

Kajian perlakuan larut lesap Cu, Cr, Ni, Pb dan Zn dalam tanah laterit dari Ranau, Sabah

Study on leaching behaviour of Cu, Cr, Ni, Pb, and Zn in lateritic soil from Ranau, Sabah

BABA MUSTA¹, HAMZAH MOHAMAD², MOHAMAD MD. TAN², ANIZAN ISAHAK² DAN OSAMA TWAIQ²

¹Sekolah Sains dan Teknologi, Universiti Malaysia Sabah
88999 Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia

²Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 Bangi, Selangor, Malaysia

Abstrak: Perlakuan larut resap logam-logam berat iaitu Cu, Cr, Ni, Pb, dan Zn dalam tanah laterit dikaji dengan menggunakan ujian larut lesap. Sampel laterit dilarut lesapkan dengan asid pH 3.2 pada tekanan 15 psi. Kandungan kelimpahan logam-logam berat dalam laterit dan cecair larut resapan dianalisis menggunakan kaedah spektrometer serapan atom (AAS). Keputusan analisis profil migrasi bagi logam-logam Ni, Cr, Cu, Pb dan Zn menunjukkan nilai yang lebih tinggi pada bahagian bawah profil laterit. Ini menunjukkan ada berlakunya migrasi atau larut lesap logam-logam daripada bahagian atas kebahagian bawah. Ini juga disokong oleh analisis kandungan kepekatan cecair larut resap yang mana menunjukkan kandungan Cr dan Ni yang tinggi. Profil migrasi bagi Cu, Pb, dan Zn pula didapati sangat rendah kandungannya dalam cecair larut lesap kerana nilai dalam tanah lateritik asal yang sangat rendah. Analisis struktur miktro dalam tanah asal laterit menunjukkan kehadiran mineral bersudut yang kebanyakannya terdiri daripada goethit, hematit dan gibsit. Mineral-mineral tersebut didapati mengalami proses pelarutan dan jelas ditunjukkan oleh struktur permukaan yang berubah menjadi sub-bulat oleh mikrograf elektron pengimbas (SEM).

Abstract: The leaching behaviour of heavy metals namely Cu, Cr, Ni, Pb and Zn in lateritic soil were studied using the leaching test. The lateritic soil were leached with acid pH 3.2 at the pressure of 15 psi. The concentration of heavy metals in lateritic soil and leachate were analysed using Atomic Absorption Spectrometer (AAS) method. The result of migration profiles analysis for Ni, Cr, Cu, Pb and Zn metals shows the heavy metals concentration was high in the bottom part. This indicates the migration or leaching process of heavy metals from the top to the bottom part. This is also supported by results from the analysis of leachate sample, which indicates the high concentrations of Cr and Ni. The migration profile of Cu, Pb, and Zn are very low in leachate due to the very low concentration in the original lateritic soil. The microstructural analysis on lateritic soil shows the appearance of angular minerals mainly goethite, hematite and gibbsite. These minerals are found to be dissolved and clearly seen with the formation of sub-angular on the surface structure in the scanning electron micrographs (SEM).

PENGENALAN

Laterit atau umumnya lebih dikenali sebagai tanah merah terdapat dengan meluas di kawasan tropika. Tanah ini terbentuk hasil daripada luluhawa batuan igneus khususnya batuan basik dan ultrabasik. Di Malaysia laterit daripada luluhawa batuan ultrabasik tersingkap dengan meluas di Ranau dan Telupid, Sabah. Batuan ultrabasik di Ranau yang dipetakan oleh Jacobson (1970) disenaraikan dalam jujukan ofiolit. Batuan ini telah mengalami episod tektonik yang aktif menghasilkan sungkupan, sesaran dan lineasi. Aktiviti tektonik juga menyebabkan batuan ultrabasik yang terdapat pada jujukan bawah ofiolit tersingkap ke permukaan dan terdedah kepada agen luluhawa menghasilkan profil luluhawa batuan yang tebal. Semasa proses luluhawa, mineral-mineral utama dalam batuan ultramafik seperti klorit, serpentin, talk, dan biotit

mengalami penguraian dan dalam masa yang sama berlaku pemendakan oksida besi (Philippe and Farah, 2000). Akibatnya berlaku pengayaan pengayaan oksida besi dan alumina; sebaliknya silika semakin berkurangan. Himpunan mineral dalam laterit biasanya terdiri daripada goethit, hematit, aluminium hidroksida, kaolinit dan kuarza (Schellmann, 1981).

Pembentukan tanah laterit juga mempengaruhi pemendakan dan larut lesap logam-logam surih dalam tanah. Kajian perlakuan luluhawa logam-logam surih dalam profil luluhawa batuan ultrabasik menunjukkan berlaku pengayaan logam-logam Cr, Ni, Zn, Cu dan Pb pada bahagian atas profil laterit (Zeissink, 1971). Kajian yang dijalankan oleh Baba *et al.* (2002), mendapati kandungan kepekatan kromium dalam tanah ultrabasik di Ranau Sabah mencapai 2.5% manakala nikel ialah 2.2%. Kandungan kimia dan mineral batuan induk, kandungan mineral sekunder dan

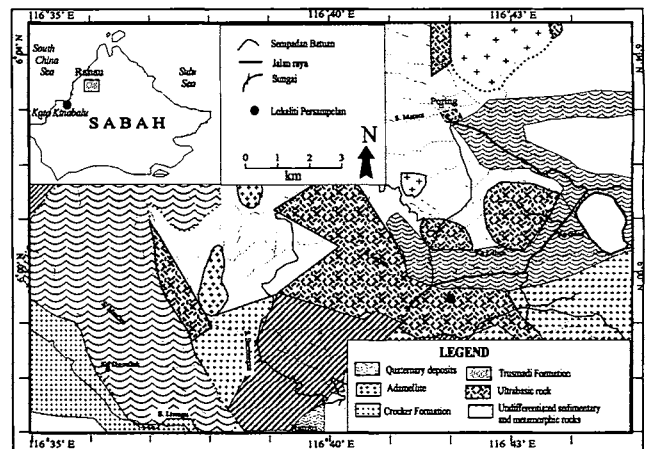
darjah perubahan luluhawa adalah antara faktor yang mengawal kandungan logam-logam surih dalam profil laterit (Mordberg, 1996). Proses-proses pengumpulan logam hasil daripada pemendakan mempengaruhi potensi tanah laterit sebagai alternatif sumber logam bernilai. Tanah laterit boleh menjadi simpanan laterit yang terbesar dan menjadi aset utama dalam perlombongan (Colin *et al.*, 1990; Eliopoulos and Economou, 2000). Dari segi pemisahan logam dalam tanah laterit, kaedah larut lesap tekanan asid biasa digunakan. Keupayaan kedah ini untuk memisahkan logam-logam pernah dilaporkan oleh pengkaji terdahulu (Das *et al.*, 1997; Rubisov, *et al.*, 2000; Rubisov and Papangelakis, 2000). Kajian yang diperolehi menunjukkan penggunaan asid yang murah dan mudah diperolehi pada tekanan dan suhu tinggi berjaya memisahkan Ni daripada laterit.

Dalam kajian ini ujian larut lesap digunakan untuk melihat dan meramal perlakuan larut lesap logam-logam berat dalam sampel tanah laterit. Kaedah ini dipilih kerana ujikaji ini membenarkan persentuhan antara sampel tanah dan logam-logam yang lebih banyak berbanding di lapangan. Perlakuan larut lesap logam dalam tanah dianalisis menggunakan profil migrasi logam dengan kedalaman profil dan kandungan logam-logam dalam cairan larut lesap. Oleh itu objektif kajian ini ialah melihat perlakuan larut lesap logam Cu, Cr, Ni, Pb dan Zn semasa dilarut lesapkan menggunakan asid. Data yang diperolehi ini adalah penting sebagai data asas bagi migrasi logam-logam tersebut dalam sekitaran berasid. Pemerhatian terhadap mikro struktur sebelum dan selepas ujian larut lesap juga dijalankan.

BAHAN DAN KAEDAH KAJIAN

Sampel

Sampel tanah laterit untuk kajian ini diperolehi daripada profil luluhawa batuan ultrabasik di Ranau, Sabah (Rajah 1). Tanah laterit berwarna coklat gelap, kandungan air 38% dan umumnya bersaiz halus tetapi terdapat juga lapisan-lapisan kerak besi yang keras terutama di bahagian permukaan. Keputusan analisis saiz butiran ditunjukkan dalam Rajah 2. Taburan saiz butiran sampel ialah 29.2% pasir sederhana (0.20 mm-0.6 mm), 24.1% pasir halus (0.06-0.2 mm), 33.8% lodak (0.002-0.06 mm), dan 13.0% lempung (<0.002 mm). Sifat fizikal dan kimia laterit diringkaskan dalam Jadual 1. Jadual menunjukkan luas permukaan pori yang sangat halus dan luas permukaan spesifik yang tinggi. Kandungan bahan organik yang tinggi disebabkan sampel yang diambil hampir dengan permukaan iaitu pada kedalaman 0.5-5.0 m. Kandungan kepekatan unsur-unsur major menunjukkan $Fe_2O_3(T)$ dan Al_2O_3 , merupakan unsur yang paling melimpah dan diikuti oleh SiO_2 dan TiO_2 . Unsur-unsur major yang lain kurang daripada 1% (Jadual 2).



Rajah 1. Peta kawasan kajian menunjukkan taburan batuan ultrabasik dan lokaliti persampelan di Ranau, Sabah (ubahsuai daripada Jacobson, 1970).

Jadual 1. Ciri-ciri fiziko-kimia tanah laterit daripada Ranau, Sabah.

Fiziko-kimia	Nilai
Kandungan kelembatan (%)	38.31
pH	5.80
Lempung (%)	12.98
Lodak (%)	33.77
Pasir (%)	53.25
Bahan Organik (%)	13.42
SSA (m ² /g)	58.4727
Purata pori (A°)	10.7091
Kebolehtelapan (m/s)	2.52 x 10 ⁻⁷
W _{opt} (%)	25
Ketumpatan kering (mg/m ³)	1.55

Kaedah Ujikaji

Ujian Larut resap: Sel larut resap terdiri daripada pleksi kaca berbentuk silinder dengan ketinggian 150 mm dan diameter 100 mm. Bahagian atas dan bawah sel dibuat daripada bahan *Delrin*. Bahagian hujung sel terdiri daripada plat bertebuk dan kertas turas. Bahagian atas komponen sel dibentuk untuk laluan cecair dan tekanan gas. Ujikaji larut lesap dijalankan dibawah tekanan 15 psi dalam suhu bilik. Cecair menggunakan asid nitrik pada pH 3.2 dilarut lesapkan melalui sel dan cairan larut lesap dipungut setiap 1 isipadu pori (PV). Nilai PV dikira berdasarkan keporosan dan isipadu sampel. 1 PV sampel laterit adalah sama dengan 350 ml. Dalam kajian ini sebanyak 7 PV cecair telah digunakan atau bersamaan dengan 2.5 liter. Pada akhir ujian ini sampel dikeluarkan daripada sel, dibahagikan kepada empat lapisan yang masing-masing mewakili kedalaman 1.0 cm, 3.0 cm, 5.0 cm dan 7.0 cm. Nilai pH ditentukan sebaik sahaja pemisahan lapisan laterit yang telah dilarut lesapkan dibuat. Manakala kandungan kepekatan logam-logam surih dalam laterit dan dalam cairan larut lesap ditentukan menggunakan kaedah AAS.

Analisis Pendarflour sinar-X (XRF): Analisis XRF menggunakan peralatan 'Philips PW 1480 X-ray Digital'.

Jadual 2. Kandungan unsur-unsur major dalam tanah laterit sebelum ujian larut lesap (LPH) dan selepas larut lesap mengikut kedalaman LAc (0-8 cm).

Unsur Major (%)	LPH	LPH LAc (1 cm)	LPH LAc (3 cm)	LPH LAc (5 cm)	LPH LAc (7 cm)
SiO ₂	2.25	4.07	3.70	3.68	3.83
TiO ₂	0.87	0.72	0.74	0.74	0.73
Al ₂ O ₃	22.49	23.66	23.48	23.66	23.72
Fe ₂ O ₃ (T)	56.38	52.12	52.90	52.54	52.37
MnO	0.49	0.49	0.56	0.51	0.51
MgO	0.46	0.74	0.84	0.78	0.82
CaO	0.09	bdl	bdl	bdl	bdl
Na ₂ O	0.14	0.80	0.71	0.77	0.71
K ₂ O	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
P ₂ O ₅	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01
L.O.I	16.81	17.36	17.05	17.31	17.29
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

bdl: dibawah had pengesanan

Spektrometer pada alat ini dikawal melalui mikrokomputer perisian digital X 44'. Graf kalibrasi berdasarkan program 'Alphas on line'. Dalam kajian ini analisis XRF digunakan untuk menganalisis unsur-unsur major iaitu SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃(T), MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, dan P₂O₅ dalam tanah.

Analisis Spektrofotometer Serapan Atom (AAS): Kandungan kepekatan Cu, Cr, Ni, Pb dan Zn dalam cairan larut resap dan tanah yang telah dilarut lesapkan dianalisis menggunakan kaedah AAS. Peralatan AAS menggunakan Model 1400 Perkin Elmer.

Analisis Mikroskop Imbasan Elektron (SEM): Permukaan struktur mikro tanah laterit dikaji menggunakan peralatan SEM model Philips XL40. Sebelum imbasan dijalankan, permukaan segar tanah kering litupi dengan filem nipis emas untuk mengelak sebarang cas daripada jarak gelombang elektron. EDAX digunakan untuk mengenalpasti mineral.

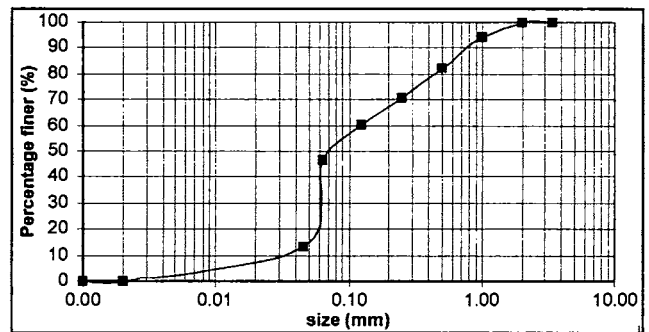
KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Nilai pH, profil-profil migrasi dalam sampel laterit yang telah dilarut lesapkan dan kepekatan logam-logam iaitu Cu, Cr, Ni, Pb, dan Zn dalam cecair yang larut lesap adalah seperti berikut:

pH

Nilai pH tanah laterit ditentukan menggunakan nisbah sampel dan air pada kadar 1:2.5. Sampel cecair larut lesap pula ditentukan secara terus, kecuali sampel yang mengandungi koloid yang perlu dituras terlebih dahulu. Nilai pH diberikan dalam setiap profil migrasi dan cecair larut resapan. Didapati bahawa selepas larut lesap 7 ruang pori nilai pH adalah berjulat diantara 4.0 dan 5.8 (Rajah 3 dan 4). Ini menandakan cecair yang digunakan mengandungi H⁺, yang tinggi. Nilai pH yang terendah dicatatkan pada bahagian atas profil laterit, kemudian meningkat dengan kedalaman profil laterit.

Rajah 4 menunjukkan cecair larut resap dalam keadaan asid lemah hingga neutral (6.4-7.1). Ini membuktikan

**Rajah 2.** Analisis saiz butiran sampel tanah laterit dari Ranau, Sabah.

bahawa tanah ini cuba untuk mengekalkan keadaan keseimbangan kimianya (kandungan H⁺). Ini juga menandakan bahawa laterit berupaya untuk menahan perubahan pH iaitu ia mempunyai keupayaan penampungan yang tinggi disepanjang proses larut lesap.

Kuprum

Umumnya kepekatan Cu dalam tanah terlarut resap adalah lebih rendah berbanding dengan tanah asal kecuali pada kedalaman 1.0 cm (149 ppm). Nilai Cu yang tinggi ini mungkin disebabkan tidak homogen dalam penyediaan sampel menyebabkan kepekatan yang lebih tinggi pada kedalaman 1.0 cm. Profil migrasi juga menunjukkan berlakunya proses larut lesap tetapi dalam amaun yang sedikit. Walau bagaimanapun Cu yang dianalisis dalam cecair larut lesap semuanya kurang daripada 0.01 ppm kecuali pada 4 PV yang mana nilainya ialah 0.02 ppm (Rajah 4).

Kromium

Kepekatan Cr adalah yang paling tinggi dalam tanah laterit iaitu 6,817 ppm. Profil migrasi Cr dalam tanah yang dilarut lesapkan dengan asid ditunjukkan dalam Rajah 3A. Didapati bahawa kepekatan adalah berkurangan sehingga kedalaman 3.0 cm sebelum bertambah sehingga kedalaman 7.0 cm. Kepekatan tertinggi dicatatkan pada kedalaman 1.0 cm iaitu bernilai 6,597 ppm. Nilai ini lebih rendah lagi

berbanding dengan nilai dalam tanah asal. Ini menunjukkan Cr telah mengalami proses larut resap kesan daripada tindakan larutan berasid. Kepekatan terendah adalah pada kedalaman 5.0 cm, Ini mungkin disebabkan proses larut lesap yang aktif pada kedalaman ini membolehkan Cr bergerak kebahagian kedalaman 7.0 cm atau keluar bersama cairan larut resapan. Analisis cairan larut lesap menunjukkan kepekatan Cr bertambah dengan PV (Rajah 4). Ini membuktikan kepekatan Cr bertambah dengan bertambahnya isipada asid yang dilarut lesapkan.

Nikel

Profil migrasi bagi Ni ditunjukkan dalam Rajah 3B. Rajah itu menunjukkan kepekatan nikel berkurangan dengan kedalaman hingga 3.0 cm sebelum bertambah semula hingga kedalaman 7.0 cm. Berbanding dengan kepekatan dalam tanah asal (1,913 ppm), semua kepekatan Ni adalah lebih rendah kecuali pada kedalaman 7.0 cm iaitu 2,597 ppm. Ini dipercayai disebabkan oleh proses larut lesap daripada bahagian atas kebahagian bawah profil. Analisis cecair larut lesap yang diplotkan dalam lengkung bulus (Rajah 3b) menunjukkan Ni adalah antara logam yang banyak mengalami proses larut lesap berbanding logam-logam yang lain. Nilai kepekatan tertinggi dicatatkan pada 1PV dan 5 PV (1.00 ppm) larutan larut resap sebelum berkurang hingga 7 PV.

Plumbum

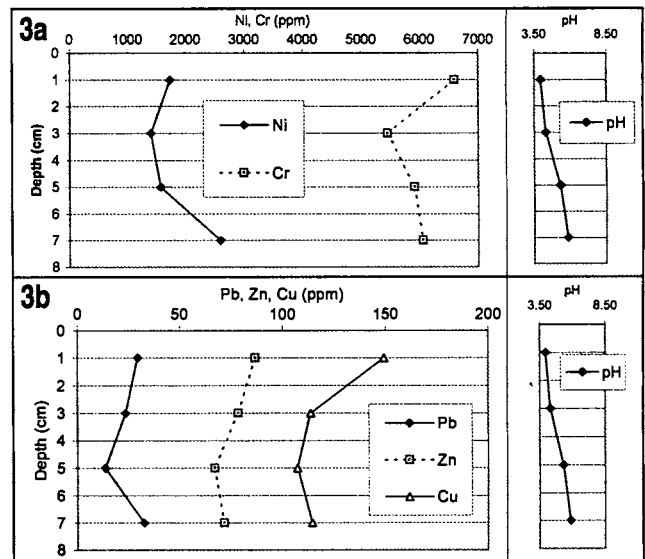
Rajah 3b menunjukkan plot graf kedalaman profil dengan kepekatan Pb dalam tanah laterit. Di dapati corak profil migrasi Pb hampir sama dengan Cu, dimana julat kepekatannya adalah diantara 14 hingga 33 ppm. Kepekatan tertinggi dicatatkan pada kedalaman 7.0 cm iaitu 33 ppm. Ini mencadangkan ada migrasi Pb daripada profil atas ke bahagian bawah. Analisis cecair larut resap juga menunjukkan semuanya kurang daripada 0.01 ppm kecuali 0.1 pada 2PV yang pertama. Ini mencadangkan terdapat sedikit migrasi Pb yang dapat dikesan dalam cecair larut lesap.

Zink

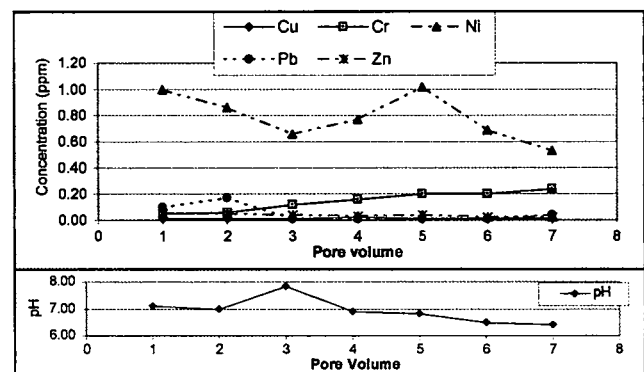
Profil migrasi Zn dalam tanah laterit yang telah mengalami larut resapan dengan asid ditunjukkan dalam Rajah 3B. Rajah dengan jelas menunjukkan kepekatan Zn berkurang beransur-ansur dengan kedalaman profil tanah hingga kedalaman 5.0 cm sebelum bertambah sedikit pada kedalaman 7.0 cm. Ini menunjukkan bahawa berlaku larut resap Zn dalam tanah laterit. Analisis kandungan cairan larut lesap menunjukkan kepekatan Zn dapat dikesan pada setiap PV namun dalam nilai kepekatan yang rendah (0.02-0.05 ppm). Nilai kepekatan Zn tertinggi di kesan pada 2PV yang pertama (0.05 ppm).

Kajian Mikrostruktur

Mikrostruktur tanah laterit sebelum dan selepas ujian larut lesap pada ditunjukkan dalam Rajah 5. Hasil

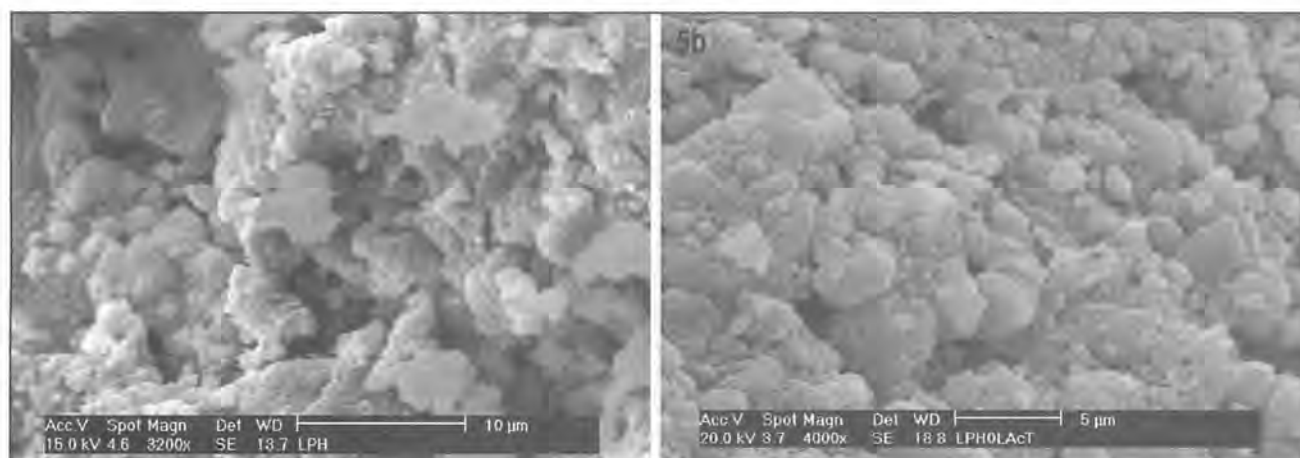


Rajah 3. Profil migrasi bagi (a) Logam Ni dan Cr dan (b) logam Pb, Zn, Cu mengikut kedalaman kolom tanah.



Rajah 4. Kandungan kepekatan Cu, Cr, Ni, Pb dan Zn dalam cecair larut lesap dan nilai pH mengikut isipadu pori selepas larut resap dengan asid.

photomikrograf electron pengimbas (SEM) menunjukkan laterit asal terdiri daripada mineral bersudut-sudut yang kebanyakannya terdiri daripada goethit hematit dan gibsit. Saiz partikel oksida dianggarkan diantara 5.0 μm hingga 8.0 μm lebar. Latar belakang yang ditandakan dengan bahagian gelap diantara mineral dalam fotomikrograf menandakan kehadiran ruang pori (Rajah 5a). Pembentukan pori dalam tanah yang telah mengalami proses larut lesap adalah disebabkan oleh basuhan keluar partikel yang lebih halus dalam tanah laterit. Perubahan mikromorfologi dan penyusunan semula mineral juga dapat dilihat dalam sampel yang telah mengalami proses larut lesap (Rajah 5b). Proses pelarutan mineral besi oksida kesan tindakan asid ditunjukkan oleh struktur mineral yang sub bulat. Kandungan ruang pori semakin kecil kesan pengumpulan mineral terlarut atau mineral yang mengalami basuhan keluar, ini menyebabkan ketelapan tanah lebih menjadi lebih rendah. Didapati pembentukan pori mencapai 3 μm lebar.



Rajah 5. (a) Fotomikrograf tanah laterit sebelum larut lesap dan (b) selepas larut lesap dengan 7 isipadu pori asid.

KESIMPULAN

1. Kandungan kepekatan Ni, Cr, Pb, dan Zn dalam profil tanah laterit yang dilarutresapkan dengan asid nitrik menunjukkan unsur-unsur tersebut mengalami migrasi atau larut lesap. Pergerakan logam-logam surih daripada tanah laterit bergantung kepada keadaan pH yang rendah atau keadaan berasid dan isipadu asid yang digunakan.
2. Kepekatan Ni, Cr, Cu, Pb dan Zn yang lebih tinggi pada bahagian bawah profil laterit menunjukkan ada berlakunya migrasi atau larut lesap daripada bahagian atas kebahagian bawah. Ini dibuktikan lagi oleh analisis kandungan kepekatan cecair larut resap dapat dikesan khususnya Cr dan Ni yang kandungannya memang tinggi dalam tanah laterit. Cu, Pb, dan Zn yang relatifnya rendah didapati kandungannya dalam cecair larut lesap juga rendah.
3. Analisis struktur miktro dalam tanah asal laterit menunjukkan kehadiran mineral bersudut yang kebanyakannya terdiri daripada goethit, hematit dan gibsit. Mineral-mineral tersebut jelas mengalami proses pelarutan dan ditunjukkan oleh struktur permukaan yang berubah menjadi sub-bulat.

PENGHARGAAN

Kajian ini dijalankan menggunakan gran IRPA, sumbangan Kementerian Sains dan Teknologi dengan Kod Gran 02-02-02-0021. Penulis ingin merakamkan ucapan terimakasih kepada Sdr. Jalaludin Majalip dan Sdr. Muhin Haji daripada Sekolah Sains dan Teknologi UMS, atas bantuan analisis AAS. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Sdr. Abd. Aziz Ngah dan Sdr. Abd. Hamid daripada Program Geologi, UKM atas bantuan analisis XRF. Terimakasih kepada Sdr. Jefri Samin daripada Fakulti Kejuruteraan Mekanikal UTM atas analisis SEM.

RUJUKAN

- BABA MUSTA, KHAIRUL ANUAR KASSIM AND SAHIBIN ABD. RAHIM, 2002. Rock Weathering Impact and implication on selected heavy metals content and distribution in soil profile from Lohan Valley, Ranau, Sabah. In: J. Shamsudin, J. Hamdan and A.W. Samsuri (Edis.), *Sustainable Land Management*. The Malaysian Society of Soil Science. Kuala Lumpur.
- COLIN, F., NAHON, D., TRESCASES, J.J. AND MELFI, A.J., 1990. Lateritic Weathering of Pyroxenites at Niquelandia, Goias, Brazil: The Supergene Behaviour of Nickel. *Economic Geology*, 85, 1010-1023.
- DAS, G.K., ANAND, S., ACHARYA, S., AND DAS, R.P., 1997. Characterisation and acid pressure leaching of carious nickel-bearing chromite overburden samples. *Hydrometallurgy*, 44, 97-111.
- ELIOPOULOS, D.G. AND ECONOMOU, E.M., 2000. Geochemical and mineralogical characteristics of Fe-, Ni- and bauxitic-laterite deposits of Greece. *Ore Geology Reviews* 16, 41-58.
- JACOBSON, G., 1970. *Gunong Kinabalu area, Sabah, Malaysia: Explanation of Part of Sheets 5-116-3 and 6-116-15*. Report 8. Geological Survey Malaysia: Kuching, Sarawak.
- MORDBERG, L.E., 1996. Geochemistry of trace elements in Paleozoic bauxite profiles in Northern Russia. *Journal of Geochemical Exploration*, 57, 187-199.
- PHILIPPE, F. AND FARAH, A.S., 2000. Geochemical mass balance and weathering rates of ultramafic schists in Amazonia. *Chemical Geology* 170, 133-151.
- RUBISOV, D.H., KROWINKEL, J.M. AND PAPANGELAKIS, V.G., 2000. Sulphuric acid pressure leaching of laterites — universal kinetics of nickel dissolution for limonites and limonitic/saprolitic blends. *Hydrometallurgy*, 58, 1-11.
- RUBISOV, D.H. AND PAPANGELAKIS, V.G., 2000. Sulphuric acid pressure leaching of laterites — speciation and prediction of metal solubilities "at temperature". *Hydrometallurgy*, 58, 13-26.
- SHELLMANN, W., 1981. Considerations on the definition and classification of laterites. *Proceedings of the International Seminar on Lateritisation Processes, Trivandrum, India*. A.A. Balkema, Rotterdam, 1-10.
- ZEISSINK, H.E., 1971. Trace element behaviour in two nickeliferous Laterite Profiles. *Chemical Geology*, 7, 25-36.