



KANDUNGAN LOGAM BERAT DALAM PERSEKITARAN TANIH DAN *DILLENIA SUFFRUTICOSA* DI KAWASAN LOMBONG PELEPAH KANAN, KOTA TINGGI JOHOR

(Heavy metals content in Soil Environment dan *Dillenia Suffruticosa* at Pelepah Kanan
Mining Area, Kota Tinggi, Johor)

Sahibin Abd. Rahim, Wan Mohd. Razi Idris, Zulfahmi Ali Rahman, Tukimat Lihan, Ramlan
Omar, Muhammad Barzani Gasim & WongWei Cheng

ABSTRAK

Kajian ini dijalankan di kawasan lombong besi Pelepah Kanan di Kota Tinggi, Johor. Tiga bahagian tumbuhan (daun, batang dan akar) *Dillenia suffruticosa* serta substrat tanah yang menyokong pertumbuhannya dikumpulkan dari kawasan tanah lombong. Tujuan kajian ini ialah untuk menentukan kandungan logam berat dalam tanah dan tumbuhan *Dillenia suffruticosa*. Sebanyak 14 sampel tanah dan tumbuhan *Dillenia suffruticosa* dikumpul untuk dianalisis. Kandungan logam berat jumlah dalam tanah diekstrak dengan asid nitrik dan asid perklorik dalam nisbah 3:1 manakala kandungan logam berat tersedia dalam tanah diekstrak dengan larutan ammonium asetat-asid asetik. Kandungan logam berat dalam tumbuhan pula diekstrak melalui kaedah penghadaman basah. Kandungan logam berat di dalam larutan hasil ekstrak tanah dan tumbuhan ditentukan dengan Spektrofotometer Penyerapan Atom Nyalaan (Perkin Elmer Model 3300). Hasil kajian menunjukkan bahawa Fe mencatatkan kepekatan purata jumlah yang tertinggi di dalam tanah diikuti oleh Mn, Sn, Co, Cu, Pb, Zn, Ni, Cd dan Cr. Kepekatan purata logam berat tersedia dalam susunan menurun adalah serupa dengan purata kepekatan jumlah. Logam berat yang banyak diambil oleh tumbuhan berdasarkan BACnya adalah Ni, Mn, Cr, Sn, Zn dan Cu. Didapati tumbuhan *Dillenia suffruticosa* ini sesuai sebagai agen fitoremediasi untuk logam-logam ini.

Kata kunci: Logam berat, tanah lombong, Kota Tinggi, koefisien pengumpulan biologi (BAC), *Dillenia Suffruticosa*

ABSTRACT

This study was carried out at Pelepah Kanan mining land Kota Tinggi, Johor. *Dillenia suffruticosa* plants and their corresponding substrate samples were collected. The aim of this study was to determine the composition of heavy metal in soil and *Dillenia suffruticosa*. A number of 14 soil and *Dillenia suffruticosa* samples were collected for analysis. Total heavy metals content in soil were extracted with nitric acid and perchloric acid in 3:1 ratio, whereas available heavy metals in soil were extracted with ammonium acetate-acetic acid solution. Wet digestion method was used to extract heavy metals from plant samples. The compositions of heavy metals in the soil and plant extracts were determined with Flame Absorption Atom Spectrofotometry (Perkin Elmer Model 3300). Result of analysis showed that Fe was found to have the highest concentration followed by Mn, Sn, Co, Cu, Pb, Zn, Ni, Cd and Cr. The mean of available heavy metals followed the same pattern. Heavy metals taken up by plant in high quantity based on their BAC were Ni, Mn, Cr, Sn, Zn and Cu. The *Dillenia suffruticosa* is suitable as an agent for phytoremediation for these metals.

Key words: Heavy metals, mine soil, Kota Tinggi, biological accumulation coefficient (BAC), *Dillenia Suffruticosa*

PENDAHULUAN

Aktiviti perlombongan adalah sumber utama kemasukan logam berat ke persekitaran. Dalam proses perlombongan dan pengumpulan bijih timah, sisa lombong dan sisa air dihasilkan, dan habuk juga dibebaskan. Ini menyebabkan persekitaran dicemarkan dengan teruk. Masalah yang paling serius adalah limpahan sisa perlombongan. Sejak 1970, sebanyak 35 kes empangan sisa lombong yang utama di serata dunia menghadapi kegagalan telah dilaporkan. Ini mengakibatkan pencemaran tanah dan sungai serta kehilangan lebih 500 nyawa (Macklin et al. 2003). Pada tahun 2000, terdapat sejumlah lima kes laporan kemalangan di China, Romania, Sweden dan Amerika Syarikat (Macklin et al. 2003). Dudka dan Adriano (1997) menegaskan kesan negatif aktiviti perlombongan dalam persekitaran disebabkan oleh kehadiran sisa lombong yang banyak. Sisa lombong ini biasanya mempunyai ciri yang tidak baik kepada pertumbuhan tumbuhan semulajadi, misalnya pH rendah (Wong et al. 1998), penumpukan logam toksik (Norland & Veith 1995) dan kapasiti penahanan air yang rendah (Henriques & Fernandes 1991). Pencemaran logam berat menjadi lebih penting apabila tanah bekas lombong digunakan untuk pertanian atau pempadanan kerana terdapat risiko tinggi dalam pendedahan logam kepada manusia, sama ada secara langsung daripada habuk yang terapung di udara, atau secara tidak langsung daripada pemakanan sayur-sayuran yang ditanam dalam tanah yang terjejas oleh sisa perlombongan (Conesa et al. 2005). Kajian ke atas *Arundina graminifolia* (Sahibin et al. 2009) di kawasan lombong Pelepah Kanan, menunjukkan kehadiran tumbuhan ini yang dominan. Bagaimanapun keadaan pokoknya tidak sehat yang ditunjukkan pokok yang kurus, bantut dan daun bertompok-tompok. Keadaan ini mungkin disebabkan oleh kandungan nutrien yang rendah di samping ketoksikan logam berat. Artikel ini membincangkan kandungan logam berat dalam tanah dan pengambilan logam berat oleh tumbuhan semulajadi yang terdapat di kawasan lombong Pelepah Kanan, Kota Tinggi, Johor. Tiga bahagian tumbuhan (daun, batang dan akar) *Dillenia suffruticosa* serta substrat tanah yang menyokong pertumbuhannya disampel dan kandungan logam berat dalam tumbuhan dan tanah ditentukan.

KAWASAN KAJIAN

Kawasan kajian ini terletak di sekitar kawasan lombong Pelepah Kanan Kota Tinggi, Johor (Rajah 1) yang bersebelahan dengan kawasan rekreasi air terjun Kota Tinggi dan dikelilingi oleh Hutan Rezab Pantai. Lokasi kajian adalah daripada garis lintang 01°48'15.2''U ke 01°50'22.3''U dan garis bujur 103°50'00.2''T ke 103°50'44.0''T. Lombong ini telah diusahakan semula sejak bulan Ogos 2004 dan mula mengeluarkan hasil bijih besi pada bulan Oktober 2004.

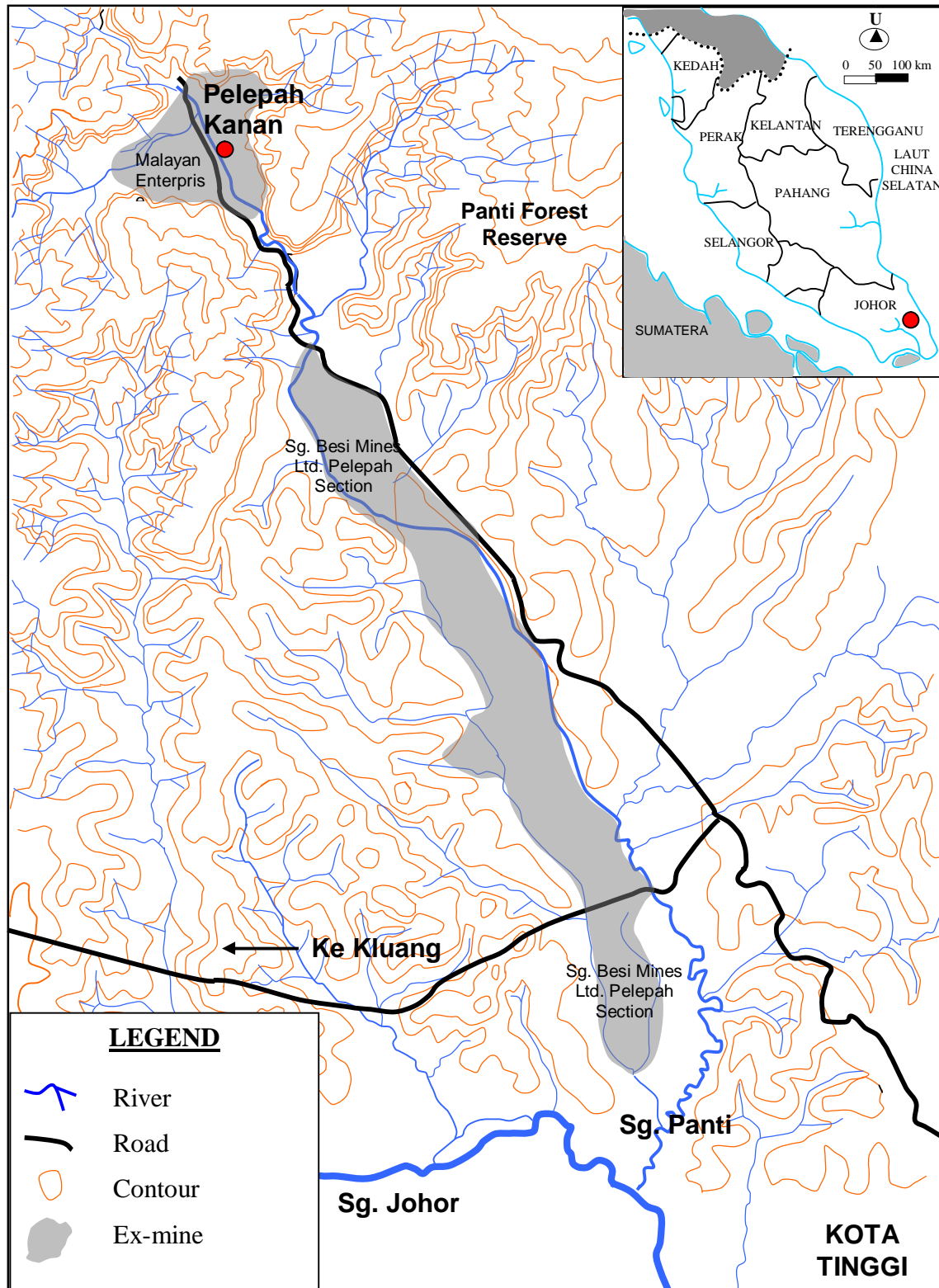
METODOLOGI

(a) Sampel tanah

Sebanyak 14 sampel tanah-atas (0-20cm) telah diambil daripada kawasan kajian. Sampel telah dikutip daripada dua stesen (S1 & S2) pesampelan di kawasan lombong, satu stesen di kawasan bekas lombong (S3) dan satu stesen di luar kawasan lombong (S4). Empat sampel telah diambil daripada stesen 1 hingga 3, manakala hanya dua sampel diambil daripada stesen 4.

(b) Sampel tumbuhan

Sebanyak 14 sampel tumbuhan *Dillenia suffruticosa* telah diambil daripada dua stesen (S1 & S2) pesampelan di kawasan lombong, satu stesen di kawasan bekas lombong (S3) dan satu stesen di luar kawasan lombong (S4). Sebanyak empat sampel telah diambil dari stesen 1 hingga 3, manakala hanya dua sampel diambil daripada stesen 4. Setiap bahagian tumbuhan iaitu akar, batang dan daun digunting dengan gunting plastik sehingga kecil. Sampel ini



Rajah 1. Peta menunjukkan kawasan kajian di Pelepah Kanan

dikeringkan di dalam oven pada suhu 80°C sehingga mencapai berat yang tetap sebelum digunakan untuk penentuan kandungan logam berat. Sampel tanah untuk analisis logam berat diambil daripada tempat yang sama dengan sampel tumbuhan. Sampel tanah diambil menggunakan skop plastik dan dimasukkan ke dalam beg plastik berlabel untuk analisis makmal. Sampel tanah untuk analisis kandungan logam berat dikeringkan pada suhu bilik, selepas itu dihancurkan menggunakan penumbuk agat sehingga mendapat saiz kurang daripada 63 µm. Sampel ini sedia untuk penentuan logam berat.

(c) Penentuan Kandungan Logam Berat Dalam Tanah

Fraksi tersedia: Sebanyak 5 g tanah kering udara <63µm ditimbang dan dimasukkan ke dalam botol Kartel dan 100 mL pengekstrak ammonium asetat-asid asetik 1M ditambahkan ke dalamnya. Botol Kartel ditutup dan digoncang di atas alat penggoncang selama 1 ½ jam pada kelajuan 150 rpm. Selepas itu sampel diletakkan di dalam kukus air pada suhu 70°C selama 30 minit. Sampel dipindahkan ke dalam tiub pengempar dan diempar pada kelajuan 1,500 rpm selama 30 minit. Sampel kemudiannya dituras dengan kertas turas 0.45 µm. Kandungan logam-logam berat dalam larutan pada fraksi ini ditentukan dengan menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom Kaedah Nyalaan (Perkin Elmer Model 3300).

Fraksi tidak tersedia: Sampel tanah daripada penentuan fraksi tersedia digunakan semula. Sampel tanah daripada tiub pengempar dipindahkan ke dalam botol Kartel dan 50 mL air suling ditambahkan ke dalamnya. Botol Kartel ditutup dan digoncangkan di atas mesin penggoncang selama 1 ½ jam. Larutan sampel dipindahkan ke dalam tiub pengempar dan diempar pada kelajuan 1,500 rpm selama 30 minit. Apabila proses pengemparan selesai, air suling dituang keluar. Proses pencucian ini dilakukan adalah untuk mencuci bahan kimia yang digunakan pada fraksi tersedia. Selepas proses pencucian selesai, sampel tanah dipindahkan ke dalam bikar PTFE 50 ml yang tahan suhu tinggi dan diletakkan di atas kukus pasir. Sebanyak 25 mL asid nitrik ditambahkan ke dalam PTFE dan dipanaskan pada kukus pasir pada suhu 90-100°C selama 2 jam. Apabila hampir kering, 10 mL asid perklorik ditambahkan dan dihadam selama 2 jam lagi. Sampel tanah dipindahkan ke dalam tiub pengempar dan diempar pada kelajuan 1,500 rpm selama 30 minit. Larutan sampel yang telah diempar dituras menggunakan kertas turas 0.45 µm. Kandungan logam-logam berat pada fraksi ini ditentukan dengan menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom Kaedah Nyalaan (Perkin Elmer Model 3300).

Penentuan kandungan logam berat dalam tumbuhan

Pengekstrakan logam berat dalam tumbuhan *Dillenia suffruticosa* mengikut bahagian masing-masing iaitu akar, batang dan daun dilakukan secara penghadaman basah menurut kaedah AOAC (1984). Lebih kurang 1.3 g sampel tumbuhan yang telah diserbukkan ditimbang dan dimasukkan ke dalam kelalang kon kemudian ditambahkan dengan 15 mL 69 % asid nitrik pekat. Campuran asid dan sampel tumbuhan dipanaskan di atas kukus pasir pada suhu antara 90-100°C sehingga semua wasap perang asid nitrik tersejat. Selepas itu, 5 mL 60% asid perklorik ditambahkan dan pemanasan sampel larutan diteruskan sehingga warna kuning kelihatan. Setelah larutan sampel sejuk pada suhu bilik larutan dituras dengan kertas turas Whatman No. 6 ke dalam botol ubat 100 mL. Hasil turasan dicairkan sehingga 50 mL dengan air suling dan analisis logam-logam berat dijalankan dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom Kaedah Nyalaan (Perkin Elmer Model 3300)

HASIL DAN PERBINCANGAN

(a) Kepekatan Logam Berat Jumlah Dalam Tanah

Kepekatan logam berat jumlah adalah kepekatan jumlah keseluruhan logam berat yang ada dalam tanah. Nilai ini didapatkan dengan mencampurkan nilai logam berat dalam fraksi tersedia dengan logam berat dalam fraksi tidak tersedia. Nilai kepekatan logam berat jumlah dalam tanah ditunjukkan dalam Jadual 1.

Jadual 1: Purata kepekatan dan sisihan piawai (mg.kg^{-1}) logam-logam berat jumlah di setiap stesen

| Stesen | Fe | Mn | Sn | Co | Cu | Pb | Zn | Ni | Cd | Cr |
|-------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 1 | 677.72 | 312.54 | 62.66 | 40.76 | 5.89 | 14.74 | 17.25 | 4.03 | 2.43 | 0.98 |
| SP(\pm) | 16.98 | 128.38 | 16.96 | 2.20 | 3.91 | 12.29 | 10.50 | 1.22 | 0.18 | 0.77 |
| 2 | 785.45 | 342.47 | 50.67 | 42.67 | 87.66 | 22.42 | 32.82 | 4.76 | 2.84 | 1.31 |
| SP(\pm) | 13.17 | 106.29 | 11.82 | 1.95 | 58.92 | 11.65 | 16.26 | 0.76 | 0.26 | 1.29 |
| 3 | 728.36 | 21.46 | 46.09 | 41.42 | 3.83 | 16.06 | 8.75 | 2.84 | 2.31 | 0.98 |
| SP(\pm) | 12.76 | 4.23 | 10.86 | 0.41 | 1.09 | 0.32 | 1.83 | 0.45 | 0.22 | 0.47 |
| 4 | 839.77 | 214.18 | 47.34 | 42.03 | 9.00 | 24.07 | 10.70 | 3.58 | 2.52 | 1.18 |
| SP(\pm) | 8.45 | 146.07 | 2.38 | 0.95 | 5.66 | 11.65 | 4.93 | 0.05 | 0.01 | 0.21 |
| Purata | 757.83 | 222.66 | 51.69 | 41.72 | 26.60 | 19.32 | 17.38 | 3.80 | 2.53 | 0.98 |

Purata kepekatan logam berat jumlah dalam tanah yang paling tinggi ditunjukkan oleh Fe ($757.83 \text{ mg.kg}^{-1}$) dan diikuti mengikut susunan kepekatan menurun oleh Mn, Sn, Co, Cu, Pb, Zn, Ni, Cd dan Cr.

Secara keseluruhannya, logam Fe merupakan logam berat yang paling banyak dijumpai di kawasan kajian dengan purata kepekatan $757.83 \text{ mg.kg}^{-1}$. Kepekatan purata bagi logam berat jumlah Mn adalah $222.66 \text{ mg.kg}^{-1}$, bagi logam Sn adalah 51.69 mg.kg^{-1} , bagi logam Co adalah 41.72 mg.kg^{-1} , bagi logam Cu adalah 26.60 mg.kg^{-1} dan bagi logam Pb adalah 19.32 mg.kg^{-1} . Ujian ANOVA kandungan logam berat jumlah yang tidak menunjukkan perbezaan signifikan adalah Sn ($F=1.44$; $p>0.05$), Co ($F=1.61$; $p>0.05$), Cu ($F=2.17$; $p>0.05$) dan Pb ($F=0.39$; $p>0.05$). Walaupun dalam Jadual 1 perbezaan purata bagi logam Cu dan Zn agak ketara tetapi sisihan piawai yang besar menyebabkan purata kepekatan logam jumlah tidak signifikan antara stesen. Kepekatan logam berat yang agak tinggi mungkin disebabkan oleh kewujudan gumpalan atau ketulan logam yang terpekat dengan logam tersebut. Purata kepekatan logam jumlah bagi Zn, Ni, Cd dan Cr di kawasan kajian adalah masing-masing 17.38, 3.80, 2.53 dan 0.98 mg.kg^{-1} .

Logam Fe merupakan unsur yang paling kaya di daratan. Logam Fe dalam tanah bertanggungjawab dalam penyerapan dan ketersediaan logam-logam berat yang lain. Ini kerana Fe yang terlarut boleh membentuk logam-logam oksida yang berupaya untuk menjerap unsur-unsur lain (Bodek et al. 1988). Menurut McKenzie (1980), Mn juga 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, Cu dan Mo. Kelakuan geokimia Mn hidroksida hampir menyerupai Fe hidroksida. Kandungan logam Mn didapati tinggi dalam tanah lempung, kaya dengan logam Fe dan bahan organik. Keadaan ini dapat diperhatikan pada Stesen 1, 2 dan 4 yang mempunyai kepekatan jumlah Fe yang tinggi juga mempunyai kepekatan jumlah Mn yang tinggi. Kepekatan jumlah Zn dalam tanah bergantung kepada

kandungan Fe dalam tanah. Apabila kandungan Fe dalam tanah yang semakin tinggi, kepekatan Zn yang dapat diekstrak keluar semakin rendah (Bodas 1996). Menurut Abd-Elfattah dan Wada (1981), logam Fe hidroksida dan oksida mempunyai kadar penjerapan terpilih yang lebih tinggi terhadap Zn. Bagi logam berat Sn dan Co penumpukannya berlaku pada permukaan tanah yang mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi (Aubert & Pinta 1977). Stesen 1 mempunyai kandungan bahan organik yang tertinggi juga mempunyai kepekatan jumlah Sn yang tertinggi. Kandungan Co dalam tanah amat dipengaruhi oleh oksida Mn (Kabata-Pendias & Pendias 2001). Lazimnya Pb akan wujud dalam tanah sebagai Pb^{2+} yang akan diserap oleh permukaan lempung, koloid organik ataupun membentuk kelat Pb yang tidak terlarut dengan kehadiran bahan organik (Lagerwerff 1972). Selain Pb, kepekatan Ni juga dipengaruhi oleh kandungan lempung dan bahan organik. Kandungan Ni adalah tinggi dalam tanah lempung berbanding dengan tanah pasir (Aubert & Pinta 1977). Kandungan lempung dan kandungan bahan organik yang rendah di kawasan bekas lombong ini menjelaskan keadaan jumlah kepekatan Pb dan Ni yang rendah. Kadmium biasanya wujud dalam bentuk ion atau bentuk kompleks yang tidak stabil, yang terikat kepada bahan organik. Pertukaran fraksi Cd dan asosiasi Cd dengan oksida Fe atau Mn adalah faktor utama yang mengurangkan kebolehdapatan Cd dalam tanah (Keller et al. 1992). Kandungan Cr meningkat dalam tanah yang mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi (Aubert & Pinta 1977). Tanah lempung mempunyai kandungan Cr yang lebih tinggi berbanding dengan tanah pasir yang mudah berlaku larut resap (Pasternak & Glinski 1969).

(b) Kepekatan Logam Berat Tersedia Dalam Tanah

Kepekatan logam berat tersedia dalam tanah adalah kepekatan logam berat yang boleh tersedia diambil oleh tumbuhan. Nilai kepekatan logam berat tersedia ditunjukkan dalam Jadual 2.

Jadual 2: Purata kepekatan dan sisihan piawai ($mg \cdot kg^{-1}$) logam-logam berat tersedia di setiap stesen

| Stesen | Fe | Mn | Sn | Co | Cu | Pb | Zn | Ni | Cd | Cr |
|-------------|--------|--------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|-----|
| 1 | 149.98 | 110.89 | 18.53 | 19.26 | 1.05 | 3.81 | 2.05 | 1.72 | 1.02 | bdl |
| SP(\pm) | 65.50 | 110.24 | 12.93 | 0.67 | 0.69 | 1.76 | 1.05 | 0.55 | 0.12 | |
| 2 | 266.77 | 116.92 | 18.58 | 19.19 | 34.67 | 6.95 | 12.41 | 1.90 | 1.28 | bdl |
| SP(\pm) | 120.34 | 79.16 | 4.81 | 0.22 | 8.06 | 4.24 | 12.47 | 1.41 | 0.19 | |
| 3 | 284.76 | 8.24 | 18.62 | 20.32 | 1.11 | 5.24 | 3.94 | 1.21 | 0.97 | bdl |
| SP(\pm) | 77.49 | 1.43 | 6.76 | 0.58 | 0.15 | 1.35 | 1.66 | 0.48 | 0.14 | |
| 4 | 328.06 | 82.37 | 21.08 | 20.14 | 3.73 | 6.87 | 4.95 | 1.73 | 1.18 | bdl |
| SP(\pm) | 38.18 | 93.32 | 6.30 | 0.25 | 3.71 | 2.17 | 3.94 | 0.15 | 0.13 | |
| Purata | 257.39 | 79.61 | 19.20 | 19.73 | 10.14 | 5.72 | 5.84 | 1.64 | 1.11 | bdl |

*bdl = Di bawah had pengesanan

Kepekatan logam berat tersedia adalah berbeza mengikut stesen persampelan. Kepekatan purata logam berat mengikut susunan menurun adalah Fe, Mn, Co, Sn, Cu, Zn, Pb, Ni, Cd dan Cr. Jikalau mengikut stesen, pada stesen 1 dan 4, susunan kepekatan logam berat tersedia secara menurun adalah Fe, Mn, Co, Sn, Pb, Zn, Ni, Cu, Cd dan Cr. Pada stesen 2 dan 3 didapati susunan kepekatannya serupa dengan stesen 1 dan 4 kecuali kandungan Cu yang tinggi (34.67 ± 8.06 mg/kg) berbanding stesen lain. Stesen 3 menunjukkan kepekatan Mn tersedia yang sangat rendah berbanding stesen lain dengan nilai 8.24 ± 1.43 mg/kg. Kandungan Cu yang tinggi di stesen 2 dan Mn yang sangat rendah di stesen 3 adalah sesuai

dengan kandungan logam berat jumlahnya (lihat Jadual 1) yang mempunyai tren yang serupa. Kandungan Cu yang tinggi wujud kerana sampel yang dikaji mengandungi permineralan bijih kuprum di kawasan lombong yang dikaji (Wan Fuad dan Adong 2001), manakala Mn yang rendah disebabkan oleh kandungan sampel yang didominasi oleh pasir kuarza.

Menurut Kabata-Pendias dan Pendias (2001), kepekatan Fe terlarut adalah amat rendah berbanding dengan kepekatan jumlah Fe kecuali dalam keadaan tanah yang amat berasid. Dalam tanah yang berasid dan kaya dengan bahan organik, oksida Mn akan diturunkan kepada Mn(II) yang mobil dalam larutan tanah, membolehkan Mn tersedia untuk pengambilan tumbuhan (Heal 2000). Dapat diperhatikan kepekatan Mn tersedia di kawasan kajian tinggi di setiap stesen kecuali Stesen 3. Logam Cu, Co dan Ni tersedia mempunyai korelasi positif yang signifikan dengan Fe dan Mn menunjukkan logam ini diserap oleh Fe dan Mn semasa pembentukan oksida dan hidroksida. Ini menyebabkan logam ini tidak bergerak dalam fasa terlarut kerana mempunyai afiniti yang kuat terhadap Fe (Kabata-Pendias & Pendias 2001). Mobiliti Sn amat bergantung kepada pH terutamanya Sn^{2+} hanya wujud dalam keadaan asid dan keadaan penurunan. Kepekatan Pb tersedia agak sedikit berbanding dengan jumlah kepekatan Pb dalam tanah di kawasan kajian. Faktor lain yang mempengaruhi ketersediaan logam berat adalah kandungan lempung, pH dan kandungan bahan organik. Sampel tanah di kawasan kajian didapati berasid namun kandungan bahan organik rendah. Logam Zn dan Ni tersedia mempunyai korelasi signifikan positif ($p < 0.05$) dengan pH ($r = 0.648$) dan ($r = 0.787$), masing-masing. Shuman (1975) mendapati nilai pH mempengaruhi kepekatan Zn tersedia dalam tanah. Nilai pH tanah yang rendah dapat meningkatkan kepekatan Zn tersedia dalam tanah (Mandal & Hazra 1997). Logam Cd pula mempunyai korelasi positif ($p < 0.05$) dengan lempung ($r = 0.613$). Ini bermaksud kandungan lempung dalam tanah akan meningkatkan kandungan Cd tersedia (Sullivan et al. 2000; Singh et al. 2001).

(c) Kepekatan Logam Berat Dalam Tumbuhan

Kuprum (Cu): Kepekatan jumlah Cu dalam tumbuhan dalam susunan menurun paling tinggi pada Stesen 2 diikuti oleh stesen 1, 4 dan 3 (lihat Jadual 3). Purata kepekatan bagi jumlah Cu dalam tumbuhan dalam semua stesen adalah 43.83 mg.kg^{-1} . Kepekatan Cu di stesen 2 berbeza secara bererti dengan stesen lain. Kandungan yang tinggi disebabkan oleh kandungan Cu yang tinggi dalam substrat tanah. Berdasarkan bahagian tumbuhan secara keseluruhan purata kepekatan Cu paling tinggi dalam akar diikuti oleh daun dan batang. Nilai BAC yang tertinggi pula ditunjukkan oleh stesen 1 diikuti oleh stesen 4, 3 dan 2. Didapati bahawa stesen 2 yang mempunyai kepekatan Cu yang tinggi dalam tumbuhan mempunyai BAC di bawah 1 menunjukkan pengambilan logam ini tidak aktif di stesen 2. Kepekatan logam Cu yang tinggi di bahagian akar kerana bahagian ini bersentuh secara langsung dengan tanah yang mempunyai logam Cu. Ujian ANOVA logam Cu dalam ketiga-tiga bahagian tumbuhan yang dikaji ($F = 4.55$; $p < 0.017$) menunjukkan perbezaan yang signifikan. Kuprum adalah mikronutrien yang diperlukan untuk pertumbuhan dan metabolisme tumbuhan (Clemens 2001). Baker dan Walker (1990) mendapati persaingan toleransi antara bahagian tumbuhan biasanya menunjukkan pengumpulan Cu yang tinggi dalam akar. Loneragan (1981) dan Tiffin (1972) menyatakan pergerakan Cu yang mobil dari akar ke dalam xilem dan floem adalah proses utama Cu dalam tumbuhan. Sebahagian akar tumbuhan boleh mengumpul kepekatan Cu yang tinggi dan menyekat translokasi Cu ke bahagian pertumbuhan tumbuhan yang lain (Utriainen et al. 1997).

Jadual 3: Kepekatan (mg.kg^{-1}) jumlah logam Cu dan BAC dalam bahagian *Dillenia suffruticosa*

| Stesen | Daun | BAC | Batang | BAC | Akar | BAC | Tanah | Jumlah _k | BAC _j |
|--------|-------|------|--------|------|-------|------|-------|---------------------|------------------|
| 1 | 4.95 | 2.31 | 4.35 | 1.75 | 38.94 | 6.86 | 5.90 | 48.24 | 8.18 |
| SP(±) | 0.53 | 3.05 | 2.31 | 2.16 | 66.85 | 7.14 | 4.44 | | |
| 2 | 10.38 | 0.28 | 4.79 | 0.14 | 62.21 | 1.07 | 87.65 | 77.37 | 0.88 |
| SP(±) | 6.04 | 0.24 | 2.22 | 0.14 | 53.53 | 0.90 | 96.76 | | |
| 3 | 5.16 | 1.42 | 2.62 | 0.75 | 5.16 | 1.46 | 3.83 | 12.94 | 3.38 |
| SP(±) | 0.68 | 0.37 | 0.50 | 0.32 | 1.25 | 0.62 | 1.12 | | |
| 4 | 10.71 | 3.19 | 7.98 | 2.09 | 18.09 | 4.78 | 5.73 | 36.78 | 6.41 |
| SP(±) | 4.58 | 3.84 | 1.13 | 2.30 | 2.89 | 5.31 | 6.68 | | |
| Purata | 7.80 | 1.80 | 4.93 | 1.18 | 31.10 | 3.54 | 25.78 | 43.83 | 1.70 |

Zink (Zn): Kepekatan jumlah Zn dalam tumbuhan paling tinggi ditunjukkan oleh stesen 4 diikuti oleh stesen 2, 1 dan 3. Kepekatan jumlah Zn di setiap stesen tidak menunjukkan perbezaan bererti. Purata kepekatan Zn dalam bahagian tumbuhan adalah paling tinggi dalam akar diikuti oleh batang dan daun (lihat Jadual 4).

Jadual 4: Kepekatan (mg.kg^{-1}) jumlah logam Zn dan BAC dalam bahagian *Dillenia suffruticosa*

| Stesen | Daun | BAC | Batang | BAC | Akar | BAC | Tanah | Jumlah _k | BAC _j |
|--------|-------|------|--------|------|-------|------|-------|---------------------|------------------|
| 1 | 13.90 | 1.18 | 44.70 | 3.94 | 36.96 | 2.90 | 17.25 | 95.56 | 5.54 |
| SP(±) | 4.24 | 1.03 | 9.82 | 3.38 | 17.58 | 2.34 | 10.39 | | |
| 2 | 13.10 | 0.79 | 29.43 | 1.38 | 62.31 | 2.35 | 32.82 | 104.84 | 3.19 |
| SP(±) | 3.95 | 0.72 | 17.57 | 0.77 | 43.20 | 0.84 | 28.40 | | |
| 3 | 17.18 | 2.19 | 19.22 | 2.54 | 36.91 | 4.43 | 8.75 | 73.30 | 8.37 |
| SP(±) | 3.91 | 0.97 | 6.11 | 1.19 | 12.47 | 1.70 | 3.46 | | |
| 4 | 25.78 | 3.61 | 37.50 | 5.76 | 51.78 | 7.07 | 8.40 | 115.06 | 13.69 |
| SP(±) | 0.93 | 2.91 | 7.10 | 5.43 | 5.01 | 5.39 | 6.16 | | |
| Purata | 17.49 | 1.94 | 32.71 | 3.40 | 46.99 | 4.19 | 16.81 | 97.19 | 5.78 |

Ujian ANOVA menunjukkan kepekatan Zn dalam daun menunjukkan perbezaan signifikan antara stesen ($F=5.59$; $p<0.016$) manakala batang dan akar tidak mempunyai perbezaan signifikan ($p>0.05$) antara stesen. Akar tumbuhan lazimnya menyimpan lebih banyak Zn berbanding dengan bahagian tumbuhan yang lain (Kabata-Pendias & Pendias 2001). Ini sesuai dengan keputusan ujian ANOVA yang menunjukkan bahawa terdapat perbezaan signifikan antara kepekatan Zn dalam tiga bahagian tumbuhan yang dikaji ($F=10.27$; $p<0.00$). Nilai BAC bagi stesen 1, 2 dan 3 adalah di dalam kelas aktif manakala stesen 4 berada di dalam kelas sangat aktif.

Kadmium (Cd): Purata kepekatan Cd di bahagian daun adalah tertinggi pada Stesen 1 iaitu $1.66 \pm 1.48 \text{ mg.kg}^{-1}$ dan juga mencatatkan kepekatan Cd dalam batang yang tertinggi iaitu $0.92 \pm 0.39 \text{ mg.kg}^{-1}$ dan akar pada Stesen 2 iaitu $1.09 \pm 0.75 \text{ mg.kg}^{-1}$. Ujian ANOVA menunjukkan kepekatan Cd dalam daun dan batang tidak menunjukkan perbezaan signifikan ($p>0.05$). Ini menunjukkan kepekatan Cd adalah sekata dalam daun dan batang tumbuhan. Bahagian daun tumbuhan *Dillenia suffruticosa* mempunyai kepekatan Cd yang tertinggi antara tiga bahagian tumbuhan. Salt et al. (1995) mendapati keputusan yang serupa pada tumbuhan *B. juncea* yang mana ketoksikan menyebabkan klorosis pada daun. Cosio et al.

(2005) juga melaporkan rawatan 50 μM Cd selama 12 minggu menyebabkan daun *T. caerulea* berbintik-bintik. Penumpukan Cd didapati pada daun tembakau adalah bergantung kepada penumpukan Cd pada akar yang menunjukkan pengawalan ketat bagi translokasi dalam tumbuhan (Dan et al. 2002). Kesan ketoksikan Cd akan menyebabkan akar kehilangan kapasiti untuk penyerapan nutrien, menyebabkan pertumbuhan terbantut dan menyekat akar daripada mengambil nutrien (Schützendübel & Polle 2002). Purata keseluruhan nilai BACj bagi semua stesen adalah kurang daripada 1 menunjukkan pengambilannya tidak aktif (lihat Jadual 5).

Jadual 5: Kepekatan (mg.kg^{-1}) jumlah logam Cd dan BAC dalam bahagian *Dillenia suffruticosa*

| Stesen | Daun | BAC | Batang | BAC | Akar | BAC | Tanah | Jumlah _k | BACj |
|-------------|------|------|--------|------|------|------|-------|---------------------|------|
| 1 | 1.66 | 0.72 | 0.92 | 0.39 | 1.01 | 0.42 | 2.43 | 3.59 | 1.48 |
| SP(\pm) | 1.48 | 0.69 | 0.39 | 0.17 | 0.50 | 0.20 | 0.21 | | |
| 2 | 0.46 | 0.16 | 0.60 | 0.21 | 1.09 | 0.37 | 2.84 | 2.16 | 0.76 |
| SP(\pm) | 0.55 | 0.20 | 0.54 | 0.19 | 0.75 | 0.23 | 0.23 | | |
| 3 | 1.04 | 0.44 | 0.61 | 0.24 | 0.84 | 0.31 | 2.31 | 2.49 | 1.08 |
| SP(\pm) | 0.62 | 0.30 | 0.22 | 0.10 | 0.27 | 0.11 | 0.28 | | |
| 4 | 0.17 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.90 | 0.17 | 0.09 |
| SP(\pm) | 0.24 | 0.10 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.09 | | |
| Purata | 0.83 | 0.35 | 0.54 | 0.21 | 0.73 | 0.27 | 2.37 | 2.10 | 0.89 |

Stanum (Sn): Jumlah kumulatif Sn dalam daun direkodkan paling tinggi pada stesen 1 diikuti oleh stesen 2, 4 dan 3 (Jadual 6). Purata kepekatan Sn dalam semua bahagian tumbuhan di stesen 1 adalah tertinggi dengan kepekatan pada daun, batang dan akar yang masing-masing adalah $247.63 \pm 95.58 \text{ mg.kg}^{-1}$, $167.00 \pm 20.95 \text{ mg.kg}^{-1}$ dan $241.61 \pm 45.56 \text{ mg.kg}^{-1}$. Ujian ANOVA menunjukkan kepekatan Sn dalam daun dan batang tidak menunjukkan perbezaan signifikan ($p > 0.05$) antara stesen manakala akar mempunyai perbezaan signifikan antara stesen ($F=9.44$, $p < 0.003$). Kandungan logam Sn di bahagian tumbuhan *Dillenia suffruticosa* tidak menunjukkan perbezaan yang signifikan ($p > 0.05$), ini bererti kepekatan Sn adalah sekata dalam tumbuhan. Pengambilan Sn oleh tumbuhan adalah aktif dan ini ditunjukkan oleh nilai BACj yang tinggi.

Jadual 6: Kepekatan (mg.kg^{-1}) jumlah logam Sn dan BAC dalam bahagian *Dillenia suffruticosa*

| Stesen | Daun | BAC | Batang | BAC | Akar | BAC | Tanah | Jumlah _k | BACj |
|-------------|--------|------|--------|------|--------|------|-------|---------------------|-------|
| 1 | 247.63 | 4.30 | 167.00 | 3.04 | 241.61 | 4.70 | 62.66 | 656.24 | 10.47 |
| SP(\pm) | 95.58 | 1.63 | 20.95 | 1.41 | 45.56 | 3.27 | 23.14 | | |
| 2 | 150.41 | 3.11 | 132.57 | 2.73 | 173.82 | 3.48 | 50.66 | 456.80 | 9.02 |
| SP(\pm) | 75.27 | 1.77 | 42.46 | 1.05 | 46.81 | 0.64 | 14.61 | | |
| 3 | 94.94 | 2.33 | 81.75 | 2.02 | 109.54 | 2.65 | 46.09 | 286.23 | 6.21 |
| SP(\pm) | 22.88 | 1.16 | 26.02 | 0.92 | 19.95 | 1.00 | 17.54 | | |
| 4 | 175.55 | 3.72 | 145.44 | 2.90 | 113.64 | 2.39 | 39.57 | 434.63 | 10.98 |
| SP(\pm) | 26.95 | 0.11 | 113.86 | 1.87 | 24.74 | 0.08 | 15.53 | | |
| Purata | 167.13 | 3.36 | 131.69 | 2.67 | 159.65 | 3.31 | 49.74 | 458.47 | 9.22 |

Plumbum (Pb): Kepekatan purata jumlah kumulatif bagi setiap stesen tidak menunjukkan perbezaan signifikan (lihat Jadual 7). Kepekatan Pb dalam akar adalah tinggi diikuti oleh batang dan daun. Nilai BACj lebih sedikit daripada 1.

Ujian ANOVA menunjukkan terdapat perbezaan signifikan kepekatan Pb dalam ketiga-tiga bahagian tumbuhan ($F=19.10$, $p<0.00$). Ini bererti kepekatan Pb adalah tidak sekata dalam *Dillenia suffruticosa*. Kepekatan Pb paling tinggi ditunjukkan oleh akar diikuti oleh batang dan daun. Bahagian akar berkeupayaan untuk menyerap banyak Pb yang terlarut dalam larutan tanah, manakala hanya 3% sahaja daripada Pb dalam akar yang dipindahkan kepada bahagian atas tumbuhan (Zimdahl 1975).

Jadual 7: Kepekatan (mg.kg^{-1}) jumlah logam Pb dan BAC dalam bahagian *Dillenia suffruticosa*

| Stesen | Daun | BAC | Batang | BAC | Akar | BAC | Tanah | Jumlah _k | BACj |
|--------|------|------|--------|------|-------|------|-------|---------------------|------|
| 1 | 4.31 | 0.90 | 5.42 | 0.62 | 11.16 | 1.17 | 14.75 | 20.90 | 1.42 |
| SP(±) | 3.08 | 1.42 | 1.99 | 0.52 | 5.20 | 0.71 | 13.30 | | |
| 2 | 4.31 | 0.33 | 5.84 | 0.33 | 14.24 | 0.87 | 23.42 | 24.39 | 1.04 |
| SP(±) | 0.44 | 0.34 | 3.19 | 0.20 | 5.02 | 0.58 | 15.21 | | |
| 3 | 4.34 | 0.27 | 7.04 | 0.46 | 10.83 | 0.67 | 16.06 | 22.21 | 1.38 |
| SP(±) | 1.44 | 0.08 | 4.72 | 0.33 | 2.23 | 0.12 | 1.37 | | |
| 4 | 4.39 | 0.21 | 9.28 | 0.57 | 11.10 | 0.50 | 16.39 | 24.77 | 1.51 |
| SP(±) | 0.47 | 0.10 | 7.43 | 0.64 | 3.59 | 0.14 | 13.35 | | |
| Purata | 4.34 | 0.43 | 6.90 | 0.49 | 11.83 | 0.80 | 17.66 | 23.07 | 1.31 |

Kromium (Cr): Purata kepekatan jumlah kumulatif di semua stesen adalah hampir sama. Kepekatan Cr dalam bahagian tumbuhan juga tidak jauh berbeza antara akar, batang dan daun. Nilai BACj pada stesen 2 agak rendah (Jadual 8). Ujian ANOVA tidak memberi perbezaan signifikan ($p>0.05$) kepekatan Cr di antara ketiga-tiga bahagian tumbuhan. Bahagian daun tumbuhan *Dillenia suffruticosa* mempunyai kepekatan Cr yang tertinggi antara tiga bahagian tumbuhan. Kandungan Cr dalam tumbuhan dikawal oleh kelarutan Cr dalam tanah. Kebanyakan tanah mempunyai jumlah Cr yang tinggi tetapi jumlah yang tersedia untuk tumbuhan adalah amat terhad (Kabata-Pendias & Pendias 2001).

Jadual 8: Kepekatan (mg.kg^{-1}) jumlah logam Cr dan BAC dalam bahagian *Dillenia suffruticosa*

| Stesen | Daun | BAC | Batang | BAC | Akar | BAC | Tanah | Jumlah _k | BACj |
|--------|------|------|--------|------|------|------|-------|---------------------|------|
| 1 | 1.44 | 3.44 | 1.00 | 2.73 | 0.68 | 1.57 | 0.98 | 3.11 | 3.18 |
| SP(±) | 0.82 | 3.90 | 0.86 | 3.05 | 0.51 | 1.96 | 0.77 | | |
| 2 | 1.25 | 1.35 | 0.89 | 1.38 | 1.28 | 3.02 | 1.31 | 3.41 | 2.60 |
| SP(±) | 0.97 | 0.65 | 0.50 | 1.51 | 0.31 | 3.03 | 1.29 | | |
| 3 | 1.11 | 1.34 | 0.97 | 1.22 | 1.57 | 2.04 | 0.96 | 3.64 | 3.81 |
| SP(±) | 0.90 | 1.31 | 0.02 | 0.60 | 0.90 | 1.46 | 0.47 | | |
| 4 | 1.36 | 1.09 | 1.05 | 0.93 | 1.53 | 1.40 | 1.18 | 3.95 | 3.34 |
| SP(±) | 1.08 | 0.73 | 0.32 | 0.43 | 1.14 | 1.21 | 0.21 | | |
| Purata | 1.29 | 1.80 | 0.98 | 1.57 | 1.27 | 2.01 | 1.11 | 3.53 | 3.19 |

Mangan (Mn): Purata kepekatan Mn kumulatif paling tinggi di stesen 1 diikuti oleh stesen 4, 2 dan 3 (lihat Jadual 9). Terdapat perbezaan secara signifikan antara kepekatan logam di stesen 3 dengan stesen lain. Purata kepekatan paling tinggi dalam tumbuhan direkodkan dalam daun diikuti oleh akar dan batang. Ujian ANOVA menunjukkan kepekatan Mn menunjukkan perbezaan signifikan ($F=7.88$, $p<0.001$) di dalam ketiga-tiga bahagian tumbuhan yang dikaji. Ini menunjukkan kepekatan Mn tidak sekata di bahagian tumbuhan *Dillenia suffruticosa*. Van Goor (1974) melaporkan kepekatan Mn dalam daun adalah lebih tinggi berbanding dengan salur floem dalam batang. Kenyataan ini menyokong keputusan yang didapati di kawasan kajian yang menunjukkan kepekatan Mn yang tinggi dalam dalam daun berbanding bahagian batang dan akarnya. Secara puratanya kandungan Mn dalam tumbuhan ini berada dalam sela kepekatan kritikal bagi tumbuhan ($300-500 \text{ mg.kg}^{-1}$)

Jadual 9: Kepekatan (mg.kg^{-1}) jumlah logam Mn dan BAC dalam bahagian *Dillenia suffruticosa*

| Stesen | Daun | BAC | Batang | BAC | Akar | BAC | Tanah | Jumlah _k | BAC _j |
|--------|--------|-------|--------|------|--------|------|--------|---------------------|------------------|
| 1 | 592.43 | 3.28 | 246.91 | 1.44 | 346.98 | 2.05 | 312.53 | 1186.32 | 3.80 |
| SP(±) | 389.16 | 2.80 | 144.16 | 1.39 | 215.82 | 2.04 | 212.90 | | |
| 2 | 379.42 | 1.58 | 109.80 | 0.54 | 392.68 | 1.19 | 342.47 | 881.89 | 2.58 |
| SP(±) | 40.42 | 1.25 | 38.40 | 0.60 | 191.19 | 0.16 | 177.13 | | |
| 3 | 299.65 | 14.76 | 52.24 | 2.47 | 40.84 | 1.95 | 21.46 | 392.73 | 18.30 |
| SP(±) | 106.41 | 7.68 | 8.26 | 0.28 | 16.41 | 0.86 | 4.76 | | |
| 4 | 475.71 | 5.80 | 226.97 | 3.15 | 252.15 | 3.89 | 113.64 | 954.83 | 8.40 |
| SP(±) | 16.55 | 6.41 | 47.47 | 3.75 | 107.96 | 4.85 | 180.62 | | |
| Purata | 436.80 | 6.36 | 158.98 | 1.90 | 258.16 | 2.27 | 197.53 | 853.94 | 4.32 |

Ferum (Fe): Kepekatan kumulatif Fe di dalam tumbuhan adalah tinggi. Kepekatan kumulatif dalam susunan menurun paling tinggi direkodkan dalam stesen 4 diikuti oleh stesen 1, 2 dan 3. Kepekatan Fe didapati paling tinggi di dalam akar ($1013.58 \text{ mg.kg}^{-1}$) diikuti oleh daun ($376.81 \text{ mg.kg}^{-1}$) dan batang ($261.12 \text{ mg.kg}^{-1}$). Nilai purata BAC_j adalah serupa dengan tren dalam kepekatan jumlah kumulatif iaitu paling tinggi pada stesen 4 diikuti oleh stesen 1, 2 dan 3. Nilai purata BAC adalah 2.35 menunjukkan logam Fe diambil dengan banyak oleh tumbuhan. Kepekatan jumlah Fe dalam tumbuhan adalah tertinggi berbanding dengan logam berat lain (lihat Jadual 10).

Jadual 10: Kepekatan (mg.kg^{-1}) jumlah logam Fe dan BAC dalam bahagian *Dillenia suffruticosa*

| Stesen | Daun | BAC | Batang | BAC | Akar | BAC | Tanah | Jumlah _k | BAC _j |
|--------|--------|------|--------|------|---------|------|--------|---------------------|------------------|
| 1 | 316.97 | 0.47 | 350.14 | 0.52 | 1200.37 | 1.77 | 677.73 | 1867.48 | 2.76 |
| SP(±) | 194.61 | 0.29 | 389.26 | 0.59 | 219.74 | 0.27 | 75.40 | | |
| 2 | 148.90 | 0.17 | 127.86 | 0.16 | 1192.69 | 1.52 | 785.45 | 1469.45 | 1.87 |
| SP(±) | 158.80 | 0.16 | 77.95 | 0.08 | 255.10 | 0.30 | 131.25 | | |
| 3 | 53.61 | 0.07 | 22.18 | 0.03 | 441.07 | 0.64 | 728.43 | 516.86 | 0.71 |
| SP(±) | 19.81 | 0.03 | 19.43 | 0.02 | 224.50 | 0.39 | 79.59 | | |
| 4 | 987.75 | 1.19 | 544.31 | 0.66 | 1220.17 | 1.46 | 621.89 | 2752.24 | 4.43 |
| SP(±) | 286.67 | 0.41 | 182.80 | 0.25 | 189.39 | 0.31 | 366.31 | | |
| Purata | 376.81 | 0.48 | 261.12 | 0.34 | 1013.58 | 1.35 | 703.37 | 1651.51 | 2.35 |

Terdapat perbezaan yang signifikan bagi kepekatan Fe dalam bahagian daun, batang dan akar dengan nilai $F=20.68$, $p<0.05$. Ini bererti terdapat perbezaan yang ketara dalam penumpukan logam Fe pada bahagian tumbuhan yang dikaji. Bahagian akar tumbuhan *Dillenia suffruticosa* mempunyai kepekatan Fe yang tertinggi antara tiga bahagian tumbuhan. Menurut Kabata-Pendias & Pendias (2001), tumbuhan mengambil Fe secara metabolik serta penyerapan Fe^{3+} , Fe^{2+} ataupun Fe kelat. Kebanyakan Fe diserap masuk melalui akar kerana akar berkebolehan untuk menurunkan Fe^{3+} ke Fe^{2+} lalu menyerap Fe^{2+} .

Kobalt (Co): Jadual 11 menunjukkan kepekatan purata kumulatif bagi logam Co adalah paling tinggi di stesen 4 diikuti oleh stesen 3, 1 dan 2. Kandungan di dalam tumbuhan pula menunjukkan kepekatan paling tinggi dalam akar, diikuti oleh daun dan batang. Ujian ANOVA tidak menunjukkan perbezaan signifikan ($p>0.05$) di antara kepekatan Co dalam tiga bahagian tumbuhan yang dikaji. Bahagian akar tumbuhan *Dillenia suffruticosa* mempunyai kepekatan Co yang tertinggi antara tiga bahagian tumbuhan. Apabila berlakunya pengambilan Co yang berlebihan pada akar, Co akan diangkut melalui jalan transpirasi dan menumpuk di bahagian penghujung atas tumbuhan (Kabata-Pendias & Pendias 2001). Nilai koefisien pengumpulan biologi (BACj) adalah sangat rendah di kesemua stesen menunjukkan logam ini tidak berapa diserap oleh tumbuhan walaupun kepekatannya banyak di dalam tanah.

Jadual 11: Kepekatan ($mg.kg^{-1}$) jumlah logam Co dan BAC dalam bahagian *Dillenia suffruticosa*

| Stesen | Daun | BAC | Batang | BAC | Akar | BAC | Tanah | Jumlah _k | BACj |
|--------|------|------|--------|------|------|------|-------|---------------------|------|
| 1 | 4.61 | 0.11 | 1.86 | 0.05 | 2.60 | 0.06 | 40.77 | 9.06 | 0.22 |
| SP(±) | 1.71 | 0.05 | 0.68 | 0.02 | 1.21 | 0.03 | 2.46 | | |
| 2 | 2.08 | 0.05 | 2.10 | 0.05 | 4.10 | 0.10 | 42.68 | 8.27 | 0.19 |
| SP(±) | 1.03 | 0.02 | 1.39 | 0.03 | 2.05 | 0.05 | 2.11 | | |
| 3 | 3.49 | 0.08 | 3.32 | 0.08 | 4.29 | 0.10 | 41.42 | 11.10 | 0.27 |
| SP(±) | 1.29 | 0.03 | 1.64 | 0.04 | 1.94 | 0.05 | 0.46 | | |
| 4 | 4.47 | 0.11 | 3.44 | 0.08 | 5.13 | 0.12 | 31.48 | 13.04 | 0.41 |
| SP(±) | 1.04 | 0.03 | 1.00 | 0.02 | 0.93 | 0.02 | 20.69 | | |
| Purata | 3.66 | 0.09 | 2.68 | 0.06 | 4.03 | 0.10 | 39.09 | 10.37 | 0.27 |

Nikel (Ni): Kepekatan kumulatif Ni di dalam tumbuhan paling tinggi ditunjukkan oleh stesen 4 diikuti oleh stesen 3, 2 dan 1. Kepekatan Ni di stesen 1 adalah signifikan lebih rendah

Jadual 12: Kepekatan ($mg.kg^{-1}$) jumlah logam Ni dan BAC dalam bahagian *Dillenia suffruticosa*

| Stesen | Daun | BAC | Batang | BAC | Akar | BAC | Tanah | Jumlah _k | BACj |
|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|---------------------|-------|
| 1 | 21.86 | 6.01 | 17.48 | 4.51 | 16.87 | 4.59 | 4.03 | 56.21 | 13.95 |
| SP(±) | 1.83 | 2.06 | 5.94 | 1.34 | 3.46 | 1.74 | 1.58 | | |
| 2 | 28.96 | 6.94 | 23.11 | 5.88 | 27.69 | 6.77 | 4.76 | 79.75 | 16.75 |
| SP(±) | 5.32 | 2.87 | 3.08 | 3.15 | 2.61 | 2.81 | 2.17 | | |
| 3 | 29.11 | 11.24 | 25.89 | 10.18 | 26.29 | 10.01 | 2.84 | 81.29 | 28.63 |
| SP(±) | 3.91 | 4.14 | 3.09 | 4.51 | 3.64 | 3.32 | 0.93 | | |
| 4 | 33.03 | 9.18 | 29.79 | 8.28 | 25.86 | 7.27 | 2.73 | 88.68 | 32.46 |
| SP(±) | 7.47 | 1.57 | 6.71 | 1.41 | 5.08 | 1.82 | 1.26 | | |
| Purata | 28.24 | 8.34 | 24.07 | 7.21 | 24.18 | 7.16 | 3.59 | 76.48 | 21.30 |

berbanding stesen-stesen yang lain. Purata kepekatan Ni di dalam tumbuhan yang paling tinggi ditunjukkan oleh daun diikuti oleh akar dan batang pokok *Dillenia suffruticosa*.

Walaupun bahagian daun tumbuhan *Dillenia suffruticosa* mempunyai kepekatan Ni yang tertinggi namun ujian ANOVA tidak menunjukkan sebarang perbezaan ($p > 0.05$) bererti antara tiga bahagian tumbuhan tersebut. Ini menunjukkan penumpukan Ni adalah sekata dalam tiga bahagian tumbuhan. Kepekatan Ni secara puratanya dan dalam semua bahagian tumbuhan sudah berada di dalam sela aras kritikal ($10-100 \text{ mg.kg}^{-1}$) dalam tumbuhan. Nilai koefisien pengumpulan biologi (BACj) dalam semua bahagian tumbuhan adalah tinggi menunjukkan pengumpulan Ni yang sangat aktif.

KESIMPULAN

Kandungan logam berat jumlah dalam tanah di kawasan kajian dalam tertib menurun adalah Fe, Mn, Sn, Co, Cu, Pb, Zn, Ni, Cd dan Cr. Tertib kandungan logam berat tersedia pula adalah Fe, Mn, Co, Sn, Cu, Zn, Pb, Ni, Cd dan Cr. Kandungan logam berat Fe, Mn dan Sn tinggi kerana lombong ini adalah lombong besi dan timah. Kepekatan Cr, Ni dan Cd jumlah dan tersedia dalam tanah pula adalah sangat rendah. Di samping itu, logam berat Cr tersedia adalah di bawah had pengesanan. Logam berat Cr, Ni dan Cd biasanya berasosiasi dengan Fe dan Mn ketika pembentukan oksida dan hidroksida.

Logam berat yang paling banyak diambil oleh tumbuhan berdasarkan kepekatan kumulatif dalam tumbuhan adalah Fe, diikuti oleh Mn, Sn, Zn, Cu dan Ni. Kepekatan kumulatif bagi Pb, Co, Cr dan Cd dalam tumbuhan adalah rendah. Kepekatan Ni dan Mn dalam tumbuhan sudah berada pada sela aras kritikal yang boleh menyebabkan kesan ketoksikan kepada tumbuhan. Nilai koefisien pengumpulan biologi (BAC) pengambilan logam berat Cu, Zn, Sn, Pb, Cr, Mn dan Fe adalah tinggi (1-10), pengambilan logam berat Cd dan Co adalah lemah (0.1-1), manakala pengambilan logam berat Ni adalah sangat tinggi (>10). Walaupun kandungan Fe, Mn dan Co dalam tanah adalah tinggi tetapi didapati pengambilannya oleh tumbuhan berdasarkan BACnya adalah rendah.

Spesifik untuk kawasan Lombong Pelepah Kanan tumbuhan *Dillenia suffruticosa* ini boleh digunakan sebagai tumbuhan fitoremediasi bagi logam Ni, Mn, Cr, Sn dan Zn berdasarkan nilai BACnya yang tinggi.

PENGHARGAAN

Kajian ini dijalankan di bawah Projek IRPA 09 02 02 10046 EAR dan Projek UKM-GUP-ASPL-07-06-007. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada MOSTI dan Universiti Kebangsaan Malaysia di atas anugerah geran penyelidikan tersebut. Terima kasih juga kepada UKM yang telah memberikan kemudahan peralatan dan ruang untuk menjayakan penyelidikan ini.

RUJUKAN

- Abd-Elfattah, A. & Wada, K. 1981. Adsorption of lead, copper, zinc, cobalt and cadmium by soils that differ in cation-exchange materials. *J. Soil Sci.* 32: 271.
- Arnesen, A. K. M. & Singh, B. R. 1999. Plant uptake and DTPA-extractability of Cd, Cu, Ni and Zn in a Norwegian alum shale soil as affected by previous addition of dairy and pig manures and peat. *Can. J. Soil. Sci.* 531-539.

- Aubert, H. & Pinta, M. 1977. *Development in soil science 7- Trace elements in soils*. Terj. Zuckerman, L. & Segalen, P. New York: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Baker, A. J. M. & Walker, P. L. 1990. Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. Dlm. Shaw, A. J. (pnyt.). *Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspect*, hlm. 155-177. Boca Raton: CRC Press.
- Bodek, I., Lyman, W. J., Reehl, W. F. & Rosenblatt, D. H. (pnyt.). 1988. *Environmental inorganic chemistry. Properties, processes and estimation methods*. Pergamon Press, Oxford.
- Caldwell, T. H. 1971. Copper deficiency in crops, in trace elements in soils and crops. *Min. Ag. Fish. Fd. Tech. Bull.* 21: 62-87.
- Chaudhry, F. M. & Loneragan, J. F. 1970. Effects of nitrogen, copper, zinc nutrition on wheat plants. *Aust. J. Agric. Res.* 21: 865-79.
- Chiras, D. D. 2001. *Environmental science: Creating a sustainable future*. Ed. Ke-6. United States: P.cm. Jones and Bartlett Publishers, Inc.
- Clements, S. 2001. Molecular mechanisms of plant metal tolerance homeostasis. *Planta.* 212: 475-486.
- Conesa, H. M., Faz, A. & Arnaldos, R. 2005. Heavy metal accumulation and tolerance in plants from mine tailings of the semiarid Cartagena-La Unión mining district (SE Spain). *Sci. Total Environ.* 16: 152-203.
- Cosio, C., Desantis, L., Frey, B., Diallo, S. & Keller, C. 2005. Cadmium distribution in leaves of *Thalasspi caerulescens*. *J. Exp. Bot.* 56: 765-775.
- Dan, T. V., Krishnaraj, S. & Saxena, P. K. 2002. Cadmium and nickel uptake and accumulation inscented geranium (*Perlagonium* sp. "freshman"). *Water Air Soil Poll.* 98: 29-36.
- Dudka, S. & Adriano, D. C. 1997. Environmental impacts of metal ore mining and processing a review. *J. Environ. Qual.* 26: 590-602.
- Fleming, G. A., Walsh, T. & Ryan, P. 1968. Some factors influencing the content and profile distribution of trace elements in Irish soils. *Proc. 9th Int. Congr. Soil Sci.* 2: 341.
- Förstner, U. & Wittmann, G. T. W. (pynt.). 1979. *Metal pollution in the aquatic environment*. New York: Springer, Berlin Heidelberg.
- Heal, K. V. 2000. Manganese and land-use in upland catchments in Scotland. *Sci of Total Environ.* 265: 169-179.
- Henriques, F. S. & Fernanders, J. C. 1991. Metal uptake and distribution in rush (*Juncus conglomeratus* L.) plants growing in pyrites mine tailings at Lousal, Portugal. *Sci. Total Environ* 102: 253-260.

- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. 2001. *Trace elements in soils and plants*. Ed. ke-3. USA: CRC Press.
- Keller, C., domergue, F. –L. & Védý. 1992. Dlm. Vernet, J. P. *Impact of heavy metal on the environment*, hlm. 247-271. Netherlands: Elsevier science Publishers B.V.
- Lagerwerff, J.V. 1972. Pb, Hg and Cd as contaminants. Dlm. Mortvedt, J.J., Giordano, P.M. & Lindsay, W.L. (pnyt.). *Micronutrients in agriculture*, hlm. 593-636. Madison. Soil Sci. Soc. Am.
- Loneragan, J. F. 1981. Distribution and movement of copper in plants. Dlm. Loneragan, J. F., Robson, A. D. & Graham, R. D. (pnyt.). *Copper in soils and plants*, hlm. 165. New York: Academic Press.
- Mandal, B. & Hazra, G. C. 1997. Zn adsorption in soils as influenced by different soil management practices. *Soil Sci.* 162(10): 713-721.
- Macklin, M. G., Brewer, P. A., Balteanu, D., Coulthard, T. J., Driga, B., Howard, A. J. 2003. The long fate and environmental significance of contaminant metals released by the January and March 2000 mining tailing dam failures in Maramures County, upper Tisa Basin, Romania. *Appl. Geochem* 18: 241-57.
- Martin, H. W. & Kaplan, D. I. 1998. Temporal changes in cadmium, thallium and Vanadium mobility in soil and phytoavailability under field conditions. *Water Air Pollut.* 101: 399-410.
- Norland, M. R. & Veith, D. L. 1995. Revegetation of coarse taconite iron ore tailing using municipal waste compost. *J Hazard Mater* 41: 123-134.
- Pasternak, K. & Glinski, J. 1969. Some trace elements in mineral soils of the bottom of ponds. *Pol. J. of Soil. Sci.* 2: 15-24.
- Pinta, M. & Ollat, C. 1961. Recherches physicochimiques des elements trace dans les sols tropicaux. Etude de quelques sols du Dahomey. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 25: 14-23.
- Qureshi, J. A., Thurman, D. A., Hardwick, K. & Collin, H. A. 1985. Uptake and accumulation of zinc, lead and copper in zinc and lead tolerant *Anthoxanthum odoratum* L. *New Phytol.* 100: 429-434.
- Ritcey, G. M. 1989. *Tailings management: Problems and solutions in the mining industry*. New York: Elsevier.
- Sahibin Abd. Rahim, Zulfahmi Ali Rahman, Wan Mohd. Razi Idris, Azman Hashim, Tukimat Lihan, Muhd. Barzani Gasim, Jumaat Adam dan Fong Ngai Lim (2009). Kandungan Logam Berat Terpilih dalam Tanah dan Tumbuhan *Arundina graminifolia* dari Kawasan Lombong Pelepah Kanan, Kota Tinggi, Johor, Malaysia. *Sains Malaysiana* 38(1): 31-38.

- Salt, D. E., Blaylock, M., Kumar, P. N., Dushenkov, V., Ensley, B. D., Chet, I. & Raskin, I. 1995. Phytoremediation - a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *BioTechnology*. 13: 468-474.
- Schützendübel, A. & Polle, A. 2002. Plant responses to abiotic stresses: heavy metals-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *J. Exp. Bot.* 53: 1351- 1365.
- Shuman, L. M. 1975. The effect of soil properties on Zn adsorption by soil. *Soil Sci. Proc. Am. Proc.* 39: 454-458.
- Singh, S. P., Ma, L. Q. & Harris, W. G. 2001. *J. Environ. Qual.* 30: 1968-1997.
- Sullivan, D. J., Shore, J. S. & Rice, J. A. 2000. *Am. Miner.* 85: 1022-1029.
- Tiffin, L. O. 1972. Translocation of micronutrients in plants. Dlm. Mortvedt, J. J., Giordano, P. M. & Lindsay, W. L. (pnyt.). *Micronutrients in agriculture*, hlm. 199. Madison, Wis: Soil Science Society of America.
- Utriainen, M. A., Kärenlampi, L. V., Kärenlampi, S. O. & Schat, H. 1997. Differential tolerance to copper and zinc of micropropagated birched tested in hydroponics. *New Phytol.* 137: 543-549.
- 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.
- Vega, F. A., Covelo, E. F., Andrade, M. L. & Marcet, P. 2004. Relationships between heavy metals content and soil properties in minesoils. *Analytica Chimica Acta.* 524:141-150.
- Wan Fuad W.H. & Adong Laming. 2001. Warisan mineral di lombong air terjun, Kota Tinggi, Johor. Dlm: Ibrahim Komoo, Che Aziz Ali & Mohd. Shafeea Leman (Pytg). *Warisan Geologi Malaysia ke 5*: 297-307. LESTARI: Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Wild, A. 1988. *Soil conditions and plant growth*. Edisi – ke 11. Avon: The Bath Press.
- Wong, J. W. C., Ip, C.M. & Wong, M. H. 1998. Acid-forming capacity of lead-zinc mine tailings and its implications for mine rehabilitation. *Environ. Geochem. Health* 20: 149-55.
- Zimdahl, R. L. 1975. Entry and movement in vegetation of lead derived from air and soil sources. Paper presented at 68th Annu. Meeting of the Air Pollution Control Association, Boston, Mass.
- Sahibin Abd. Rahim, Wan Mohd. Razi Idris, Zulfahmi Ali Rahman, Tukimat Lihan, Muhammad Barzani Gasim, Ramlan Omar & Wong Wei Cheng
 School of Environmental and Natural Resource Sciences,
 Faculty of Science and Technology,
 Universiti Kebangsaan Malaysia,
 43600 Bangi, Selangor
 Email: haiyan@ukm.my