektif, efisien serta berkelanjutan. Selain itu, ketersediaan data yang baik dapat pula membantu pemerintah dalam merencanakan pendampingan/advokasi petani vanili dan pemberian bantuan pertanian secara tepat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini telah dilaksanakan bulan Juli sampai dengan September tahun 2020 di Desa Palam, Desa Bampanga, Desa Luksagu Kecamatan Tinangkung Utara, Kabupaten Banggai Kepulauan. Sebaran spasial lokasi dan titik-titik pengamatan disajikan pada Gambar 1. Metode yang digunakan yakni survei eksplorasi-deskriptif pada lokasi yang memiliki penggunaan lahan monokultur vanili dan kemiringan yang sama. Tanah ($\pm 1,5$ kg) diambil secara komposit menggunakan cangkul dengan kedalaman 20 cm membentuk seperti huruf V, dengan subsampel yang tersebar secara acak. Selanjutnya, sifat fisik dan kimia tanah dianalisis di Laboratorium Ilmu Tanah Universitas Hasanuddin Makassar.



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel

Sifat fisik yang dianalisis berupa tekstur menggunakan metode pipet serta sifat kimia tanah berupa pH menggunakan H_2O 1:2.5, kandungan C-organik menggunakan Walkey and Black, P_2O_5 Olsen dan K_2O total menggunakan HCL 25%, kejenuhan basa/KB dan kapasitas tukar kation/KTK menggunakan NH_4OAc pH7. Penentuan status kesuburan tanah merujuk pada Pusat Penelitian Tanah (PPT, 1995; Tabel 1) selanjutnya Kriteria Penilaian Sifat-Sifat Kimia Tanah (Siswanto, 2006; Tabel 2) yang dilanjutkan dengan evaluasi kesesuaian lahan FAO (1976) yang dimodifikasi oleh BBSDLP (Ritung *et al*, 2011; Tabel 3).

Tabel 1. Kriteria Status Kesuburan pada Beberapa Parameter Fisik dan Kimia Tanah

No	Parameter	Metode
1.	Tekstur	Pipet
2.	pH	Ekstrak 1:2.5
3.	C-Organik	Walkey and Black
	N-Total	Walkey and Black
4.	P_2O_5	Olsen
5.	K_2O	HCL 25%
6.	KTK	NH_4OAc pH7
7.	KB	NH_4OAc pH7

Sumber : Petunjuk Teknis Status Kesuburan Tanah, 1995.

Tabel 2. Kombinasi Beberapa Sifat Kimia Tanah & Tingkat Kesuburannya

KTK	KB	P2O5, K2O dan C - Organik	Jenis Kesuburan
T	T	>2T Tanpa R	Tinggi
T	T	>2T Dengan R	Sedang
T	T	>2S Tanpa R	Tinggi
T	T	>2S Dengan R	Sedang
T	T	T SR	Sedang
T	T	>2R Dengan T	Sedang
T	T	>2R Dengan S	Rendah
T	S	>2T Tanpa R	Tinggi
T	S	>2T Dengan R	Sedang
T	S	2S	Sedang
T	S	Kombinasi lain	Rendah
T	R	>2T Tanpa R	Tinggi
T	R	>2T Dengan R	Rendah
T	R	Kombinasi lain	Rendah
S	T	>2T Tanpa R	Sedang
S	T	>2S Tanpa R	Sedang
S	T	Kombinasi lain	Rendah
S	S	>2T Tanpa R	Sedang
S	S	>2S Tanpa R	Sedang
S	S	Kombinasi lain	Rendah
S	R	3T	Sedang
S	R	Kombinasi lain	Rendah
R	S	>2T Tanpa R	Sedang
R	T	>2T Dengan R	Rendah
R	T	>2S Tanpa S	Sedang
R	T	Kombinasi lain	Rendah
R	S	>2T Tanpa R	Sedang
R	S	Kombinasi lain	Rendah
R	R	Semua Kombinasi	Rendah
SR	T.S.R	Semua Kombinasi	Sangat Rendah

Sumber : Siswanto (2006)

Tabel 3. Kriteria Kesesuaian beberapa Sifat Fisik dan Kimia Tanah untuk Tanaman Vanili

Persyaratan penggunaan/ karakteristik lahan	Kelas kesesuaian lahan			
	S1	S2	S3	N
Media perakaran (rc)				
Tekstur	sedang, agak halus, halus	agak kasar	kasar, sangat halus	kasar
Retensi hara (nr)				
KTK tanah (cmol/kg)	> 16	5 - 16	< 5	
Kejenuhan basa (%)	> 50	35 - 50	< 35	
pH H ₂ O	5,6 - 6,5	4,5 - 5,5	< 4,5	
C-organik (%)	> 1,2	0,8 - 1,2	< 0,8	
Hara Tersedia (na)				
P ₂ O ₅ (mg/100 g)	Sedang	Rendah	Sangat rendah	-
K ₂ O (mg/100 g)	Tinggi	Sedang	Rendah - sangat rendah	-

Sumber : Ritung et al, (2011)

HASIL & PEMBAHASAN

Sifat Fisik Tanah (Tekstur)

Hasil analisis tekstur tanah pada beberapa desa yang menjadi lokasi penelitian di Kecamatan Tinangkung Utara disajikan pada Tabel 4. Lokasi penelitian memiliki tekstur tanah liat (Desa Palam dan Bampanga) dan liat berdebu (Desa Luksagu). Secara keseluruhan, kelas tekstur tanah pada lokasi penelitian termasuk kedalam kelompok tanah-tanah bertekstur halus. Kartikawati & Rosman (2018), menyatakan bahwa tanah bertekstur lempung berpasir dan lempung berliat sangat sesuai untuk budidaya tanaman vanili. Sementara itu, BBSDLP (Ritung *et al.*, 2011) menetapkan bahwa tanah-tanah yang sangat sesuai untuk tanaman vanili adalah tanah bertekstur sedang (lempung berpasir sangat halus, lempung, lempung berdebu, debu), agak halus (lempung berliat, lempung liat berpasir, lempung liat berdebu) dan halus (liat berpasir, liat, liat berdebu). Berdasarkan kriteria BBSDLP, tanah pada ketiga lokasi penelitian memiliki digolongkan kedalam kelas sangat sesuai (S1).

Tabel 4. Hasil Analisis Tekstur Tanah di Lokasi Penelitian

Lokasi	Tekstur (%)			Kelas Tekstur	Kelas Kesesuaian
	Pasir	Debu	Liat		
Desa Palam	10	33	57	Liat	Sangat sesuai (S1)
Desa Bampanga	25	32	43	Liat	Sangat sesuai (S1)
Desa Luksagu	17	42	41	Liat berdebu	Sangat sesuai (S1)

Tanah bertekstur liat dilaporkan merupakan tanah-tanah yang kurang produktif (Suswati *et al.*, 2011) dibandingkan dengan tanah-tanah bertekstur lebih kasar. Syofiani *et al.*, (2020) mengungkapkan bahwa dominasi fraksi liat dalam tanah dapat menyebabkan tanah menjadi tidak porus, menyulitkan penetrasi akar dan mengganggu respirasi akar tanaman. Peningkatan produktivitas tanaman pada tanah-tanah bertekstur liat seperti pada lokasi penelitian dapat dilakukan melalui ameliorasi bahan organik baik secara langsung maupun dalam bentuk yang telah diperkaya (*enriched*) oleh pupuk inorganik. Pemberian bahan organik pada tanah bertekstur liat dilaporkan dapat meningkatkan porositas dan air tersedia bagi tanaman (Safitri *et al.*, 2018) serta merangsang penyerapan unsur hara oleh akar (Winarso *et al.*, 2020).

Reaksi Tanah (pH)

Hasil analisis reaksi tanah/pH pada beberapa desa yang menjadi lokasi penelitian di Kecamatan Tinangkung Utara disajikan pada Tabel 3. Berdasarkan tabel tersebut, reaksi tanah pada ketiga lokasi penelitian berkisar antara 6,7 hingga 7,4 yang keseluruhannya termasuk ke dalam kriteria netral. Selain itu, analisis kesesuaian BBSDLP menunjukkan bahwa reaksi tanah pada ketiga lokasi penelitian digolongkan sebagai kelas S2 cukup sesuai untuk kegiatan budidaya tanaman vanili.

Tabel 5. Hasil Analisis Sifat Kimia Tanah (pH)

Lokasi	pH	Kriteria	Kesesuaian lahan
Desa palam	6,7	Netral	S2
Desa bampanga	7,2	Netral	S2
Desa Luksagu	7,4	Netral	S2

Mencapai produksi yang optimal, tanaman vanili membutuhkan pH dengan kisaran yang sedikit lebih rendah dari pH tanah di lokasi penelitian, yakni antara 5,5 hingga 6,5 (Hadipoentyanti *et al.*, 2007; Ritung *et al.*, 2011). Upaya penurunan pH tanah secara terkontrol dapat dilakukan melalui pemberian pupuk berbahan dasar nitrogen dan sulfat yang dapat mengasamkan tanah (Kissel *et al.*, 2020).

Meskipun pH alami tanah di lokasi penelitian relatif lebih tinggi dibandingkan tanah-tanah lainnya yang berkembang di daerah tropika basah, pemasaman tanah akan terjadi secara berangsur apabila dilakukan pembudidayaan secara intensif dan terus menerus. Tanpa ada upaya penggantian hara dan peningkatan pH, peningkatan kemasaman tanah terjadi karena kehilangan basa-basa akibat pemanenan (Winarso, 2005). Pencucian keluar dari solum tanah (Grant *et al*, 2019), dan pelepasan ion H^+ dari akar tanaman saat menyerap kation (Hinsinger *et al*, 2003). Pemasaman tanah dapat berakibat buruk bagi kegiatan budidaya karena meningkatkan risiko toksisitas unsur mikro (Rahman *et al*, 2018; Neina 2019) dan penurunan ketersediaan hara tertentu (Ch'ng *et al*, 2014), sehingga berpotensi menurunkan produktivitas tanaman. Peningkatan pH tanah dapat dilakukan melalui ameliorasi berbahan dasar kalsit/ $CaCO_3$ (Goulding 2016), dolomit/ $CaMg(CO_3)_2$ (Trakal *et al*, 2011), slag (Septiayana *et al*, 2017), ataupun abu terbang (Harper dan Mbakwe 2020; Ondrasek *et al*, 2021).

C-Organik

Hasil analisis C-organik tanah pada beberapa desa yang menjadi lokasi penelitian di Kecamatan Tinangkung Utara disajikan pada Tabel 6. Data pada tabel tersebut menunjukkan bahwa C-organik tanah pada lokasi penelitian didominasi oleh tingkatan yang rendah. Selain itu, hasil *matching* dengan kelas kesesuaian menunjukkan bahwa lokasi penelitian digolongkan sebagai kelas sangat sesuai untuk kegiatan budidaya tanaman vanili.

Tabel 6. Hasil Analisis C-Organik Tanah di Lokasi Penelitian

Lokasi	C-organik (%)	Status	Kelas Kesesuaian
Desa Palam	1,72	Rendah	S1
Desa Bampanga	2,02	Sedang	S1
Desa Luksagu	1,96	Rendah	S1

Rendahnya kandungan C-organik tanah pada lokasi penelitian kemungkinan disebabkan oleh minimnya jatuhnya serasah dan sumbangan dari vegetasi yang berada di permukaan tanah. Tanpa pengembalian bahan organik yang mencukupi, sistem perkebunan yang dilakukan secara intensif dan terus-menerus pada kawasan beriklim tropika basah seperti di lokasi penelitian dapat menyebabkan oksidasi bahan organik tanah dengan laju yang sangat cepat (Ross, 1993; Liu *et al*, 2006; Prabowo & Subantoro, 2018; Guimarães *et al*, 2013; Suarjana *et al*, 2015; Widyantari *et al*, 2015; Virzelina *et al*, 2019; Gmach *et al*, 2020). Penurunan C organik tanah mengakibatkan potensi penurunan agregasi partikel tanah (Zhou *et al*, 2020), ruang pori total (Zaffar & Lu, 2015), kapasitas pertukaran kation (Oorts *et al*, 2003; Suntoro, 2003; Ramos *et al*, 2018) dan aktivitas organisme tanah (Das *et al*, 2017). Peningkatan kandungan C organik tanah dapat dilakukan melalui pemberian bahan organik, penanaman tanaman penutup tanah dan perubahan dari sistem monokultur menjadi agroforestri (Bot & Benites 2005; Osorio *et al*, 2014).

P_2O_5 dan K_2O

Hasil analisis kandungan P_2O_5 dan K_2O tanah pada beberapa desa yang menjadi lokasi penelitian di Kecamatan Tinangkung Utara disajikan pada Tabel 7. Berdasarkan tabel tersebut, lokasi penelitian secara keseluruhan memiliki kandungan P total setara P_2O_5 berstatus sedang dan K total setara K_2O berstatus rendah. Sementara itu, Selain itu, analisis kesesuaian BBSDLP menunjukkan bahwa kandungan P dan K total dalam tanah pada ketiga lokasi penelitian digolongkan sebagai S1 sesuai (P_2O_5) kelas S3 sesuai marjinal (K_2O) untuk kegiatan budidaya tanaman vanili.

Tabel 7. Hasil Analisis Kandungan P₂O₅ dan K₂O Tanah di Lokasi Penelitian

Lokasi	P ₂ O ₅ (mg/100g)	Status	Kelas Kesesuaian	K ₂ O (mg/100g)	Status	Kelas Kesesuaian
Desa Palam	14,23	Sedang	S1	10,25	Rendah	S3
Desa Bampanga	14,82	Sedang	S1	13,25	Rendah	S3
Desa Luksagu	13,52	Sedang	S1	10,14	Rendah	S3

Meskipun tanah pada lokasi penelitian memiliki kandungan P₂O₅ berstatus sedang, kuantitas tersebut tidak mencerminkan ketersediaan P bagi tanaman pada level yang setara. Tanah di lokasi penelitian terbentuk dari bahan induk kapur dan marl, yang mengandung Ca dalam kadar yang relatif lebih tinggi dibandingkan tanah-tanah lainnya. Ion ortofosfat dalam larutan tanah dapat terikat secara kuat dengan Ca membentuk kompleks Ca-P (Ca₃(PO₄)₂) terpresipitasi ataupun membentuk selaput pada bagian luar mineral kalsit (CaCO₃) yang menghambat penyerapan ion P oleh akar tanaman (Griffin dan Jurinak, 1973; Holford dan Mattingly, 1975; Sanchez, 2007). Tanpa upaya peningkatan ketersediaan P, kebutuhan tanaman akan P sebagai unsur makro dapat menyebabkan risiko defisiensi P (Kashirad *et al.*, 1978; Høgh-Jensen *et al.*, 2002) yang mengganggu metabolisme tanaman seperti respirasi dan fotosintesis (Lyon 1927; Thuynsma *et al.*, 2016). Kandungan P tersedia dalam tanah dapat ditingkatkan melalui pemberian pupuk P (Yagoub *et al.*, 2012) ataupun bahan lainnya yang mengandung P seperti *rock fosfat* (Sale dan Mowunye, 1993), guano (Sakoi *et al.*, 2020), dan sampah tulang (Wyciszkiwicz *et al.*, 2015; Someus & Pugliese 2018).

Kandungan K₂O tanah (Tabel 7) menunjukkan bahwa K total dalam tanah pada lokasi penelitian tergolong rendah. Hal ini dapat terjadi kemungkinan akibat kombinasi beberapa faktor seperti rendahnya kandungan K pada bahan induk tanah dan ion K dalam larutan tanah yang bersifat *mobile* sehingga mudah tercuci keluar dari sistem tanah (Barber 1985; da Silva *et al.*, 2017). Kandungan total K yang rendah juga mencerminkan kondisi ketersediaan K yang rendah dalam larutan tanah. Rendahnya kandungan K dalam tanah yang dihadapkan dengan kebutuhan K oleh tanaman vanili yang relatif besar tanpa diikuti oleh pemupukan yang cukup dapat menyebabkan defisiensi dan mengganggu proses pembungaan vanili (La *et al.*, 1998; Osorio *et al.*, 2012; Diez *et al.*, 2015). Kondisi ini diperparah oleh fiksasi K oleh mineral liat tipe 2:1 (Florence *et al.*, 2017; Shakeri & Abtahi, 2019) serta kompetisinya dengan kation lain seperti Ca dan Mg pada kompleks jerapan tanah dan akar tanaman (Mitsui dan Ueda, 1963; Jacobsen 1993). Pemupukan K yang dikombinasikan dengan penambahan bahan organik dalam dosis yang cukup dapat meningkatkan pertumbuhan, pembungaan dan pembentukan buah pada vanili (Osorio *et al.*, 2014)

KTK (Kapasitas Tukar Kation) dan KB (Kejenuhan Basa)

Hasil analisis kandungan KTK dan KB tanah pada beberapa desa yang menjadi lokasi penelitian di Kecamatan Tinangkung Utara disajikan pada Tabel 5. Berdasarkan tabel tersebut KTK dan KB di Desa Palam berstatus tinggi dan sedang, sedangkan KTK dan KB di Desa Bampanga dan Luksagu secara keseluruhan berstatus sedang. Sementara itu, hasil analisis kesesuaian menunjukkan bahwa kandungan KTK dan KB tanah pada ketiga lokasi penelitian digolongkan secara berturut-turut sebagai kelas S1 (KTK) & kelas S2 cukup sesuai (KB) untuk kegiatan budidaya tanaman vanili.

Tabel 5. Hasil Analisis KTK dan KB Tanah di Lokasi Penelitian

Lokasi	KTK tanah (me/100g)	Status	KTK liat (me/100g)	Kelas Kesesuaian	KB (%)	Status	Kelas Kesesuaian
Desa Palam	30,14	Tinggi	52,88	S1	36	Sedang	S2
Desa Bampanga	24,15	Sedang	56,16	S1	39	Sedang	S2
Desa Luksagu	23,25	Sedang	56,71	S1	43	Sedang	S2

Nilai KTK yang berstatus tinggi pada Desa Palam tidak secara dominan disumbang oleh koloid organik, melainkan oleh mineral liat tipe 2:1 yang berkembang dari bahan induk napal/marl. Keberadaan mineral liat tipe 2:1 (kelompok mineral monmorilonit, smektit, vermikulit) yang berada dalam jumlah relatif banyak dapat dideteksi secara parsial melalui nilai KTK liat (Tabel 3; Tabel 5; RePPPRoT 1983; Schulze 1989; Brown dan Nadeau, 1984; Supandjono & Haryono 1993). Kondisi serupa juga dilaporkan oleh peneliti lain pada tanah yang berkembang dari formasi geologi yang sama (Rezaei *et al*, 2012; Moghimi *et al*, 2013; Santos *et al*, 2017; Mesrar *et al*, 2020).

Meskipun berstatus sedang hingga tinggi, untuk menghindari pencucian hara terutama yang bersifat sangat *mobile* dan memitigasi potensi erosi, KTK tanah pada lokasi penelitian harus ditingkatkan. Upaya tersebut dapat dilaksanakan melalui ameliorasi bahan organik (Ngo & Cavagnaro, 2018) sebagai penyumbang koloid organik bermuatan variabel/bergantung pH (Gallez *et al*, 1976; Solly *et al*, 2020), mempunyai kompleks jerapan yang sangat luas (Hagemann *et al*, 2017; Ramos *et al*, 2018), serta berperan sebagai agregator partikel tanah (Oades 1988; Anda 2008; Possinger *et al*, 2020). Peneliti lain berupaya meningkatkan KTK tanah melalui penerapan sistem agroforestri (Oorts *et al*, 2000) dan penanaman tanaman penutup tanah (Nascente *et al*, 2015).

Persentase kejenuhan basa (KB) tanah pada lokasi penelitian secara keseluruhan berstatus sedang. Hal tersebut menunjukkan secara parsial bahwa kation-kation basa berada dalam kondisi cukup tersedia bagi tanaman (Purwanto, 2008). Namun, melihat dari kadar K total (setara K₂O; Tabel 4) yang berstatus rendah, maka kemungkinan basa-basa yang penyumbang utama nilai kejenuhan basa di lokasi penelitian adalah kation Ca dan Mg. Kedua kation ini merupakan kation dilepaskan ke dalam larutan tanah saat proses dissolusi batuan induk kapur (Flocker & Fuller, 1956; Manimel *et al*, 2013).

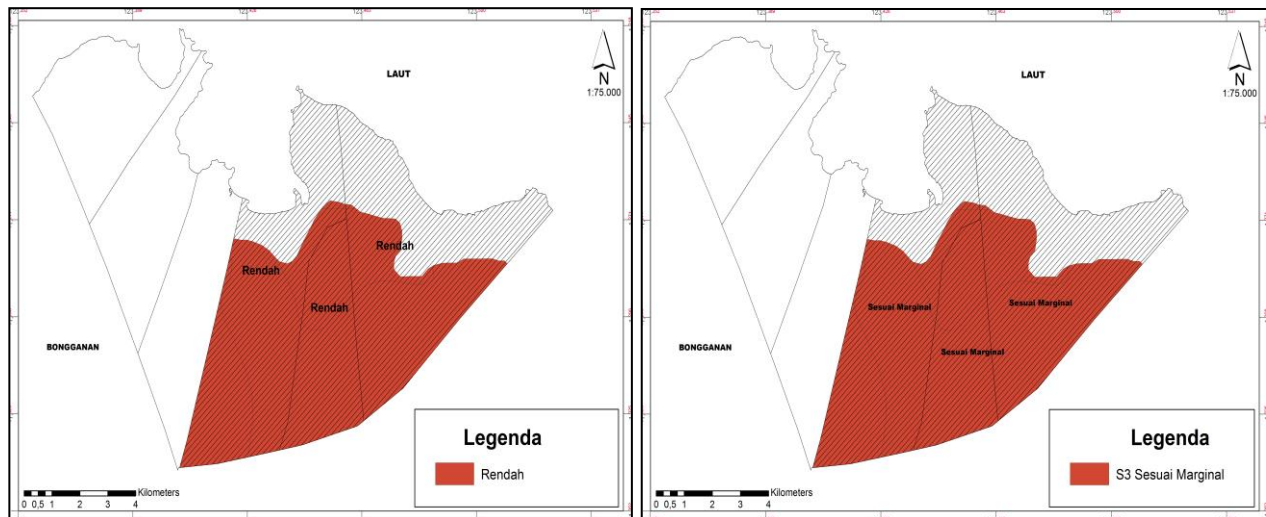
Status Kesuburan Tanah

Status kesuburan dan kelas kesesuaian hasil analisis kombinasi keseluruhan parameter fisik dan kimia tanah pada lokasi penelitian secara tabular disajikan pada Tabel 6 dan secara spasial ditampilkan pada Gambar 2. Tabel tersebut menunjukkan bahwa ketiga Desa yang menjadi lokasi penelitian memiliki status kesuburan tanah rendah. Kandungan K₂O yang berstatus rendah merupakan kontributor utama dari rendahnya status kesuburan tanah pada Bampanga. Sementara itu, status kesuburan tanah di Desa Palam dan Luksagu yang rendah disumbang oleh parameter C organik dan K₂O yang berstatus rendah.

Tabel 6. Status Kesuburan Tanah Tanaman Vanili

Lokasi	KTK	KB	P ₂ O ₅ , K ₂ O, C- organik	Status Kesuburan	Kelas Kesesuaian
Ds. Palam	Tinggi	Sedang	Kombinasi Lain	Rendah	Marginal (S3)
Ds. Bampanga	Sedang	Sedang	Kombinasi Lain	Rendah	Marginal (S3)
Ds. Luksagu	Sedang	Sedang	Kombinasi Lain	Rendah	Marginal (S3)

Kelas kesesuaian di Desa Palam, Bampanga dan Luksagu secara berurutan adalah Desa Palam sesuai marjinal, Desa Bampanga sesuai marjinal dan Desa Luksagu sangat sesuai marjinal. Parameter yang menjadi penyumbang turunnya kelas kesesuaian pada Desa Palam adalah Kandungan K₂O yang kesesuaian lahannya tergolong sesuai marginal, selanjutnya Desa Bampanga dengan kesesuaian lahan sesuai marjinal serta pada Desa Luksagu dengan kesesuaian lahan sangat marjinal.



Gambar 2. Peta Kesuburan Tanah dan Kesesuaian Lahan Lokasi Penelitian

Parameter kimia tanah terbukti dapat merepresentasikan masalah kualitas lahan dan faktor-faktor pembatas utama bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman vanili pada tiga desa di lokasi penelitian. Kandungan C organik dan K_2O yang rendah perlu menjadi perhatian petani dan penyuluh pertanian/perkebunan agar produktivitas tanaman vanili milik petani dapat ditingkatkan. Selain itu, kandungan P_2O_5 yang tidak merepresentasikan ketersediaan P juga perlu diperhatikan mengingat sifat kimia ion fosfat yang susah larut dan *immobile* dalam tanah serta pembentukan kompleks dengan ion Ca yang banyak terdapat pada tanah di lokasi penelitian (do Nascimento *et al*, 2018; Penn & Camberato *et al*, 2019). Mengingat kondisi tekstur tanah yang berliat, petani perlu memberikan input C organik yang lebih banyak untuk meningkatkan kandungan pori aerasi dalam tanah, terutama pada lapisan teratas tanah, sebagai media tumbuh tanaman vanili. Pada masa depan, perlu adanya pemetaan kualitas lahan dengan parameter yang lebih lengkap dan skala yang lebih detil untuk mengetahui dan mengevaluasi berbagai faktor yang dapat membatasi produktivitas vanili pada lokasi penelitian.

KESIMPULAN

Lokasi penelitian bertekstur liat, pH netral, C-organik rendah sampai sedang, P_2O_5 sedang, K_2O rendah, KB sedang dan KTK sedang sampai tinggi. Status kesuburan tanah dari ketiga Desa di Kecamatan Tinangkung Utara tergolong rendah. Kelas kesesuaian Lahan pada lokasi penelitian tergolong sesuai marjinal. Faktor pembatas utama yang perlu diperhatikan oleh petani vanili di lokasi penelitian adalah kandungan K_2O .

DAFTAR PUSTAKA

- Anda M. 2008. Association of soil minerals and organic matter and their impact on pH value. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 2(1):15-30. <http://dx.doi.org/10.21082/jsdl.v2n1.2008.%25p>
- Barber SA. 1985. *Potassium availability at the soil-root interface and factors influencing potassium uptake*. ACSESS Publications. <https://doi.org/10.2134/1985.potassium.c11>
- Bashagaluke JB, Logah V, Opoku A, Sarkodie-Addo J & Quansah C. 2018. Soil nutrient loss through erosion: Impact of different cropping systems and soil amendments in Ghana. *PLoS ONE*, 13(12):1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208250>
- Bot A & Benites J. 2005. *The importance of soil organic matter. Key to drought-resistant soil and sustained food production*. Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome.

- Brown G & Nadeau P. 1984. Crystal structures of clay minerals and related phyllosilicates. *Philosophical Transactions Mathematical Physical & Engineering Sciences*, 311(1517):221-240. <https://doi.org/10.1098/rsta.1984.0025>
- Ch'ng HY, Ahmed OH & Majid NMA. 2014. Improving Phosphorus Availability in an Acid soil using organic amendments produced from agroindustrial wastes. *The Scientific World Journal*, 2014:1-6. <https://doi.org/10.1155/2014/506356>
- Das S, Jeong ST, Das S & Kim PJ. 2017. Composted cattle manure increases microbial activity and soil fertility more than composted swine manure in a submerged rice paddy. *Frontiers in microbiology*, 8(1702):1-10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01702>
- Diez MC, Osorio NW & Moreno F. 2015. Effect of dose and type of fertilizer on flowering and fruiting of vanilla plants. *Journal of Plant Nutrition*, 39(9):1297-1310. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1098673>
- Elizabeth R. 2005. Keragaan dan budidaya komoditas panili di Indonesia (Studi kasus Kabupaten Minahasa). *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 5(3):1-13
- Flocker WJ & Fuller WH. 1956. Availability of calcium in calcareous soils. *Soil Science Society of America Journal*, 20(3): 387-391. <https://doi.org/10.2136/sssaj1956.03615995002000030025x>
- Florence A, Ransom M & Mengel D. 2017. Potassium fixation by oxidized and reduced forms of phyllosilicates. *Soil Science Society of America Journal*, 81(5):1247-1255. <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.12.0420>
- Gallez A, Juo ASR & Herbillon AJ. 1976. Surface and charge characteristics of selected soils in the tropics. *Soil Science Society of America Journal*, 40(4):601-608. <https://doi.org/10.2136/sssaj1976.03615995004000040039x>
- Gmach MR, Cherubin MR & Kaiser K. 2020. Processes that influence dissolved organic matter in the soil: a review. *Scientia Agricola*, 77(3):1-10. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2018-0164>
- Goulding KWT. 2016. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. *Soil Use and Management*, 32(3):390-399. <https://doi.org/10.1111/sum.12270>
- Grant KN, Macrae ML, Rezanezhad F & Lam WV. 2019. Nutrient leaching in soil affected by fertilizer application and frozen ground. *Vadose Zone Journal*, 18(1):1-13. <https://doi.org/10.2136/vzj2018.08.0150>
- Griffin RA & Jurinak JJ. 1973. The interaction of phosphate with calcite. *Soil Science Society of America Journal*, 37(6): 847-850. <https://doi.org/10.2136/sssaj1973.03615995003700060018x>
- Guimarães DV, Gonzaga MIS & Melo-Neto JO. 2013. Management of soil organic matter and carbon storage in tropical fruit crops. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(3):301-306. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000300009>
- Hadipoentiyanti E, Ruhnayat A & Udarno L. 2007. *Teknologi unggulan panili*. Bogor (ID): Puslitbangun.
- Hagemann N, Joseph S, Schmidt HP, Kammann CI, Harter J, Borch T, Young RB, Varga K, Taherymoosavi S, Elliott KW *et al.* 2017. Organic coating on biochar explains its nutrient retention and stimulation of soil fertility. *Nature Communications*, 8(1089):1-11. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01123-0>
- Harper J & Mbakwe I. 2020. The effectiveness of coal fly ash in the amelioration of acid soils of the South African highveld: a comparison with conventional liming materials. *South African Journal of Plant and Soil*, 37(2): 101-107. <https://doi.org/10.1080/02571862.2019.1652362>

- Hinsinger P, Plassard C, Tang C & Jaillard B. 2003. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: A review. *Plant and Soil*, 248(1-2): 43-59. <https://doi.org/10.1023/A:1022371130939>
- Høgh-Jensen H, Schjoerring J, Soussana JF. 2002. The influence of phosphorus deficiency on growth and nitrogen fixation of white clover plants. *Annals of Botany*, 90(6): 745-53. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf260>
- Holford ICR & Mattingly GEG. 1975. Phosphate sorption by jurassic oolitic limestones. *Geoderma*, 13(3): 257-264. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(75\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0016-7061(75)90022-1)
- Jacobsen ST. 1993. Interaction between plant nutrients III. antagonism between potassium, magnesium and calcium. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 43(1):1-5. <https://doi.org/10.1080/09064719309410223>
- Kartikawati & Rosman. 2018. *Budidaya vanili*. Bogor (ID): Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat Kementrian Pertanian.
- Kashirad A, Bassiri A & Kheradnam M. 1978. Responses of cowpeas to applications of P and Fe in calcareous soils. *Agronomy Journal*, 70(1): 67-70. <https://doi.org/10.2134/agronj1978.00021962007000010015x>
- Kissel DE, Bock BR & Ogles CZ. 2020. Thoughts on acidification of soils by nitrogen and sulfur fertilizers. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 3(1):1-10. <https://doi.org/10.1002/agg2.20060>
- La C, Dian L, Shumei T & Shaoruo Z. 1998. Nutritive characteristics of vanilla. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 19(2): 55-64.
- Liu X, Herbert SJ, Hashemi AM, Zhang X & Ding G. 2006. Effects of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation-a review. *Plant Soil and Environment*, 52(12):531-543
- Lyon CJ. 1927. The rôle of phosphate in plant respiration. *American Journal of Botany*, 14(5): 274-283. <https://doi.org/10.2307/2435642>
- Manimel-Wadu MCW, Michaelis VK, Kroeker S & Akinremi OO. 2013. Exchangeable calcium/magnesium ratio affects phosphorus behavior in calcareous soils. *Soil Science Society of America Journal*, 77(6): 2004-2013. <https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0102>
- Mesrar L, Benamar A & Jabrane R. 2020. Study of Taza's miocene marl applications in heavy clay industry. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79:3019-3032. <https://doi.org/10.1007/s10064-020-01732-y>
- Mitsui S & Minoru U. 1963. Cation exchange capacity of crop roots and ion uptake. *Soil Science & Plant Nutrition*, 9(2):1-6. <https://doi.org/10.1080/00380768.1963.10431026>
- Moghimi AH, Hamdan J, Shamshuddin J, Samsuri AW, Abtahi A. 2013. Physicochemical properties and surface charge characteristics of arid soils in Southeastern Iran. *Applied and Environmental Soil Science*, 2013:1-12. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/252861>
- do Nascimento CAC, Pagliari PH, Faria LA & Vitti GC. 2018. Phosphorus mobility and behavior in soils treated with calcium, ammonium, and magnesium phosphates. *Soil Science Society of America Journal*, 82(3):622-631. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.06.0211>
- Nascente AS, Stone LF & Crusciol CAC. 2015. Soil chemical properties affected by cover crops under no-tillage system. *Revista Ceres*, 62(4):401-409. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562040010>
- Neina D. 2019. The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019:1-9. <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>
- Ngo HTT & Cavagnaro TR. 2018. Interactive effects of compost and pre-planting soil moisture on plant biomass, nutrition and formation of mycorrhizas: a context dependent response. *Scientific Reports*, 8(1):1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18780-2>

- Oades JM. 1988. The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry*, 5(1): 35-70. <https://doi.org/10.1007/BF02180317>
- Ondrasek G, Kranjčec F, Filipović L, Filipović V, Kovačić MB, Badovinac IJ, Peter R, Petravić M, Macan J & Rengel Z. 2020. Biomass bottom ash & dolomite similarly ameliorate an acidic low-nutrient soil, improve phytonutrition and growth, but increase Cd accumulation in radish. *Science of The Total Environment*, 753(2021):1-12. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141902>
- Oorts K, Vanlauwe B & Merckx R. 2003. Cation exchange capacities of soil organic matter fractions in a ferric lixisol with different organic matter inputs. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 100(2-3): 161-171. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00190-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00190-7)
- Osorio AI, Vega NOW, Diez MC & Moreno FH. 2014. Nutrient status and vegetative growth of *Vanilla planifolia* Jacks plants as affected by fertilization and organic substrate composition. *Acta Agronómica*, 63(4): 326-334. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n4.40754>.
- Osorio AI, Osorio NW., Diez MC & Moreno FH. 2012. Effects of organic substrate composition, fertilizer dose, and microbial inoculation on vanilla plant nutrient uptake and growth. *Acta Horticulturae* 964(964):135-142. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.964.17>
- Penn CJ & Camberato JJ. 2019. A critical review on soil chemical processes that control how soil pH affects phosphorus availability to plants. *Agriculture*, 9(6):1-18 <https://doi.org/10.3390/agriculture9060120>
- Possinger AR, Zachman MJ, Enders A, Levin BDA, Muller DA, Kourkoutis LF & Lehmann J. 2020. Organo–organic and organo–mineral interfaces in soil at the nanometer scale. *Nature communications*, 11(1):1-11. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19792-9>
- Prabowo R & Subantoro R. 2018. Analisis tanah sebagai indikator tingkat kesuburan lahan budidaya pertanian di Kota Semarang. *Jurnal Ilmiah Cendekia Eksakta 2* (2):59-64. <http://dx.doi.org/10.3194/ce.v2i2.2087>
- Purwanto E. 2008. Kajian macam media tanam dan konsentasi iba terhadap pertumbuhan stek jarak pagar (*Jatropha curcas* L). [Tesis]. Surakarta (ID): Universitas Sebelas Maret Pusat Penelitian Tanah. 1995 *Petunjuk Teknis Status Kesuburan Tanah*. Bogor
- Rahman MA, Lee SH, Ji HC, Kabir AH, Jones CS, Lee KW. 2018. Importance of mineral nutrition for mitigating aluminum toxicity in plants on acidic soils: Current status and opportunities. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(10):1-28. <https://doi.org/10.3390/ijms19103073>
- Ramos FT, Dores EFGC, Weber OLS, Beber DC, Campelo Jr JH, Maia JCS. 2018. Soil organic matter doubles the cation exchange capacity of tropical soil under no-till farming in Brazil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(9):3595-3602. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8881>
- RePPPRoT [Regional Physical Planning Programme for Transmigration]. 1983. *Peta Sistem Lahan Indonesia*. Departemen Transmigrasi
- Rezaei M, Sameni A & Baghernejad M. 2012. Mineralogy and geochemistry of calcareous pedons in relation to soil-forming factors. *Proceeding International Conference Sociedad Española de Mineralogía*. Macla, 16 Juni 2012
- Ritung S, Nugroho K, Mulyani A, & Suryani E. 2011. *Petunjuk teknis evaluasi lahan untuk komoditas pertanian (Edisi revisi)*. Bogor (ID): Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 168 hal.
- Ross SM. 1993. Organic matter in tropical soils: current conditions, concerns and prospects for conservation. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. 17(3):265-

305. <https://doi.org/10.1177/030913339301700301>
- Safitri IN, Setiawati TC, Bowo C. 2018. Biochar dan kompos untuk peningkatan sifat fisika tanah dan efisiensi penggunaan air. *TECHNO: Jurnal Penelitian*, 7(1):116-127. <http://dx.doi.org/10.33387/tk.v7i01.611>
- Sakoui S, Derdak R, Addoum B, Serrano-Delgado A, Soukri A & El Khalfi B. 2020. The life hidden inside caves: ecological and economic importance of bat guano. *International Journal of Ecology*, 2020:1-7. <https://doi.org/10.1155/2020/9872532>
- Sale PWG & Mokwunye AU. 1993. Use of phosphate rocks in the tropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 35(1-2):33-45. <https://doi.org/10.1007/BF00750218>
- Sanchez CA. 2007. *Phosphorus*. In Barker AV & Pilbean DJ, editors. *Handbook of plant nutrition*. Abingdon : Taylor & Francis Group.
- Santos PG, Almeida JA, Sequinato L. 2017. Mineralogy of the clay fraction and chemical properties of soils developed from sedimentary lithologies of Pirambóia, Sanga-the-Cabral and Guara geological formations in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 41(2017):1-19. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20160344>
- Schulze DG. 1989. *An Introduction to Soil Mineralogy*. In Dixon JB, Weed SB & Schulze DG, editors. *Minerals in soil environments, volume 1, second edition*. Soil Science Society of America. <http://doi.org/10.2136/sssabookser1.2ed.c1>
- Septiyana, Sutandi A, Indriyati LT. 2017. Effectivity of soil amelioration on peat soil and rice productivity. *Journal of Tropical Soils*, 22(1):11-20. <http://dx.doi.org/10.5400/jts.2017.v22i1.11-20>
- Shakeri S & Abtahi A. 2019. Potassium fixation capacity of some highly calcareous soils as a function of clay minerals and alternately wetting-drying. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66(4): 445-457. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1619176>
- da Silva AO, Bassoi LH & Silva DJ. 2017. Nitrate and potassium movement in a sandy loam soil cultivated with fertigated grapevine (*Vitis vinifera* L.) in the Brazilian semiarid. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(5): 1-14. <https://doi.org/10.1590/0100-29452018652>
- Siswanto. 2006. *Evaluasi Sumber Daya Lahan*. Surabaya (ID): UPN Press.
- Solly EF, Weber V, Zimmermann S, Walthert L, Hagedorn F & Schmidt MWI. 2020. A critical evaluation of the relationship between the effective cation exchange capacity and soil organic carbon content in Swiss forest soils. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3(98):1-12. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00098>
- Someus E & Pugliese M. 2018. Concentrated phosphorus recovery from food grade animal bones. *Sustainability*, 10(7):1-17. <https://doi.org/10.3390/su10072349>
- Suarjana IW, Supadma AAN & Arthagama IDM. 2015. Kajian status kesuburan tanah sawah untuk menentukan anjuran pemupukan berimbang spesifik lokasi tanaman padi di Kecamatan Manggis. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 4(4):314-323
- Suntoro. 2003. Peranan bahan organik terhadap kesuburan tanah dan upaya pengelolaannya. Pidato Pengukuhan Guru Besar Ilmu Kesuburan Tanah. Surakarta: Sebelas Maret University Press.
- Supandjono & Haryono 1993. *Peta geologi lembar Banggai*, Sulawesi-Maluku
- Suswati D, Hendro B, Shiddieq D & Indradewa D. 2011. Identifikasi sifat fisik lahan gambut Rasau Jaya III Kabupaten Kubu Raya untuk pengembangan jagung. *Jurnal Perkebunan dan Lahan Tropika*, 1(2):31-40. <http://dx.doi.org/10.26418/plt.v1i2.408>
- Sutedjo MM & Kartasapoetra AG. 2010. *Pengantar ilmu tanah terbentuknya tanah dan tanah pertanian*. Jakarta (ID): Rineka Cipta.
- Syofiani R, Putri SD & Karjunita N. 2020. Karakteristik sifat tanah sebagai faktor penentu potensi pertanian di Nagari Silokek Kawasan Geopark Nasional. *Jurnal Agrium* 17(1): 1-6

- Thuynsma R, Kleinert A, Kossmann J, Valentine AJ & Hills PN. 2016. The effects of limiting phosphate on photosynthesis and growth of *Lotus japonicas*. *South African Journal of Botany*, 104(2016):244-248. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.03.001>
- Trakal L, Neuberg M, Tlustoš P, Száková J, Tejnecký V & Drábek O. 2011. Dolomite limestone application as a chemical immobilization of metal-contaminated soil. *Plant, Soil and Environment*, 57(4):173-179. <https://doi.org/10.17221/408/2010-PSE>
- Virzelina S, Gindo T & Hasriati N. 2017. Kajian status unsur hara Cu dan Zn pada lahan padi sawah irigasi semi teknis (Studi Kasus: Di Desa Sri Agung Kecamatan Batang Asam Kabupaten Tanjung Jabung Barat). *Jurnal Agroecotenia*, 2(1):11-26
- Widyantari DAG, Susila KD & Tatiek K. 2015. Evaluasi status kesuburan tanah untuk lahan pertanian di Kecamatan Denpasar Timur. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 4(4):293-303
- Winarso S, Mandala M, Sulistiyowati H, Romadhona S, Hermiyanto B & Subchan W. 2020. The decomposition and efficiency of NPK-enriched biochar addition on Ultisols with soybean. *Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 17(1):35-41. <https://doi.org/10.20961/stjssa.v17i1.37608>
- Winarso, S. 2005. *Kesuburan Tanah, Dasar Kesehatan dan Kualitas Tanah*. Yogyakarta (ID): Gava Media. 350 hal.
- Wyciszkievicz M, Saeid A, Górecki H & Chojnacka K. 2015. New generation of phosphate fertilizer from bones, produced by bacteria. *Open Chemistry*, 13(1):951-958. <https://doi.org/10.1515/chem-2015-0113>
- Yagoub SO, Ahmed WMA & Mariod AA. 2012. Effect of Urea, NPK and compost on growth and yield of soybean (*Glycine max* L.), in semi-arid region of Sudan. *ISRN Agronomy*, 2012(1-2):1-6. <https://doi.org/10.5402/2012/678124>
- Zaffar M & Lu SG. 2015. Pore size distribution of clayey soils and its correlation with soil organic matter. *Pedosphere*, 25(2):240-249. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60009-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60009-1)