

PERLAKUAN LULUHAWA BATUAN ULTRABES DI KAWASAN TELUPID SABAH: TAFSIRAN GEOKIMIA

Baba Musta¹ dan Mohamad Md. Tan²

¹Sekolah Sains & Teknologi, Universiti Malaysia Sabah

²Jabatan Sains Bumi, FSSA, Universiti Kebangsaan Malaysia

ABSTRACT. The ultrabasic rocks are widely exposed along the Sandakan-Telupid highway. The rock is a member of the ophiolitic sequence. Field observation has been carried out on the weathering profile of the rock at some localities along the road cuts from 2.5 km to 4.5 km off the Telupid town. The interpretations of weathering mechanism in the ultrabasic rock in this area are based on chemical analyses and mineralogical of the fresh rock and soil samples. It seems that the alteration of the primary minerals (rock forming minerals) to secondary minerals occurred during the chemical weathering of the rock body. The main primary mineral in the fresh rocks consists of olivine, pyroxene and chlorite. The secondary minerals in the weathered rocks composed of goethite, gibbsite, anatase and maghemite. The appears that the abundance of TiO_2 , Al_2O_3 and Fe_2O_3 in the profile increases with the degree of weathering, while SiO_2 , FeO , MgO , CaO , K_2O and Na_2O decrease. P_2O_5 abundancy was clear constant, while MnO showed a unclear state of abundance distribution when ultrabasic rock was weathered. Further more the concentration and distribution of some trace elements (Zn, Co, Cr, Nd, Ba, Ni, Cu) vary with the depth of weathering profile. The occurrence of secondary minerals such as kaolinite, goethite, maghemite, and gibbsite were found to be the main controlling factor of the high concentration and distribution of the major elements. Mobilization during weathering also effected the distribution and abundance of certain elements.

ABSTRAK. Batuan ultrabes tersingkap dengan banyak di sepanjang lebuh raya Sandakan-Telupid. Batuan ultrabes di kawasan ini nerupakan ahli dalam jujukan ofiolit. Kajian lapangan profil batuan telah dijalankan di sepanjang potongan jalan dari km 2.5 hingga km 4.5 dari pekan Telupid. Perlakuan luluhawa batuan ultrabes di kawasan ini dikaji berdasarkan analisis kimia dan mineralologi pada sampel batuan segar dan tanah. Kelihatannya perubahan mineral primer (mineral pembentuk batuan) kepada mineral sekunder berlaku semasa luluhawa kimia pada batuan induk. Mineral-mineral primer yang utama dalam batuan segar terdiri daripada oliven, piroksen dan klorit. Mineral sekunder di dalam batuan terluluhawa mengandungi goetit, gibosit, anatas dan maghemit. Kehadiran kelimpahan TiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 dalam profil bertambah dengan bertambahnya darjah luluhawa, manakala SiO_2 , FeO , MgO , CaO , K_2O dan Na_2O berkurangan. Kelimpahan P_2O_5 hampir malar, manakala MnO tidak menunjukkan perubahan yang jelas apabila batuan ultrabes luluhawa. Taburan dan kelimpahan unsur surih (Zn, Co, Cr, Nd, Ba, Ni dan Cu) adalah berbeza dengan kedalaman profil luluhawa. Pembentukan mineral sekunder seperti kaolinit, goetit, maghemit dan gibosit sebahagiannya dikawal oleh faktor tingginya kepekatan dan taburan unsur major. Mobiliti semasa luluhawa juga mempengaruhi taburan dan kelimpahan pada sesetengah

PENDAHULUAN

Fenomena luluhawa batuan di kawasan tropika memungkinkan satu profil tebal tanah terbentuk. Batuan igneus yang tersingkap akan mencari keseimbangan yang baru dan menghasilkan satu profil lengkap yang tebal dan terdiri daripada tanah sehingga batuan segar (Macias & Chesworth, 1992). Luluhawa yang dominan di kawasan yang panas lembap sepanjang tahun ialah luluhawa kimia, ini termasuklah pelarutan, hidrasi, hidrolisis, pengoksidaan dan penurunan (Carroll, 1970). Penguraian mineral primer dan pelepasan unsur-unsurnya ke dalam larutan tanah merupakan proses penting terhadap perubahan batuan dalam profil luluhawa (Nesbitt *et. al*, 1980).

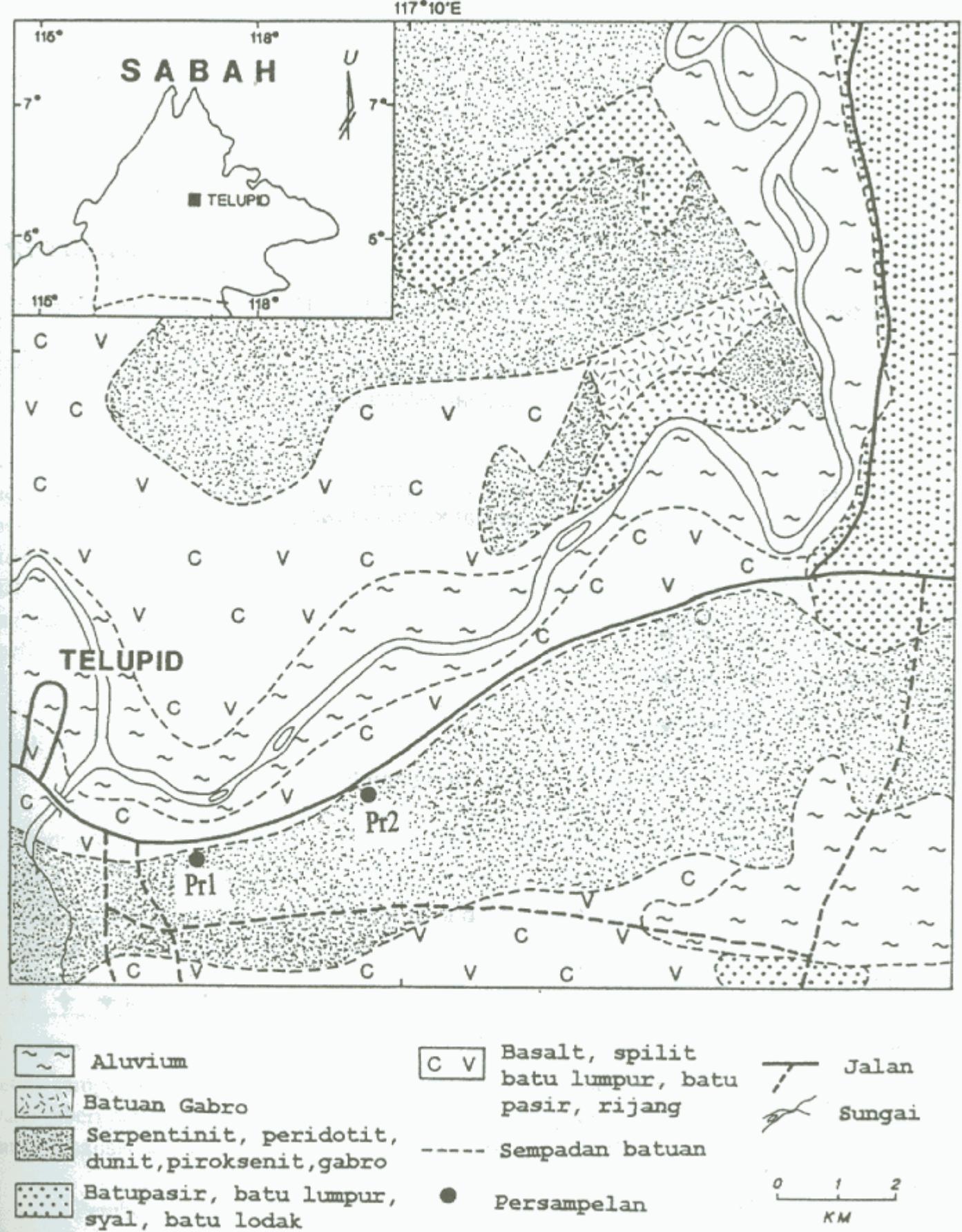
Kajian luluhawa dalam batuan igneus dan kepekatan beberapa unsur surih di kawasan yang panas dan lembap sepanjang tahun pernah dilapurkan oleh beberapa pengkaji (Zeissink, 1971; Nahon *et. al*, 1982; Duddy, 1980; Colin *et. al*; 1990 dan Price, *et. al*, 1991). Umumnya kesimpulan yang boleh diperolehi ialah unsur-unsur tersebut dikawal oleh pH, Eh, air bawah tanah dan mineral sekunder. Tanah di kawasan zon tropika lembab dan zon khatulistiwa kebanyakannya mempunyai kandungan mineral sekunder seperti kaolinit dan gibsit yang melimpah (Millot, 1979). Garrels & Christ (1965) pula mencadangkan luluhawa mineral K-feldspar akan membentuk mineral kaolinit dan gibsit, manakala apabila kematangan luluhawa plagioklas dicapai mineral yang terbentuk ialah kaolinit dan gibsit (Chen *et. al*, 1988). Mineral goetit dan kaolinit pula stabil sebagai mineral sekunder dalam profil luluhawa batuan piroksenit (Colin *et. al*, 1990).

Kajian terhadap perlakuan luluhawa batuan ultrabes dijalankan di antara pekan Telupid iaitu km 2.5 hingga km 4.5. Sebanyak dua profil luluhawa batuan ultrabes (Pr1 dan Pr2) yang merupakan jujukan ofiolit telah dipilih (Rajah 1). Kajian geologi am dan pemetaan di kawasan ini telah dibuat secara terperinci oleh Johnston & Walls (1973, 1974 dan 1975). Beliau menyentuh aspek petrologi, struktur dan geoekonomi. Kajian luluhawa batuan ultrabes di kawasan ini juga pernah dibuat oleh Myers (1977). Walau bagaimanapun kebanyakan pengkaji tidak membuat kajian secara terperinci taburan unsur major dan unsur surih yang terdapat di kawasan tersebut. Jadi kertas ini akan membincangkan perubahan kepekatan unsur major, kepekatan unsur surih dan kehadiran mineral sekunder terhadap kedalaman profil luluhawa.

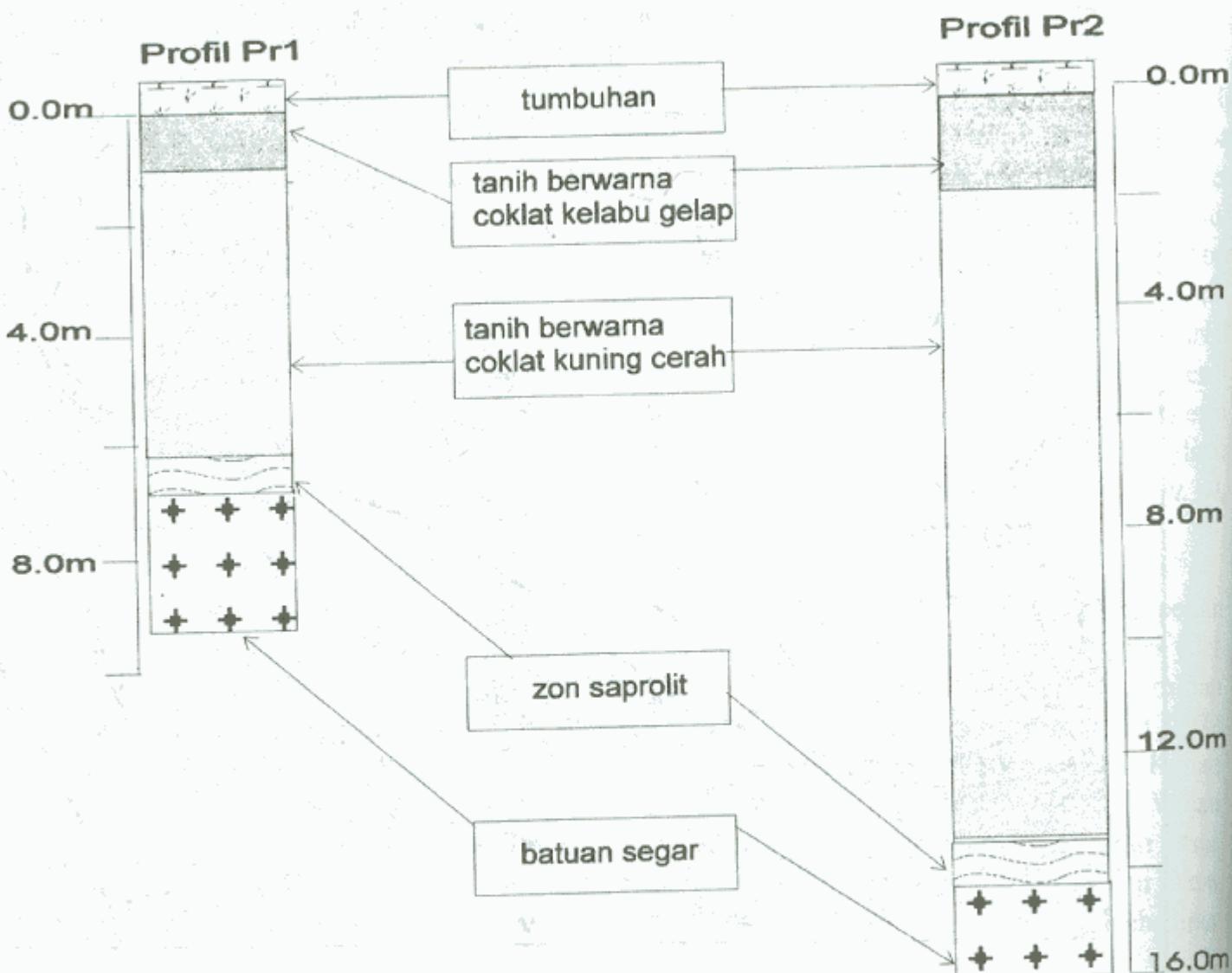
CERAPAN DAN KAEDAH KAJIAN

Cerapan Lapangan

Profil luluhawa batuan ultrabes yang dicerap di lapangan, menunjukkan perubahan daripada batuan segar hingga tanah (Rajah 2). Tebal lapisan tanah pada profil Pr1 ialah 6.5m manakala 14.0m pada profil Pr2. Warna pada kedua-dua profil berubah daripada warna coklat kelabu gelap di bahagian atas profil hingga coklat kekuningan yang cerah di bahagian bawah profil. Zon saprolit yang menunjukkan sifat batuan dan tanah dengan ketebalannya kurang daripada 0.5m terdapat di bahagian atas batuan segar. Batuan segar berwarna hitam kelabu dan kadang-kadang terdapat kesan gores-garis di dalamnya.



Rajah 1: Kedudukan kawasan kajian, taburan batuan dan lokasi pemprofilan di kawasan Telupid, Sabah.



Rajah 2: Profil luluhan (Pr1 dan Pr2) yang ditunjukkan di kawasan kajian terdiri daripada tanah, zon saprolit dan batuan.

Fenomena luluhawa yang ditunjukkan di lapangan jelas memperlihatkan keamatan luluhawa yang intensif. Tindakan luluhawa yang bermula pada bahagian atas menghasilkan satu profil luluhawa yang lengkap. Perbezaan warna pada zon tanah dipengaruhi oleh kandungan bahan organik dan mineral sekunder. Tanah yang berwarna lebih gelap dicirikan oleh bahan organik yang tinggi manakala kandungan besi oksida yang tinggi memberikan warna coklat kuning (Stevenson, 1985). Warna coklat kelabu gelap pada bahagian atas profil mengandungi bahan organik yang tinggi dan sedikit ferum oksida, manakala tanah berwarna coklat kekuningan yang cerah mempunyai komposisi ferum oksida yang tinggi. Kajian geokimia dan minerologi akan dibincangkan pada subtajuk yang berikutnya. Tanah tersebut berasal daripada batuan induk dibahagian bawahnya. Kajian petrografi menunjukkan batuan tersebut adalah peridotit berpiroksen.

Cerapan Petrografi

Kajian petrografi pada batuan segar bertujuan mengenalpasti mineral yang terdapat dalam batuan dan menamakan batuan. Sampel batuan dari lokaliti Pr1, dan Pr2 mempunyai ciri-ciri petrografi yang sama. Sampel tangan batuan berwarna gelap (mineral melanokrat) saiz butiran sederhana hingga kasar (1mm - 5mm). Mineraloginya olivin, piroksen, klorit, kloritoid, epidot dan oksida besi. Komposisi minerologi ialah olivin 70%, piroksen 15% dan kloritoid 7%. Oksida besi wujud sebagai mineral aksesori dengan anggaran komposisi sebanyak 5%. Tekstur-tekstur yang ditemui ialah penelukan, porfiritik lemah, lipatan mikro dan poikilit.

Analisis Geokimia

Unsur major dalam bentuk oksida ditentukan komposisinya dengan menggunakan teknik pendarflour sinar-X (XRF) ialah SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O K_2O dan P_2O_5 . Sampel dianalisis dalam bentuk pelet lakur, manakala peralatan yang digunakan ialah 'Philips Pw 1480 X-ray Digital' dan spektrometer dikawal melalui perisian 'Digital Software X 44' mikrokomputer. Teknik analisis tersebut sama dengan teknik yang digunakan oleh Norrish & Hutton (1969), manakala 'program on line' sesuai dengan program yang diperkenalkan oleh De Jongh (1973 dan 1979). FeO dianalisis dengan kaedah kimia basah. Kehilangan bahan yang meruap (L.O.I) pada setiap sampel diperolehi dengan pemanasan 1 gm sampel pada suhu 1000°C. Unsur surih yang diberi penekanan ialah zink, kuprum, nikel, kobat, kromium, neodium dan barium pula dianalisis dalam bentuk pelet tekan dan juga di analisis dengan kaedah XRF.

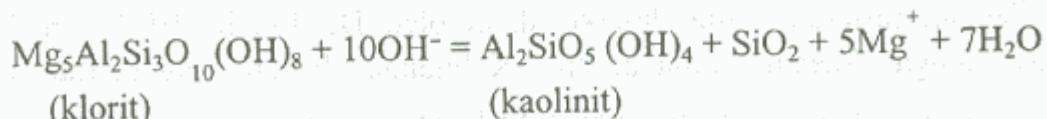
Pembelauan sinar-X (XRD) yang disampingkan dengan alat elektronik Siemens 'Diffractometer D5000' dan Kristalloflex 710/710 H dikawal oleh perisian Diffrac/AT' digunakan untuk pengenalan mineral sekunder. Kaedah ini diterangkan secara terperinci oleh Klug & Alexander (1954). Nilai kepekatan unsur major dan unsur surih dari kedua-dua profil ditunjukkan dalam Jadual 1 dan Jadual 2.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

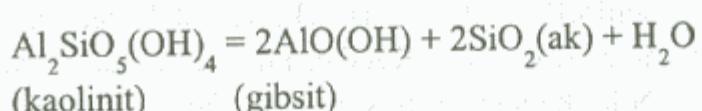
Perlakuan Geokimia Berdasarkan Kepekatan Unsur Major dan Hubungannya dengan Mineralogi

Plot graf SiO₂ terhadap kedalaman profil menunjukkan kepekatan SiO₂ secara relatifnya bertambah dengan bertambahnya kedalaman profil tanah seperti yang terdapat dalam Jadual 1 dan Jadual 2. Ini membuktikan kepekatan SiO₂ berkurangan dengan bertambahnya darjah luluhawa. Secara terperinci pula kedua-dua profil, Pr1 dan Pr2 menunjukkan pengurangan kepekatan SiO₂ dari bahagian atas permukaan profil hingga kedalaman lebih kurang 4.0 m pada bahagian tanah berwarna coklat kelabu gelap sehingga di bahagian tanah yang berwarna coklat kuning cerah, sebelum bertambah sehingga ke batuan dasar (Rajah 3A dan Rajah 3B). Kepekatan SiO₂ dalam tanah berjulat 0.44% hingga 4.10% (Pr1) dan 3.07% hingga 16.81% (Pr2), manakala dalam batuan segar ialah 37.99% (Pr1) dan 39.71% (Pr2). Kepekatan SiO₂ dalam tanah lebih rendah berbanding dalam batuan segar kerana mineral silikat telah mengalami penguraian. Corak pengurangan relatif kepekatan SiO₂ dari kedalaman 0.0 m hingga 4.0 m membuktikan berlaku mobiliti komponen SiO₂ yang maksima daripada sistem dan juga pertambahan relatif kepekatan Fe₂O₃ daripada mineral ferum oksida. Larutan SiO₂ yang bergabung dengan Al(OH)₃ akan membentuk kaolinit seperti yang di kesan pada kedalaman 8.7m pada Pr1 (Rajah 5), dan proses ini akan mengurangkan kepekatan SiO₂ dalam zon luluhawa.

Kedua-dua profil luluhawa di kawasan Telupid memperlihatkan corak pengurangan relatif kepekatan Al_2O_3 dengan kedalaman profil tanah (Rajah 3A dan Rajah 3B). Walau bagaimanapun terdapat sedikit penambahan kepekatan pada kedalaman 0 m hingga 2 m pada tanah coklat kelabu yang gelap sebelum hampir malar hingga ke bahagian bawah pada tanah berwarna coklat kuning cerah. Kepekatan paling minimum terdapat dalam batuan segar. Kepekatan Al_2O_3 dalam sampel tanah ialah diantara 4.25% hingga 12.01% (Pr1) dan 8.07% hingga 13.07% (Pr2), manakala dalam batuan segar kepekatannya ialah 1.47% (Pr1) dan 12.15% (Pr2). Dalam sampel tanah aluminium terkandung dalam mineral gibosit (Rajah 5). Kaolinit terbentuk daripada klorit (Nesbitt & Young, 1984) seperti tindakbalas berikut:



Tindakbalas di atas berlaku pada pH yang rendah iaitu 3.5 - 6.5 (Norton, 1973). Sekiranya aktiviti air tinggi atau keporosan tinggi maka gibusit boleh terbentuk daripada kaolinit (Tardy & Nahon, 1985) seperti keseimbangan berikut:



Pelarutan kaolinit juga dipengaruhi oleh pH yang rendah dan Eh yang rendah (Norton, 1973).

Jadual 1 Kepakatan unsur major dan unsur surih dalam tanah dan batuan di profil Pr 1.

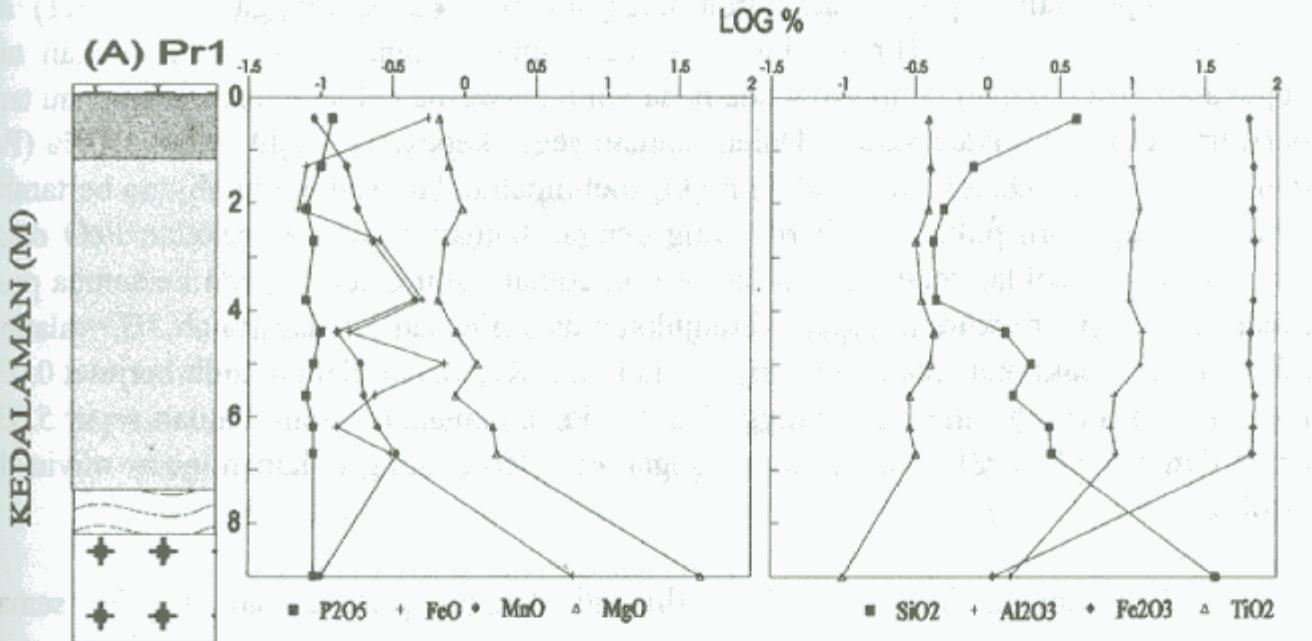
Kedalaman profil	0.4m	1.3m	2.1m	2.7m	3.8m	4.4m	5.0m	5.6m	6.2m	6.7m	6.7m (batuan segar)
	Unsur Major (%)										
SiO ₂	4.10	0.80	0.50	0.42	0.44	1.34	2.02	1.52	2.68	2.79	37.99
TiO ₂	0.39	0.40	0.39	0.32	0.35	0.43	0.40	0.29	0.29	0.32	0.10
Al ₂ O ₃	10.13	11.03	11.35	9.97	9.96	12.01	11.53	7.64	4.25	7.82	1.47
FeO	0.56	0.08	0.07	0.26	0.52	0.16	0.74	0.24	0.13	0.31	5.83
Fe ₂ O ₃	64.21	68.72	68.36	69.66	68.39	65.77	64.71	70.27	68.92	67.50	1.10
MnO	0.09	0.15	0.18	0.23	0.46	0.13	0.19	0.20	0.25	0.34	0.16
MgO	0.67	0.78	0.97	0.74	0.66	0.89	1.23	0.88	1.60	1.71	45.08
CaO	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.42
Na ₂ O	bdl	bdl	0.11	0.02	0.10	0.12	bdl	bdl	bdl	bdl	0.39
K ₂ O	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
P ₂ O ₅	0.12	0.10	0.08	0.09	0.08	0.10	0.09	0.08	0.09	0.09	0.09
L.O.I	19.13	17.89	18.00	18.27	18.66	19.07	19.09	18.98	18.91	19.01	5.36
Total	99.40	99.95	99.98	99.62	99.92	99.99	100.03	99.12	99.89	99.54	
	Unsur Surih (bpj)										
Cu	112	144	152	138	151	152	167	151	155	175	113
Co	421	150	498	675	844	468	550	654	771	747	146
Nd	85	76	70	57	76	62	60	85	62	46	19
Zn	62	71	74	80	79	81	72	80	89	88	20
Ni	1421	1602	1671	1738	1817	1776	1778	1555	1953	1031	2244
Cr	17837	19467	19822	18407	17091	20779	19093	16513	13602	17378	2295
Ba	150	158	158	138	122	172	134	85	84	99	1421

bdl = dibawah had pengesan

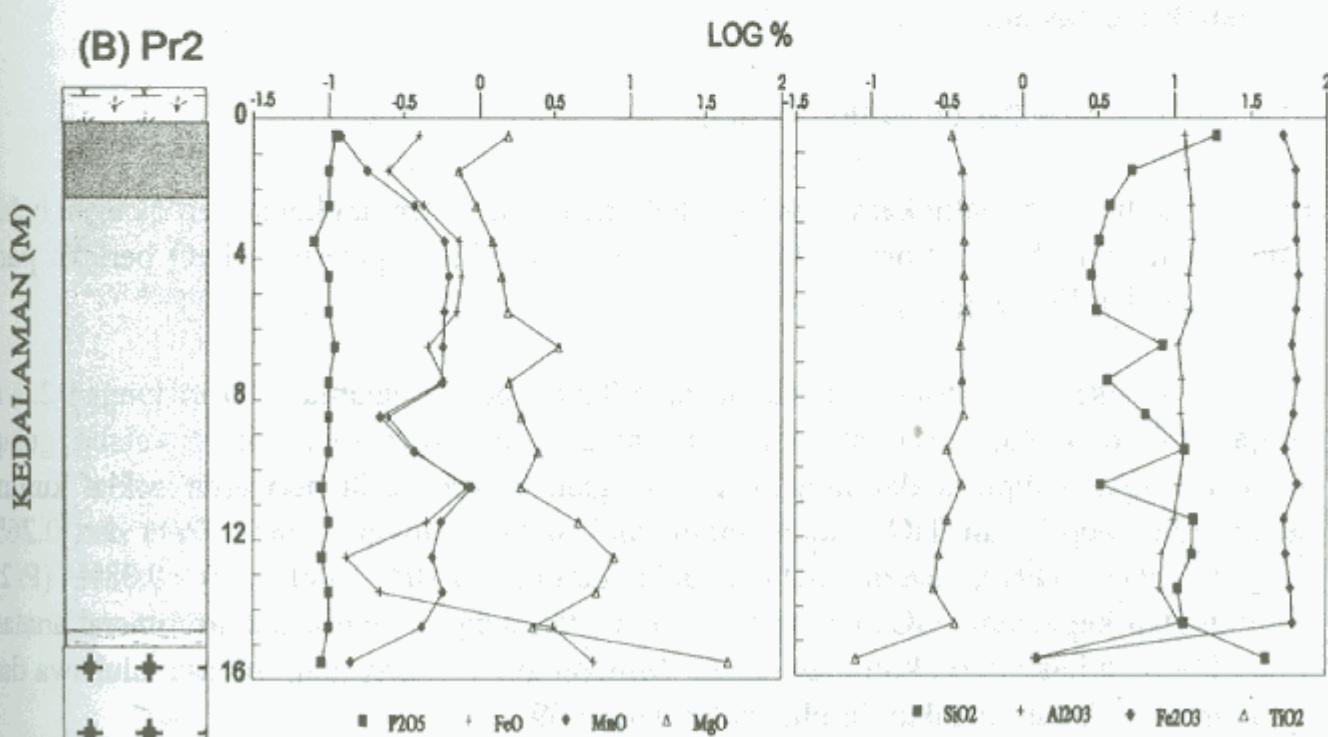
Jadual 2 Kepakatan unsur major dan unsur surih dalam tanah dan batuan di profil Pr 2.

Kedalaman profil	0.5m	1.5m	2.5m	3.5m	4.5m	5.5m	6.5m	7.5m	8.8m	9.5m	10.5m	11.5m	12.5m	13.5m	14.5m	15.5m (batuan segar)
	Unsur Major (%)															
SiO ₂	16.81	5.20	3.74	3.19	2.83	3.07	8.44	3.64	6.44	11.69	3.27	13.21	12.98	10.37	11.47	39.71
TiO ₂	0.34	0.40	0.41	1.41	0.41	0.42	0.39	0.40	0.41	0.32	0.40	0.32	0.28	0.26	0.36	0.08
Al ₂ O ₃	11.64	12.19	12.90	13.07	12.40	12.61	10.70	11.26	11.14	11.69	10.79	10.05	8.29	8.07	10.84	1.21
FeO	0.40	0.25	0.43	0.74	0.77	0.72	0.46	0.60	0.25	0.39	0.85	0.45	0.13	0.22	3.14	5.75
Fe ₂ O ₃	51.46	62.60	62.98	63.08	65.53	63.69	59.27	64.02	60.95	53.15	67.58	52.61	54.07	58.22	60.13	1.27
MnO	0.13	0.18	0.37	0.59	0.63	0.59	0.58	0.57	0.22	0.37	0.89	0.56	0.49	0.58	0.42	0.14
MgO	1.55	0.73	0.59	1.22	1.40	1.55	3.38	1.57	1.89	2.46	1.89	4.59	7.86	6.05	2.29	45.14
CaO	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.69	0.51	bdl
Na ₂ O	0.72	0.26	0.52	0.48	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.37	bdl	bdl	bdl	bdl	0.34
K ₂ O	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
P ₂ O ₅	0.11	0.10	0.10	0.08	0.10	0.10	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10	0.09
L.O. I	17.37	18.09	17.60	17.41	15.84	17.25	17.00	17.74	18.60	18.86	17.25	18.12	15.14	15.42	11.27	4.00
Total	100.52	99.98	99.64	100.27	99.97	100.03	100.33	99.90	100.20	99.40	100.01	99.99	100.02	99.80	100.02	100.00
	Unsur Surih (bpj)															
Cu	123	141	166	185	184	201	190	209	198	180	197	192	227	101	122	
Co	375	488	596	678	687	767	670	715	679	766	793	568	723	802	183	136
Nd	42	60	65	76	83	93	56	76	61	71	80	53	84	59	28	14
Zn	57	21	60	60	58	70	71	77	100	97	76	78	126	111	24	0
Ni	1517	1632	1857	2136	1279	2153	1991	2434	2613	3496	2556	4073	2288	2236	3776	2248
Cr	14300	14903	15966	17607	19388	18690	18469	17251	20305	17923	21176	16141	16091	17421	2484	2636
Ba	98	144	143	162	158	124	143	166	146	148	160	133	106	94	bdl	bdl

bdl = dibawah had pengesan



Rajah 3 A Kepekatan SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, P₂O₅, FeO, MnO dan MgO dengan kedalaman di Profil Pr1.



Rajah 3 B Kepekatan SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, P₂O₅, FeO, MnO dan MgO dengan kedalaman di Profil Pr2.

Kepekatan Fe_2O_3 dalam tanah ialah antara 64.21% hingga 69.66% (Pr1) dan 52.46% hingga 65.58% (Pr2). Plot graf kedalaman dengan Fe_2O_3 menunjukkan nilai kepekatan Fe_2O_3 dalam tanah sama ada pada tanah berwarna coklat kelabu gelap atau tanah berwarna coklat ternyata sama. Dalam batuan segar kepekatan Fe_2O_3 ialah 1.10% (Pr1) dan 1.27% (Pr2). Data menunjukkan Fe_2O_3 melimpah dalam sampel tanah dan bertambah lebih kurang enam puluh kali berbanding dengan batuan segar. Kepekatan FeO dalam tanah berwarna coklat kelabu gelap dan warna coklat kuning cerah, pada ke semua profil secara umumnya berkurang seperti ditunjukkan dalam Rajah 3A dan Rajah 3B, walaupun ada sedikit berlaku kenaikan dan penyusutan nilai. Kepekatan dalam tanah berjulat 0.07% hingga 0.74% (Pr1) dan 0.13% hingga 0.85% (Pr2), manakala dalam batuan segar 5.83% (Pr1) dan 5.75% (Pr2). Dalam batuan segar FeO terkandung dalam mineral olivin dan piroksen.

Pengurangan kepekatan FeO diiringi dengan pertambahan Fe_2O_3 semasa luluhan berkaitan secara langsung dengan pengoksidaan dan pembentukkan besi oksida terutamanya goetit dan maghemit (Rajah 5) hasil daripada perubahan kimia mineral primer. Perlarutan Nahon dan Colin (1982) pernah melaporkan bahawa hablur goetit yang sempurna terbentuk pada peringkat akhir luluhan mineral piroksen yang disebut peringkat besi oksi-hidroksida. Dalam proses tersebut Fe^{2+} berubah ke Fe^{3+} . Pengoksidaan yang berlaku sesuai dengan kajian Wogelius dan Walther (1992) terhadap mineral olivin yang menyatakan bahawa semasa proses pelarutan, Fe^{2+} dilepaskan ke dalam larutan dan teroksida membentuk Fe^{3+} yang terdiri mineral goetit seperti tindakbalas di bawah:



Fenomena di atas berlaku kerana valensi Fe^{2+} tidak stabil dengan kehadiran oksigen bebas dalam atmosfera bumi. Norton (1973) melaporkan bahawa pelarutan FeO berlaku pada pH rendah dan Eh yang tinggi.

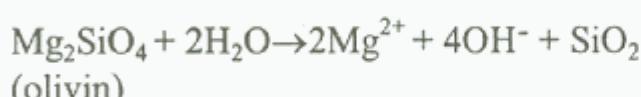
Ada sedikit pertambahan kepekatan TiO_2 pada kedalaman 0.0 m hingga 2.0 m (Rajah 3A dan Rajah 3B) iaitu pada bahagian tanah berwarna coklat kelabu gelap. Kepekatannya hampir malar hingga ke bahagian bawah tanah berwarna coklat kuning cerah. Julat kepekatan TiO_2 dalam tanah ialah 0.29% hingga 0.48% (Pr1) dan 0.26% hingga 1.41% (Pr2), dalam batuan pula bernilai 0.10% (Pr1) dan 0.08% (Pr2). Peningkatan kepekatan TiO_2 dalam tanah berkaitan dengan pembentukan mineral anatas, yang dibentuk hasil dari akumulasi TiO_2 . Mineral anatas dikayakan semasa luluhan dan juga tahan terhadap tindakan luluhan (Ollier, 1969).

Nilai kepekatan P_2O_5 yang dikira dalam tanah dan batuan segar di kedua-dua profil kebanyakannya kurang dari 1% (Jadual 1 dan Jadual 2). Nilai kepekatan P_2O_5 mengikut kedalaman ditunjukkan dalam Rajah 3A dan Rajah 3B. Nilai tersebut menunjukkan kepekatan P_2O_5 hampir malar dengan bertambahnya darjah luluhan. Apatit [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH},\text{F},\text{Cl})$] merupakan mineral yang tahan terhadap proses luluhan, ini memungkinkan kepekatan P_2O_5 mempunyai nilai yang hampir malar. Walau

bagaimanapun apatit tidak dapat dikesan dengan kaedah XRD kerana kepekatananya sangat rendah.

Kesemua profil di kawasan Telupid mempunyai kepekatan MnO yang kurang daripada 1% (Jadual 1 dan Jadual 2). Corak kepekatan mengikut kedalaman profil luluhawa tidak jelas (Rajah 3A dan Rajah 3B).

Unsur yang paling tinggi kepekatananya dalam batuan segar ialah MgO , iaitu 33.04% (Pr1) dan 45.14% (Pr2). Walau bagaimanapun kepekatan MgO dalam tanah berwarna coklat kelabu gelap dan tanah berwarna coklat kuning cerah mempunyai nilai yang rendah iaitu berjulat 0.66% hingga 1.71% (Pr1) dan 0.59% hingga 7.86% (Pr2). Ini menunjukkan pertambahan darjah luluhawa menyebabkan pengurangan kepekatan MgO (Rajah 3A dan Rajah 3B). MgO biasanya terkandung dalam augit, serpentin, klorit, olivin dan kloritoid. Pengurangan kepekatan MgO semasa proses luluhawa disebabkan oleh penguraian mineral tersebut melalui tindakbalas kimia seperti di bawah.



Dalam batuan segar kepekatan CaO ialah 2.42% (Pr1) dan 2.27% (Pr2), kepekatan Na_2O 0.39% (Pr1) dan 0.34% (Pr2), manakala kepekatan K_2O di kedua-dua profil ialah di bawah had pengesanan (Jadual 1 dan Jadual 2). Kepekatan CaO , Na_2O dan K_2O dalam sampel tanah di semua profil luluhawa juga adalah di bawah had pengesanan.

Kepekatan CaO dan K_2O berkurangan dengan bertambahnya darjah luluhawa disebabkan ketahanan mineral yang mengandungi unsur tersebut seperti augit dan epidot secara relatifnya rendah semasa agen luluhawa bertindak.

Perlakuan Geokimia Berdasarkan Kepekatan Unsur Surih

Purata kepekatan Cu yang dikira dalam tanah pada profil Pr1 berjulat 112 bpj hingga 175 bpj manakala di profil Pr2 berjulat 101 bpj hingga 209 bpj. Dalam batuan segar nilai kepekatan Cu ialah 113 bpj di lokaliti Pr1 dan 122 bpj di lokaliti Pr2. Secara perbandingan didapati kebanyakannya nilai kepekatan Cu dalam tanah lebih tinggi berbanding dengan nilai dalam batuan segar (Rajah 4A dan Rajah 4B). Rajah-rajab tersebut juga menunjukkan pada zon tanah kepekatan Cu bertambah daripada bahagian atas profil iaitu dari tanah yang berwarna coklat kelabu gelap sehingga ke bahagian tanah yang berwarna coklat kuning cerah. Fenomena yang disebutkan di atas mungkin disebabkan oleh pergerakan Cu dan penjerapan Cu oleh mineral lempung dan besi oksida semasa luluhawa.

Dalam batuan segar Co boleh dijerap dalam mineral feromagnesium (Hess, 1967). Nilai kepekatan dalam batuan segar ialah 166 bpj (Pr1) dan 136 bpj (Pr2), manakala dalam tanah, nilai kepekatan bertambah hingga mencapai julat 421 bpj hingga 771 bpj (Pr1) dan 375 bpj hingga 793 bpj (Pr2). Kajian terperinci pada kedua-dua profil menunjukkan kepekatan Co mengalami penambahan nilai dari bahagian tanah berwarna

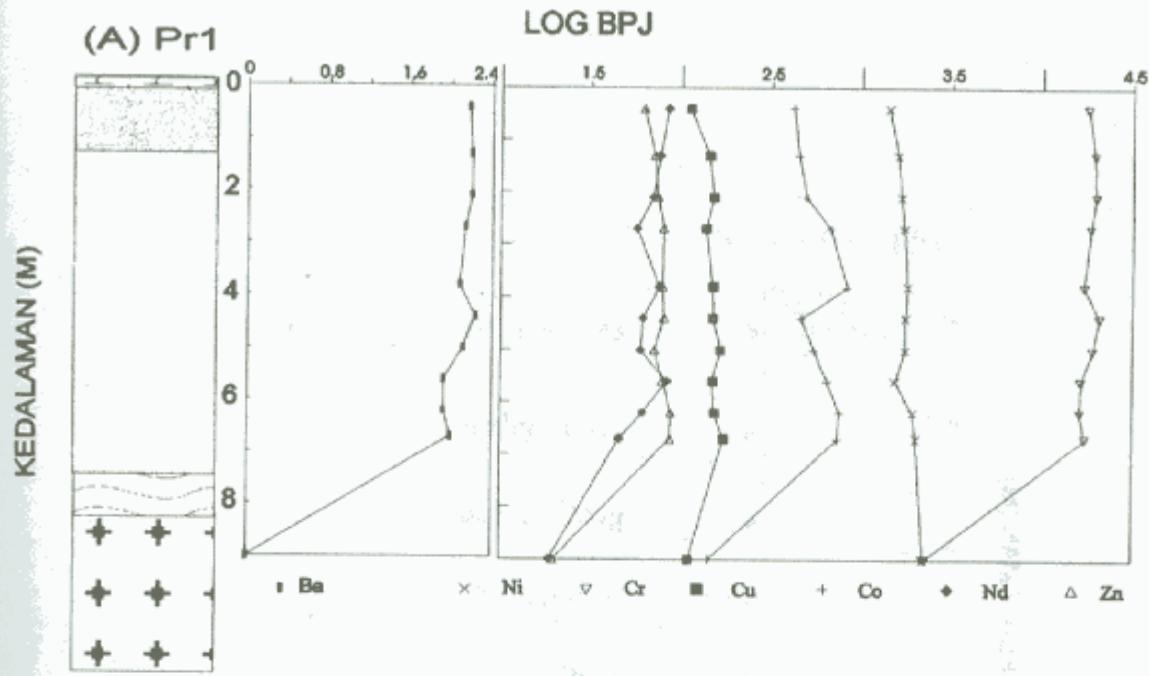
coklat kelabu gelap hingga bahagian tengah tanah berwarna coklat kuning cerah iaitu dari paras 0.0m hingga kedalaman 6.0m (Rajah 4A dan Rajah 4B). Semasa proses luluhawa, Co mudah membentuk ion, tetapi ia juga boleh wujud bersama besi oksida dan mangan oksida dalam profil tanah (Wedepohl *et. al.*, 1978 dan Charlet & Manceau, 1994).

Corak perlakuan Nd dalam profil luluhawa ditunjukkan dalam Rajah 4A dan Rajah 4B. Kepekatan Nd dalam batuan segar ialah 19 bpj (Pr1) dan 14 bpj (Pr2), manakala dalam tanah berjulat 46 bpj dan 85 bpj di profil Pr1 dan 42 bpj hingga 93 di profil Pr1. Di lokaliti Pr1 Nd bertambah dari kedalaman 0.0m hingga 3.0m sebelum menyusut pada zon saprolit dan batuan segar (Rajah 4A). Nd boleh dijerap dalam mineral besi oksida dan aluminium oksida kerana Nd³⁺ boleh menukar ganti ion Al³⁺ dan Fe³⁺ dalam mineral disebabkan kesamaan sifat kimia dan saiz ion. Pada profil Pr2 (Rajah 4B) kepekatan Nd bertambah dari bahagian atas profil pada tanah berwarna coklat kelabu gelap sehingga kedalaman 4m pada tanah berwarna coklat kuning cerah. Kepekatan hampir malar walaupun ada sedikit turun naik sehingga bahagian bawah tanah berwarna coklat kuning cerah, seterusnya semakin berkurangan pada zon saprolit sehingga pada batuan segar.

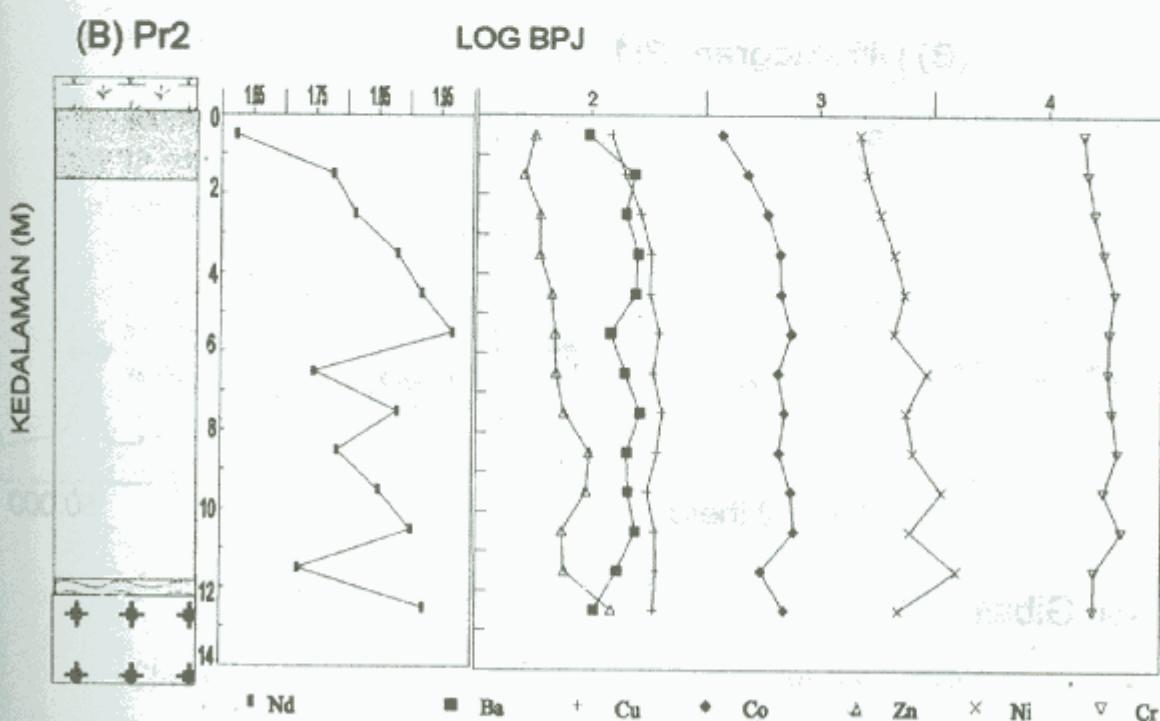
Kepekatan Zn pada kedua-dua profil luluhawa dalam tanah yang berwarna coklat kelabu gelap dan warna coklat kuning cerah hampir malar. Semakin dalam profil luluhawa, kepekatan Zn semakin berkurangan (Rajah 4A dan Rajah 4B). Purata kepekatan Zn yang dikira dalam tanah di profil Pr1 berjulat 62bpj hingga 89bpj dan 21 bpj hingga 111 bpj di profil Pr2 , manakala dalam batuan segar kepekatan Zn ialah 20bpj (Pr1) dan dibawah had pengesanan (Pr2). Dalam batuan segar Zn didapati berada dalam struktur silikat dan oksida, dalam tanah pula Zn boleh dijerap oleh mineral lempung terutama kaolinit (Zeissink, 1971).

Ni menunjukkan pertambahan kepekatan daripada tanah berwarna coklat kelabu gelap melalui tanah coklat kuning cerah hingga ke paras batuan dasar (Rajah 4A dan Rajah 4B). Merujuk pada semua profil kepekatan Ni dalam batuan segar ialah 2244 bpj (Pr1) dan 2248 bpj (Pr2), manakala dalam tanah kepekatan Ni berjulat 1421 bpj hingga 1953 bpj (Pr1) dan berjulat 1279 bpj hingga 4073 bpj (Pr2). Dalam batuan segar unsur Ni kebanyakannya terdapat bersama mineral olivin dan piroksen (Wedepohl *et. al.*, 1978). Ni mudah mengalami pergerakan ke bahagian lain semasa luluhawa menyebabkan kepekatannya berkurangan. Biasanya corak pemendakan Ni dikawal oleh oksida besi (Charlet & Manceau, 1994).

Unsur surih yang paling melimpah dalam batuan ultrabas di kawasan kajian ialah Cr. Ini terbukti berdasarkan kepekatan Cr dalam batuan segar iaitu 2295 bpj dan dalam tanah berjulat 13602 bpj sehingga 19822 di profil Pr1, manakala di profil Pr2 pula dalam batuan segar kepekatannya 2636 bpj dan dalam tanah berjulat 14300 bpj sehingga 20305 bpj. Kepekatan Cr dalam tanah yang berwarna coklat kelabu gelap lebih rendah berbanding dengan tanah yang berwarna coklat kuning cerah (Rajah 4A dan Rajah 4B). Di kawasan kajian ini Cr dalam tanah telah mengalami pengayaan empat hingga lapan kali. Genesis pengayaan kromit dijelaskan semasa pemindahan unsur magnesium (Mg) dan silika (Si) dan pemekatan kromit berlaku (Friedrich, 1982).

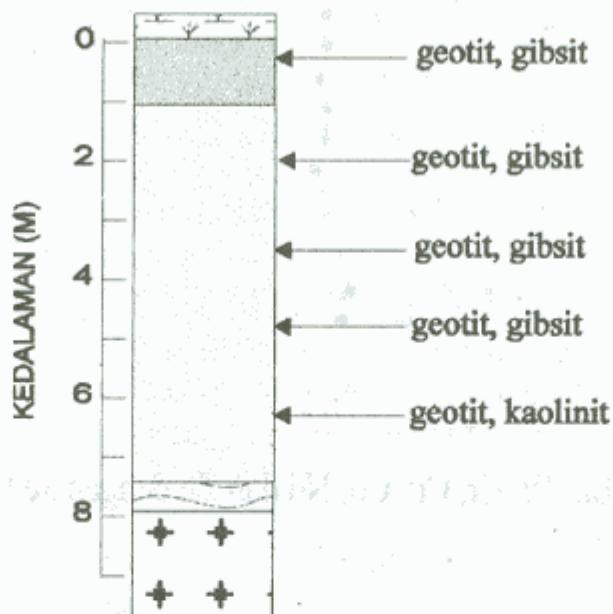


Rajah 4 A Kepekatan Ba, Ni, Cr, Cu, Co, Nd dan Zn dengan kedalaman di profil Pr1.

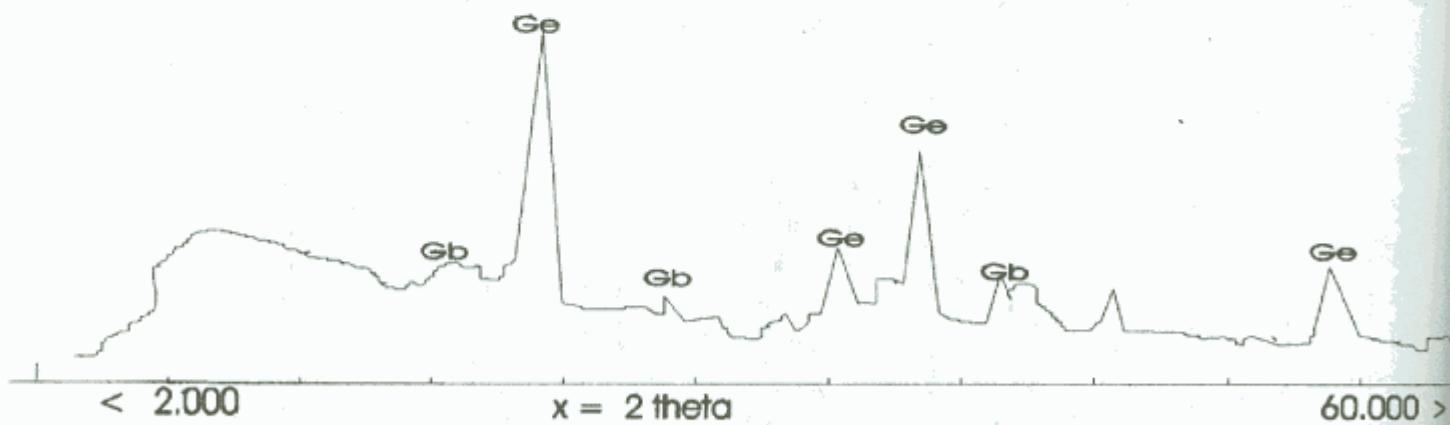


Rajah 4 B Kepekatan Ba, Ni, Cr, Cu, Co, Nd dan Zn dengan kedalaman di profil Pr2.

(A) Profil Pr1



(B) Difraktogram Pr1



Ge: Geotit Gi: Gibsit

Rajah 5 A Mineral sekunder yang dikesan dengan kaedah XRD di profil Pr1.
B Difraktogram yang menunjukkan kehadiran mineral gibsit dan goetit.

Dalam batuan segar kepekatan Ba di profil Pr1 ialah di bawah had pengesanan, manakala dalam tanah nilainya berjulat di bawah had pengesanan hingga 166 bpj. Kepekatan Ba dalam batuan segar di profil Pr2 pula ialah di bawah had pengesanan dan dalam tanah berjulat di bawah had pengesanan hingga 160 bpj. Ba biasanya terjerap dalam mineral lempung. Pada semua profil Ba bertambah dari bahagian tanah berwarna coklat kelabu gelap hingga bahagian tengah tanah berwarna coklat kuning cerah (Rajah 4A dan Rajah 4B). Bahagian bawah tanah coklat kuning cerah, zon saprolit dan batuan segar pula semakin berkurangan iaitu pada kedalaman 0 m hingga 5m.

KESIMPULAN

Kajian geokimia pada profil luluhan batuan bes di kawasan Telupid menunjukkan terdapat kesamaan perlakuan pada unsur major, unsur surih dan mineral sekunder pada kedua-dua profil yang dikaji.

Unsur major TiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 mengalami pengayaan, SiO_2 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O dan FeO mengalami penyusutan dan MnO dan P_2O_5 hampir malar. Pada peringkat awal proses luluhan, proses larut resap kation Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ dan K^+ berlaku. Dalam masa yang sama Fe^{2+} mengalami pengoksidaan membentuk Fe^{3+} diikuti dengan pembentukan mineral lempung dan mineral seskuioksida seperti ferum oksida dan aluminium oksida. Mineral sekunder tersebut terlibat secara langsung dengan pertambahan kepekatan Al_2O_3 dan Fe_2O_3 . Bagi TiO_2 , MnO dan P_2O_5 sememangnya mempunyai kepekatan yang rendah dalam batuan induk dan membentuk mineral yang relatifnya tahan terhadap luluhan mempunyai kepekatan yang sedikit bertambah ataupun hampir malar. Jadi pertambahan dan pengurangan relatif kepekatan unsur major tersebut di kawal oleh mineral sekunder terutamanya mineral besi oksida, mineral lempung dan mineral aluminium oksida.

Perlakuan unsur-unsur surih seperti zink, kuprum, nikel kobalt, kromium, neodium dan barium sebahagian besarnya dikawal oleh proses mobiliti unsur tersebut serta kehadiran mineral sekunder terutama ferum oksida dan mineral lempung.

RUJUKAN

- Carroll, D. 1970. *Rock Weathering*. Plenum Press, London.
- Charlet, L. & Manceau, A. 1994. Evidence for the neoformation of clays upon sorption of Co(II) and Ni(II) on silicates. *Geochim. Et Cosmochim. Acta* 58(11): 2577-2582.
- Chen, C. Liu, K. & Shieh, Y. 1988. Geochemical and isotopic studies of bauxitization in the Tatum volcanic area, Northern Taiwan. *Chemical Geology*. 68: 41-56.

- Colin, F. Nahon, D. Trescases, J.J. & Melfi, A. J. 1990. Lateritic weathering of pyroxenites at Niquelandia, Goias, Brazil: The supergene behavior of nickel. *Economic Geology* 85: 1010-1023.
- De Jongh, W. K. 1979. The atomic number z=0: Loss and gain on ignition in XRF analysis treated by the JN-Equations. *X-ray Spectrometry*. 8 (52).
- De Jongh, W. K. 1973. X-ray fluorescence analysis applying theoretical matrix corrections. *Stainless steel. X-ray Spectrometry*. 2(151).
- Duddy, I. R., 1980. Redistribution and fractionation of rare earth and elements in a weathering profile. *Chemical Geology*, vol.30: 363-381.
- Friedrich. 1982 dalam Amstuz, G. C., El Goresy, A., Grenzel, G. Kluth, C., Moh, G., Wauzchkunh, A. & Zimmermann, R. A (pnyt.). 1982. *Genesis of Low-Grade Chromite Ore Deposits in Lateritic Soils from the Philippines: Ore Genesis the State of the Art*. New York: Springer-Verlag.
- Garrels, R.M & Christ,C. L., 1965 dalam Uehara, G & Gillman, G., 1981. *The Minerology, Chemistry, and Physics of Tropical Soils With Variable Charge Clays*. Westview Press Colorado.
- Johnston, J. C. & Walls, P. J. 1973. Geology of the Telupid area Sabah. *Malaysia Geol. Survey Ann. Rept* : 213-219.
- Johnston, J. C. & Walls, P. J. 1974. Telupid area Sabah. *Malaysia Geol. Survey Ann. Rept.*: 233-236.
- _____. 1975. Telupid area Sabah. *Malaysia Geol. Survey Ann. Rept.*: 236-238.
- Klug, H. P. & Alexander. L. E. 1954. *X-ray diffraction procedures*. John Wiley and Sons Inc.
- Macias, F & Chesworth, W., 1992. Weathering in humid regions, with emphasis on igneous rock and their metamorphic equivalents dalam Martini. I. P & Chesworth, W (pnyt). *Weathering , Soils and Paleosoils*. 1992. Elsevier, New York.
- Millot, G., 1979, dalam Uehara, G & Gillman, G. 1981. *The Minerology, Chemistry, and Physics of Tropical Soils With Variable Charge Clays*. Westview Press, Colorado.
- Myers, L. C. 1977. A weathering profile developed on ultrabasic rocks of Telupid, Sabah. *Geol. Surv. Rept.* 2: 66-71.
- Nahon, N. B. & Colin, F. 1982. Chemical weathering of orthopyroxenes under lateritic conditions. *American Journal of Science* 282: 1232-1234.

- Nahon, D. Paquet, P. & Delvigne A. J. 1982. Lateritic weathering of ultramafic Rocks and the concentration of nickel in the Western Ivory Coast. *Economic Geology*. 77: 1159-1175.
- Nesbitt, H. Y. Markovics, G. & Price, R. C. 1980. Chemical processes affecting alkalis and alkaline earths during continental weathering. *Geochim. Et Cosmochim. Acta* 44: 1659-1666.
- Nesbitt, H. W. & Young, G. M. 1984. Prediction of same weathering trends of plutonic and volcanic rocks based of thermodynamic and kinetic considerations. *Geochim. Et Cosmochim. Acta* 48: 1523-1534.
- Norton, S. A. 1973. Laterite and bauxite formation. *Economy Geology* 68: 353-361.
- Ollier, C. K. 1969. *Weathering*. Oliver and Body, England.
- Norrish, K. & Hutton, J. T. 1969. An accurate X-ray spectrographic method for the analysis of a wide range of geological samples. *Geochim. Et Cosmochim. Acta* 33: 431-453.
- Price, R. C. Gray, C. M. Wilson, R. E. Frey, F.A and Taylor, S. R., 1991. The effects of weathering on rare earth element, Y and Ba abundances in tertiary basalts from southeastern Australia. *Chemical Geology* 93: 246-265.
- Stevenson, F. J., 1985. *Cycles of soils: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Minronutrients*. John Wiley & Sons, Singapore.
- Tardy, Y. & Nahon, D. 1985 Geochemistry of laterites, stability of Al-Goethite, Al-Hematite and Fe³⁺ Kaolinite in Bauxites and Ferricretes: An approach to the mechanism of concretion formation. *Amer. Journal of Science* 285: 865-903.
- Wogelius, R. A. & Walther, I. V. 1992. Olivine dissolution kinetics at near-surface conditions. *Chemical Geology* 97: 101-112.
- Wedepohl, K. H. Correns, C.W. Shaw, D. M. Turekian, K.K. & Zemann, J., 1978 (pnyt.). *Handbook of Geochemistry*. Vol II-1, II-2 & II/1. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York.
- Zeissink, H. E. 1971. Trace element behavior in two nickeliferous laterite profiles. *Chemical Geology* 7: 25-36.