

Pengambilan Fe, Mn dan Cu oleh *Nepenthes sp.* dalam Tanah Bekas Lombong Pelepah Kanan Kota Tinggi, Johor

(Uptake of Fe, Mn and Cu by *Nepenthes sp.* in Ex-Mining Soil at Pelepah Kanan, Kota Tinggi, Johor)

SAHIBIN ABD. RAHIM, TUKIMAT LIHAN, ZULFAHMI ALI RAHMAN, WAN MOHD. RAZI IDRIS, AZMAN HASHIM, SHARILNIZAM M. YUSOF & LIOW HAI YIN

ABSTRAK

Kandungan logam berat Fe, Cu dan Mn dalam tanah serta tumbuhan *Nepenthes sp* yang diambil dari kawasan bekas lombong bijih timah dan besi di Lombong Pelepah Kanan, Kota Tinggi, Johor telah dikaji. Kandungan logam berat telah ditentukan di dalam empat bahagian tumbuhan *Nepenthes sp.* iaitu di dalam akar, batang, daun dan periuk. Sebanyak 15 sampel tumbuhan *Nepenthes sp* dan tanah dikumpul untuk dianalisis. Komposisi logam-logam berat dalam sampel tanah diekstrak dengan menggunakan campuran asid nitrik dan asid perklorik. Kandungan logam berat dalam tumbuhan pula diekstrak melalui kaedah penghadaman basah. Kandungan logam berat di dalam larutan ekstrak tanah dan tumbuhan ditentukan dengan menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom Kaedah Nyalaan (FAAS). Nilai Koefisien Penyerapan Biologi (BAC) dikira sebagai nisbah kandungan logam berat dalam tumbuhan kepada kandungan logam berat dalam tanah. Analisis tanah menunjukkan kawasan bekas lombong didominasi oleh pasir dan bersifat asid. Ia juga mempunyai kandungan bahan organik dan nilai kekonduksian elektrik yang rendah. Logam Fe mencatatkan kepekatan purata paling tinggi di dalam tanah diikuti oleh Mn dan Cu. Tumbuhan *Nepenthes sp* boleh dijadikan sebagai pengumpul biologi untuk logam Fe kerana nilai BACnya adalah tinggi.

Kata kunci: *Nepenthes sp.*; Koefisien Penyerapan Biologi (BAC); tanah bekas lombong; pengayaan

ABSTRACT

Heavy metals content of Fe, Mn and Cu in soil and *Nepenthes sp.* in a former iron and tin mining land at Lombong Pelepah Kanan, Kota Tinggi, Johor were determined. Heavy metal content were determined in four plant component namely roots, stems, leaves and pots. A number of 15 *Nepenthes sp.* plants and their corresponding substrate samples were collected for analysis. The composition of heavy metals in soil were extracted using mixture of nitric acid and perchloric acid. Heavy metals content in plants sample were extracted by wet digestion method. Heavy metal content in solution extract of soil and plant component were determined with Flame Atomic Absorption Spectrophotometer (FAAS). The BAC (Biological Absorption Coefficient) was calculated as ratio of the heavy metal concentration in plant to that of its substrate. The analyses of soil showed that the former mining area was dominated by sand and acidic. It also has a low content of organic matter and low reading of soil electrical conductivity. The soil contain higher concentration of Fe followed by Mn and Cu. Based on BAC value *Nepenthes sp* can be used as a bio-indicator for Fe.

Keywords: *Nepenthes sp.*; Biological Accumulation Coefficient (BAC); ex-mine land; enrichment

PENDAHULUAN

Sektor perlombongan merupakan salah satu daripada punca terbesar yang mengakibatkan pencemaran logam berat. Dianggarkan bahawa terdapat lebih kurang 0.5 juta tan Cd, 20 juta tan Ni, 240 juta tan Zn dan 310 juta tan Cu telahpun dilombong dan dikeluarkan dari bumi kita (Nriagu 1984). Industri perlombongan pernah memberi sumbangan utama kepada ekonomi Malaysia. Sebelum berlakunya Revolusi Perindustrian di Eropah, aktiviti perlombongan telah mula bertapak di negara ini. Pada tahun 1979, Malaysia menghasilkan kira-kira 63 000 tan timah yang juga bersamaan dengan 31% daripada pengeluaran dunia. Pada puncak kegemilangannya, industri ini mampu menampung sehingga 41 000 pekerja di tapak-tapak

lombongnya (Shamsuddin 1990). Menurut laporan Industri Perlombongan Malaysia 2002, sektor perlombongan telah menyumbang sebanyak RM372.52 juta kepada ekonomi negara dan kini terdapat lagi 66 buah lombong yang aktif beroperasi. Dalam tahun 2002 sahaja, jumlah pengeluaran besi sahaja adalah sebanyak 404 350 tan. Namun kini, kesan daripada kira-kira 115 tahun aktiviti perlombongan di Malaysia terdapat kira-kira 200 000 ha tanah bekas lombong yang bertaburan di seluruh pelusuk negara, kebanyakannya di sekitar Ipoh dan Kuala Lumpur (Shamsuddin 1990). Perlombongan membawa pelbagai impak kepada alam sekitar. Sisa perlombongan akan meresap ke dalam sungai ataupun tasik yang berdekatan. Di samping itu, pelepasan logam juga akan membebaskan

logam-logam berat dalam bentuk gas, antaranya As, Pb dan Cd. Ini mengakibatkan terjadinya kawasan zon maut yang amat luas. Aktiviti perlombongan bertanggungjawab kepada masalah pengurangan hutan, hakisan tanah, pencemaran air dan jua udara (Chiras 2001).

Lombong Pelepah Kanan yang terletak di Kota Tinggi, Johor merupakan bekas lombong tinggal timah dan besi. Ia terletak di bahagian pangkal Sungai Pelepah Kanan iaitu di bahagian susuk tenggara Gunung Muntahak iaitu pada ketinggian 634 m yang juga merupakan gunung tertinggi di Kota Tinggi. Keluasan yang diliputinya adalah kira-kira 7 km². Diperhatikan terdapat tompokan amang dan kewujudan pelbagai logam berat dalam tanah di persekitaran kesan daripada perlombongan. Walaupun tanahnya mengalami pencemaran sisa perlombongan, namun kelimpahan komuniti *Nepenthes* sp adalah agak tinggi di sekitarnya. Jika tanah di sesuatu kawasan tersebut mempunyai komposisi yang tidak seimbang akibat daripada faktor semulajadi atau antropogenik, spesies tumbuhan yang tumbuh di kawasan tersebut lebih cenderung untuk mengumpul sejumlah unsur-unsur yang signifikan. Akibat daripada itu, spesies tumbuhan itu akan menunjukkan perubahan fizikalnya ataupun komposisi kimianya, ataupun kedua-duanya sekali (Raghu 2001). Kajian ini dilakukan untuk mengetahui kebolehdapatan logam berat terpilih di sekitar kawasan kajian oleh *Nepenthes* sp. yang tumbuh di kawasan tersebut.

BAHAN DAN KAEDAH

Kawasan kajian mengalami iklim khatulistiwa dengan purata suhu tahunan 28°C. Lombong ini terletak di bahagian pangkal Sungai Pelepah Kanan iaitu di bahagian susuk tenggara Gunung Muntahak iaitu pada ketinggian 634 meter yang merupakan gunung tertinggi di Kota Tinggi. Terdapat empat buah sungai yang mengalir di sekitar kawasan lombong ini. Kawasan kajian ini terletak di sekitar kawasan bekas lombong besi dan timah Pelepah Kanan yang bersebelahan dengan tempat rekreasi air terjun Kota Tinggi dan di kelilingi oleh Hutan Rezab Panti, Kota Tinggi, Johor. Lokasi kajian adalah dari latitud 1°49'31.8"U ke 1°50'23.8"U dan dari longitud 103°49'59.4"T ke 103°50'16.0"T (Rajah 1).

Sebanyak 15 sampel tanah atas (0-20cm) dan pangkal *Nepenthes* sp. daripada lima stesen yang terdiri daripada kawasan tapak perlombongan (stesen 1), kawasan sempadan hutan, berdekatan longkang, lereng bukit (stesen 2), kawasan longgokan bijih (stesen 3), kawasan longgokan pasir (stesen 4) dan kawasan amang (stesen 5) telah diambil. Setiap sampel tanah telah dianalisis bagi menentukan ciri-ciri fiziko-kimia tanah dan kandungan logam berat dalam tanah serta kandungan logam berat dalam bahagian-bahagian pokok *Nepenthes* sp. (akar, batang, periuk dan daun). Penentuan saiz partikel dilakukan mengikut kaedah pipet berserta ayakan kering (Abdulla, 1966). Tekstur tanah didapati dengan memplot peratus kandungan pasir, kelodak dan lempung dalam carta tigasegi

tekstur. Kandungan bahan organik ditentukan secara pembakaran (Avery & Bascomb 1982). Pengukuran pH tanah dilakukan di dalam nisbah 1:2:5 bagi tanah:air suling (Metson 1956) menggunakan meter pH berelektrod kaca Model WTW INOLAB Level 1. Kekonduksian elektrik ditentukan daripada ekstrak CaSO₄.2H₂O tepu (Massey & Windsor 1967) menggunakan alat meter kekonduksian Model H 18819 Hanna. Pengekstrakan logam-logam berat dalam pokok *Nepenthes* sp. mengikut bahagian masing-masing iaitu akar, batang, periuk dan daun dilakukan secara penghadaman basah menurut kaedah AOAC (1984). Logam berat yang dapat diekstrak di dalam larutan dicairkan dengan 100mL air suling nyahion dan analisis logam-logam berat dijalankan dengan spektrofotometer penyerapan atom (AAS) Model Perkin Elmer 3300/4400B. Logam berat di dalam tanah ditentukan berdasarkan kaedah Archer dan Hodgson (1987). Analisis logam berat dalam larutan ekstrak untuk tanah ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer penyerapan atom (AAS) Model Perkin Elmer 3300/4400B.

HASIL DAN PERBINCANGAN

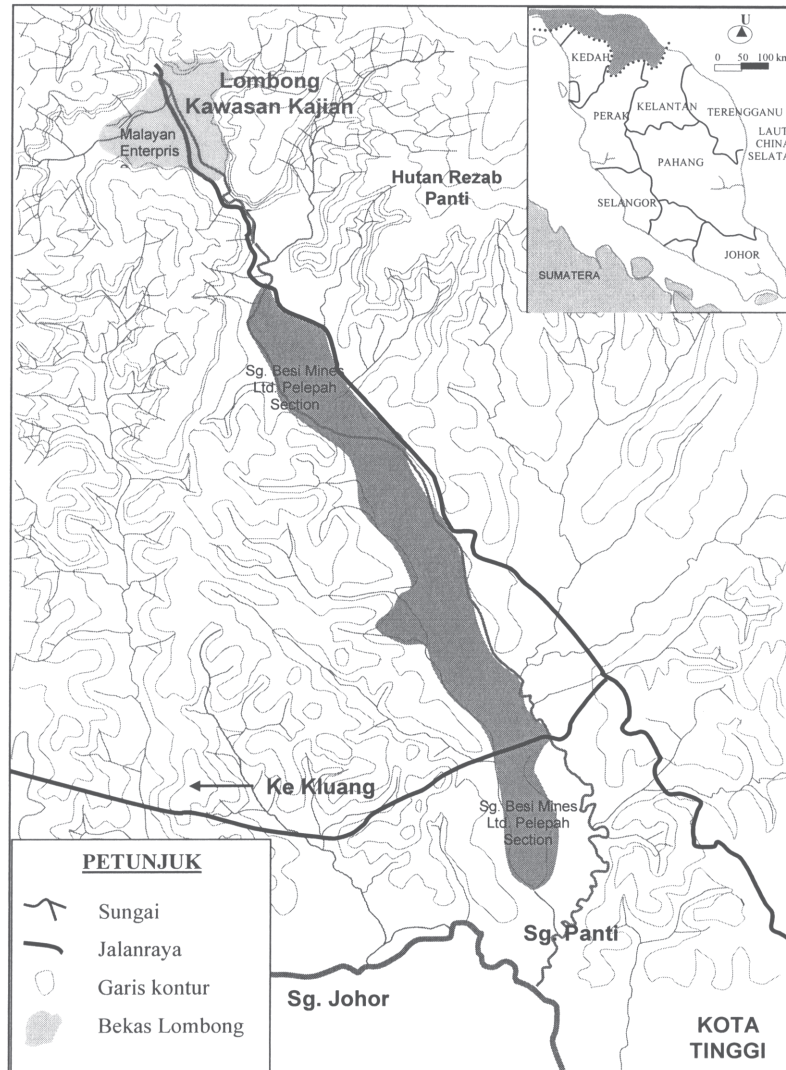
Kajian telah dijalankan di kawasan bekas lombong besi dan timah di Kota Tinggi, Johor. Sebanyak 15 sampel tanah serta tumbuhan *Nepenthes gracilis* dan *Nepenthes hooxeriana* telah diperolehi daripada 5 stesen. Keputusan yang diperolehi daripada analisis makmal meliputi ciri fiziko-kimia tanah, kandungan logam berat dalam sampel tanah dan sampel tumbuhan *Nepenthes gracilis* dan *Nepenthes hooxeriana*.

TABURAN SAIZ PARTIKEL

Jadual 1 menunjukkan taburan saiz dan tekstur tanah. Tanah di kawasan kajian didominasi oleh saiz pasir. Kandungan lempung dan kelodak adalah rendah. Tekstur tanah bekas lombong biasanya tidak sekata kerana operasi perlombongan deda yang mengakibatkan lempung terasingnya daripada pasir (Shamsuddin 1990). Peratusan taburan pasir adalah paling tinggi untuk setiap stesen, diikuti oleh kelodak dan lempung. Stesen 4 menunjukkan kandungan pasir paling tinggi kerana ia merupakan bahagian kawasan pembuangan sisa pepejal. Kandungan pasir pada stesen 3 tinggi kerana ia merupakan tapak pelonggokan bijih yang telah dihancurkan menjadi saiz pasir.

BAHAN ORGANIK TANAH

Kandungan bahan organik dalam tanah disumbangkan oleh komponen tumbuhan yang telah mati dan mereput. Stesen 3 dan 5 (Jadual 2) menunjukkan kandungan bahan organik yang rendah kerana tumbuhan tidak tumbuh dengan baik di kawasan yang mempunyai kandungan bijih dan amang yang tinggi. Ini adalah kerana tanah yang didominasi oleh pasir secara tabiinya kurang menampung air untuk kegunaan tumbuhan di samping kandungan logam beratnya yang tinggi yang menghalang pertumbuhan tumbuhan.



RAJAH 1. Peta menunjukkan kawasan kajian di sekitar air terjun Gunung Pantii

JADUAL 1. Taburan saiz dan tekstur tanah

Stesen	Replikasi	% Pasir	% Kelodak	% Lempung	Tekstur
1	A	51 ± 0.25	28 ± 0.42	21 ± 0.67	Lom lempung berpasir
	B	43 ± 1.55	35 ± 0.86	22 ± 0.69	Lom
	C	45 ± 0.13	43 ± 0.22	13 ± 0.08	Lom
2	A	58 ± 0.14	5 ± 0.12	37 ± 0.02	Lempung berpasir
	B	52 ± 0.52	28 ± 0.4	20 ± 0.13	Lom lempung berpasir
	C	56 ± 0.28	28 ± 0.45	16 ± 0.72	Loam berpasir
3	A	91 ± 0.42	4 ± 0.9		5 ± 1.32 Pasir
	B	82 ± 1.48	13 ± 1.35	5 ± 0.13	Pasir berlom
	C	89 ± 0.33	9 ± 1.01	2 ± 0.69	Pasir berlom
4	A	73 ± 0.72	23 ± 0.74	4 ± 0.02	Pasir berlom
	B	79 ± 0.76	16 ± 0.95	5 ± 0.2	Pasir berlom
	C	92 ± 1.08	6 ± 0.63		2 ± 0.45 Pasir
5	A	60 ± 0.86	29 ± 0.69	11 ± 0.17	Lom berpasir
	B	85 ± 0.89	8 ± 0.19	7 ± 0.7	Pasir berlom
	C	44 ± 0.28	30 ± 0	26 ± 0	Loam lempung berpasir

1, Tapak perlombongan; 2, Lereng bukit; 3, Longgokan bijih; 4, Longgokan pasir; 5, Longgokan amang

CIRI KIMIA TANIH

Kekonduksian elektrik, pH dan kandungan bahan organik tanah ditunjukkan dalam Jadual 2. Secara keseluruhannya, sela purata peratusan kandungan bahan organik di kawasan kajian adalah di antara $2.62 \pm 0.63\%$ hingga $5.27 \pm 0.74\%$. Stesen 2 mencatatkan kandungan peratusan bahan organik yang tertinggi sementara tanah di stesen 3 mengandungi bahan organik yang terendah. Purata kandungan ini dikategorikan sebagai rendah.

PH TANIH

Purata nilai pH untuk setiap stesen di kawasan kajian ditunjukkan dalam Jadual 2. Julat bagi nilai pH di kawasan kajian adalah di antara 4.17 ± 0.3 hingga 5.56 ± 0.26 dengan purata nilai pH keseluruhan 4.76 ± 0.57 . Nilai pH untuk sampel tanah dari stesen 1 adalah terendah iaitu 4.17 ± 0.3 manakala sampel tanah di stesen 4 adalah yang tertinggi iaitu 5.56 ± 0.26 . Keputusan yang diperolehi menunjukkan bahawa semua sampel tanah di kawasan pensampelan adalah bersifat asid sederhana dan kuat. Melalui pemerhatian yang dilakukan ketika proses pensampelan di kawasan kajian, tumbuhan *Nepenthes gracillis* dijumpai dalam kuantiti yang lebih banyak di kawasan Stesen 4 dan 5 berbanding dengan stesen-stesen lain. Ini menunjukkan bahawa spesies tumbuhan ini memerlukan pH tanah sekitar 5 untuk hidup.

KEKONDUKSIAN ELEKTRIK TANIH

Nilai purata untuk kekonduksian elektrik ditunjukkan dalam Jadual 2. Sela nilai kekonduksian elektrik di kawasan kajian adalah daripada 1.76 ± 0.09 hingga 2.46 ± 0.09 mS cm⁻¹. Purata untuk nilai kekonduksian elektrik bagi keseluruhan kawasan kajian ialah 2.13 ± 0.26 mS cm⁻¹. Nilai kekonduksian elektrik tanah di kawasan kajian adalah pada indeks di bawah 3. Massey & Windsor (1967) menyatakan bahawa kekonduksian pada indeks 3 dan ke bawah tidak merosakkan tumbuhan.

KEPEKATAN LOGAM BERAT DALAM TANIH

Kepekatan logam-logam berat dalam sampel tanah ditunjukkan dalam Jadual 3. Purata keseluruhan menunjukkan kelimpahan logam berat yang tertinggi di kawasan kajian ialah Fe (52324.38 mg/kg) diikuti oleh Mn (8071.31 ± 5574.46 mg/kg) dan Cu (1093.93 mg/kg).

Ferum Fe Julat kepekatan Fe di kawasan kajian adalah daripada 12000.8 mg/kg hingga 92213.0 mg/kg dengan purata keseluruhan 52324.4 ± 19506.4 mg/kg. Berbanding dengan logam berat lain logam Fe merupakan unsur yang paling melimpah di kawasan kajian. Punca kelimpahan Fe yang tinggi dalam kawasan kajian dipercayai berasal daripada batuan induknya yang mengandungi komposisi mineral Fe kerana kawasan kajian merupakan bekas

JADUAL 2. Kandungan pH, bahan organik dan kekonduksian elektrik tanah

Stesen	Bahan Organik (%)	pH	Kekonduksian elektrik (mS/cm)
1	4.60 ± 0.4	4.17 ± 0.3	2.06 ± 0.09
2	5.27 ± 0.74	4.25 ± 0.56	1.76 ± 0.09
3	1.67 ± 0.42	4.91 ± 0.48	2.15 ± 0.06
4	4.13 ± 0.98	5.56 ± 0.26	2.25 ± 0.13
5	2.62 ± 0.63	4.91 ± 0.28	2.46 ± 0.09

1, Tapak perlombongan; 2, Lereng bukit; 3, Longgokan bijih; 4, Longgokan pasir; 5, Longgokan amang

JADUAL 3. Kepekatan logam berat terpilih dalam tanah

Stesen		Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)
1	Sela	12000.8-50002.8	395.6 - 3248.7	940.4 - 3439.1
	Purata	35134.6 ± 20304.6	1648.4 ± 1457.9	2413.0 ± 1307.8
2	Sela	25892.1 - 45002.9	426.6 - 659.3	1514.7 - 8304.1
	Purata	38099.9 ± 10602	513.9 ± 126.8	4842.6 ± 3396.6
3	Sela	59009.5 - 65461.7	662.3 - 744.9	6755.1 - 12059.7
	Purata	61515.3 ± 3459.0	708.7 ± 42.2	10291.4 ± 3062.5
4	Sela	52695.6 - 92213.0	1380.7 - 1555.8	11561.8 - 18830.4
	Purata	74661.9 ± 20125.3	1488.3 ± 94.2	15320.4 ± 3640.7
5	Sela	41023.5 - 60266.0	427.7 - 1688.0	1726.7 - 12890.2
	Purata	52210.2 ± 9996.0	1107.1 ± 635.8	7489.0 ± 5590.5

1, Tapak perlombongan; 2, Lereng bukit; 3, Longgokan bijih; 4, Longgokan pasir; 5, Longgokan amang

lombong besi dan timah. Di samping itu Fe merupakan elemen yang mempunyai kekayaan tertinggi di daratan. Logam Fe dalam tanah bertanggungjawab dalam penyerapan dan ketersediaan logam-logam surih yang lain. Ini kerana Fe yang terlarut boleh membentuk logam-logam oksida yang berupaya untuk menjerap elemen-elemen lain (Bodek et al. 1988). Di kawasan kajian, kepekatan Fe yang tinggi akan mempengaruhi juga kepekatan logam berat seperti Co, Cu, Mn dan Zn menjadi tinggi. Ini sesuai dengan keputusan ujian korelasi signifikan positif antara Fe dengan Co, Mn, Zn serta Cu.

Mangan Mn Hasil analisis menunjukkan bahawa julat kepekatan logam Mn dalam kawasan kajian adalah di antara 940.44 mg/kg hingga 18830.4 mg/kg. Purata keseluruhan Mn pula ialah 8071.31 ± 5574.4 mg/kg. Menurut McKenzie (1977; 1980), Mn wujud sebagai oksida dan hidroksida dan menyelaputi partikel tanah lain ataupun membentuk nodul-nodul. Bentuk-bentuk Mn ini mempunyai kapasiti serapan yang tinggi terutama sekali terhadap logam berat seperti Fe, Co, Ni, Zn dan Mo. Ini dapat ditunjukkan oleh Mn dalam kawasan kajian yang mempunyai korelasi positif yang signifikan pada aras keertian ($p < 0.01$) dengan Co ($r = 0.724$) dan Zn ($r = 0.784$). Kelakuan geokimia Mn hidroksida juga hampir menyerupai Fe hidroksida. Logam Mn tertumpu di pelbagai lapisan tanah, khususnya tanah yang kaya dengan ferum oksida ataupun hidroksida. Keadaan ini dapat diperhatikan di Stesen 4 di mana kepekatan logam Fe dan Mn juga merupakan yang tertinggi berbanding dengan stesen lain. Keputusan ujian korelasi juga menunjukkan korelasi signifikan positif yang kuat ($r = 0.862$) pada aras keertian ($p < 0.001$) di antara kedua-dua logam ini.

Kuprum (Cu) Keputusan analisis menunjukkan bahawa sela kepekatan Cu dalam tanah kawasan kajian adalah di antara 395.56 mg/kg hingga 3248.71 mg/kg. Secara keseluruhannya, purata kepekatan logam Cu di kawasan kajian ialah 1093.3 ± 753.9 mg/kg. Jadual 3 menunjukkan taburan logam ini adalah tidak sekata. Menurut Kabata-Pendias & Pendias (2001) semua mineral dalam tanah mempunyai keupayaan untuk menyerap ion Cu tetapi ini bergantung kepada cas-cas permukaan yang dibawa oleh kumpulan penyerap. Contohnya, Fe dan Mn oksida merupakan antara mineral yang paling banyak menyerap Cu. Kehadiran logam Zn dan Cu dalam tanah besar kemungkinan akan mewujudkan satu hubungan perantaraan yang berupaya untuk meningkatkan mobiliti dan kebolehdapatan Cu dalam tanah (Chaudhry & Loneragan 1970; Caldwell 1971). Di kawasan kajian keadaan ini ditunjukkan oleh korelasi signifikan yang positif antara Cu dan Zn ($r = 0.593$), Fe ($r = 0.539$), dan Ni ($r = 0.58$) pada aras keertian ($p < 0.05$) serta Pb ($r = 0.874$) pada aras keertian ($p < 0.001$).

Secara lazimnya, Cu dalam tanah diikat dengan kuat pada tapak-tapak inorganik dan organik serta membentuk kompleks dengan bahan organik. Ikatan yang kuat ini

menimbulkan masalah ketersediaan Cu kepada tumbuhan, namun pertukaran kation daripada Cu^{2+} dan CuOH^+ dalam tanah masih boleh berlaku dengan adanya H^+ (Mengel & Kirkby 1978). Dalam lingkungan pH 4 – 5, asid humik mempunyai afiniti yang tinggi untuk mengikat Cu (Van Dijk 1971; Stevenson & Ardakani 1972). Ini dapat diperhatikan dengan ketara dalam stesen 1 dan stesen 4 di mana keadaan pH bersesuaian dan kandungan bahan organiknya tinggi.

KEPEKATAN LOGAM BERAT DALAM TUMBUHAN

Kandungan logam berat dalam tumbuhan *Nepenthes* sp. yang dapat bermandiri di kawasan bekas lombong tercemar ditunjukkan dalam Jadual 4, 5 dan 6. Hasil kajian menunjukkan terdapat dua keadaan di mana logam berat ditumpukkan dalam tumbuhan. Keadaan pertama berlaku di mana sebilangan logam berat menunjukkan penumpukan dalam tumbuhan yang lebih tinggi berbanding dengan kepekataannya dalam tanah, manakala keadaan kedua yang berlaku adalah kandungan yang sangat rendah di dalam tumbuhan sehingga boleh diabaikan walaupun kelimpahan logam berat itu adalah tinggi dalam tanah.

Ferum Fe Hasil kajian ke atas empat bahagian tumbuhan iaitu akar, daun, periuk atau kendi dan batang mendapati bahawa Fe paling banyak mengumpul di akar dengan purata kepekataannya 438052.4 ± 257272.8 mg/kg, diikuti oleh bahagian periuk dengan purata kepekatan 335351.9 ± 133743.5 mg/kg, bahagian batang dengan 260559.5 ± 231001.6 mg/kg dan akhir sekali di bahagian daun dengan puratanya 254038.4 ± 65230.9 mg/kg. Nilai BAC untuk tumbuhan *Nepenthes* sp mempunyai julat 2.35 hingga 31.48, dengan BAC tertingginya iaitu 31.48 pada bahagian akar (Jadual 4).

Ujian ANOVA menunjukkan bahawa terdapat perbezaan yang signifikan bagi kepekatan Fe dalam bahagian akar, periuk, batang dan daun dengan nilai ANOVA iaitu $F = 3.11$ ($p < 0.033$). Ini bererti terdapat perbezaan yang ketara dalam penumpukan logam Fe pada bahagian-bahagian tumbuhan. Bahagian akar *Nepenthes* sp. mencatatkan penumpukan Fe yang tertinggi berbanding bahagian lain. Tumbuhan mengambil Fe secara metabolik serta penyerapan Fe^{3+} , Fe^{2+} ataupun kelat Fe. Namun kebanyakan Fe diserap masuk melalui akar kerana akar berkebolehan untuk menurunkan Fe^{3+} ke Fe^{2+} lalu menyerap Fe^{2+} . Menurut Chaney et al. (1972), proses penurunan ini merupakan langkah wajib yang asas dalam pengambilan Fe oleh akar.

Keputusan menunjukkan kepekatan Fe di bahagian batang *Nepenthes* sp adalah paling rendah berbanding dengan akar, daun dan periuk. Ini mungkin disebabkan bahagian batang *Nepenthes* sp sentiasa mengalami pertumbuhan ataupun memanjang kerana ia merupakan sejenis tumbuhan yang menjalar. Menurut Scheffer et al. (1979), bahagian tumbuhan yang giat tumbuh dan mengalami pertumbuhan yang intensif lazimnya

JADUAL 4. Kepekatan (mg/kg) logam Fe dan koefisien penyerapan biologi (BAC)

Stesen	Repl	Akar	Daun	Batang	Periuk	Tanah
1	A	226269.2	165115.4	192038.5	195884.6	50002.8
	BAC	(4.53)	(3.30)	(3.84)	(3.92)	
	B	377738.37	215500.00	177038.46	229730.77	12000.82
	BAC	(31.48)	(17.96)	(14.75)	(19.14)	
	C	179346.15	266269.23	208961.54	195500.00	43400.20
2	BAC	(4.13)	(6.14)	(4.81)	(4.50)	
	A	470881.74	209730.77	313692.42	210115.38	25892.07
	BAC	(18.19)	(8.10)	(12.12)	(8.12)	
	B	1131269.23	373576.92	572423.08	237807.69	43404.80
	BAC	(26.06)	(8.61)	(13.19)	(5.48)	
3	C	363576.92	378192.31	1066269.23	218192.31	45002.90
	BAC	(8.08)	(8.40)	(23.69)	(4.85)	
	A	514037.28	246653.85	216269.23	383576.92	65461.70
	BAC	(7.85)	(3.77)	(3.30)	(5.86)	
	B	227807.69	208192.31	203192.31	224346.15	59009.50
4	BAC	(3.86)	(3.53)	(3.44)	(3.80)	
	C	433192.31	223192.31	492823.36	217807.69	60074.60
	BAC	(7.21)	(3.72)	(8.20)	(3.63)	
	A	382807.69	263961.54	295002.44	225500.00	52695.60
	BAC	(7.26)	(5.01)	(5.60)	(4.28)	
5	B	274346.15	217038.46	218961.54	713961.54	92213.00
	BAC	(2.98)	(2.35)	(2.37)	(7.74)	
	C	905500.00	234346.15	240884.62	201269.23	79077.00
	BAC	(11.45)	(2.96)	(3.05)	(2.55)	
	A	325884.62	210500.00	225953.81	219730.77	60266.00
5	BAC	(5.41)	(3.49)	(3.75)	(3.65)	
	B	323576.92	238192.31	300115.38	250884.62	41023.50
	BAC	(7.89)	(5.81)	(7.32)	(6.12)	
	C	434551.39	360115.38	306653.85	184085.35	55341.20
	BAC	(7.85)	(6.51)	(5.54)	(3.33)	

1, Tapak perlombongan; 2, Lereng bukit; 3, Longgokan bijih; 4, Longgokan pasir
5, Longgokan amang

mempunyai amuan Fe yang lebih rendah. Tambahan pula, Fe berada dalam keadaan yang tidak tersedia untuk diangkut dalam tisu-tisu tumbuhan.

Hasil analisis korelasi antara Fe dalam tumbuhan dan Fe dalam substrat tanahnya menunjukkan Fe dalam *Nepenthes* sp. mempunyai hubungan signifikan positif dengan Mn dalam *Nepenthes* sp. ($r=0.89$) pada aras keertian ($p<0.001$).

Merujuk kepada Jadual 4, secara keseluruhannya, kepekatan logam berat Fe mencatatkan jumlah yang tertinggi berbanding dengan logam berat lain dalam tumbuhan *Nepenthes* sp. di kawasan kajian. Faktor yang paling penting menjelaskan fenomena ini ialah kesan daripada kepekatan Fe yang amat tinggi dalam substrat tanah di mana *Nepenthes* sp. tumbuh. Apabila kepekatan Fe terlarut dalam substrat tanah tinggi, maka kebolehdapatannya oleh *Nepenthes* sp. di kawasan kajian juga menjadi tinggi. Ini disebabkan berlakunya interaksi antagonistik antara Fe dengan logam berat yang lain. Nilai BAC bagi logam Fe dalam tumbuhan kajian yang agak tinggi dengan sela 2.35 hingga 31.48. Ini menunjukkan bahawa *Nepenthes* sp. ini boleh dikelaskan sebagai

tumbuhan hiper-pengumpul (*hyperaccumulator*) bagi logam Fe kerana menurut Streit & Stumm (1993), tumbuhan yang berkemampuan mengumpul lebih daripada 14 000 ppm Fe adalah merupakan tumbuhan hiper-pengumpul bagi Fe, contohnya *Eichhornia crassipes* (Pontericeae).

Mangan Mn Kepekatan Mn yang tertinggi didapati pada bahagian akar (220 – 7027.69 mg/kg), diikuti oleh daun (943.08 – 6375.38 mg/kg), batang (201.54 – 9321.54 mg/kg) dan akhir sekali bahagian periuk (26.15 – 4144.62 mg/kg) (Jadual 5). Nilai BAC juga agak rendah iaitu berjulat daripada 0 hingga 4.85. Secara amnya nilai BAC adalah di bawah 1 kecuali untuk sebilangan kecil sampel. Ujian ANOVA tidak menunjukkan perbezaan signifikan di antara kepekatan Mn dalam empat bahagian *Nepenthes* sp. yang dikaji, ini bermaksud penumpukan Mn adalah sekata dalam empat bahagian tumbuhan. Ujian korelasi pula menunjukkan Mn dalam tumbuhan menunjukkan hubungan bererti positif dengan Fe ($p<0.001$), tetapi tidak menunjukkan hubungan yang bererti dengan Cu.

JADUAL 5. Kepekatan (mg/kg) logam Mn dan koefisien penyerapan biologi (BAC)

Stesen	Repl	Akar	Daun	Periuk	Batang	Tanah
1	A	220.00	3690.77	2258.46	816.92	2859.56
	BAC	(0.08)	(1.29)	(0.79)	(0.29)	
	B	1192.02	4563.08	1367.92	2438.46	940.44
	BAC	(1.27)	(4.85)	(1.45)	(2.59)	
	C	3470.77	3426.15	1396.92	3476.92	3439.11
2	BAC	(1.01)	(1.00)	(0.41)	(1.01)	
	A	2028.60	4389.23	1379.71	3247.69	1514.70
	BAC	(1.34)	(2.90)	(0.91)	(2.14)	
	B	6303.08	2858.46	2040.00	1829.23	8304.12
	BAC	(0.76)	(0.34)	(0.25)	(0.22)	
3	C	3015.38	2447.69	3461.54	2996.92	4709.11
	BAC	(0.64)	(0.52)	(0.74)	(0.69)	
	A	4047.41	1447.69	26.15	2364.62	12059.70
	BAC	(0.34)	(0.12)	(0.00)	(0.20)	
	B	1547.69	943.08	1209.23	201.54	12059.40
4	BAC	(0.13)	(0.08)	(0.10)	(0.02)	
	C	3401.54	2283.08	3594.85	870.77	6755.11
	BAC	(0.50)	(0.34)	(0.53)	(0.13)	
	A	2744.62	4103.08	4144.62	958.46	11561.80
	BAC	(0.24)	(0.35)	(0.36)	(0.08)	
5	B	4860.00	1258.46	175.38	9321.54	18830.40
	BAC	(0.26)	(0.07)	(0.01)	(0.50)	
	C	6861.54	2073.85	1075.38	973.85	15569.00
	BAC	(0.44)	(0.13)	(0.07)	(0.06)	
	A	675.35	6072.31	1540.71	1018.46	7850.17
5	BAC	(0.09)	(0.77)	(0.20)	(0.13)	
	B	7027.69	3058.46	2672.31	1003.08	1726.67
	BAC	(4.07)	(1.77)	(1.55)	(0.58)	
	C	2190.40	6375.38	2789.23	1806.17	12890.20
	BAC	(0.17)	(0.49)	(0.22)	(0.22)	

1, Tapak perlombongan; 2, Lereng bukit; 3, Longgokan bijih; 4, Longgokan pasir; 5, Longgokan amang

Pengambilan Mn oleh tumbuhan dikawal oleh proses metabolisme dan juga secara penyerapan pasif jika kepekatan Mn berjangka tinggi dalam larutan substrat tanah. Logam Mn didapati paling tinggi di bahagian akar. Ini kerana berlakunya kepekatan Mn yang berlebihan dalam tumbuhan, maka ia menyimpan Mn dalam akar ataupun menghasilkan MnO_2 dan disimpan dalam epidermis (Bussler 1979; Isermann 1977). Van Goor (1974) melaporkan kepekatan Mn dalam daun adalah lebih tinggi berbanding dengan salur filem dalam batang. Ini menerangkan kepekatan Mn yang rendah dalam buah dan benih. Pernyataan ini dapat menyokong keputusan di kawasan kajian juga di mana kepekatan Mn dalam daun adalah lebih tinggi daripada bahagian batang dan periuknya.

Interaksi Mn dengan elemen-elemen lain turut mempengaruhi kepekatan Mn dalam tumbuhan. Contohnya, antagonisma di antara Fe-Mn. Menurut Alvarez-Tinaut *et al.* (1980), apabila kepekatan Mn menjadi terlalu tinggi di dalam tumbuhan hingga ke tahap toksik, pengambilan Fe akan mula meningkat. Jones (1972) menyatakan bahawa lazimnya Fe dan Mn harus berada

dalam nisbah 1.5 hingga 2 untuk menjamin pertumbuhan yang sihat. Oleh yang demikian, kepekatan Mn dalam *Nepenthes* sp adalah terlalu tinggi dan digolongkan dalam tahap keterlaluan ataupun toksik.

Selain itu, pengambilan Mn oleh tumbuhan juga bergantung kepada takat ketersediaan Mn dalam larutan tanah. Mn yang terlarut amat mudah diserap oleh tumbuhan, jadi kepekatan Mn dalam tumbuhan berkadar langsung dengan ketersediaan Mn dalam tanah.

Secara keseluruhannya, kepekatan Mn dalam tanah di kawasan kajian adalah agak tinggi, maka kepekatan Mn juga turut tinggi dalam tumbuhan. Namun, tumbuhan kajian bukan merupakan pengumpul bagi logam Mn kerana nilai BAC adalah rendah.

Kuprum (Cu) Bahagian akar tumbuhan *Nepenthes* sp. mempunyai kepekatan Cu yang lebih tinggi dengan purata 0.08 ± 0.09 mg/kg berbanding dengan bahagian daun dengan puratanya 0.02 ± 0.007 mg/kg, bahagian periuk 0.02 ± 0.007 mg/kg dan batang 0.02 ± 0.02 mg/kg. Nilai BAC pula menunjukkan julat yang sangat kecil iaitu daripada 0 hingga 1.2×10^4 (Jadual 6).

Jadual 6. Kepekatan (mg/kg) logam Cu dan koefisien penyerapan biologi (BAC) bagi tumbuhan *Nepenthes* sp (Nilai dalam kurungan ialah bacaan BAC $\times 10^{-5}$)

Stesen	Repl	Akar	Daun	Periuk	Batang	Tanah
1	A	0.02	0.01	0.02	0.01	1301.00
	BAC	(1)	(1)	(1)	(1)	
	B	0.03	0.01	0.01	0.01	395.56
	BAC	(8)	(3)	(4)	(2)	
2	C	0.10	0.01	0.02	0	3248.74
	BAC	(3)	(0)	(0)	(0)	
	A	0.00	0.01	0.02	0.01	426.57
	BAC	(1)	(3)	(5)	(3)	
3	B	0.05	0.02	0.01	0.02	659.33
	BAC	(8)	(3)	(2)	(3)	
	C	0.06	0.02	0.02	0.02	455.87
	BAC	(13)	(4)	(5)	(4)	
4	A	0.01	0.01	0.01	0.03	718.89
	BAC	(2)	(2)	(2)	(4)	
	B	0.08	0.02	0.02	0.03	662.33
	BAC	(12)	(3)	(3)	(4)	
5	C	0.06	0.02	0.04	0.02	744.89
	BAC	(8)	(3)	(6)	(3)	
	A	0.05	0.03	0.02	0.03	1528.67
	BAC	(3)	(2)	(1)	(2)	
6	B	0.08	0.03	0.02	0.09	1555.78
	BAC	(5)	(2)	(1)	(5)	
	C	0.31	0.02	0.02	0.02	1380.67
	BAC	(22)	(1)	(1)	(2)	
7	A	0.08	0.03	0.02	0.02	1688.00
	BAC	(5)	(2)	(1)	(1)	
	B	0.29	0.02	0.02	0.03	427.78
	BAC	(68)	(5)	(5)	(6)	
8	C	0.04	0.02	0.02	0.01	1205.63
	BAC	(3)	(2)	(1)	(1)	

1, Tapak perlombongan; 2, Lereng bukit; 3, Longgokan bijih; 4, Longgokan pasir; 5, Longgokan amang

Keputusan menunjukkan walaupun pengambilan Cu adalah sangat rendah, namun masih ketara bahawa pengumpulan berlaku di bahagian akar. Ini disokong oleh ujian ANOVA ($F=6.75$; $p<0.001$) yang memberi perbezaan signifikan antara bahagian tumbuhan tersebut. Apabila kepekatan Cu dalam tumbuhan adalah terlebih ataupun kekurangan, akar akan mempunyai kapasiti yang kuat untuk memegang Cu dan menghalangnya daripada diangkut ke bahagian batang (Loneragan 1981; Tiffin 1972). Tambahan pula, Cu sememangnya mempunyai kadar mobiliti yang rendah berbanding dengan logam lain, maka ia sentiasa berada dalam akar ataupun tisu daun.

Salah satu daripada faktor pengambilan logam Cu yang terhad ialah berlakunya interaksi Cu dengan logam lain. Ion-ion yang mempunyai afiniti terhadap protein yang hampir serupa dengan Cu kemungkinan besar akan bersaing secara antagonistik ataupun berlakunya interaksi sinergistik khasnya dalam proses penyerapan oleh tumbuhan. Contoh interaksi sedemikian adalah seperti Cu-Fe, Cu-Zn, Cu-Mn, Cu-Cd dan Cu-Ni. Kawasan kajian mengandungi kepekatan Ferum yang tertinggi, jadi Fe akan

mengurangkan penyerapan Cu ke dalam tumbuhan (Kabata-Pendias & Pendias 2001). Keputusan daripada analisis statistik membuktikan bahawa pengambilan Cu oleh *Nepenthes* sp. adalah berkolerasi signifikan positif dengan Mn ($r=0.366$) dan Pb ($r=0.617$) pada aras keertian ($p<0.05$). Walaupun kawasan kajian merupakan terdapat permineralan tembaga, namun pengambilan Cu sangat rendah di dalam tumbuhan *Nepenthes* sp.

KESIMPULAN

Berdasarkan purata kepekatan logam dalam tanah di kawasan kajian, didapati logam Fe mempunyai kelimpahan yang paling tinggi diikuti oleh logam Mn dan Cu. Taburan logam berat adalah tidak sekata mengikut stesen.

Hasil kajian juga menunjukkan bahawa kandungan bahan organik dalam tanah adalah rendah. Nilai purata untuk konduktivian elektrik ialah 2.13 ± 0.26 mS cm^{-1} menandakan bahawa kepekatan garam dalam tanah di kawasan kajian tidak tinggi. Tanah di kawasan kajian didominasi oleh pasir dengan nilai pH sekitar 4.17 hingga 5.56.

Kepekatan Fe dalam *Nepenthes* sp terutama sekali bahagian akar didapati tertinggi berbanding dengan logam-logam lain. Secara keseluruhannya, penumpukan logam dalam bahagian tumbuhan adalah tidak sekata kerana bergantung kepada ciri logam itu.

Bagi kajian penentuan Koefisien Penyerapan Biologi (BAC) pula, *Nepenthes* sp boleh dianggap pengumpul biologi untuk logam Fe.

PENGHARGAAN

Penulis ingin merakamkan penghargaan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia di atas kepenggunaan kemudahan penyelidikan yang disediakan dan juga kepada MOSTI yang memberikan gran penyelidikan IRPA 09-02-02-0009EA064 dan 09-02-02-EAR10046 untuk melakukan penyelidikan ini.

RUJUKAN

- Abdulla, H. H. 1966. *A study of the development of podzol profiles in Dovey forest*. Tesis Ph.D Aberystwyth: University of Wales.
- Alvarez-Tinaut, M. C., Leal, A. & Recalde-Martinez, L.R. 1980. Iron-manganese interaction and its relation to boron levels in tomato plants. *Plant and Soil* 55: 377-388.
- Archer, F. C. & Hodgson, I. H. 1987. Total and extracatable trace element content of soils in England and Wales. *Journal of Soil Science* 38: 421-432.
- Avery, B. W. & Bascomb, C.L. 1982. *Soil Survey Laboratory Methods*. Soil Survey Technical Monograph No. 6. Harpenden.
- AOAC. 1984. *Official Method of Analysis* 14th Ed. William, S. (Ed.). Association of Official Chemist, Virginia.
- Bodek, I., Lyman, W. J., Reehl, W. F. & Rosenblatt, D. H. (eds.) 1988. *Environmental Inorganic Chemistry. Properties, Processes, and Estimation Methods*. Oxford Pergamon Press.
- Bussler, W. 1979. Microscopical possibilities for the diagnosis of trace element stress in plants, paper presented at *Int. Symposium Trace Element Stress in Plants*. Los Angeles, November 6, 67.
- Caldwell, T. H. 1971. Copper deficiency in crops. In *Trace Elements in Soils and Crops*. Min. Ag. Fish. Fd. Tech. Bull., 21: 62-87, HMSO, London.
- Chaney, R.L., Brown, J.C. & Tiffin, L.O. 1972. Obligatory reduction of ferric chelates in iron uptake by soybeans. *Plant Physiology* 50: 208-213.
- Chaudhry, F. M. & Loneragan, J. F. 1970. Effects of nitrogen, copper, zinc nutrition on wheat plants. *Aust. J. of Agric. Res.* 21: 865-79.
- Chiras, D. D. 2001. *Environmental science: creating a sustainable future*. 6th edn. P. cm. United States: Jones and Bartlett Publishers, Inc.
- Isermann, K. 1977. A method to reduce contamination and uptake of lead by plants from car exhaust gases. *Environ. Pollut.* 12: 199-203.
- Jones, J.B. 1972. Plant tissue analysis for micronutrients. In *Micronutrients in Agriculture*, Mortvedt, J.J., Giordano, P.M., & Lindsay, W.L. (Eds.). p 319-347. Soil Science Society of America, Madison, Wis., USA.
- Kabata-Pendias, A & Pendias, H. 2001. *Trace elements in soils & plants*. USA: CRC Press.
- Loneragan, J. F. 1981. Distribution and movement of copper in plants. In *Copper in Soils and Plants*. Loneragan, J.F., Robson, A.D. & Graham, R.D. (eds.). p 165-188. Sydney: Academic Press.
- McKenzie, R. M. 1977. Manganese oxides and hydroxides. In *Minerals in Soil Environment*, Dixon, J. B. & Weed, S. B., Eds. p 181-193. Soil Science Society of America, Madison, Wis., USA.
- McKenzie, R. M. 1980. The absorption of lead and other heavy metals on oxides of manganese and iron. *Aust. J. Soil. Res.* 18: 61-73.
- Massey, D. M & Windsor, G. W. 1967. Rep. glasshouse crops res. Inst. p.72.
- Metson, A.J. 1956. *Method of Chemical Analysis for Soil Survey samples*. N.Z.D.S.I.R. Soil Bureau Bulletin no. 12.
- Mengel, K. & Kirkby, E. A. 1978. Copper. In *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute, Wurbflanfen-Bern. 16: 463-74.
- Nriagu, J. O. 1984. *Changing metal cycles and human health*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Raghu, V. 2001. Accumulation of elements in plants and soils in and around Mangampeta and Vemula barite mining areas, Cuddapah District, Andhra Pradesh, India. *Environmental Geology Journal* 40:1265-1277.
- Shamsuddin, J. 1990. *Sifat dan pengurusan tanah di Malaysia*. Kuala Lumpur: DBP.
- Scheffer, K., Stach, W. & Vardakis, F., 1979. ber die Verteilung der Schwermetallen Eisen, Mangan, Kupfer and Zink in Sommergesternpflanzen. *Landwirtsch. Forsch.* 1, 156, 1978: 23-26.
- Stevenson, F.J. & Ardakani, M.S. 1972. Organic matter reactions involving micronutrients in soils. In *Micronutrients in Agriculture*. Mortvedt, J.J., Giordano, P.M., & Lindsay, W.L. (Eds.). 79-113. Soil Science Society of America, Madison, Wis., USA.
- Streit, B. & Stumm, W. 1993. Chemical properties of metals and the process of bioaccumulation in terrestrial plants. In *Plants as Biomonitors*. New York: VCH Publishers Inc.
- Tiffin, L. O., 1972. Translocation of micronutrients in plants. In *Micronutrients in Agriculture*, Mortvedt, J. J., Giordano, P. M. & Lindsay, W. L., Eds. 199-224. Soil Science Society of America, Madison, Wis., USA.
- Van Dijk, H. 1971. Cation binding of humic acids. *Geoderma* 5: 53-67.
- Van Goor, B.J. 1974. Distribution of mineral nutrients in the plant in relation to physiological disorder, paper presented at the 19th *Int. Horticultural Congr.*, Warsaw, September 11, 217.

Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam
Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 Bangi, Selangor, D.E.
Malaysia

Diserahkan : 5 Januari 2007
Diterima : 6 Februari 2007