

## Endopedon yang Berkembang dari Batuan Ultrabasa di Desa Bentok Darat Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan

Ahmad Fahrezal\*, Syaifuddin, Meldia Septiana

Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat, Jalan Jenderal A. Yani KM 36 Simpang Empat, Banjarbaru 70714, Indonesia

\* Email penulis korespondensi: [1910513110013@mhs.ulm.ac.id](mailto:1910513110013@mhs.ulm.ac.id)

### Informasi Artikel

Received 07 Agustus 2024  
Accepted 22 November 2024  
Published 27 November 2024  
Online 27 November 2024

### Keywords:

Diagnostic horizon;  
Latosolization; Oxic horizon;  
Pedogenesis; Ultramafic rocks

### Abstract

Although ultramafic rocks are widespread in Indonesia and have the potential to influence soil properties, studies on the genesis and properties of soils formed from these rocks, especially to understand the characteristics of the lower defining horizon or endopedon, are still limited. This study aims to identify the endopedons formed, which developed from the ultrabasic rocks. This research is descriptive, soil profile points are determined by purposive sampling method by considering that points are true ultrabasic rock distribution. Observations made in this study include observations in the field and observations in the laboratory. The data from the description and laboratory analysis were used as reference for identifying endopedon. Endopedon determination refers to the Keys to Soil Taxonomy 2014, the twelfth edition. The oxic horizon in Profile-1 is found at a depth of 7 cm to 37 cm from the soil surface with the horizon codes B<sub>o</sub>. The Oxic horizon in Profile-2 is located at a depth of 20 cm to 106 cm from the soil surface with the horizon codes B<sub>o1</sub>, B<sub>o2</sub>. Latosolization is the process that causes the formation of the oxic horizon. The study site is also an area with a wet tropical climate that supports the formation of the oxic horizon.

### 1. Pendahuluan

Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari bebatuan yang telah mengalami serangkaian pelapukan oleh aspek-aspek alam. Proses tanah terbentuk dari bahan induk yang dipengaruhi oleh kinerja lima faktor yaitu: iklim, organisme, bahan induk, topografi, dan waktu (Hardjowigeno, 2003). Setelah tanah terbentuk, tanah akan mengalami perkembangan horizon. Perkembangan horizon terdapat empat proses, yaitu; penambahan, dapat berupa endapan sedimen, kehilangan, berupa proses pengangkutan bahan-bahan penyusun tanah atau erosi, transformasi, seperti perubahan bentuk, sifat atau fungsi suatu senyawa dalam tanah dan translokasi, contohnya adalah proses pencucian horizon E kemudian terakumulasi pada horizon B (Hanafiah, 2014).

Batuan ultrabasa di Indonesia memiliki sebaran yang cukup luas mencapai 3 juta ha meliputi wilayah Aceh, Sumatera Barat, Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Tengah, NTT, Maluku, Irian Jaya Barat, dan Papua (Sudarningsih dan Fahrudin, 2008). Batuan ultrabasa adalah batuan beku yang secara kimia mengandung kurang dari 45% SiO<sub>2</sub> dari komposisinya. Mineral penyusun utamanya didominasi oleh mineral berat seperti serpentin, olivin, piroksen, hornblende, biotit dan dengan kandungan unsur-unsur seperti Fe dan Mg yang disebut juga mineral mafik (Sambari, 2022).

Kajian terkait genesis tanah ini diperlukan untuk mengetahui proses-proses yang telah terjadi dalam tanah, inventarisasi sifat-sifat tanah juga dapat diperuntukan sebagai acuan terkait tanah sebagai media tumbuh tanaman maupun dengan sub-bidang ilmu tanah lainnya. Kompleksitas proses pembentukan dan perkembangan horizon tanah itu sendiri, serta keterbatasan penelitian yang memfokuskan pada kondisi spesifik tanah ultrabasa. Tanah ultrabasa memiliki kandungan SiO<sub>2</sub> rendah dan kaya akan mineral berat seperti olivin dan piroksen yang mempengaruhi struktur, daya dukung, dan potensi perkembangan horizon. Selain itu, penelitian lebih rumit karena perlu mengevaluasi pengaruh iklim, topografi, dan waktu terhadap tanah jenis ini secara mendalam, terutama untuk mengukur proses horizon seperti penambahan, kehilangan, transformasi, dan translokasi bahan-bahan tanah di lapisan tanah yang berbeda (Garnier et al., 2009)

Minimnya penelitian dan publikasi yang mendalam terkait perkembangan endopedon pada tanah yang berasal dari batuan ultrabasa, khususnya di wilayah Kalimantan Selatan. Meskipun batuan ultrabasa tersebar luas di

Indonesia dan berpotensi mempengaruhi sifat tanah, kajian tentang genesis dan sifat-sifat tanah yang terbentuk dari batuan ini, terutama untuk memahami karakteristik horizon penciri bawah atau endopedon masih terbatas, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memperkaya pemahaman tentang tanah ultrabasa di daerah tersebut. Maka dari itu penelitian ini untuk mengidentifikasi endopedon yang berkembang dari batuan induk ultrabasa di Desa Bentok Darat Kabupaten Tanah Laut.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus sampai bulan Oktober 2023. Penelitian berlokasi di Bukit Pendopo Desa Bentok Darat Kabupaten Tanah Laut (Koordinat Profil-1: 114°53'31.3" BT 03°34'07,7" LS; Profil-2: 114°53'29.1" BT 03°34'05.8" LS). Analisis tanah dilaksanakan di Laboratorium Kimia, Fisika, dan Biologi Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat.

Penelitian ini bersifat deskriptif, titik profil ditetapkan dengan metode contoh purposif dengan mempertimbangkan bahwa titik profil benar merupakan sebaran batuan ultrabasa (dibantu dengan Peta Geologi), profil dibuat pada dua lokasi dengan kemiringan lahan yang berbeda, dengan jenis penutupan lahan yang kurang lebih sama, yaitu semak belukar.

### 2.2. Pelaksanaan Penelitian

Pembuatan profil dilaksanakan setelah hasil pemeriksaan batuan di titik rencana pengamatan benar termasuk kelompok batuan ultrabasa dilihat dari mineral utama penyusunnya yang berupa serpentin, olivin, ortopiroksen, dan mineral oksida (Kurniadi et al., 2017). Profil-1 dibuat pada lahan kondisi kemiringan 25% dan Profil-2 pada lahan dengan kondisi kemiringan 10%. Masing-masing profil merupakan lubang galian tanah yang dibuat berukuran 1,0 m x 1,5 m dan kedalaman sampai dengan 1,5 m atau hingga batas tidak bisa digali lagi.

Pengamatan yang dilakukan pada penelitian ini mencakup pengamatan di lapangan dan pengamatan di laboratorium. Pengamatan di lapangan terdiri dari pengamatan lingkungan sekitar profil tanah dan pengamatan morfologi tanah. Pada profil tanah dilakukan pengamatan morfologi tanah yang meliputi warna, tekstur, struktur, konsistensi, batas horizon. Pengamatan morfologi selain untuk menetapkan horizon genetik sekaligus menjadi data yang diperlukan untuk menetapkan endopedon. Parameter analisis tanah di laboratorium menyesuaikan dengan kondisi morfologi tanah (yang akan memberikan petunjuk awal tentang kemungkinan endopedon yang terbentuk di tanah tersebut). Penetapan endopedon menggunakan pedoman *Keys to Soil Taxonomy*, 12th edition (Soil Survey Staff, 2014).

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Karakteristik Morfologi Tanah

Hasil deskripsi morfologi tanah di lokasi penelitian dengan kondisi kemiringan 25% dan kondisi kemiringan 10% dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Tabel 1 dan Tabel 2 menyajikan data warna, tekstur, struktur, konsistensi keadaan lembab dan keadaan basah, batas horizon kejelasan dan topografi, pH, Al-dd, H-dd, C-organik, KTK Efektif liat dan KTK liat, pada setiap horizon dalam profil tanah.

Tabel 1 menunjukkan data Profil-1 pada lahan kondisi kemiringan 25% dengan tiga horizon genetik, tebal solum 70 cm. Horizon A terdapat pada kedalaman 0-7 cm, dengan warna 5YR 3/4 (coklat gelap kemerahan). Tekstur tanah lempung berliat, struktur gumpal membulat, berukuran sangat halus dengan tingkat perkembangan lemah. Konsistensi tanah gembur pada kondisi lembab, agak lekat serta agak plastis pada kondisi basah. Hasil analisis laboratorium pada horizon A menunjukkan pH 6,22, Al-dd 0,57 cmol<sup>(+)</sup>kg<sup>-1</sup>, H-dd 0,20 cmol<sup>(+)</sup>kg<sup>-1</sup>, C-organik 1,87%, KTK Efektif liat 14,35 cmol<sup>(+)</sup>kg<sup>-1</sup>, dan KTK liat 24,90 cmol<sup>(+)</sup>kg<sup>-1</sup>.

Horizon B<sub>0</sub> terdapat pada kedalaman 7-37 cm, dengan warna 2,5YR 3/4 (coklat gelap kemerahan). Tekstur tanah lempung berliat, struktur gumpal membulat berukuran sangat halus dengan tingkat perkembangan lemah. Konsistensi tanah gembur pada kondisi lembab, agak lekat serta agak plastis pada kondisi basah. Hasil analisis laboratorium horizon B<sub>0</sub> menunjukkan pH 6,56, Al-dd 0,45 cmol<sup>(+)</sup>kg<sup>-1</sup>, H-dd 0,19 cmol<sup>(+)</sup>kg<sup>-1</sup>, C-organik 0,54%, KTK Efektif liat 9,67 cmol<sup>(+)</sup>kg<sup>-1</sup>, dan KTK liat 14,72 cmol<sup>(+)</sup>kg<sup>-1</sup>.

Tabel 1. Analisis fisika dan kimia tanah Profil-1

Lereng	Kode	Kedalaman (cm)	Batas Horizon		Warna	Tekstur	Struktur	Konsistensi	
			Kejelasan	Topografi				Lembab	Basah
25%	A	0 – 7	Baur	Berombak	5YR 3/4	LBi	1 GB SH	G	AL & AP
	B <sub>0</sub>	7 – 37	Baur	Berombak	2,5YR 3/4	LBi	1 GB SH	G	AL & AP
	BC	37 - 70	Baur	Rata	2,5YR 4/4	L	1 GB SH	G	L & P
	C	>70	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 1. Analisis fisika dan kimia tanah Profil-1 (lanjutan)

Lereng	Kode	pH H <sub>2</sub> O	Al-dd	H-dd	C-organik	KTK Efektif	KTK Liat
		(1:5)	(cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> )	(cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> )	(%)	(cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> )	(cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> )
25%	A	6,22	0,57	0,20	1,87	14,35	24,90
	B <sub>o</sub>	6,56	0,45	0,19	0,54	9,67	14,72
	BC	6,71	0,30	0,34	0,81	8,81	12,28
	C	-	-	-	-	-	-

Keterangan: Tekstur: LBi (Lempung Berliat), L (Liat); Struktur: 1 (Lemah), GB (Gumpal Membulat), SH (Sangat Halus); Konsistensi: “Lembab” G (Gembur); “Basah” AL (Agak Lekat), L (Lekat), AP (Agak Plastis), P (Plastis)

Horizon BC terdapat pada kedalaman 37-70 cm, dengan warna 2,5YR 4/4 (coklat kemerahan). Tekstur tanah liat, struktur tanah gumpal membulat berukuran sangat halus dengan tingkat perkembangan lemah. Konsistensi tanah gembur pada kondisi lembab, lekat serta plastis pada kondisi basah. Hasil analisis laboratorium Horizon BC menunjukkan pH 6,71, Al-dd 0,30 cmol<sup>(+)</sup>kg<sup>-1</sup>, H-dd 0,34 cmol<sup>(+)</sup>kg<sup>-1</sup>, C-organik 0,81%, KTK Efektif liat 8,81 cmol<sup>(+)</sup>kg<sup>-1</sup>, dan KTK liat 12,28 cmol<sup>(+)</sup>kg<sup>-1</sup>.

Tabel 2. Analisis fisika dan kimia tanah Profil-2

Lereng	Kode	Kedalaman (cm)	Batas Horizon		Warna	Tekstur	Struktur	Konsistensi	
			Kejelasan	Topografi				Lembab	Basah
10%	A	0 – 4	Baur	Berombak	5YR 4/6	LLBp	1 GS SH	G	AL & TP
	AB	4 – 20	Jelas	Berombak	5YR 4/6	LBi	1 GB SH	G	AL & AP
	B <sub>o1</sub>	20 – 52	Baur	Berombak	2,5YR 3/4	L	1 GB SH	G	L & P
	B <sub>o2</sub>	52 – 106	Baur	Rata	2,5YR 4/6	L	2 GB SH	SG	L & P
	C	>106	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 2. Analisis fisika dan kimia tanah Profil-2 (Lanjutan)

Lereng	Kode	pH H <sub>2</sub> O	Al-dd	H-dd	C-organik	KTK Efektif	KTK Liat
		(1:5)	(cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> )	(cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> )	(%)	(cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> )	(cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> )
10%	A	6,10	0,73	0,52	1,40	15,90	22,15
	AB	6,12	0,58	0,67	1,12	14,12	18,55
	B <sub>o1</sub>	6,37	0,59	0,52	0,59	7,78	14,91
	B <sub>o2</sub>	6,76	0,29	0,34	0,68	7,39	14,59
	C	-	-	-	-	-	-

Keterangan: Tekstur : LLBp (Lempung Liat Berpasir), LBi (Lempung Berliat), L (Liat); Struktur : 1 (Lemah), 2 (Sedang), GB (Gumpal Membulat), GS (Gumpal Menyudut), SH (Sangat Halus); Konsistensi: “Lembab” G (Gembur), SG (Sangat Gembur); “Basah” AL (Agak Lekat), L (Lekat), TP (Tidak Plastis), AP (Agak Plastis), P (Plastis)

Tabel 2 menunjukkan data Profil-2 pada lahan kondisi kemiringan 10% dengan empat horizon genetik tebal solum 106 cm. Hasil deskripsi menunjukkan pada horizon A terdapat pada kedalaman 0-4 cm dengan warna 5YR 4/6 (merah kekuningan). Tekstur tanah lempung liat berpasir, struktur tanah gumpal menyudut berukuran sangat halus dengan tingkat perkembangan lemah. Konsistensi tanah gembur pada kondisi lembab, agak lekat serta tidak plastis pada kondisi basah. Hasil analisis laboratorium menunjukkan horizon A memiliki pH 6,10, Al-dd 0,73 cmol<sup>(+)</sup>kg<sup>-1</sup>, H-dd 0,52 cmol<sup>(+)</sup>kg<sup>-1</sup>, C-organik 1,40%, KTK Efektif liat 15,90 cmol<sup>(+)</sup>kg<sup>-1</sup>, dan KTK liat 22,15 cmol<sup>(+)</sup>kg<sup>-1</sup>. Horizon AB terdapat pada kedalaman 4-20 cm dengan warna 5YR 4/6 (merah kekuningan). Tekstur tanah lempung berliat, struktur gumpal membulat berukuran sangat halus dengan tingkat perkembangan lemah. Konsistensi tanah gembur pada kondisi lembab, agak lekat serta agak plastis pada kondisi basah. Hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa horizon AB memiliki pH 6,12, Al-dd 0,58 cmol<sup>(+)</sup>kg<sup>-1</sup>, H-dd 0,67 cmol<sup>(+)</sup>kg<sup>-1</sup>, C-organik 1,12%, KTK Efektif liat 14,12 cmol<sup>(+)</sup>kg<sup>-1</sup>, dan KTK liat 18,55 cmol<sup>(+)</sup>kg<sup>-1</sup>.



Sub horizon pada Profil-1 dan Profil-2 tidak dapat ditetapkan sebagai horizon Argilik karena tidak ditemukan selaput liat serta tidak terdapat peningkatan liat yang signifikan. Sub horizon pada Profil-1 dan Profil-2 tidak dapat ditetapkan sebagai horizon Kalsik karena tidak ditemukan lapisan iluviasi karbonat sekunder. Sub horizon pada Profil-1 dan Profil-2 tidak dapat ditetapkan sebagai horizon Kambik karena tidak ditemukan ciri warna dengan value 3 atau kurang dan warna netral tanpa hue, serta dengan kroma 0. Sub horizon pada Profil-1 dan Profil-2 tidak dapat ditetapkan sebagai horizon Duripan karena Duripan adalah horizon bawah permukaan tersementasi-silika (Bockheim, 2014), tidak ditemukan horizon berupa padas yang bersifat keras akibat sementasi. Sub horizon pada Profil-1 dan Profil-2 tidak dapat ditetapkan sebagai horizon Fragipan karena tidak ada 60% atau lebih dari volume horizonnya memiliki kelas resistensi teguh atau lebih teguh. Sub horizon pada Profil-1 dan Profil-2 tidak dapat ditetapkan sebagai horizon Glosik karena tidak ditemukan bahan albik yang menyusun 15-85% horizon (Bockheim, 2015). Sub horizon pada Profil-1 dan Profil-2 tidak dapat ditetapkan sebagai horizon Gipsik karena tidak terdapat senyawa gypsum yang telah terakumulasi pada horizon. Sub horizon pada Profil-1 dan Profil-2 tidak dapat ditetapkan sebagai horizon Kandik karena tidak memiliki batas atas dalam jarak vertikal 15 cm atau kurang yang mengalami peningkatan kandungan liat 20% atau lebih dari horizon di atasnya, serta kandungan karbon organik yang tidak menurun secara teratur. Sub horizon pada Profil-1 dan Profil-2 tidak dapat ditetapkan sebagai horizon Natrik karena tidak ada horizon iluviasi liat yang signifikan dan tidak memiliki Na dapat ditukar sebesar 15% atau lebih. Sub horizon pada Profil-1 dan Profil-2 tidak dapat ditetapkan sebagai horizon Ortstein karena tidak ditemukan pada suatu lapisan yang 50% atau lebih tersementasi (Chodorowski, 2011).

Tahapan dalam pencocokan Kunci Taksonomi dengan syarat-syarat dan data penelitian berhenti pada kunci horizon Oksik. Horizon Oksik pada Kunci Taksonomi Tanah yaitu memiliki syarat sebagai, lapisan tanah dengan ketebalan 30 cm atau lebih, kelas tekstur fraksi tanah-halus adalah lempung berpasir, atau yang lebih halus, dalam jarak vertikal 15 cm atau lebih dari batas atas kejelasannya baur, terdapat peningkatan liat dengan bertambahnya kedalaman, memiliki jumlah KTK sebesar  $16 \text{ cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$  liat atau kurang, KTK Efektif  $12 \text{ cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$  liat atau kurang. Horizon Oksik pada Profil-1 berada pada kedalaman 7-37 cm dari permukaan tanah, dan horizon Oksik pada Profil-2 berada pada kedalaman 20-106 cm dari permukaan tanah.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa ditemukan endopedon Oksik pada tanah yang berkembang dari bahan induk batuan ultrabasa di Desa Bentok Darat Kabupaten Tanah Laut. Profil-1 terdapat pada kedalaman 7-37 cm dari permukaan, Profil-2 terdapat pada kedalaman 20-106 cm dari permukaan.

#### Daftar Pustaka

- Anda, M., Suharta, N., Ritung, S. 2000. Perkembangan tanah dari lapukan batuan sedimen, granit dan ultrabasis di Provinsi Kalimantan Selatan: I. Komposisi mineral dan berbagai sifat kimia. *Jurnal Tanah dan Iklim* 18, 1-12.
- Badan Pusat Statistik. 2021. *Provinsi Kalimantan Selatan Dalam Angka, 2021*. Badan Pusat Statistik, Kalimantan Selatan.
- Bockheim, J.G. 2015. Distribution and origin of glosic horizons in soils of the western Great Lakes Region, USA. *Geoderma Regional* 5, 226-236. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2015.08.004>
- Bockheim, J.G. 2014. Duripan Horizon and Durinodes. In: *Soil Geography of the USA*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-06668-4\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-06668-4_14)
- Chen, L., Luo, Y., Tang, J., Zhang, X., Liu, H., Cui, J., Zheng, J., Dong, X. 2024. Determination of optimum solum thickness of sloping cropland for maize plantation in an Entisol based on water use strategy and plant traits. *Agricultural Water Management* 299, 108867. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108867>
- Chodorowski, J. 2011. Ortstein, Physical Properties. In: Gliński, J., Horabik, J., Lipiec, J. (eds) *Encyclopedia of Agrophysics. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-3585-1\\_252](https://doi.org/10.1007/978-90-481-3585-1_252)
- Dayal, G., Bharose, D., Kushwaha, R.K. 2024. *Basic Introduction of Soil Science*. Insta Publishing, India.
- Fanning, D.S., Fanning, M.C.B. 1989. *Soil Morphology, Genesis, and Classification*. John Wiley and Sons, New York.
- Garnier, J., Quantin, C., Guimarães, E., Garg, V.K., Martins, E.S., Becquer, T. 2009. Understanding the genesis of ultramafic soils and catena dynamics in Niquelândia, Brazil. *Geoderma* 151(3-4), 204-214. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.04.020>

- Haldar, S.K. 2017. *Platinum-Nickel-Chromium Deposits: Geology, Exploration and Reserve Base*, Elsevier Inc, Netherland.
- Hanafiah, K.A. 2014. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. PT Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Hardjowigeno S. 2003. *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis*. Akademi Pressindo, Jakarta.
- Király, C., Cseresznyés, D., Magyar, N., Hatvani, I.G., Egedy, T., Szabó-Krausz, Z., Udvardi, B., Jakab, G., Varga, G., Szalai, Z. 2023. The role of water and weathering processes in landslides in Hungarian loess sediments. *Hydrology* 10, 81. <https://doi.org/10.3390/hydrology10040081>
- Kurniadi, A., Rosana, M.F., Yuningsih, E.T., Pambudi, L. Karakteristik batuan asal pembentukan endapan nikel laterit di daerah Madang dan Serakaman Tengah. *Geoscience Journal* 1(2), 149-163.
- Michel, R., Ammar, M.R., Porier, J., Simon, P. 2013. Phase transformation characterization of olivine subjected to high temperature in air. *Ceramics International* 39(5), 5287-5294. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.12.031>
- Sambari, V.E.G. 2022. Karakteristik kimia dan mineralogi pada lapukan batuan ultrabasa sekitar Danau Towuti Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan. *Sibatik Journal* 1(4), 473-480.
- Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*, 12th Edition. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, USA.
- Sudarningsih, Fahrudin. 2008. Penggunaan metoda difraksi sinar X dalam menganalisa kandungan mineral pada batuan ultra basa Kalimantan Selatan. *Jurnal Fisika FLUX* 5(2), 165-173.
- Wilson, M.J. 2004. Weathering of the primary rock-forming minerals: processes, products and rates. *Clay Minerals* 39, 233-266. <https://doi.org/10.1180/0009855043930133>
- Zhu, X., Han, Y., Liu, P., Li, Y. 2022. Reduction mechanism of the porous hematite in limonite ore magnetization roasting. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 45(2), 85–90. <https://doi.org/10.1080/08827508.2022.2121920>