

# REVIEW: Tumbuhan Endemik Tanah Serpentin

## Endemic plants of serpentine soils

SUDARMONO\*

UPT. Pusat Konservasi Tumbuhan-Kebun Raya Bogor, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Bogor 16122.

Diterima: 11 Juli 2007. Disetujui: 18 September 2007

### ABSTRACT

Plant adaptation to serpentine soils is a system ideal for studies in evolutionary ecology. Serpentine soils are characterized by low calcium to magnesium ratios with Ca at significantly lower concentrations relative to surrounding areas. Although some variation occurs between sites which identified three collective traits: poor plant productivity, high rates of endemism and vegetation type distinct from those of neighboring areas. The several morphological feature characteristic of serpentine-tolerant species is possess xeromorphic foliage, including reduced leaf size and sclerophylls, the stature is significantly reduced relative to counterparts on non serpentine soil and root systems of species growing on and off serpentine sites are often more developed on serpentine soils than on neighboring soils. Serpentine soils are ubiquitous, but patchily distributed and thus promote geographic isolation. Adaptation to edaphic conditions may also beget reproductive isolation. Adaptive mutation might be influenced frequently from related species inhabiting surrounding areas. For the future studies involving serpentine systems merge the fields of ecology, evolution, physiology, and genetics required for serpentine adaptation.

© 2007 Jurusan Biologi FMIPA UNS Surakarta

**Key words:** adaptive mutation, endemics, isolation, magnesium, serpentine.

### PENDAHULUAN

Menurut pakar biologi dan ekologi, endemik atau endemis berarti eksklusif asli pada suatu tempat (biota), berlawanan dengan kosmopolitan atau introduksi yang hadir di berbagai tempat. Suatu jenis tumbuhan dikatakan endemik apabila keberadaannya unik di suatu wilayah dan tidak ditemukan di wilayah lain secara alami. Istilah ini biasanya diterapkan pada unit geografi suatu pulau atau kelompok pulau, tetapi kadang-kadang dapat berupa negara, tipe habitat atau wilayah. Tumbuhan yang hidup pada suatu kepulauan cenderung berkembang menjadi tipe atau jenis endemik karena isolasi geografi. Istilah endemik biasanya digunakan untuk daerah yang secara geografi terisolasi. Di dalam suatu pulau dapat terbentuk wilayah/habitat endemik karena adanya proses pembentukan batuan kapur, batuan serpentin, batuan vulkanik atau batuan lainnya. Pada konteks endemisitas, terbentuknya habitat dari batuan serpentin menyebabkan terbentuknya jenis tumbuhan endemik serpentin. Komunitas tumbuhan pada area serpentin umumnya kerdil dan umumnya hanya tumbuh pada habitat tersebut. Habitat ini umumnya berupa area terbuka dan berbatu, dengan vegetasi umum berupa tumbuhan semak dan terkadang pohon dengan daun keperakan atau kecoklatan karena struktur bulunya bersifat memantulkan cahaya. Kegagalan bertani di tanah serpentin disebabkan hilangnya air dan unsur hara yang cepat pada bagian lapis olah tanah.

### PENGETAHUAN TENTANG SERPENTIN

Habitat serpentin mudah diketahui karena berwarna hijau-coklat dengan bebatuan mengkilap berwarna hitam legam dan putih pecah atau tersebar (Gambar 1.). Selama berada di bawah permukaan bumi, batuan serpentin mendapat tekanan tinggi, sehingga pada saat muncul di permukaan dengan hilangnya tekanan, batuan pecah ke bawah hingga berlapis-lapis dan tidak stabil. Serpentin tampak seperti batuan padat berisi besi dan magnesium (Mg) bercampur dengan silika, tetapi pada kenyataannya kadar besi dan Mg biasanya tidak tinggi pada substrat ini. Ahli tanah menamai kondisi ini ultramafik. Tanah serpentin juga memiliki kandungan logam berat yang tinggi seperti kromium, kobalt, dan nikel. Pertumbuhan tanaman akan terhambat oleh kadar tinggi logam ini, bahkan pada banyak lokasi kadarnya mencapai ambang beracun bagi tumbuhan. Serpentin juga kaya serat silika yang dikenal dengan nama asbestos. Mineral asbestos ini lebih banyak merugikan manusia daripada tumbuhan karena dapat menyebabkan kanker. Tantangan lain pada tanah serpentin adalah ketiadaan zat hara (nutrisi). Kandungan kalsium (Ca) pada tanah ini biasanya rendah, sebaliknya kandungan Mg tinggi. Banyak peneliti percaya bahwa rasio Ca: Mg adalah faktor utama yang menentukan daya tahan tumbuhan. Kedua ion positif ini bersaing pada lokasi yang sama untuk terserap oleh akar. Pada kadar Mg yang tinggi, lokasi penyerapan ini menjadi jenuh, sehingga tumbuhan lebih sulit menyerap Ca. Rendahnya kandungan Ca memperburuk kondisi ini. Zat hara lainnya seperti kalium dan fosfor, sangat miskin pada tanah serpentin karena keduanya cepat rusak oleh hujan dan tercuci. Nitrogen juga jarang tersedia di tanah serpentin sehingga menjadi faktor pembatas pertumbuhan tanaman.

---

\* **Alamat korespondensi:**

Jl. Ir. H. Juanda 13, Bogor 16122.  
Tel. +62-251-352519. Fax.: +62-251-322187  
e-mail: s\_darmono@yahoo.com

Secara umum, tanah serpentin bersifat miskin hara dan air. Tanah serpentin umumnya hanya mengandung sedikit remah-remah tanah di permukaannya, tanah serpentin yang dalam hanya terjadi pada ceruk-ceruk di perbukitan berupa tanah alluvial, dimana hujan mencuci sedikit partikel ke bawah. Tumbuhan pada bukit ini mengelompok dan tanahnya masih ultramafik. Jenis tumbuhan serpentin umumnya lebih kecil ukurannya daripada tumbuhan non serpentin. Kebanyakan jenis tumbuhan ini dapat dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu: *tolerator* dan *avoider*. *Tolerator* adalah tumbuhan yang telah beradaptasi dan menjadi vegetasi yang dominan. *Avoider* berkecambah dari biji atau tumbuh dari bagian di bawah tanah dan melengkapi kehidupannya dengan air yang tersedia.

### MEKANISME TOLERAN SERPENTIN

Kadar Mg yang tinggi dan kadar Ca yang rendah pada tanah serpentin kemungkinan merupakan faktor yang paling mempengaruhi mekanisme toleransi tumbuhan pada tanah serpentin. Faktor ini diperkirakan berperan penting dalam mekanisme fisiologi dan evolusi tumbuhan toleran serpentin.

#### *Perbandingan kalsium dan magnesium*

Rendahnya produktifitas tanah serpentin merupakan akibat rendahnya perbandingan Ca: Mg. Pada pertumbuhan yang optimum perbandingan Ca: Mg semestinya sama (Loew dan May, 1901). Vlamis dan Jenny (1948) berpendapat bahwa kadar Ca yang rendah pada tanah serpentin dapat menekan sindrom serpentin dan kadar Mg yang tinggi menyebabkan depresi ketersediaan Ca. Hipotesis ini didukung oleh Kruckeberg (1954), Walker (1954), dan Walker *et al.* (1955) yang menunjukkan bahwa pertumbuhan tumbuhan non serpentin pada tanah serpentin meningkat secara nyata dengan ditambahkan Ca pada tanah. Tumbuhan non serpentin *Phacelia californica* (Hydrophyllaceae) dapat tumbuhan baik jika tanah disuplai dengan Ca (Kruckeberg, 1954). Tumbuhan dapat bertahan lebih baik pada tanah serpentin yang dipupuk dengan N, P, dan K daripada tidak dipupuk. Tanah serpentin yang dicuci larutan klorida, dengan berbagai kadar Ca dan Mg serta pupuk N, P, dan K, kesuburannya bervariasi pada pertukaran Ca dari 5-80% dan Mg dari 4-19%. Kesuburan tanah dengan perbandingan Ca: Mg paling tinggi sama dengan tanah pertanian produktif, sedangkan uji perbandingan Ca: Mg paling rendah ditemukan pada tanah asli serpentin. Pada tanah ini pertumbuhan tomat (*Lycopersicon esculantum* Mill. var. *marglobe*) tergantung kandungan Ca, sedangkan tumbuhan endemik serpentin, *Streptanthus glandulosus* ssp. *pulchellus* (Brassicaceae) stabil pada kadar Ca yang berbeda-beda. Produktifitas rendah pada tanah merupakan akibat rendahnya kadar Ca dan tingginya kadar Mg, jadi hanya jenis tumbuhan yang toleran terhadap tanah dengan tingkat Ca: Mg rendah yang mampu bertahan pada tanah serpentin (Walker, 1954).

Walker *et al.* (1955) mendapatkan kesimpulan yang sama dari penelitiannya terhadap tiga tanaman pangan dan tiga tumbuhan endemik serpentin di California, yang ditumbuhkan pada tanah dengan teknik pencucian dan pemupukan seperti di atas. Pertumbuhan tanaman pangan menurun pada tanah dengan tingkat Ca rendah, sedangkan tumbuhan asli serpentin tidak terpengaruh berbagai kadar Ca. Analisis jaringan tumbuhan menunjukkan bahwa pada tanah dengan perbandingan Ca: Mg rendah, tumbuhan asli serpentin menyerap lebih banyak Ca dan sedikit Mg

daripada tanaman pangan. Jenis tumbuhan serpentin dapat bertahan pada tanah dengan tingkat Ca rendah karena masih dapat menyerap Ca dalam jumlah cukup tanpa menyerap Mg dalam jumlah yang berlebihan. Hasil ini sejalan dengan pernyataan Vlamis dan Jenny (1948) bahwa tumbuhan pada tanah serpentin kebanyakan dipengaruhi oleh rendahnya kandungan Ca dan tingginya kandungan Mg yang akan menghambat penyerapan Ca.

#### *Keracunan magnesium*

Tanah serpentin mengandung Mg yang berpotensi racun. Beberapa peneliti menyimpulkan bahwa Mg merupakan penyebab utama sindrom serpentin (Proctor, 1970, 1971; Marrs dan Proctor, 1976; Brooks dan Yang, 1984; Brooks, 1987). Proctor (1970) yang menganalisis pengaruh kandungan Mg pada tumbuhan serpentin *Agrostis canina* (Poaceae) dan jenis non serpentin *A. stolonifera* menyimpulkan bahwa tumbuhan serpentin lebih menerima Mg yang beracun daripada jenis non serpentin. Mg yang beracun terjadi karena rendahnya kadar Ca, sehingga perlu penambahan Ca pada tanah dan air. Proctor (1971) menyatakan bahwa sindrom serpentin bukan akibat terbatasnya Ca, tetapi karena tingginya kandungan Mg. Madhok dan Walker (1969) menyatakan bahwa hambatan persaingan antara Ca dan Mg pada tanah dengan perbandingan Ca: Mg rendah sangat mempengaruhi penyerapan keduanya oleh tumbuhan endemik serpentin, *Helianthus bolanderi* ssp. *exilis* (Asteraceae) dan *H. annuus*.

Grover (1960) menunjukkan bahwa jumlah Ca yang diserap akar *H. bolanderi* ssp. *exilis* meningkat dengan meningkatnya kadar Ca, namun peningkatan kadar Mg dapat menghambat penyerapan Ca. Madhok dan Walker (1969) menyatakan bahwa *H. bolanderi* ssp. *exilis* lebih toleran pada kadar Mg yang lebih tinggi daripada *H. annuus*, serta menyerap lebih banyak Mg dan lebih sedikit Ca. Marrs dan Proctor (1976) menyatakan bahwa populasi *Agrostis stolonifera* dari kawasan yang sepenuhnya serpentin lebih mampu beradaptasi pada kadar Mg yang tinggi daripada varietas dari lokasi serpentin moderat. Main (1974) menunjukkan bahwa toleransi *Agropyron spicatum* (Poaceae) pada Mg diwariskan. Jenis ini lebih toleran pada kadar Mg yang tinggi daripada jenis non serpentin. Brooks (1987) menyatakan bahwa sifat toleran pada kadar Mg yang tinggi diperlukan dalam pemuliaan tanaman karena dapat diwariskan, sehingga Mg yang beracun pada tanaman dapat ditoleransi pada kadar tertentu.

#### *Kebutuhan magnesium*

Tumbuhan serpentin membutuhkan kadar Mg yang lebih tinggi daripada tumbuhan non serpentin, meskipun beberapa tumbuhan non serpentin juga membutuhkan kadar Mg yang tinggi (Madhok dan Walker, 1969; Main 1974, 1981; Marrs dan Proctor, 1976). Main (1974) menunjukkan bahwa jenis serpentin *Agropyron spicatum* yang ditumbuhkan pada tanah serpentin dengan kadar Mg tinggi, tetap menyerap Mg pada kadar rendah, sehingga tumbuhan serpentin memerlukan tanah dengan kadar Mg yang tinggi agar tetap dapat menyerap unsur tersebut dan unsur hara lainnya. Main (1981) menyatakan bahwa tumbuhan endemik serpentin *Poa curtifolia* (Poaceae) membutuhkan kadar Mg yang sangat tinggi untuk tumbuh optimum. Pertumbuhan tanaman ini secara positif berhubungan dengan kadar Mg dan berkorelasi negatif dengan kadar Ca. Marrs dan Proctor (1976) menunjukkan bahwa jenis serpentin *A. stolonifera* membutuhkan lebih banyak kadar Mg tanah daripada jenis non serpentin. Proctor dan

Woodell (1975) serta Harrison (1997) menyatakan perlunya penelitian untuk mengetahui tingginya kebutuhan Mg pada tumbuhan serpentin, suatu kondisi yang membatasi pertumbuhan jenis non serpentin.

#### *Adaptasi dan toleransi tumbuhan serpentin*

Menurut Kruckeberg (1954) proses adaptasi tumbuhan non serpentin pada tanah serpentin berawal dari perkecambahan biji dan perkembangan tumbuhan non serpentin pada tanah serpentin, hal ini terjadi secara berulang-ulang dan terjadi persilangan antar populasi tumbuhan tersebut sehingga terbentuk keturunan dengan ciri-ciri yang berbeda dengan populasi awal. Ciri-ciri ini menurun dan terakumulasi pada alel toleran serpentin. McNair (1987) mengemukakan bahwa lokasi pertambangan dapat menjadi habitat tumbuhan yang toleran logam berat seperti Cu. Tumbuhan ini akan mampu pula beradaptasi pada lokasi yang miskin unsur hara atau kering seperti tanah serpentin. Menurut Antonovics *et al.* (1971) dan McNair (1987) permulaan adaptasi pada kondisi tersebut ditandai dengan terbentuknya sekumpulan individu (koloni) yang berkembang dan memiliki sifat-sifat yang berbeda secara turun temurun dibandingkan populasi asalnya.

Habitat tepi pantai umumnya merupakan lingkungan yang keras dan tidak mendukung pertumbuhan banyak tumbuhan. Pengaruh kadar Mg yang tinggi pada habitat ini serupa dengan habitat serpentin (Proctor 1971). Kruckeberg (1954) menemukan bahwa jenis tumbuhan yang beradaptasi pada air laut, *Achillea borealis* ssp. *californica* (Asteraceae), juga mampu beradaptasi pada tanah serpentin. Proctor (1971) menemukan hal yang sama pada tumbuhan yang beradaptasi di habitat tepi pantai, *Armeria maritima* (Plumbaginaceae) dan *Silene maritima* (Caryophyllaceae), dimana keduanya juga tumbuh dengan baik pada tanah serpentin. Menurut Boyd dan Martens (1998) proses adaptasi populasi non serpentin pada kondisi serpentin disebabkan adanya: (i) aliran gen dari populasi serpentin ke non serpentin yang membawa alel toleran serpentin, (ii) sifat adaptasi serpentin sedikit atau kurang berperan pada tanaman, atau (iii) sifat adaptasi serpentin lebih dari satu fungsi. Hipotesis pertama meluruskan gambaran awal yang diusulkan oleh Kruckeberg (1954), meskipun gagasan ini hanya didukung sedikit data. Hipotesis ketiga menjadi bukti adanya toleransi-silang pada tumbuhan serpentin dan non serpentin. Hipotesis kedua tampaknya sulit diterima, karena apabila sifat toleran serpentin sedikit atau kurang berperan, maka tumbuhan serpentin akan tumbuh sebaik tumbuhan non serpentin pada tanah "normal", tetapi pada kenyataannya tumbuhan serpentin tidak tumbuh sebaik tumbuhan non serpentin apabila ditanam pada tanah non serpentin (Kruckeberg 1954). Potensi pertumbuhan tumbuhan serpentin lebih lambat daripada tumbuhan non serpentin (Brady, 2005).

Reeves dan Baker (1984) menyatakan bahwa toleransi logam pada *Thlaspi goesingense* (Brassicaceae) yang merupakan pembawa gen adaptasi serpentin hanya muncul ketika tumbuh pada tanah dengan kadar logam tinggi. Populasi *T. goesingense* dari tanah serpentin dan tanah kapur yang ditanam pada media yang mengandung Ni, Co, Zn dan Mn dalam berbagai kadar, menunjukkan bahwa tanaman tersebut tetap tumbuh dengan baik pada tanah non serpentin tanpa logam berat. Terjadinya akumulasi logam dan perbedaan penampilan pertumbuhan pada masing-masing populasi dengan tipe tanah yang berbeda menunjukkan bahwa toleransi terhadap logam berat bersifat genetik. Boyd dan Martens (1998) mendapatkan hasil yang sejalan dengan penelitian tersebut pada *Thlaspi montanum*

var. *montanum* (Brassicaceae), dalam hal toleransi Ni. Biji populasi serpentin dan non serpentin yang ditanam pada tanah dengan kisaran kadar Ni "normal" sampai tinggi menunjukkan adanya hiperakumulasi Ni pada populasi serpentin, meskipun perlakuannya sama, sehingga disimpulkan bahwa hiperakumulasi Ni pada *T. montanum* var. *montanum* bersifat genetik.

## EKOLOGI PADA SISTEM SERPENTIN

Ekosistem serpentin menarik untuk diteliti karena tingginya jenis tumbuhan endemik, keragaman morfologi, dan keragaman sifat komunitasnya. Iturralde (2001) yang menganalisis ekosistem tumbuhan serpentin di Kuba menunjukkan adanya kesamaan adaptasi morfologi pada berbagai tumbuhan serpentin seperti adanya sklerofil, mikrofil, dan duri rapat pada batang. Batianoff dan Singh (2001) yang meneliti perbedaan ekologi dan frekwensi endemisitas tumbuhan serpentin dataran rendah dan dataran tinggi di Australia timur menyimpulkan bahwa kondisi edafik berpengaruh kuat terhadap keragaman jenis dan tingkat endemisitas. Cooke (1994) yang meneliti pengaruh dinamika komposisi jenis serpentin dan non serpentin di gunung Wenatchee, Washington menemukan bahwa jenis serpentin kebanyakan toleran pada kadar Ca rendah dan kadar Mg dan Ni tinggi. Untuk mengurangi kebutuhan air dan mencegah hilangnya air, tumbuhan serpentin dapat menurunkan potensial air dan mengatur penutupan stomata.

Beberapa penelitian mengemukakan pentingnya toleransi kekeringan untuk bertahan pada tanah serpentin. Chiarucci (2004) mengidentifikasi bahwa kekeringan lebih menghambat pertumbuhan pada tanah serpentin di Tuscany, Italia daripada logam berat. Freitas dan Mooney (1995) menunjukkan bahwa populasi *Bromus hordeaceus* (Poaceae) yang tumbuh pada tanah serpentin lebih mampu beradaptasi terhadap cekaman kekeringan daripada populasi yang tumbuh pada batuan pasir. Armstrong dan Huenneke (1992) yang memeriksa pengaruh kekeringan pada komposisi jenis rumput serpentin di California menunjukkan bahwa kekeringan selama empat tahun berturut-turut tidak mempengaruhi bonggol asli rumput karena sistem perakarannya mampu mencapai kelembaban di kedalaman tanah. McCarten (1992) mengemukakan bahwa selain komposisi mineral, maka kedalaman tanah dan kemiringan lereng merupakan faktor penting yang mempengaruhi struktur komunitas rumput serpentin di California, karena mempengaruhi ketersediaan air tanah. Rumput tahunan banyak ditemukan pada tanah yang dalam dimana akar dapat mengakses kelembaban tanah, sedangkan rumput semusim dengan perakaran yang lebih sedikit sering ditemukan pada lapisan tanah atas. Kombinasi kedalaman dan sifat kimia tanah menciptakan mikrohabitat pada rumput serpentin.

## FISIOLOGI PADA TUMBUHAN TOLERAN SERPENTIN

Tumbuhan toleran-serpentin memiliki kemampuan bertahan dengan kondisi miskin unsur hara. Mekanisme adaptasi tumbuhan yang toleran pada tanah dengan jumlah Ca rendah serta kadar Mg dan logam berat tinggi masih belum dipahami sepenuhnya. Lee *et al.* (1997) membandingkan pengaruh kadar sembilan unsur hara pada pupuk daun (N, P, K, Ca, Mg, Ni, Cu, Co, dan Cr) terhadap

12 jenis tumbuhan serpentin dan non serpentin di Selandia Baru. Dalam hal ini, pupuk daun dengan Mg dan Ni secara nyata meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman pada tanah serpentin daripada non serpentin. Sebaliknya keberadaan Ca menurunkan pertumbuhan tanaman pada tanah serpentin. Penambahan Cu, Co dan/atau Cr secara nyata memperbaiki pertumbuhan pada tanah serpentin. Tibbetts dan Smith (1992) menggunakan *Sedum anglicum* (Crassulaceae) untuk menganalisis akumulasi Ca dan Mg pada sel tumbuhan. Meskipun *S. anglicum* tidak berasosiasi dengan tanah serpentin, jenis ini dipilih karena sel mesofil parenkimnya besar dan ukuran vakuolanya lebih dari 95% volume sel. *S. anglicum* dapat ditemukan pada tanah yang kaya Mg dan jenis ini toleran pada perbandingan Ca: Mg dengan kisaran yang luas, meskipun lebih menyukai Ca daripada Mg. Keseimbangan perbandingan Ca: Mg yang berhubungan dengan sel tercapai pada kisaran 1: 6, serta kurang dari setengah total Mg dan Ca pada sel yang membentuk kation bebas. Pengikatan sejumlah besar ion-ion itu kemungkinan mencegah keracunan pada sel.

Perbedaan fisiologi adaptasi dua varietas *Lasthenia californica* (Asteraceae) telah diteliti oleh Rajakaruna dan Bohm (1999), Rajakaruna (2003a), serta Rajakaruna *et al.* (2003c). Varietas pertama tumbuh pada tanah yang memiliki kandungan air, persentase liat, kapasitas pertukaran kation, dan kadar Na dan Mg yang lebih tinggi daripada tanah varietas kedua, dimana perbandingan Ca: Mg lebih tinggi dan kadar Ca, K, dan Ni tinggi. Hasilnya mengungkapkan bahwa varietas pertama lebih toleran pada kondisi cekaman unsur hara termasuk tingginya kadar Na dan Mg, serta kekeringan (Rajakaruna *et al.*, 2003b). Varietas pertama menyerap Ca dan Mg dua kali lebih besar daripada varietas kedua. Kadar Ca dan Mg pada akar varietas pertama sebanyak 127 kali dari kontrol, sedangkan pada varietas kedua sebanyak 28 kalinya; berarti pada varietas pertama terdapat akumulasi ion yang lebih besar (Rajakaruna *et al.* 2003c). Sebaliknya kadar ion pada akar tetap sama pada kedua jenis tersebut, menyatakan bahwa kadar ion yang tinggi pada akar varietas pertama mengindikasikan tingginya kecepatan penyerapan dan translokasi ion-ion pada varietas pertama. Ini merupakan catatan yang berharga pada penelitian ini apabila digabungkan dengan penelitian awal (misalnya Madhok 1965; Madhok dan Walker 1969; Walker *et al.* 1955) yang menyatakan bahwa dasar fisiologi pada tumbuhan toleran serpentin melibatkan satu atau lebih mekanisme yang berbeda (Rajakaruna *et al.* 2003c), termasuk diskriminasi penyerapan ion pada akar, komponen translokasi ion, dan/atau pengikatan ion.

#### Proses spesiasi pada tumbuhan serpentin

Secara molekuler tumbuhan serpentin telah banyak mengalami perubahan genetik dibandingkan induknya (Gardner dan McNair, 2000). Penelitian DNA pada kloroplas dan inti ribosom sel menunjukkan adanya kontradiksi topologi filogeni keduanya. Penelitian oleh Baldwin (2005) pada *Layia discoidea* dan *L. glandulosa* (Compositae), Mayer *et al.* (1994) pada *Streptanthus glandulosus* kompleks (Cruciferae), serta Pepper dan Norwood (2001) pada *Caulanthus amplexicaulis* var. *barbarae* (Brassicaceae) menunjukkan bahwa tumbuhan endemik terjadi karena adanya pertukaran gen antara induk yang tumbuh pada tanah non serpentin dengan keturunannya yang tumbuh pada tanah serpentin selama berabad-abad. Pada *Salvia isensis* (Lamiaceae) terjadi kontradiksi topologi antara kloroplas dan inti ribosom sel DNA (Sudarmono dan Okada, 2007). Hal ini diperkuat dengan analisis alozim, yang menunjukkan adanya pertukaran alel pada beberapa sistem enzim. Pertukaran alel tersebut kemungkinan terjadi karena

adanya serangga penyerbuk yang bersifat spesialis. Pengamatan penulis pribadi menunjukkan bahwa pembungaan *S. isensis* dan *S. japonica* terjadi pada waktu yang sama serta persilangan keduanya kompatibel, sehingga menyebabkan perubahan genetik. Kondisi geografi dan lingkungan juga mendorong terjadinya radiasi adaptif, seperti tanah serpentin, iklim mikro, isolasi penyerbuk, isolasi geografi (gunung atau lembah di antara gunung), dan pertukaran gen (Brady *et al.*, 2005).

#### Jenis-jenis tumbuhan endemik

Jenis endemik adalah jenis yang ditemukan secara eksklusif pada suatu lokasi yang memiliki sifat-sifat spesifik, misalnya tanah serpentin. Tanah serpentin dapat dibedakan secara alami dari tanah lainnya berdasarkan kondisi lingkungannya atau jenis tumbuhannya, yang berbeda secara mencolok dengan tempat lain. Suatu jenis tumbuhan dapat dinyatakan endemik serpentin apabila hanya ditemukan pada kawasan serpentin. Habitat serpentin adalah suatu pulau geologi dengan tipe tanah serpentin yang muncul dipermukaan bumi berabad-abad yang lalu, kemudian jenis baru tersebar di atasnya dari habitat di sekitarnya. Tumbuhan serpentin dapat membentuk kelompok dan bertahan lama, berkembang memisahkan diri dari kerabatnya yang tumbuh pada tanah non serpentin. Pada banyak kasus, jenis baru tumbuhan serpentin dapat bertahan karena rendahnya kompetisi pada tipe tanah ini. Dalam konteks efek pulau, tanah serpentin adalah habitat dari sejumlah besar jenis yang hanya ditemukan pada tanah serpentin dan mempunyai daerah yang terbatas. Daerah batuan serpentin jarang ada di permukaan bumi, tetapi cukup luas di California dan Utah (Amerika Serikat), Honshu (Jepang) dan di Indonesia ada di beberapa wilayah yaitu Sulawesi, Jawa, dan Nusa Tenggara. Ancaman terhadap kawasan ini biasanya karena adanya penambangan batu untuk bahan bangunan seperti di Kebumen (Jawa Tengah) dan Ende (Nusa Tenggara Timur). Di Amerika Serikat, wilayah serpentin dijadikan Taman Nasional dan dilindungi dari ancaman pertambangan (Anonim, 2002), begitu juga di Gunung Asamayama, Jepang. Apabila tidak dilindungi maka tumbuhan endemik serpentin akan punah atau jumlahnya menurun. Keanekaragaman jenis tumbuhan endemik serpentin relatif rendah, sehingga perlu dilindungi secara terus menerus. Sepanjang tidak terganggu mereka akan bertahan selama ribuan tahun.

Tanah serpentin di California memiliki beberapa jenis tumbuhan endemik, misalnya *Mimulus nudatus* Curran ex Greene (Gambar 2A.) dan *Mimulus guttatus* DC. (Gambar 2B.). *M. nudatus* merupakan herba dengan bunga kuning dan hanya ditemukan di sekitar danau Napa. Pada musim hujan, ketika rembesan air mengisi celah-celah batuan serpentin populasinya cukup besar. Jenis ini mempunyai daun kecil dan berbentuk seperti kulit tipis, dan dibedakan dari *M. guttatus* yang daunnya berbentuk sekop. Pohon endemik serpentin yang ditemukan terutama adalah *Quercus durata* var. *durata*, yaitu pohon berdaun hijau gelap, melengkung, berduri pada tepinya, keras dan berkulit, biji oval dengan ujung membuldar. Semak endemik yang umum ditemukan antara lain *Ceanothus jepsonii* var. *albiflorus* dan *Arctostaphylos vicida* ssp. *pulchella*. Di Utah, tumbuh pohon *Cupressus macnabiana* yang sebarannya sangat terbatas, dan *S. sargentii* yang tersebar luas pada daerah tangkapan air. Beberapa marga terkait dengan habitat serpentin, misalnya separuh dari 24 jenis tumbuhan dari marga *Streptanthus* di California diasosiasikan dengan tanah serpentin (McNair, 1983; Hughes *et al.*, 2001; Anonim, 2002). Jenis endemik serpentin yang lain di California disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Tumbuhan serpentin endemik atau jarang ditemukan pada tanah non serpentin di California (Anonim, 2002).

Jenis	Familia
<i>Polystichum lemmonii</i>	Pteridophyta
<i>Cupressus sargentii</i>	Pinaceae
<i>Juniperus communis</i> var. <i>jackii</i>	Pinaceae
<i>Asclepias solanoana</i>	Apocynaceae
<i>Cryptantha clevelandii</i> var. <i>dissita</i>	Boraginaceae
<i>Cryptantha hispidula</i>	Boraginaceae
<i>Nemacladus montanus</i>	Campanulaceae
<i>Minuartia decumbens</i>	Caryophyllaceae
<i>Minuartia howellii</i>	Caryophyllaceae
<i>Minuartia rosei</i>	Caryophyllaceae
<i>Minuartia stolonifera</i>	Caryophyllaceae
<i>Silene campanulata</i> ssp. <i>campanulata</i>	Caryophyllaceae
<i>Arnica cernua</i>	Compositae
<i>Harmonia doris-nilesiae</i>	Compositae
<i>Harmonia hallii</i>	Compositae
<i>Helianthus bolanderi</i> ssp. <i>exilis</i>	Compositae
<i>Senecio clevelandii</i>	Compositae
<i>Senecio greenei</i>	Compositae
<i>Senecio ligulifolius</i>	Compositae
<i>Sedum eastwoodiae</i>	Crassulaceae
<i>Arabis aculeolata</i>	Cruciferae
<i>Arabis macdonaldiana</i>	Cruciferae
<i>Arabis serpentinicola</i>	Cruciferae
<i>Cardamine pachystigma</i> var. <i>dissectifolia</i>	Cruciferae
<i>Draba carnosula</i>	Cruciferae
<i>Streptanthus barbatus</i>	Cruciferae
<i>Streptanthus barbiger</i>	Cruciferae
<i>Streptanthus brachiatus</i>	Cruciferae
<i>Streptanthus breweri</i> var. <i>breweri</i>	Cruciferae
<i>Streptanthus drepanoides</i>	Cruciferae
<i>Streptanthus morrisonii</i> var. <i>elatus</i>	Cruciferae
<i>Thlaspi californicum</i>	Cruciferae
<i>Arctostaphylos canescens</i> ssp. <i>sonomensis</i>	Ericaceae
<i>Arctostaphylos stanfordiana</i> ssp. <i>raichei</i>	Ericaceae
<i>Quercus durata</i> ssp. <i>durata</i>	Fagaceae
<i>Calamagrostis ophitidis</i>	Gramineae
<i>Poa piperi</i>	Gramineae
<i>Phacelia corymbosa</i>	Hydrophyllaceae
<i>Phacelia dalesiana</i>	Hydrophyllaceae
<i>Phacelia greenei</i>	Hydrophyllaceae
<i>Lathyrus biflorus</i>	Leguminosae
<i>Lupinus constancei</i>	Leguminosae
<i>Allium fimbriatum</i> var. <i>purdyi</i>	Liliaceae
<i>Allium hoffmanii</i>	Liliaceae
<i>Brodiaea stellaris</i>	Liliaceae
<i>Fritillaria glauca</i>	Liliaceae
<i>Fritillaria purdyi</i>	Liliaceae
<i>Lilium bolanderi</i>	Liliaceae
<i>Hesperolinon adenophyllum</i>	Linaceae
<i>Hesperolinon bicarpellatum</i>	Linaceae
<i>Hesperolinon didymocarpum</i>	Linaceae
<i>Hesperolinon disjunctum</i>	Linaceae
<i>Hesperolinon drymarioides</i>	Linaceae
<i>Hesperolinon serpenticum</i>	Linaceae
<i>Hesperolinon tehamente</i>	Linaceae
<i>Epilobium alpinus</i>	Onagraceae
<i>Collomia diversifolia</i>	Polemoniaceae
<i>Navaretia jepsonii</i>	Polemoniaceae
<i>Phlox hirsute</i>	Polemoniaceae
<i>Eriogonum congdonii</i>	Polygonaceae
<i>Eriogonum kelloggii</i>	Polygonaceae
<i>Eriogonum libertine</i>	Polygonaceae
<i>Eriogonum nervulosum</i>	Polygonaceae
<i>Eriogonum ternatum</i>	Polygonaceae
<i>Eriogonum tripodum</i>	Polygonaceae
<i>Lewisia oppositifolia</i>	Portulacaceae
<i>Delphinium uliginosum</i>	Ranunculaceae
<i>Ceanothus jepsonii</i> var. <i>albiflorus</i>	Rhamnaceae
<i>Ceanothus jepsonii</i> var. <i>jepsonii</i>	Rhamnaceae
<i>Galium serpenticum</i> ssp. <i>scotticum</i>	Rubiaceae
<i>Salix breweri</i>	Salicaceae
<i>Salix delnortensis</i>	Salicaceae
<i>Collinsia greenei</i>	Scrophulariaceae
<i>Cordylanthus pringlei</i>	Scrophulariaceae
<i>Cordylanthus tenuis</i> ssp. <i>brunneus</i>	Scrophulariaceae
<i>Cordylanthus tenuis</i> ssp. <i>viscidus</i>	Scrophulariaceae
<i>Mimulus nudatus</i>	Scrophulariaceae
<i>Penstemon filiformis</i>	Scrophulariaceae
<i>Lomatium ciliolatum</i> var. <i>ciliolatum</i>	Umbelliferae
<i>Lomatium ciliolatum</i> var. <i>hooveri</i>	Umbelliferae
<i>Lomatium englemannii</i>	Umbelliferae
<i>Lomatium howellii</i>	Umbelliferae
<i>Lomatium marginatum</i> var. <i>marginatum</i>	Umbelliferae
<i>Lomatium marginatum</i> var. <i>purpureum</i>	Umbelliferae
<i>Lomatium tracyi</i>	Umbelliferae
<i>Lomatium triterenatum</i> var. <i>triterenatum</i>	Umbelliferae
<i>Perideridia leptocarpa</i>	Umbelliferae
<i>Sanicula peckiana</i>	Umbelliferae
<i>Viola primulifolia</i> ssp. <i>occidentalis</i>	Violaceae

## KESIMPULAN

Tumbuhan endemik serpentin merupakan tumbuhan yang mempunyai kemampuan tumbuh pada tanah serpentin. Pengaruh lingkungan seperti iklim mikro, isolasi geografi dan isolasi reproduksi menyebabkan terjadinya perubahan pada kloroplas dan inti DNA sehingga memunculkan jenis baru sebagai endemik serpentin.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Prof. Dr. Hiroshi Okada yang telah membimbing studi penulis di Kebun Raya Universitas Osaka City. Begitu pula kepada Dr. Dedy Darnaedi selaku Kepala Pusat Penelitian Biologi dan Dr. Irawati selaku Kepala Pusat Konservasi Kebun Raya Bogor, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) yang memberikan dukungan moril serta Departemen Pendidikan, Kebudayaan dan Pengetahuan, Pemerintah Jepang (Monbukagakusho) atas pemberian beasiswanya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2002. *Humboldt State University Herbarium Checklist Series Serpentine Plants of Northwest California*. San Fransisco: HSU Press.
- Antonovics, J., A.D. Bradshaw, and R.G. Turner. 1971. Heavy metal tolerance in plants. *Advanced in Ecology Research* 7: 1-85.
- Armstrong, J.K. and L.F. Huenneke. 1992. Spatial and temporal variation in species composition in California grasslands: The interaction of drought and substratum. In: Baker, A.J.M., J. Proctor, and R.D. Reeves (eds.). *Proceeding of the First International Conference on Serpentine Ecology*. Intercept Limited, Andover, UK, June 1991.
- Batianoff, G.N. and S. Singh. 2001. Central Queensland serpentine landforms, plant ecology and endemism. *South Africa Journal of Science* 97: 495-500.
- Baldwin, B.G. 2005. Origin of the serpentine-endemic herb *Layia discoidea* from the widespread *L. glandulosa* (Compositae). *Evolution* 59 (11): 2473-2479
- Boyd, R.S. and S.N. Martens. 1998. Nickel hyperaccumulation of *Thlaspi montanum* var. *montanum* (Brassicaceae): A constitutive trait. *American Journal of Botany* 85: 259-265.
- Brady, K.U., A.R. Kruckeberg, and H.D. Bradshaw Jr., 2005. Evolutionary ecology of plant adaptation to serpentine soils. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 36: 243-266.
- Brooks, R.R. 1987. *Serpentine and Its Vegetation* (ed. Dudley, T.R.). Portland, OR: Dioscorides.
- Brooks R.R. Yang XH. 1984. Elemental levels and relationships in the endemic serpentine flora of the Great Dyke, Zimbabwe and their significance as controlling factors for this flora. *Taxon* 33: 392- 399.
- Chiarucci, A. 2004. Vegetation ecology and conservation on Tuscan ultramafic soils. *Botany Review* 69: 252-268.
- Cooke, S.S. 1994. *The Edaphic Ecology of Two Western North American Composite Species*. [Ph.D. Thesis]. Univ. Washington, Seattle. 288 pp.
- Freitas, H. and H. Mooney. 1995. Growth responses to water stress and soil texture of two genotypes of *Bromus hordeaceus* from sandstone and serpentine soils. *Proceeding of the International Conference on Serpentine Ecology, 2<sup>nd</sup>*, Noumea.
- Gardner, M. And M.R. McNair.. 2000. Factor affecting the eco-existence of the serpentine endemic *Mimulus nudatus* Curran and its presume progenitor, *Mimulus guttatus* Fischer ex DC. *Biology Journal of the Linnean Society* 69: 443-459.
- Harrison, S. 1997. How natural habitat patchiness affects the distribution of diversity in Californian serpentine chaparral. *Ecology* 78: 1898-1906
- Hughes, R., K. Bachmann, N. Smirnov, and M.R. McNair. 2001. The role of drought tolerance in serpentine tolerance in the *Mimulus guttatus* Fischer ex DC. complex. *South Africa Journal of Science* 97: 581-586
- Iturralde, R.B. 2001. The influence of ultramafic soils on plants in Cuba. *South Africa Journal of Science* 97: 510-512
- Kruckeberg, A.R. 1954. The ecology of serpentine soils: A symposium. III. Plant species in relation to serpentine soils. *Ecology* 35: 267-274
- Lee, W.G., P. Bannister, J.B. Wilson, and A.F. Mark. 1997. Element uptake in an ultramafic flora, Red Mountain, New Zealand. *Proceeding of the International Conference on Serpentine Ecology, 2<sup>nd</sup>*, Noumea.
- Loew, O, May DW. 1901. The relation of lime and magnesia to plant growth. *U.S. Dep. Agric. Bur. Plant. Ind. Bull.* 1: 1-53
- McNair, MR. 1983. The genetic control of copper tolerance in the yellow monkey flower *Mimulus guttatus*. *Heredity* 50: 283-293



Gambar 1. Batuan serpentin di Karang Sambung, Kebumen, Jawa Tengah.



A



B

Gambar 2. *M. nudatus* (A) dan *M. guttatus* (B) dari California.

- McNair, M.R. 1987. Heavy metal tolerances in plants: A model evolutionary system. *Trends Ecology and Evolution* 2: 354-359
- Madhok, O.P. and R.B. Walker. 1969. Magnesium nutrition of two species of sunflower. *Plant Physiology* 44: 1016-1022.
- Main, J.L. 1974. Differential responses to magnesium and calcium by native populations of *Agropyron spicatum*. *American Journal of Botany* 61: 931-937
- Main, J.L. 1981. Magnesium and calcium nutrition of a serpentine endemic grass. *American Midl. Nature* 105: 196-199
- Marrs, R.H. and J. Proctor. 1976. The response of serpentine and non serpentine *Agrostis stolonifera* L. to magnesium and calcium. *Journal of Ecology* 64: 935-964
- Mayer, M.S., P.S. Soltis, and D.E. Soltis, 1994. The evolution of *Streptanthus glandulosus* complex (Cruciferae): genetic divergence and gene flow in serpentine endemics. *American Journal of Botany* 81: 1288-1299.
- McCarten, N. 1992. Community structure and habitat relations in a serpentine grassland in California. In: Baker, A.J.M., J. Proctor, and R.D. Reeves (eds.). *Proceeding of the First International Conference on Serpentine Ecology*. Intercept Limited, Andover, UK., June 1991.
- Pepper, A.E. and L.E. Norwood. 2001. Evolution of *Caulanthus amplexicaulis* var. *barbarae* (Brassicaceae), a rare serpentine endemic plant: a molecular phylogenetic perspective. *American Journal of Botany* 88: 1479-1489.
- Proctor, J. 1970. Magnesium as a toxic element. *Nature* 227: 742-743.
- Proctor, J. 1971. The plant ecology of serpentine. II. Plant responses to serpentine soils. *Journal of Ecology* 59: 397-410
- Proctor, J., Woodell SRJ. 1975. The ecology of serpentine soils. *Advanced in Ecology Research* 9: 255-365
- Rajakaruna, N, Bohm BA. 1999. The edaphic factor and patterns of variation in *Lasthenia californica* (Asteraceae). *American Journal of Botany* 86: 1576-1596.
- Rajakaruna, N. 2003. Edaphic differentiation in the *Lasthenia*: A model for studies in evolutionary ecology. *Madrono* 50: 34-40.
- Rajakaruna, N., B.G. Baldwin, R. Chan, A.M. Desrochers, B.A. Bohm BA, et al. 2003a. Edaphic races and phylogenetic taxa in the *Lasthenia californica* complex (Asteraceae: Heliantheae): an hypothesis of parallel evolution. *Molecular Ecology* 12: 1675-1679.
- Rajakaruna, N., G.E. Bradfield, B.A. Bohm, and J. Whitton. 2003b. Adaptive differentiation in response to water stress by edaphic races of *Lasthenia californica* (Asteraceae). *International Journal of Plant Science* 164: 371-376.
- Rajakaruna, N., M.Y. Siddiqi, J. Whitton, B.A. Bohm, and A.D.M. Glass. 2003c. Differential responses to Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> and Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup> in two edaphic races of the *Lasthenia californica* (Asteraceae) complex: A case of parallel evolution on physiological traits. *New Phytology*. 157: 93-103.
- Reeves, RD, Baker AJM. 1984. Studies on metal uptake by plants from serpentine and non-serpentine populations of *Tiaspi goesingense* Halacsy (Cruciferae). *New Phytology* 98: 191-204
- Roberts, B.A. and J. Proctor. (eds.). 1992. *The Ecology of Areas with Serpentinized Rocks: A World View*. Dordrecht: Kluwer.
- Runr, O. 1953. Plant life on serpentines and related rocks in the north of Sweden. *Acta Phytogeographia Suecica* 31: 1-139
- Salt, DE. 2004. Update on plant ionomics. *Plant Physiology* 136: 2451-2456
- Specht, A, Forth F, Steenbeeke G. 2001. the effect of serpentine on vegetation structure, composition and endemism in northern New South Wales, Australia. *South Africa Journal of Science* 97: 521-529
- Sudarmono and H. Okada, 2007. Speciation process of *Salvia isensis* (Lamiaceae), a species endemic to serpentine areas in the Ise-Tokai district, Japan, from the viewpoint of the contradictory phylogenetic trees generated from chloroplast and nuclear DNA. *Journal of Plant Research* 120 (4): 483-490.
- Taylor, SI, Levy F. 2002. Responses to soils and a test for preadaptation to serpentine in *Phacelia dubia* (Hydrophyllaceae). *New Phytology*. 155: 437-447.
- Tibbetts, R.A. and J.A.C. Smith. 1992. Vacuolar accumulation of calcium and its interaction with magnesium availability. In: Baker, A.J.M., J. Proctor, and R.D. Reeves (eds.). *Proceeding of the First International Conference on Serpentine Ecology*. Intercept Limited, Andover, UK., June 1991.
- Vercesi, GV. 2003. Plant ecology of ultramafic outcrops [Northern Apennines (Piacenza), Region: Emilia Romagna]. *Proceeding of the International Conference on Serpentine Ecology*, 4<sup>th</sup>, Havana.
- Vlams, J. and H. Jenny. 1948. Calcium deficiency in serpentine soils as revealed by absorbent technique. *Science* 107: 549-551
- Vlams, J. 1949. Growth of lettuce and barley as influenced by degree of calcium saturation of soil. *Soil Science* 67: 453-466
- Walker, R.B. 1954. The ecology of serpentine soils: A symposium. II. Factors affecting plant growth on serpentine soils. *Ecology* 35: 259-266
- Walker, R.B., H.M. Walker, and P.R. Ashworth. 1955. Calcium-magnesium nutrition with special reference to serpentine soils. *Plant Physiology* 30: 214-221
- Westerbergh, A. 1995. *Silene dioica* and its adaptation and evolution on serpentine. *Proceeding of the International Conference on Serpentine Ecology*, 2<sup>nd</sup>, Noumea.
- Whittaker, RH. 1954. The ecology of serpentine soils: A symposium. I. Introduction. *Ecology* 35: 258-259.