

Status Kualiti Tanah di Pulau Orang Utan Bukit Merah, Perak, Semenanjung Malaysia

(Soil Quality Status in Bukit Merah Orang Utan Island, Perak, Peninsular Malaysia)

SITI NORSYUHADA KAMALUDDIN¹, WAN MOHD. RAZI IDRIS^{2,*}, SALMAH YAAKOP¹, ZULFAHMI ALI RAHMAN²
TUKIMAT LIHAN² & BADRUL MUNIR MD-ZAIN¹

¹Jabatan Sains Biologi dan Bioteknologi, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM
Bangi, Selangor, Malaysia

²Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM
Bangi, Selangor, Malaysia

Diserahkan: 7 Mei 2024/Diterima: 19 November 2024

ABSTRAK

Penyelidikan ini bertujuan untuk menilai status kualiti tanah di Pulau Orang Utan Bukit Merah (BMOUI), memfokuskan kepada ciri fiziko-kimia, kandungan nutrien dan kepekatan logam berat. BMOUI adalah satu-satunya pusat pemuliharaan dan pemuliharaan orang utan yang terdapat di Semenanjung Malaysia. Sebanyak sepuluh stesen persampelan tanah atas (0-30 cm) telah diambil di BMOUI. Parameter ciri fiziko-kimia tanah yang dianalisis adalah taburan saiz zarah, bahan organik (BOT), pH, kekonduksian elektrik (KE), kapasiti pertukaran kation (KPK), kandungan nutrien tersedia (fosforus, kalium, magnesium) dan logam berat terpilih. Semua analisis fiziko-kimia, nutrien tersedia serta logam berat dalam tanah dilakukan mengikut kaedah penentuan yang piawai. Hasil analisis menunjukkan tekstur tanah didominasi oleh lempung berpasir. Kandungan bahan organik tanah dikelaskan sederhana berjulat antara 5.01 hingga 7.28%, kekonduksian elektrik 2383.33 hingga 2536.67±49.22 µS/cm manakala keupayaan pertukaran kation berjulat daripada 7.90 hingga 13.91 cmol/kg. Nilai pH tanah berjulat antara 3.87 hingga 6.28 iaitu sangat berasid hingga sederhana berasid, manakala kepekatan nutrien tersedia dikelaskan daripada sangat rendah hingga sederhana. Kepekatan logam berat berada di bawah paras normal yang dibenarkan di dalam tanah. Secara amnya tanah di BMOUI adalah sederhana sesuai bagi pertumbuhan tumbuhan dan pihak pengurusan perlu mengambil langkah yang bersesuaian untuk meningkatkan kesuburan tanah di kawasan berkenaan.

Kata kunci: Kualiti tanah; logam berat; nutrien tersedia; orang utan; *Pongo pygmaeus*

ABSTRACT

The study aimed to assess the soil quality at Bukit Merah Orang Utan Island (BMOUI), focusing on physico-chemical characteristics, nutrient content, and heavy metal concentrations. BMOUI is the sole Orang utans rehabilitation and conservation center in Peninsular Malaysia. A total of ten topsoil sampling stations (0-30 cm) were taken at BMOUI. The soil physico-chemical parameters analysed included particle size distribution, organic matter (BOT), pH, electrical conductivity (KE), cation exchange capacity (KPK), available nutrient content (phosphorus, potassium, magnesium), and selected heavy metals. All analyses were carried out according to available nutrients as well as heavy metals were performed according to standard determination methods. The results of the analysis show that the soil texture is dominated by sandy clay. The organic matter content of the soil is classified as moderate ranging from 5.01 to 7.28%, electrical conductivity varied between 2383.33 and 2536.67 ± 49.22 µS/cm, while cation exchange capacity ranged from 7.90 to 13.91 cmol/kg. Soil pH ranged from 3.87 to 6.28 indicating very acidic to moderately acidic conditions, while available nutrients were classified as very low to moderate. The concentration of heavy metals is below the normal permissible levels in the soil. Overall, the soil in BMOUI is moderately suitable for plant growth and the management needs to take appropriate measures to increase soil fertility in the area.

Keywords: Available nutrient; heavy metal; orang utan; *Pongo pygmaeus*; soil quality

PENDAHULUAN

Pulau Orang Utan Bukit Merah (BMOUI) Perak merupakan satu-satunya pusat pemuliharaan orang utan yang terletak di Semenanjung Malaysia. Keluasan pusat

ini dianggarkan lebih kurang 35 hektar merangkumi hutan hujan tropika. Sebanyak lima ekar tanah dijadikan sebagai kawasan kurungan luar orang utan. Pusat rehabilitasi ini mengamalkan konsep semula jadi dengan orang utan

terancam diletakkan di dalam kurungan besar yang sama seperti habitat semula jadi mereka. Pusat ini tidak hanya berfungsi sebagai eko-pelancongan iaitu memberi peluang kepada pelawat memerhati orang utan tetapi juga berfungsi sebagai penyelidikan pemuliharaan orang utan, tempat untuk pendidikan alam semula jadi serta rekreasi kepada orang awam (Dharmalingam, Hapiszudin & Roslan 2012; Hayashi et al. 2018).

Komponen asas abiotik seperti suhu, cahaya, tanah dan air saling berinteraksi antara satu sama lain bagi memastikan tumbuhan boleh beradaptasi dengan keadaan sekelilingnya (Barul 2022) dan haiwan seperti di habitat semula jadi (Inbar et al. 2014; Sherman, Ancrenaz & Meijaard 2020). Kualiti tanah yang baik dengan kepelbagaian dan kekayaan tumbuhan amat penting sebagai sumber kanopi, sumber makanan serta tempat bersarang bagi orang utan (Kelle et al. 2014; Milne et al. 2021; Vogel et al. 2015). Beberapa kajian yang dijalankan menunjukkan orang utan banyak menggunakan sumber hutan seperti pucuk daun, buah-buahan hutan dan pokok herba bagi memenuhi keperluan nutrien harian mereka (Havemann et al. 2001; Khamis 2010; Kuncoro 2004; Zulayti & Ang 2024). Orang utan juga direkodkan banyak menghabiskan masa mencari makanan di lapisan lantai hutan (Iqbar, Rosy Safriana & Fauziah 2024; Morrogh Bernard 2009).

Orang utan bergantung kepada kawasan hutan yang stabil, dinamik dan kompleks untuk bermandiri dengan baik (Yuliani et al. 2016). Keadaan hutan yang stabil dipengaruhi oleh kualiti tanah hutan yang baik (MacDonald et al. 2015; McBratney, Field & Koch 2014). Pengetahuan mengenai kualiti tanah merupakan elemen asas dalam mengetahui taburan, kepelbagaian dan kekayaan tumbuhan hutan (Inbar et al. 2014; Ushio, Kitayama & Balser 2010). Spesies tumbuhan di habitat semula jadi bukan sahaja penting sebagai sumber makanan malah sebagai sumber kanopi dan tempat bersarang bagi orang utan (Kuncoro 2004; Vogel et al. 2015).

Selain itu, orang utan mendapatkan mineral tambahan seperti Mn, Fe, Al, Cr, Co, Cu, Mg, Ca, Na dan K yang terdapat di dalam tanah (Abrahams 2013). Beberapa kajian yang dijalankan oleh Ampeng et al. (2016), Mahaney et al. (2016), Matsubayashi et al. (2011) dan Matsuda et al. (2015) menunjukkan orang utan lebih tertarik mengunjungi tanah yang kaya dengan sumber nutrien dan mineral. Kelakuan memakan tanah atau dikenali sebagai geofagi telah diamalkan oleh orang utan bagi memenuhi keperluan nutrien tambahan yang tidak terdapat dalam pemakanan harian mereka (Loken, Stephanie & Yaya 2013; Mahaney et al. 2016). Geofagi juga memainkan peranan penting dalam pengawalan nutrisi (Mahaney & Krishnamani 2003; Matsubayashi et al. 2007a, 2007b), membantu dalam sistem pencernaan serta sebagai rawatan farmaseutikal bagi haiwan (Klein, Frohlich & Krief 2008; Mahaney et al. 2016).

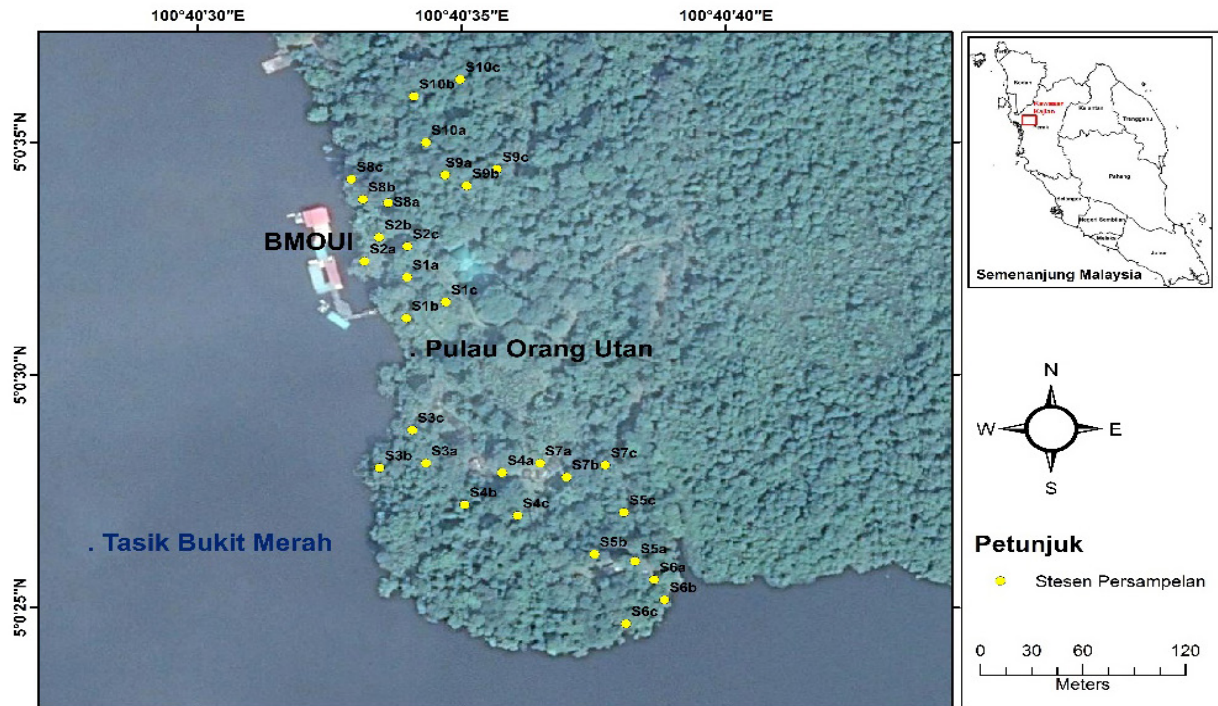
Kajian geofagi yang melibatkan pengukuran parameter fiziko kimia dan kepekatan mineral tanah amat terhad dijalankan ke atas orang utan berbanding dengan spesies

primat yang lain (Mahaney et al. 2016). Sebahagian besar kajian geofagi orang utan hanya melibatkan pengukuran mineral tanah yang tertentu seperti Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Zn (Ampeng et al. 2016) dan Mg, Na, Ca dan K (Matsubayashi et al. 2011; Matsuda et al. 2015). Perbezaan ciri fiziko-kimia dan kepekatan mineral tanah yang dimakan oleh orang utan Borneo dan Sumatra hanya direkodkan secara terperinci dalam kajian Stambolic-Robb (1997). Oleh itu, kajian ciri fiziko-kimia tanah Pulau Orang Utan Bukit Merah (BMOUI) telah dijalankan bagi menentukan status kualiti tanah sebagai keperluan sumber mineral, aktiviti terestrial serta pengurusan penanaman tumbuhan dalam kawasan kurungan luar orang utan.

BAHAN DAN KAEDAH

Persampelan tanah di BMOUI dilakukan menggunakan kaedah grid iaitu sampel tanah diambil berdasarkan sela antara 100-300 m. Sebanyak 30 sampel tanah diambil daripada 10 stesen persampelan dengan setiap stesen mempunyai tiga replikasi. Persampelan stesen dipilih mewakili setiap kawasan kurungan luar orang utan dan kawasan yang menjadi tumpuan bagi aktiviti arboreal dan terestrial orang utan. Sebanyak 500 g sampel tanah atas (0-20 cm) diambil menggunakan 'dutch auger'. Sampel tanah dimasukkan ke dalam beg plastik dan dilabelkan mengikut stesen persampelan masing-masing bagi analisis di makmal. Stesen persampelan dan koordinat pengambilan sampel ditunjukkan pada Rajah 1 dan Jadual 1.

Ciri tanah yang ditentukan di makmal adalah ciri fizik dan kimia, kandungan logam berat serta kandungan nutriennya. Sampel tanah dikeringkan dan dihancurkan kemudian diayak menggunakan pengayak bersaiz liang 2 mm. Ciri fizikal tanah seperti taburan saiz zarah ditentukan menggunakan kaedah pipet berserta ayakan kering manakala kandungan bahan organik tanah ditentukan menggunakan kaedah gravimetri berdasarkan kehilangan menerusi pembakaran (Avery & Bascomb 1982). pH tanah ditentukan dalam air suling dengan nisbah 1:2.5 bagi tanah:air suling (Metson 1956). pH tanah diukur menggunakan meter pH berelektrod kaca Model WTW INOLAB Level 1. Kekonduksian elektrik dalam ekstrak gipsu tepu ditentukan menggunakan alat meter kekonduksian Model H 18819 Hanna (Massey & Windsor 1977). Kation asid boleh tukar ganti Al^{3+} dan H^+ diekstrak dengan larutan KCl dan ditentukan secara titratan manakala kepekatan kation bes boleh tukar ganti K^+ , Na^+ , Ca^{2+} dan Mg^{2+} diekstrak menggunakan ammonium asetat dan seterusnya ditentukan menggunakan Spektroskopi Plasma Gandingan Aruhan-Spektrometer Jisim (ICP-MS) model Perkin Elmer Elan 900. Kapasiti Pertukaran Kation (KPK) diperolehi daripada penjumlahan kation bes dengan kation asid (McLean 1965). Nutrien fosforus (P), kalium (K) dan magnesium (Mg) tersedia diekstrak menggunakan pengekstrak asid ammonium asetat-asetik asid. Fosforus kemudiannya ditentukan menggunakan alat Spektrofotometer Ultra Lembayung Model Vis UV 1201



RAJAH 1. Stesen persampelan tanah di BMOUI

JADUAL 1. Koordinat stesen persampelan di BMOUI

Stesen	Maklumat Stesen	Latitude (N)	Longitude (E)
S1	ZP (Zon Penanaman)	05° 00' 32.1"	100° 40' 33.9"
S2	ZIA (Zon Ibu & Anak)	05° 00' 32.1"	100° 40' 33.9"
S3	Z1a (Zon Pelepasan 1)	05° 00' 28.1"	100° 40' 34.4"
S4	Z1b (Zon Pelepasan 2)	05° 00' 27.9"	100° 40' 35.9"
S5	Z2a (Zon Pelepasan 2)	05° 00' 26.0"	100° 40' 38.4"
S6	Z2b (Zon Pelepasan 2)	05° 00' 25.6"	100° 40' 38.5"
S7	Z3 (Zon Pelepasan 3)	05° 00' 28.1"	100° 40' 36.6"
S8	ZJWa (<i>Jungle Walk</i>)	05° 00' 33.7"	100° 40' 33.6"
S9	ZJWb (<i>Jungle Walk</i>)	05° 00' 34.3"	100° 40' 34.7"
S10	ZJWc (<i>Jungle Walk</i>)	05° 00' 35.0"	100° 40' 34.2"

yang dibaca pada jarak gelombang 660 nm (Murphy & Riley 1962). Kepekatan kalium dan magnesium tersedia ditentukan secara terus daripada larutan menggunakan Spektroskopi Plasma Gandingan Aruhan–Spektrometer Jisim (ICP-MS) model Perkin Elmer Elan 900. Kepekatan logam berat ferum (Fe), mangan (Mn), plumbum (Pb), kuprum (Cu), kromium (Cr), kadmium (Cd), kobalt (Co) dan zink (Zn) diekstrak menggunakan asid nitrik pekat (APHA 2005). Kepekatan logam berat di dalam larutan ekstrak ditentukan melalui alat Spektroskopi Plasma Gandingan Aruhan–Spektrometer Jisim (ICP-MS) model Perkin Elmer Elan 900.

HASIL DAN PERBINCANGAN

CIRI FIZIKAL TANAH

Ciri fizikal tanah yang telah dikaji ditunjukkan dalam Jadual 2. Nilai purata taburan saiz zarah tanah menunjukkan peratusan kandungan pasir yang tinggi diikuti dengan lempung dan kelodak. Peratusan pasir, lempung dan kelodak mempunyai sela purata antara $40.60 \pm 3.52\%$ hingga $55.44 \pm 0.86\%$, $38.43 \pm 1.76\%$ hingga $55.36 \pm 3.70\%$ dan $4.04 \pm 0.51\%$ hingga $9.25 \pm 2.58\%$. Tekstur tanah didominasi oleh lempung berpasir. Peratusan pasir paling tinggi adalah

di stesen 5, 6 dan 7. Keadaan ini dipengaruhi oleh faktor kedudukan stesen yang berhampiran dengan kawasan tasik berbanding stesen 2 yang terletak jauh dari tasik. Peratusan lempung dicatatkan lebih tinggi di stesen 9 kerana stesen ini berada lebih ke daratan dan jauh daripada tasik. Stesen 8 hingga stesen 10 merupakan kawasan hutan yang masih padat dengan tumbuhan kerana dijadikan sebagai kawasan *jungle walk* oleh pihak pengurusan BMOUI. Kandungan pasir yang agak tinggi berbanding lempung di kawasan air tasik memberi keupayaan kepada tanah untuk mengalirkan air dengan baik (Khairil et al. 2014). Namun, tekstur tanah berpasir mengandungi kelembapan dan unsur nutrien yang lebih rendah berbanding tanah lempung (Ketterings & Bigham 2000).

Kandungan bahan organik tanah (BOT) mempunyai sela purata antara $5.01 \pm 0.28\%$ hingga $7.28 \pm 0.70\%$. Stesen 8 mencatatkan nilai BOT paling tinggi manakala stesen 4 paling rendah. Menurut Acres et al. (1975), nilai BOT dikategorikan sebagai sederhana. Nilai bahan organik tanah (BOT) yang tinggi di stesen 8 mempengaruhi kepelbagaian dan kepadatan tumbuhan. Manakala, stesen 4 merupakan kawasan kurungan luar orang utan yang agak terdedah dan kurang dikelilingi tumbuhan. Tanah hutan yang padat dengan pelbagai tumbuhan mempunyai kandungan BOT yang tinggi disebabkan hasil daripada pereputan

tumbuhan, haiwan dan mikroorganisma yang telah mati. Ia juga sentiasa bertambah dengan pereputan ranting, dedaun dan buah-buahan (Hartatik, Husnain & Widowati 2015; Henderson 1995; Jurgensen et al. 1997).

CIRI KIMIA TANAH

Ciri kimia tanah ditunjukkan dalam Jadual 3. Nilai pH tanah mempunyai sela purata antara 3.87 ± 0.09 hingga 6.28 ± 1.11 . Nilai pH di kawasan kajian adalah sangat berasid hingga sederhana berasid berdasarkan pengelasan USDA (2001). Nilai pH paling rendah adalah di stesen 9. Kepadatan tumbuhan di stesen ini menyebabkan pengumpulan dan penguraian bahan organik seperti dedaun, ranting dan dahan tumbuhan. Proses penguraian yang perlahan menyebabkan asid dilepaskan di dalam tanah (Ramola 2016), manakala stesen 4 mempunyai nilai pH yang tinggi 6.28 kerana kawasan ini agak terdedah dan kurang diliputi oleh tumbuhan. Nilai pH yang rendah menyebabkan berlakunya kemerosoton nutrien dalam tanah. Keadaan ini mungkin mengehadkan pertumbuhan dan produktiviti tumbuhan (Hayakawa et al. 2013; Kochian, Hoekenga & Pineros 2004).

Kajian yang dijalankan di habitat semula jadi seperti Hutan Sungai Wain (Mahaney et al. 2016; Stambolic-Robb

JADUAL 2. Ciri fizikal tanah di BMOUI

Stesen		Kelodak %	Lempung %	Pasir %	Tekstur tanah	BOT %
S1	Purata	6.17	45.71	48.11	Lempung berpasir	6.68
	SP	1.51	4.85	3.52		0.83
S2	Purata	8.56	45.54	46.26	Lempung berpasir	6.03
	SP	3.37	3.70	2.87		0.64
S3	Purata	6.79	45.04	48.16	Lempung berpasir	5.23
	SP	2.56	5.47	3.89		0.72
S4	Purata	6.28	41.36	52.34	Lempung berpasir	5.01
	SP	5.00	8.02	4.97		0.28
S5	Purata	6.12	38.43	55.44	Lempung berpasir	5.88
	SP	0.90	1.76	0.86		0.40
S6	Purata	9.25	40.12	50.61	Lempung berpasir	6.14
	SP	2.58	7.31	4.77		0.85
S7	Purata	4.04	40.60	55.36	Lempung berpasir	5.55
	SP	0.51	3.52	3.70		0.58
S8	Purata	5.84	43.09	51.07	Lempung berpasir	7.28
	SP	0.63	4.52	4.69		0.70
S9	Purata	4.23	46.66	49.09	Lempung berpasir	7.11
	SP	1.35	0.56	1.77		0.53
S10	Purata	5.13	41.82	53.01	Lempung berpasir	6.35
	SP	0.54	4.16	4.67		0.24

1997), Hutan Tropika Brunei (Tripathi et al. 2016), Hutan Sepilok (Havemann et al. 2001) dan Sanktuari Hidupan Liar Lanjak Entimau (Ampeng et al. 2016) mencatatkan nilai purata pH 4.0. Spesies tumbuhan seperti tumbuhan herba dapat bermandiri dengan baik pada pH tanah yang rendah (Havemann et al. 2001). Kajian Khamis (2010) di BMOUI turut merekodkan tumbuhan herba seperti Tongkat Ali dan Kacip Fatimah yang menjadi sumber makanan kepada orang utan.

Kekonduksian elektrik (KE) tanah mempunyai sela purata antara 2383.33-68.48 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hingga 2536.67 $\pm$ 49.22 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Berdasarkan indeks KE oleh MAFF (1988), nilai ini adalah rendah. Nilai KE yang rendah di stesen 7 mungkin disebabkan oleh faktor peratusan nilai lempung yang sedikit rendah berbanding stesen 8. Menurut Chaudhari et al. (2013), tanah yang kurang peratusan lempung menyebabkan kemerosotan kekonduksian elektrik dan kelembapan dalam tanah.

Nilai kapasiti pertukaran kation (KPK) mempunyai sela purata antara 7.90 $\pm$ 0.16 $\text{cmol}_\text{c}/\text{kg}$ hingga 13.91 $\pm$ 3.99 $\text{cmol}_\text{c}/\text{kg}$. Nilai KPK ini dikategorikan rendah (Landon 1991). Menurut Rengasamy dan Churchman (1999), faktor yang mempengaruhi nilai KPK adalah tekstur tanah, pH

dan bahan organik tanah. Nilai KPK yang rendah mungkin dipengaruhi oleh tekstur tanah yang didominasi oleh pasir berbanding lempung. Tanah berpasir menyebabkan berlakunya pencairan kation yang dilepaskan keluar daripada tanah (Siswanto, Krisnayani & Utomo 2012). Tanah lempung mempunyai cas negatif menyebabkan kation mudah tertarik oleh zarah lempung. Kemerosotan nilai KPK juga dipengaruhi oleh bahan organik yang rendah pada tanah berpasir (Tan 2005). Nilai KPK yang rendah menunjukkan tanah mudah mengalami larut lesap (Siswanto, Krisnayani & Utomo 2012; Stambolic-Robb 1997) dan keupayaan tanah untuk membekalkan nutrien kepada tumbuhan akan berkurangan (Beldin et al. 2007). Proses larut resap yang aktif menyebabkan kation asid meningkat dan tapak pertukaran kation di dalam tanah dikuasai oleh kation asid (Wan-Razi 2012).

Kepekatan kandungan fosforus tersedia dalam tanah mempunyai sela purata antara 0.76 $\pm$ 0.17 mg/kg hingga 2.72 $\pm$ 0.54 mg/kg . Menurut Acres et al. (1975), kepekatan fosforus tersedia ini sangat rendah. Nilai yang rendah ini disebabkan oleh keupayaan tanah yang tinggi dalam mengikat unsur P dengan kandungan seiskuoksida. Selain itu, faktor pH tanah yang rendah turut menyebabkan

JADUAL 3. Ciri kimia tanah di BMOUI

Stesen		pH (1:2:5)	KE $\mu\text{S}/\text{cm}$	KPK $\text{meq}/100\text{g}$	P mg/kg	Mg ²⁺ mg/kg	K ⁺ mg/kg
S1	Purata	4.30	2426.67	9.37	2.32	39.29	397.94
	SP	0.04	24.94	0.48	0.04	6.46	22.98
S2	Purata	5.21	2366.67	10.36	1.69	54.65	379.16
	SP	0.58	37.71	0.65	0.38	20.82	21.30
S3	Purata	4.99	2326.67	9.72	1.45	28.88	345.67
	SP	0.62	23.57	0.33	0.64	5.56	9.89
S4	Purata	6.28	2326.67	13.91	1.03	65.82	362.02
	SP	1.11	47.84	3.99	0.15	37.01	12.75
S5	Purata	4.93	2356.67	9.11	1.16	25.14	347.94
	SP	0.13	12.47	0.72	0.36	3.99	9.11
S6	Purata	4.21	2403.33	8.71	2.03	47.10	358.21
	SP	0.03	23.57	0.97	0.52	19.25	16.54
S7	Purata	4.96	2283.33	7.90	0.76	23.78	355.99
	SP	0.21	40.28	0.16	0.17	6.90	9.37
S8	Purata	4.01	2536.67	8.95	2.72	27.13	361.66
	SP	0.05	49.22	0.01	0.54	2.99	8.89
S9	Purata	3.87	2383.33	8.86	1.95	22.69	339.19
	SP	0.09	68.48	0.34	0.29	0.89	6.01
S10	Purata	4.09	2460.00	9.31	2.14	39.47	347.22
	SP	0.10	0.00	0.56	0.58	13.59	9.86

kandungan fosforus tidak mencukupi kerana Al^{3+} telah mengikat unsur P (Digvijay, Dhanai & Khanduri 2015; Kram, Hruska & Shanley 2012; Wan-Razi 2012). Tumbuhan lebih mudah memerangkap fosfat yang tidak terikat kerana sebatianannya tidak larut dalam asid atau air dalam tanah (Kram, Hruska & Shanley 2012; Tan 2005). Kepekatan fosforus yang terlalu tinggi di kawasan hutan hujan tropika boleh merencatkan pertumbuhan tumbuhan (Dalling et al. 2016; Imai, Kitayama & Titin 2012).

Kepekatan kandungan magnesium tersedia dalam tanah mempunyai sela purata antara 22.69 ± 0.89 mg/kg hingga 65.82 ± 37.01 mg/kg. Berdasarkan pengelasan Acres et al. (1975) magnesium di BMOUI adalah rendah hingga tinggi. Kepekatan magnesium di stesen 9 dipengaruhi oleh nilai pH yang lebih rendah berbanding stesen 4. Menurut Cakmak dan Yazici (2010) dan Rosenstock et al. (2016), kepekatan magnesium yang lebih rendah di dalam tanah disebabkan oleh beberapa faktor seperti pH tanah yang berasid, suhu yang rendah, keadaan tanah kering dan persaingan yang tinggi oleh ion seperti kalium dan kalsium. Tanah berasid juga meningkatkan kecenderungan magnesium untuk meruap kerana faktor kekurangan tapak pertukaran kation (KPK) yang lebih rendah (Joy et al. 2013; Ramola 2016).

Kepekatan kalium tersedia dalam tanah mempunyai sela purata antara 339.19 ± 6.01 mg/kg hingga 397.94 ± 22.98 mg/kg. Menurut ADAS (2010), kalium tersedia dikategorikan dalam indeks 3 iaitu sederhana hingga tinggi. Nilai paling tinggi di stesen 1 dipengaruhi oleh peratusan lempung dan nilai KPK yang tinggi berbanding stesen 9. Tanah lempung mempunyai keupayaan untuk memegang ion bercas positif seperti ion K^+ (Alfaro, Jarvis & Gregory 2006; Shakeri 2018). Manakala, KPK menyediakan tapak yang lebih banyak bagi pertukaran ion K^+ di dalam tanah (Scherer, Goldbach & Clemens 2003; Zhang et al. 2009).

KANDUNGAN LOGAM BERAT

Kandungan logam berat Fe, Mn, Cu, Cr, Co, Ni, Zn, Pb dan Zn ditunjukkan dalam Jadual 4. Kepekatan logam berat Fe mempunyai sela purata antara 15663.52 ± 3836.43 mg/kg hingga 35702.12 ± 960.93 mg/kg. Nilai kepekatan Fe di BMOUI berada di paras normal bagi purata dalam tanah (40000 mg/kg) (Bowen 1979). Logam Fe hadir dalam bentuk yang kompleks bagi tanah yang kaya dengan bahan organik (Kabata-Pendias & Pendias 2011; Yamazaki et al. 2010). Logam ini wujud dalam bentuk sebatian kelat dalam tanah yang kaya dengan bahan organik. Sebatian ini berfungsi dalam mengawal pergerakan Fe dalam tanah dan sekali gus membekalkan tumbuhan dengan unsur Fe (Kabata-Pendias & Pendias 2011). Selain itu, Fe juga wujud dalam bentuk zarah kecil seperti oksida dan hidroksida dan bergabung dengan mineral lain di atas permukaan tanah (Tan 2005). Ferum aktif bergerak bebas dalam tanah yang berasid tetapi wujud secara sementara (Sahibin, Tukimat & Wan Mohd. Razi 2008).

Kepekatan logam Mn mempunyai sela purata antara 6.98 ± 0.54 mg/kg hingga 22.75 ± 8.57 mg/kg. Nilai

kepekatan paling tinggi adalah di stesen 4 dan terendah di stesen 7 dan dikelaskan normal bagi purata dalam tanah (1000 mg/kg) (Bowen 1979) dan di bawah aras berpotensi toksik dalam tanah (1500 - 3000 mg/kg) (Kabata-Pendias & Pendias 2011). Kepekatan Mn dalam tanah dipengaruhi oleh nilai pH dan proses pengoksidaan (Kabata-Pendias & Pendias 2011). Pengangkutan Mn dalam floem tumbuhan adalah rendah disebabkan pengikatan molekul organik. Logam Mn yang diserap juga bergantung kepada spesies tumbuhan, bahagian tumbuhan dan pertumbuhannya. Kebiasaannya, penyerapan Mn meningkat bagi tumbuhan yang lebih matang (Kabata-Pendias 2010).

Kepekatan logam Cu dalam tanah mempunyai sela purata antara 1.18 ± 0.02 mg/kg hingga 6.25 ± 5.95 mg/kg. Nilai kepekatan Cu berada di paras normal bagi purata dalam tanah (30 mg/kg) (Bowen 1979) dan di bawah aras berpotensi toksik dalam tanah (60 - 125 mg/kg) (Kabata-Pendias & Pendias 2011). Pergerakan logam Cu di dalam tanah dipengaruhi oleh kandungan bahan organik dan nilai pH di dalam tanah. Nilai pH tanah yang berasid menyebabkan pergerakan logam Cu adalah rendah (Wan-Razi et al. 2005). Kepekatan Cu dalam tumbuhan dipengaruhi oleh pergerakan Cu dalam tanah dan sifat fisiologi tumbuhan. Pergerakan logam ini rendah dalam tumbuhan kerana terikat dengan nitrogen dan protein menyebabkan berlaku kekurangan unsur Cu mengakibatkan nekrosis pada daun (Printz et al. 2016).

Kepekatan logam Cr dalam tanah mempunyai sela purata antara 24.07 ± 6.18 mg/kg hingga 59.81 ± 2.42 mg/kg. Nilai kepekatan Cr adalah di paras normal bagi purata dalam tanah (70 mg/kg) (Bowen 1979) dan di bawah aras berpotensi toksik dalam tanah (75 - 100 mg/kg) (Kabata-Pendias & Pendias 2011). Menurut Adriano (2001), kepekatan logam Cr^{6+} tersedia bagi tumbuhan adalah rendah dan sangat tidak stabil di dalam tanah. Keadaan ini menyebabkan Cr sukar ditranslokasi dan hanya tertumpu di bahagian akar. Kebanyakan kajian menunjukkan tiada hubungan yang jelas antara logam Cr dengan metabolisme tumbuhan (Gomes et al. 2017; Hayat et al. 2012). Namun, Ghosh dan Singh (2005) dan Zayed dan Terry (2003), menyatakan kepekatan Cr yang rendah mampu merangsang pertumbuhan dan produktiviti tumbuhan.

Kepekatan logam Co dalam tanah adalah rendah dengan sela purata antara 0.08 ± 0.02 mg/kg hingga 0.38 ± 0.13 mg/kg. Nilai kepekatan Co berada di paras normal bagi purata dalam tanah (8.0 mg/kg) (Bowen 1979) dan di bawah aras berpotensi toksik dalam tanah (25 - 50 mg/kg) (Kabata-Pendias & Pendias 2011). Faktor penting yang mengawal komposisi dan kelakuan Co dalam tanah adalah kandungan bahan organik dan lempung. Logam Co mempunyai ikatan yang kuat dengan mineral lempung serta dipegang oleh bahan organik tanah (Sahibin, Tukimat & Wan Mohd. Razi 2008). Kepekatan Co di dalam tumbuhan dipengaruhi oleh faktor tanah dan keupayaan tumbuhan untuk menyerap logam ini (Kabata-Pendias & Pendias 2001). Unsur ini berperanan dalam proses pertumbuhan seperti batang, pemanjangan koleoptail dan cakera daun. Namun, terdapat

beberapa spesies tumbuhan yang mengakumulasi logam ini sehingga mengakibatkan fitotoksik (Kabata-Pendias & Pendias 2011; Minz et al. 2018).

Kepekatan logam Ni dalam tanah mempunyai sela purata antara 1.23 ± 0.20 mg/kg hingga 3.53 ± 0.35 mg/kg. Nilai kepekatan Ni adalah di paras normal bagi purata dalam tanah (50 mg/kg) (Bowen 1979) dan di bawah aras berpotensi toksik dalam tanah (100 mg/kg) (Kabata-Pendias & Pendias 2011). Logam Ni wujud secara semula jadi pada kepekatan yang rendah. Ia wujud dalam bentuk ion Ni^{2+} yang mudah dijerap oleh tumbuhan. Logam ini memainkan peranan penting dalam membentuk enzim, asimilasi nitrogen serta penurunan nitrat (Lai 2004). Kepekatan Ni yang rendah boleh merencatkan pertumbuhan tumbuhan (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007).

Kepekatan logam Zn dalam tanah mempunyai sela purata antara 6.55 ± 0.58 mg/kg hingga 15.61 ± 2.70 mg/kg. Kepekatan Zn paling tinggi dicatatkan di stesen 4 manakala stesen 7 terendah. Nilai kepekatan Zn berada di paras normal bagi purata dalam tanah (90 mg/kg) (Bowen 1979) serta di bawah aras toksik dalam tanah (100 mg/kg) (Kabata-Pendias & Pendias 2011). Kandungan bahan organik yang rendah dan pH yang berasid mempengaruhi

kebolehdapatan logam Zn di dalam tanah. Apabila nilai pH rendah dalam tanah, kebolehdapatan Zn akan meningkat kerana keterlarutan Zn kepada kation Zn^{2+} semakin tinggi (Kabata-Pendias & Pendias 2011). Tumbuhan mengalami kekurangan Zn apabila kepekatan kurang daripada 20 mg/kg. Tumbuhan akan mengalami ketoksikan Zn pada kepekatan melebihi 300-400 mg/kg (Vitosh, Warncke & Lucas 1994). Ketoksikan yang tinggi menyebabkan daun dan akar tumbuhan mengalami kecacatan (Celik et al. 2005).

Kepekatan logam Pb dalam tanah mempunyai sela antara 3.80 ± 1.03 mg/kg hingga 10.18 ± 5.84 mg/kg. Nilai kepekatan Pb di BMOUI adalah di paras normal bagi purata dalam tanah (35 mg/kg) (Bowen 1979) serta berada di bawah aras berpotensi toksik dalam tanah (70-400 mg/kg) (Kabata-Pendias & Pendias 2011). Menurut Kabata-Pendias dan Pendias (2011), kepekatan logam Pb yang baik bagi tumbuhan ialah antara 2-6 mg/kg. Akar tumbuhan menyerap Pb dengan sangat perlahan menyebabkan logam ini banyak terkumpul di bahagian akar (Fahr et al. 2013; Kabata-Pendias & Mukherjee 2007).

Kepekatan logam Cd dalam tanah mempunyai sela purata di bawah had pengesanan (bdl) hingga

JADUAL 4. Nilai kepekatan logam berat di BMOUI

Stesen		Mn mg/kg	Fe mg/kg	Cu mg/kg	Cr mg/kg	Co mg/kg	Ni mg/kg	Zn mg/kg	Pb mg/kg	Cd mg/kg
S1	Purata	10.29	21885.98	1.76	38.68	0.13	2.68	10.48	8.10	0.01
	SP	0.71	2359.92	0.24	2.86	0.00	0.36	1.03	0.44	0.00
S2	Purata	14.99	20255.04	6.25	35.22	0.19	2.50	11.15	7.31	0.02
	SP	5.68	1925.96	5.95	5.29	0.07	0.31	2.64	0.59	0.01
S3	Purata	8.14	18609.63	1.75	31.20	0.09	1.88	8.65	5.32	bdl
	SP	0.78	1919.08	0.84	3.50	0.01	0.33	2.36	0.20	0.00
S4	Purata	22.75	26574.28	2.93	46.97	0.38	3.53	15.61	6.51	0.03
	SP	8.57	1930.70	1.00	4.89	0.13	0.35	2.70	0.82	0.01
S5	Purata	9.37	35702.12	1.60	59.81	0.15	2.94	10.73	5.42	0.01
	SP	0.48	960.93	0.08	2.42	0.01	0.17	0.85	0.21	0.01
S6	Purata	15.01	20300.52	2.00	36.15	0.24	2.35	13.76	10.18	0.01
	SP	1.98	4562.20	0.50	8.20	0.02	0.58	0.77	5.84	0.00
S7	Purata	6.98	15663.52	3.65	24.07	0.08	1.23	6.55	3.80	bdl
	SP	0.54	3836.43	3.35	6.18	0.02	0.20	0.58	1.03	bdl
S8	Purata	8.31	18973.64	1.45	33.65	0.11	2.36	8.53	4.70	bdl
	SP	1.04	2898.26	0.06	4.13	0.01	0.21	0.71	0.78	0.00
S9	Purata	8.30	22561.82	1.32	39.55	0.11	2.45	7.37	4.64	0.00
	SP	0.52	1277.73	0.08	1.38	0.01	0.18	0.42	0.32	0.00
S10	Purata	10.63	22043.43	1.18	40.86	0.13	2.30	6.74	3.92	0.00
	SP	0.93	3527.89	0.02	3.04	0.03	0.47	0.51	0.36	0.00

0.03±0.01 mg/kg. Kandungan logam ini di bawah had pengesanan kerana nilai Cd yang sangat rendah di BMOUI dan berada di paras normal bagi purata dalam tanah (0.35 mg/kg) (Bowen 1979) dan di bawah aras berpotensi toksik dalam tanah (20-50 mg/kg) (Kabata-Pendias & Pendias 2011). Nilai pH dan bahan organik mempengaruhi ketersediaan logam Cd terhadap tumbuhan (Wang & Zhang 2018). Selain itu, penyerapan logam Cd oleh tumbuhan turut dipengaruhi oleh spesies tumbuhan, aktiviti akar dan penanaman (Lebeau et al. 2002). Menurut Kabata-Pendias dan Pendias (2011) dan Song et al. (2016), walaupun Cd tidak memainkan peranan penting dalam tumbuhan namun ia diserap secara berkesan oleh akar dan daun.

KESIMPULAN

Tanah di kawasan BMOUI dikategorikan berasid berdasarkan nilai pH tanah yang rendah. Taburan saiz zarah tanah didominasi oleh pasir diikuti lempung dan kelodak dan mempunyai tekstur tanah lempung berpasir. Nilai bahan organik tanah, kekonduksian elektrik, kapasiti pertukaran kation dan nutrien tersedia (fosforus, kalium, magnesium) mempunyai sela kepekatan daripada sangat rendah, rendah, sederhana ke tinggi. Kepekatan logam berat Fe Mn, Cu, Cr, Co, Ni, Z, Pb dan Cd dikategorikan sebagai rendah dan berada pada paras normal dalam tanah. Secara amnya tanah di BMOUI adalah sederhana sesuai bagi pertumbuhan tumbuhan.

PENGHARGAAN

Penulis ingin merakamkan penghargaan kepada pihak Yayasan Pulau Orang Utan Bukit Merah dan Universiti Kebangsaan Malaysia yang menyediakan kemudahan prasarana untuk penyelidikan. Penyelidikan ini adalah sebahagian daripada penyelidikan aspek biologi orang utan yang telah diluluskan oleh Jabatan PERHILITAN Semenanjung Malaysia dengan permit (JPHL&TN(IP):100-6/1/14 Jld 2(40). Terima kasih juga kepada kakitangan Pulau Orang Utan Bukit Merah, En. Azman Hashim dan Mohd Fauzi Sayuti yang membantu di lapangan mahupun di dalam makmal. Kajian ini telah dibiayai oleh geran ST 2018-020 (Yayasan Emkay) dan ST-2022-027.

RUJUKAN

- Abrahams, P.W. 2013. Geophagy and the involuntary ingestion of soil. Dlm *Essentials of Medical Geology*, disunting oleh Selinus, O. Dordrecht: Springer. hlm. 433-454.
- Acres, B.D., Bowen, R.P., Burrough, P.A., Folland, C.J., Kalasi, M.S., Thomas, P. & Wright, P.J. 1975. *The Soils of Sabah: Classification and Description (with an Introduction to vol. 1-5)*. Jil. 1. England: Land Resources Division, Ministry of Overseas Development Tolworth Tower.
- ADAS. 2010. *Fertiliser Recommendations*. London: HMSO Publisher.
- Adriano, D.C. 2001. Arsenic. Dlm. *Trace Elements in Terrestrial Environments*. New York: Springer. hlm. 219-261.
- Alfaro, M.A., Jarvis, S.C. & Gregory, P.J. 2006. Factors affecting potassium leaching in different soils. *Soil Use and Management* 20(2): 182-189.
- Ampeng, A., Shukor, M.N., Sahibin, A.R., Idris, W.M.R., Ahmad, S., Mohammad, H., Madeline, G.P., Ali, N., Bujang, M., Hashim, I., Bujang, A. & Md-Zain, B.M. 2016. Patterns of mineral lick use by Northwest Bornean orangutans (*Pongo pygmaeus pygmaeus*) in the Lanjak Entimau Wildlife Sanctuary, Sarawak, Malaysia. *Eur. J. Wildl. Res.* 62: 147-150.
- APHA. 2005. *Standard Method for the Examination of Water and Wastewater*. Edisi ke-21. Washington: American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Avery, B.W. & Bascomb, C.L. 1982. Soil survey laboratory methods. *Soil Survey Technical Monograph No. 6*. Harpenden.
- Barul Azal. 2022. The role of biotic and abiotic components in biodiversity. *Journal of Biodiversity and Conservation Research* 1(1): 001-002.
- Beldin, S.I., Caldwell, B.A., Sollins, P., Sulzman, E.W., Lajtha, K. & Crow, S.E. 2007. Cation exchange capacity of density fractions from paired conifer/grassland soils. *Biology and Fertility of Soils* 43(6): 837-841.
- Bowen, H.J.M. 1979. *Environmental Chemistry of the Elements*. New York: Academic Press.
- Cakmak, I. & Yazici, A.M. 2010. Magnesium: A forgotten element in crop production. *Better Crops* 94(2): 23-25.
- Celik, A., Kartal, A.A., Akdoğan, A. & Kaska, Y. 2005. Determining the heavy metal pollution in Denizli (Turkey) by using *Robinio pseudo-acacia* L. *Environment International* 31(1): 105-112.
- Chaudhari, P.R., Ahire, D.V., Ahire, V.D., Chkravarty, M. & Maity, S. 2013. Soil bulk density as related to soil texture, organic matter content and available total nutrients of Coimbatore soil. *International Journal of Scientific and Research Publications* 3(2): 1-8.
- Dalling, J.W., Heineman, K., Lopez, O.R., Wright, S.J. & Turner, B.L. 2016. Nutrient availability in tropical rain forests: The paradigm of phosphorus limitation. Dlm. *Tropical Tree Physiology. Tree Physiology*, Vol 6, disunting oleh Goldstein, G. & Santiago, L. Switzerland: Springer, Cham.
- Dharmalingam, S., Hapiszudin, N.M. & Roslan, R. 2012. *The Orangutans of Bukit Merah*. Perak: Bukit Merah Orang Utan Island Foundation.

- Digvijay, R., Dhanai, C.S. & Khanduri, V.P. 2015. Variation in volume, biomass and carbon stocks in different deodar forests of Garhwal Himalaya. Tesis Sarjana, Uttrakhand University, Uttrakhand (tidak diterbitkan).
- Fahr, M., Laplaze, L., Bendaou, N., Hocher, V., El Mzibri, M., Bogusz, D. & Smouni, A. 2013. Effect of lead on root growth. *Frontiers in Plant Science* 4: 175.
- Ghosh, M. & Singh, S.P. 2005. Comparative uptake and phytoextraction study of soil induced chromium by accumulator and high biomass weed species. *Applied Ecology and Environmental Research* 3(2): 67-79.
- Gomes, M., Hauser-Davis, R., Suzuki, M. & Vitoria, A. 2017. Plant chromium uptake and transport, physiological effects and recent advances in molecular investigations. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 140: 55-64.
- Hartatik, W., Husnain, H. & Widowati, L.R. 2015. Peranan pupuk organik dalam peningkatan produktivitas tanah dan tanaman. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 9(2): 107-120.
- Havemann, T., Snaddon, J.L., Berge, L., Pillipson, C. & Williamson, P. 2001. Investigations in to soil characteristics, termite occupancy, litter invertebrate populations and size and densities of forest gaps in the Kabili-sepilok Forest Reserve Sabah, Malaysia. Expedition Report to Borneo University of Aberdeen.
- Hayakawa, C., Funakawa, S., Fujii, K., Kadono, A. & Kosaki, T. 2013. Effects of climatic and soil properties on cellulose decomposition rates in temperate and tropical forests. *Biol. Fertil. Soils* 50(4): 633-643.
- Hayashi, M., Kawakami, F., Roslan, R., Hapiszudin, N.M. & Dharmalingam, S. 2018. Behavioral studies and veterinary management of orangutans at Bukit Merah Orangutan Island, Perak, Malaysia. *Primates* 59(2): 135-144.
- Hayat, S., Khalique, G., Irfan, M., Wani, A.S., Tripathi, B.N. & Ahmad, A. 2012. Physiological changes induced by chromium stress in plants: An overview. *Protoplasma* 249: 599-611.
- Henderson, G.S. 1995. Soil organic matter: A link between forest management and productivity. Dlm. *Carbon Forms and Functions in Forest Soils*. USA: ACSESS Digital Library. hlm. 419-435.
- Imai, N., Kitayama, K. & Titin, J. 2012. Effects of logging on phosphorus pools in a tropical rainforest of Borneo. *Journal of Tropical Forest Science* 24(1): 5-17.
- Inbar, A., Lado, M., Sternberg, M., Tenau, H. & Ben-Hur, M. 2014. Forest fire effects on soil chemical and physicochemical properties, infiltration, runoff, and erosion in a semiarid Mediterranean region. *Geoderma* 221: 131-138.
- Iqbar, Rosy Safriana & Fauziah. 2024. Feeding behavior and diet preferences of Sumatran orangutans (*Pongo abelii* Lesson 1827) at Soraya Research Station, Mount Leuser National Park, Indonesia. *Biodiversitas* 25(4): 1788-1796.
- Joy, E.J., Young, S.D., Black, C.R., Ander, E.L., Watts, M.J. & Broadley, M.R. 2013. Risk of dietary magnesium deficiency is low in most African countries based on food supply data. *Plant and Soil* 368(1-2): 129-137.
- Jurgensen, M.F., Harvey, A.E., Graham, R.T., Page-Dumroese, D.S., Tonn, J.R., Larsen, M.J. & Jain, T.B. 1997: Impacts of timber harvesting on soil organic matter, nitrogen, productivity, and health of Inland Northwest forests. *Forest Science* 43: 234-251.
- Kabata-Pendias, A. 2010. *Trace Elements in Soils and Plants*. Boca Raton: CRC Press.
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. 2011. *Trace Elements in Soil and Plants*. Edisi ke-4. Boca Raton: CRC Press.
- Kabata-Pendias, A. & Mukherjee, A.B. 2007. *Trace Elements from Soil to Human*. Berlin: Springer Publisher.
- Kelle, D., Gartner, S., Pratje, P.H. & Storch, I. 2014. Reintroduced Sumatran orangutans (*Pongo abelii*): Using major food tree species as indicators of habitat suitability. *Folia Primatologica* 85(2): 90-108.
- Ketterings, Q.M. & Bigham, J.M. 2000. Soil color as an indicator of slash-and-burn fire severity and soil fertility in Sumatra, Indonesia. *Soil Science Society of America Journal* 64(5): 1826-1833.
- Khairil, M., Wan Juliana, W.A., Nizam, M.S. & Razi Idris, W.M. 2014. Soil properties and variation between three forest types in tropical watershed forest of Chini Lake, Peninsular Malaysia. *Sains Malaysiana* 43(11): 1635-1643.
- Khamis, S. 2010. Laporan akhir pemetaan dan inventori spesies pokok di Pulau Orang Utan Bukit Merah (BMOUI), Perak. Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Klein, N., Frohlich, F. & Krief, S. 2008. Geophagy: Soil consumption enhances the bioactivities of plants eaten by chimpanzees. *Naturwissenschaften* 95(4): 325-331.
- Kochian, L.V., Hoekenga, O.A. & Pineros, M.A. 2004. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Annu. Rev. Plant Biol.* 55: 459-493.
- Kram, P., Hruska, J. & Shanley, J.B. 2012. Streamwater chemistry in three contrasting monolithologic Czech catchments. *Applied Geochemistry* 27(9): 1854-1863.
- Kuncoro, P. 2004. Aktivitas harian orangutan Kalimantan (*Pongo pygmaeus* Linnaeus, 1760) rehabilitan di hutan lindung pegunungan Meratus, Kalimantan Timur. Tesis Sarjana, Universiti Udayana Denpasar, Indonesia (tidak diterbitkan).

- Landon, J.R. 1991. *Bookers Tropical Soil Manual*. London: Routledge.
- Lebeau, T., Bagot, D., Jezequel, K. & Fabre, B. 2002. Cadmium biosorption by free and immobilised microorganisms cultivated in a liquid soil extract medium: Effects of Cd, pH and techniques of culture. *Science of The Total Environment* 291(1-3): 3-83.
- Loken, B., Stephanie, S. & Yaya, R. 2013. Terrestriality in the bornean orangutan (*Pongo pygmaeus morio*) and implications for their ecology and conservation. *American Journal of Primatology* 75(11): 1129-1138.
- MacDonald, S.E., Landhausser, S.M., Skousen, J., Franklin, J., Frouz, J., Hall, S., Jacobs, D.F. & Quideau, S. 2015. Forest restoration following surface mining disturbance: Challenges and solutions. *New Forests* 46(5-6): 703-732.
- MAFF. 1988. *Agricultural Land classification of England and Wales*: Revised guidelines and criteria for grading the quality of agricultural land. Wales: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.
- Mahaney, W.C. & Krishnamani, R. 2003. Understanding geophagy in animals: Standard procedures for sampling soils understanding geophagy in animals: Standard procedures for sampling soils. *Journal of Chemical Ecology* 29(7): 1503-1523.
- Mahaney, W.C., Hancock, R.G.V., Aufreiter, S., Milner, M.W. & Voros, J. 2016. Bornean orangutan geophagy: Analysis of ingested and control soils Bornean orangutan geophagy: Analysis of ingested and control soil. *Environmental Geochemistry and Health* 38(1): 51-64.
- Massey, D.M. & Winsor, G.W. 1977. Some aspects of the nutrition of tomatoes grown in recirculating solution. *In Symposium on Production of Protected Crops in Peat and Other Media*. hlm. 121-132.
- Matsubayashi, H., Ahmad, A.H., Wakamatsu, N., Nakazono, E., Takyu, M., Majalap, N., Lagan, P. & Sukor, J.R.A. 2011. Natural licks use by orangutans and conservation of their habitats in Bornean tropical production forest. *Raffles Bulletin of Zoology* 59: 109-115.
- Matsubayashi, H., Lagan, P., Majalap, N., Tangah, J., Sukor, J.R.A. & Kitayama, K. 2007a. Importance of natural licks for mammals in Bornean inland tropical rain forests. *Ecological Research* 22: 742-748.
- Matsubayashi, H., Lagan, P., Sukor, J.R.A. & Kitayama, K. 2007b. Seasonal and daily use of natural licks by sambar deer (*Cervus unicolor*) in a Bornean tropical rain forest. *Tropics* 17: 81-86.
- Matsuda, I., Anrenaz, M., Yoshihiro, A., Augustine, T., Noreen, M. & Bernard, H. 2015. Natural licks are required for large terrestrial mammals in a degraded riparian forest, Sabah, Borneo, Malaysia. *Ecological Research* 30: 191-195.
- McBratney, A., Field, D.J. & Koch, A. 2014. The dimensions of soil security. *Geoderma* 213: 203-213.
- McLean, E.O. 1965. Aluminium. Dlm. *Methods of Soil Analysis: Pt 2. Chemical and Microbiological Properties*, disunting oleh Norman, A.G. American Society of Agronomy, Inc. hlm. 978-998.
- Metson, A.J. 1956. *Methods of Chemical Analysis for Soil Survey Soils*. New Zealand Department of Scientific and Industrial Research.
- Milne, S., Martin, J.G.A., Reynolds, G., Vairappan, C.S., Slade, E.M., Brodie, J.F., Wich, S.A., Williamson, N. & Burslem, D.F.R.P. 2021. Drivers of Bornean orangutan distribution across a multiple-use tropical landscape. *Remote Sensing* 13(3): 458.
- Minz, A., Sinha, A.K., Kumar, R., Kumar, B., Dee, K.P. & Kumar, S.B. 2018. A review on the importance of cobalt in crop growth and production. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 7: 2978-2998.
- Morrogh-Bernard, H.C. 2009. Orang utan behavioural ecology in the Sabangau peat-swamp forest, Borneo. Tesis Dr. Fal, Universiti Cambridge, UK (tidak diterbitkan).
- Murphy, J. & Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta.* 27: 31-36.
- Printz, B., Lutts, S., Hausman, J.F. & Sergeant, K. 2016. Copper trafficking in plants and its implication on cell wall dynamics. *Frontiers In Plant Science* 7: 601.
- Rengasamy, P. & Churchman, G.J. 1999. Cation exchange capacity, exchangeable cations and sodicity. Dlm. *Soil Analysis: An Interpretation Manual*, disunting oleh Peverill, K.I., Sparrow, L.A. & Reuter, D.J. Collingwood, Victoria: CSIRO Publishing. hlm. 147-157.
- Ramola, G.C. 2016. Changes in the population structure, growing stock and physico-chemical properties of soil in different Deodar Forests of Garhwal Himalaya: A revisitation study over 15 years. Tesis Sarjana, Universitas Uttarakhand, India (tidak diterbitkan).
- Rosenstock, N.P., Berner, C., Smits, M.M., Kram, P. & Wallander, H. 2016. The role of phosphorus, magnesium and potassium availability in soil fungal exploration of mineral nutrient sources in Norway spruce forests. *New Phytologist* 211(2): 542-553.
- Sahibin, A.R., Tukimat, L. & Wan Mohd. Razi, I. 2008. Physico-chemical characteristics of primary forest soil at Danum Valley Conservation Area. Dlm. *Danum Valley Conservation Area: Physical, Biological & Social Environments*, disunting oleh Din, L., Yahya, M., Norhayati, A., Nizam, M.S., Sinun, W. & Latiff, A. Kuala Lumpur: Jabatan Perhutanan Semenanjung Malaysia. hlm. 52-57.

- Scherer, H.W., Goldbach, H.E. & Clemens, J. 2003. Potassium dynamics in the soil and yield formation in a long-term field experiment. *Plant Soil and Environment* 49(12): 531-535.
- Shakeri, S. 2018. Effect of soil buffering capacity and clay minerals on the rate coefficient of non-exchangeable potassium release. *Malaysian Journal of Soil Science* 22: 59-75.
- Sherman, J., Ancrenaz, M. & Meijaard, E. 2020. Shifting apes: Conservation and welfare outcomes of Bornean orangutan rescue and release in Kalimantan, Indonesia. *Journal for Nature Conservation* 55: 125807.
- Siswanto, B., Krisnayani, B.D. & Utomo, W.H. 2012. Rehabilitation of artisanal gold mining land in West Lombok, Indonesia: Characterization of overburden and the surrounding soils. *Journal of Geology and Mining Research* 4(1): 1-7.
- Song, L., Chen, J., Islam, E., Ying, W., Wu, J., Ye, Z., Yan, W., Peng, P. & Liu, D. 2016. Cadmium-induced oxidative stress, response of antioxidants and detection of intracellular cadmium in organs of moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) seedlings. *Chemosphere* 153: 107-114.
- Stambolic-Robb, A. 1997. Geophagy among Free ranging Sumatran orang-utans (*Pongo pygmaeus abelii*) of Gunung Leuser National Park and ex-captive Bornean orang-utans (*Pongo pygmaeus pygmaeus*) of Sungai Wain Forest, Indonesia. Tesis Sarjana, University of York, UK (tidak diterbitkan).
- Tan, K.H. 2005. *Soil Sampling, Preparation, and Analysis*. Boca Raton: CRC Press.
- Tripathi, B.M., Song, W., Slik, J.W.F., Sukri, R.S., Jaafar, S., Dong, K. & Adams, J.M. 2016. Distinctive tropical forest variants have unique soil microbial communities, but not always low microbial diversity. *Frontiers in Microbiology* 7: 376.
- USDA. 2001. *Soil Quality Information Sheet*. USA: Department of Agricultural, Natural Resources Conservation Service.
- Ushio, M., Kitayama, K. & Balser, T.C. 2010. Tree species affect soil enzyme activities through effects on soil physicochemical and microbial properties in a tropical montane forest on Mt. Kinabalu, Borneo. *Pedobiologia* 53(4): 227-233.
- Vitosh, M.L., Warncke, D.D. & Lucas, R.E. 1994. *Zinc Determine of Crop and Soil*. Michigan: Michigan State University Extension.
- Vogel, E.R., Harrison, M.E., Zulfa, A., Bransford, T.D., Alavi, S.E., Husson, S., Morrogh Bernard, H., Firtsman, T., Utami-Atmoko, S.S., van Noordwijk, M.A. & Farida, W.R. 2015. Nutritional differences between two orangutan habitats: Implications for population density. *PLoS ONE* 10(10): e0138612.
- Wang, M. & Zhang, H. 2018. Accumulation of heavy metals in roadside soil in urban area and the related impacting factors. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15(6): 1064.
- Wan-Razi, I. 2012. Analisis profil alam sekitar di bekas lombong Tembaga Mamut dan Empangan Lohan, Ranau, Sabah. Tesis Dr. Fal, Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam, Universiti Kebangsaan Malaysia (tidak diterbitkan).
- Wan-Razi, I., Sahibin, A.R., Zulfahmi, A.R., Nazura, N., Azman, H. & Shahrilnizam, Y. 2005. Ciri fiziko-kimia tanah substrat *Eurycoma longifolia* di Hutan Simpan Bukit Belata. Dlm. *Bukit Belata, Selangor: Pengurusan, Persekitaran Fizikal, Kepelbagaian Biologi dan Sosio-ekonomi*, disunting oleh Muda, A., Koh, H.L., Nik Mustafa, N.M.S., Nawi, S.A. & Latiff, A. Selangor: Jabatan Perhutanan Semenanjung Malaysia. hlm. 62-71.
- Yamazaki, S., Takeda, S., Torii, E., Suzuki, S., Shimizu, M. & Kurotori, H. 2010. Pedological analysis of geophagic behaviours in captive Borneo Orangutan (*Pongo pygmaeus*). *Primate Research* 26(1): 59-66.
- Yuliani, E.L., Adnan, H., Achdiawan, R., Bakara, D., Heri, V.A., Sammy, J., Salim, M.A. & Sunderland, T.C.H. 2016. The roles of traditional knowledge systems in orang-utan *Pongo* spp. and forest conservation: A case study of Danau Sentarum, West Kalimantan, Indonesia. *Oryx* 52(1): 156-165.
- Zayed, A.M. & Terry, N. 2003. Chromium in the environment: Factors affecting biological remediation. *Plant and Soil* 249(1): 139-156.
- Zhang, H., Xu, M., Zhang, W. & He, X. 2009. Factors affecting potassium fixation in seven soils under 15-year long-term fertilization. *Chinese Science Bulletin* 54(10): 1773-1780.
- Zulayti Zakaria & Ang Kean Hua. 2024. A comparative study based on observation approach on orangutans and proboscis monkeys in Sabah. *Sustainable Environmental Insight* 1(2): 108-120.

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: razi@ukm.edu.my