

**PEMENCILAN DAN PENGECAMAN SPORA MIKORIZA SERTA
KESAN MIKORIZA DAN FOSFORUS KE ATAS MORFOLOGI
AKAR, PERTUMBUHAN DAN KANDUNGAN NUTRIEN
ANAK BENIH Azadirachta excelsa**

JOHN KEEN ANAK CHUBO

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

2009

**PEMENCILAN DAN PENGECAMAN SPORA MIKORIZA SERTA
KESAN MIKORIZA DAN FOSFORUS KE ATAS MORFOLOGI
AKAR, PERTUMBUHAN DAN KANDUNGAN NUTRIEN
ANAK BENIH *Azadirachta excelsa***

oleh

JOHN KEEN ANAK CHUBO

**Tesis yang diserahkan untuk
memenuhi keperluan bagi ijazah
Doktor Falsafah**

November 2009

PENGHARGAAN

Segala syukur dan pujian kepada Tuhan kerana tanpa rahmat dan bimbingannya, projek penyelidikan ini tidak mungkin dapat disiapkan dalam jangkamasa yang telah ditetapkan. Setinggi-tinggi penghargaan diucapkan kepada penyelia saya, Prof. Madya Dr. Hasnah Md. Jais di atas segala tunjukajar, nasihat dan dorongan yang telah beliau berikan sepanjang tempoh pengajian saya. Saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dato' Dr. Nik Muhamad Nik Abdul Majid selaku penyelia lapangan di atas bantuan beliau semasa menjalankan penyelidikan ini.

Terima kasih juga saya ucapkan kepada ibubapa saya, En. Christopher Chubo dan Pn. Margaret Sebi serta semua ahli keluarga saya yang lain, di atas doa dan dorongan yang telah mereka berikan. Setinggi-tinggi penghargaan diucapkan kepada Dr. Ong Kian Huat di atas sumbangan yang telah beliau hulurkan sama ada dari segi sokongan motivasi, idea malah kewangan. Terima kasih juga di atas kesudian beliau menjadi pembaca kedua teks tesis ini.

Penghargaan juga diberikan kepada semua kakitangan Jabatan Sains Perhutanan, Universiti Putra Malaysia Bintulu terutama sekali Pn. Marina Mohd. Top @ Mohd. Tah, En. George Bala, En. Khairul Annuar, En. Afsar Jabri, En. Sylvester Sam dan En. Muaish Sait di atas bantuan yang telah mereka berikan. Tidak lupa juga penghargaan saya kepada Pn. Elizabeth Andrew, En. Mohd Haris Raymond Abdullah dan En. Shahminan Masu'ut kerana bantuan yang telah diberikan semasa menjalankan kerja-kerja analisa makmal. Terima kasih juga kepada Pn. Jega Jantai , Pn. Jata Melina, En. Awang Marzuki, En. Mohd. Harfaizal kerana bantuan yang telah dihulurkan semasa menjalankan kerja-kerja di tapak semaian. Tidak ketinggalan ucapan terima kasih kepada Pn. Carlina Simol, Ira, Annie, Ezra, Cik Susilawati Kassim,

Jia Huey, Chia Sing, Anton, Taufik dan Auldry di atas kerjasama dan sokongan yang telah diberikan.

Terima kasih yang tidak terhingga kepada Universiti Putra Malaysia di atas peluang untuk melanjutkan pengajian sehingga ke peringkat ini. Ucapan penghargaan juga diberikan kepada Fakulti Sains Pertanian dan Makanan, Universiti Putra Malaysia Bintulu di atas kebenaran untuk menggunakan kemudahan lapangan dan makmal bagi menjalankan kerja-kerja penyelidikan di Bintulu. Akhir sekali, setinggi-tinggi penghargaan kepada Yayasan Biasiswa Sarawak Tunku Abdul Rahman kerana telah menaja pengajian saya untuk tempoh tiga tahun.

KANDUNGAN

PENGHARGAAN	ii
KANDUNGAN	iv
SENARAI JADUAL	vii
SENARAI RAJAH	ix
SENARAI PLAT	x
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xii

BAB 1 PENGENALAN

1.0	Pendahuluan	1
1.1	Objektif Kajian	5

BAB 2 TINJAUAN BACAAN

2.0	Status dan Kesan Kemusnahan Hutan	7
2.1	Kemerosotan Tanah di Sarawak	9
2.2	Pemuliharaan Kawasan Rosot	11
2.3	Ekologi Mikoriza Arbuskular	15
	2.3.1 Pengkelasan	15
	2.3.2 Kemandirian	16
	2.3.3 Morfologi	17
	2.3.4 Taburan	19
2.4	Kepentingan Hubungan Tumbuhan-Mikoriza Arbuskular	20
	2.4.1 Fungsi Ekologi	20
	2.4.2 Mikoriza Arbuskular dan Ciri Fizikal Tanah	21
	2.4.3 Interaksi Mikoriza Arbuskular dan Mikroorganisma Lain	23
	2.4.4 Mikoriza Arbuskular sebagai Agen Kawalan Biologi	25
	2.4.5 Mikoriza Arbuskular dalam Keadaan Melampau	28
	2.4.5.1 Defisit Kelembapan	28
	2.4.5.2 Faktor Suhu	29
	2.4.5.3 pH Tanah	32
	2.4.5.4 Kandungan Nutrien	33
2.5	Mekanisma Penyerapan Fosforus	33
2.6	Teknologi Penghasilan Inokulum Mikoriza Arbuskular	35
2.7	Mikoriza dalam Perhutanan	38
2.8	Spesies Tempatan dalam Pemuliharaan Hutan	40
	2.8.1 Pemilihan Spesies	40
	2.8.2 <i>Azadirachta excelsa</i>	42

BAB 3	LATARBELAKANG DAN EKOLOGI KAWASAN PENSAMPELAN	
3.0	Pengenalan	48
3.1	Pemencilan dan Pengiraan Spora	50
3.2	Asai Bilangan Paling Mungkin (MPN)	50
3.3	Bahan dan Kaedah	52
	3.3.1 Latarbelakang Kawasan Kajian	52
	3.3.2 Pensampelan Tanah	53
	3.3.3 Analisis Fizikal dan Kimia Tanah	54
	3.3.4 Pemencilan Spora MA	56
	3.3.5 Anggaran Propagul Menggunakan Kaedah Pengiraan Spora	56
	3.3.6 Asai Bilangan Paling Mungkin (MPN)	57
	3.3.7 Penentuan Genus Spora Mikoriza Arbuskular	58
	3.3.8 Analisis Data	58
3.4	Keputusan	59
	3.4.1 Analisis Fizikal dan Kimia Tanah	59
	3.4.2 Bilangan Spora dan MPN	60
	3.4.3 Pengecaman Genus Spora Mikoriza Arbuskular	61
3.5	Perbincangan	65
3.6	Kesimpulan	68
BAB 4	PENGARUH MIKORIZA KE ATAS PERTUMBUHAN DAN MORFOLOGI AKAR <i>Azadirachta excelsa</i>	
4.0	Pengenalan	70
4.1	Asai Jangkitan Mikoriza Arbuskular	72
4.2	Morfologi Mikoriza Arbuskular	73
4.3	Bahan dan Kaedah	75
	4.3.1 Pensterilan Media Penanaman	75
	4.3.2 Pencambahan Biji Benih Tumbuhan Perumah	76
	4.3.3 Kultur Pasu dan Pemilihan Spora Mikoriza	76
	4.3.4 Jangkitan Mikoriza Arbuskular dan Penanaman Anak Benih	77
	4.3.5 Kajian Morfologi Jangkitan Mikoriza Arbuskular	77
	4.3.6 Analisis Data	78
4.4	Keputusan	78
4.5	Perbincangan	84
4.6	Kesimpulan	88

BAB 5	PENGARUH MIKORIZA DAN PARAS FOSFORUS KE ATAS PERTUMBUHAN DAN KANDUNGAN NUTRIEN <i>Azadirachta excelsa</i>	
5.0	Pengenalan	90
5.1	Bahan dan Kaedah	94
	5.1.1 Persediaan Media Tanaman	94
	5.1.2 Inokulum Mikoriza dan Anak Benih	94
	5.1.3 Rawatan dan Rekabentuk Ujikaji	95
	5.1.4 Penentuan Parameter Pertumbuhan	96
	5.1.5 Jangkitan Akar	97
	5.1.6 Analisis Nutrien	97
	5.1.7 Analisis Data	98
5.2	Keputusan	98
	5.2.1 Mikoriza dan Parameter Pertumbuhan	98
	5.2.2 Paras Fosforus dan Parameter Pertumbuhan	102
	5.2.3 Saling Tindakan Mikoriza dan Fosforus ke atas Parameter Pertumbuhan	104
	5.2.4 Kesan Mikoriza ke atas Kandungan Nutrien Daun	112
	5.2.5 Kesan Mikoriza ke atas Kandungan Nutrien Batang	115
	5.2.6 Kesan Mikoriza ke atas Kandungan Nutrien Akar	116
	5.2.7 Kesan Paras Fosforus ke atas Kandungan Nutrien Daun	118
	5.2.8 Kesan Paras Fosforus ke atas Kandungan Nutrien Batang	120
	5.2.9 Kesan Paras Fosforus ke atas Kandungan Nutrien Akar	121
	5.2.10 Kesan Saling Tindakan Mikoriza dan Fosforus ke atas Kandungan Nutrien Anak Benih	123
5.3	Perbincangan	131
	5.3.1 Pengaruh Mikoriza dan Jangkamasa Kajian	131
	5.3.2 Pengaruh Fosforus dan Jangkamasa Kajian	139
	5.3.3 Saling Tindakan Mikoriza dan Fosforus	144
5.4	Kesimpulan	148
BAB 6	PERBINCANGAN UMUM	151
BAB 7	KESIMPULAN DAN CADANGAN	158
	RUJUKAN	160
	LAMPIRAN	

SENARAI JADUAL

Jadual 3.1	Tekstur tanah pada lokasi pensampelan dan persekitaran akar spesies tumbuhan berlainan.	59
Jadual 3.2	Bacaan pH, kandungan nutrien, jumlah karbon organik dan bahan organik dari tanah persekitaran akar <i>O. sumatrana</i> dan <i>A. chinensis</i> di dua kawasan hutan.	60
Jadual 3.3	Bilangan spora yang diperolehi menggunakan kaedah kiraan spora dan MPN.	61
Jadual 3.4	Bilangan spesies mikoriza dan peratus spora pada persekitaran akar dua tumbuhan yang berlainan di dua kawasan kajian.	62
Jadual 4.1	Peratus arbuskul, hifa dan jumlah keseluruhan jangkitan pada anak benih <i>A. excelsa</i> oleh spesies mikoriza yang berlainan selepas tiga bulan ditanam.	79
Jadual 4.2	Pertambahan tinggi (cm) anak benih kesan rawatan mikoriza yang berbeza dan kawalan selama 84 hari penanaman.	79
Jadual 4.3	Pertambahan diameter (mm) batang anak benih kesan rawatan mikoriza yang berbeza dan kawalan selama 84 hari penanaman.	80
Jadual 4.4	Kesan spesies mikoriza yang berbeza dan rawatan kawalan ke atas purata bilangan daun anak benih <i>A. excelsa</i> .	81
Jadual 5.1	Kesan mikoriza ke atas parameter pertumbuhan anak benih <i>A. excelsa</i> pada tuaian pertama.	99
Jadual 5.2	Kesan mikoriza ke atas parameter pertumbuhan anak benih <i>A. excelsa</i> pada tuaian kedua.	100
Jadual 5.3	Kesan mikoriza ke atas parameter pertumbuhan anak benih <i>A. excelsa</i> pada tuaian ketiga.	101
Jadual 5.4	Kesan P ke atas parameter pertumbuhan anak benih <i>A. excelsa</i> pada tuaian pertama.	102
Jadual 5.5	Kesan P ke atas parameter pertumbuhan anak benih <i>A. excelsa</i> pada tuaian kedua.	103
Jadual 5.6	Perbezaan pada parameter pertumbuhan anak benih <i>A. excelsa</i> semasa tuaian ketiga kesan dari penggunaan paras P yang berbeza.	104
Jadual 5.7	Nilai-P yang diperolehi kesan saling tindakan mikoriza dan paras P terhadap pertumbuhan <i>A. excelsa</i> bagi tempoh kajian yang berlainan.	105
Jadual 5.8	Kesan rawatan mikoriza ke atas kandungan nutrien pada daun anak benih <i>A. excelsa</i> .	112
Jadual 5.9	Kesan rawatan mikoriza ke atas kandungan nutrien pada batang anak benih <i>A. excelsa</i> .	116

Jadual 5.10	Kesan rawatan mikoriza ke atas kandungan nutrien pada akar anak benih <i>A. excelsa</i> .	117
Jadual 5.11	Kesan paras P ke atas kandungan nutrien pada daun anak benih <i>A. excelsa</i> .	119
Jadual 5.12	Kesan paras P ke atas kandungan nutrien pada batang anak benih <i>A. excelsa</i> .	121
Jadual 5.13	Kesan paras P ke atas kandungan nutrien pada akar anak benih <i>A. excelsa</i> .	122
Jadual 5.14	Saling tindakan mikoriza dan paras P terhadap kandungan nutrien anak benih <i>A. excelsa</i> .	124

SENARAI RAJAH

Rajah 5.1	Kesan saling tindakan mikoriza dan paras P ke atas peratus jangkitan mikoriza semasa tuaian kedua.	105
Rajah 5.2	Kesan saling tindakan mikoriza dan paras P ke atas peratus jangkitan mikoriza semasa tuaian ketiga.	105
Rajah 5.3	Kesan saling tindakan mikoriza dan paras P ke atas tinggi anak benih semasa tuaian kedua.	106
Rajah 5.4	Kesan saling tindakan mikoriza dan paras P ke atas tinggi anak benih semasa tuaian ketiga.	107
Rajah 5.5	Kesan saling tindakan mikoriza dan paras P ke atas luas permukaan daun semasa tuaian pertama.	108
Rajah 5.6	Kesan saling tindakan mikoriza dan paras P ke atas kandungan klorofil daun semasa tuaian kedua.	108
Rajah 5.7	Kesan saling tindakan mikoriza dan paras P ke atas berat kering daun semasa tuaian pertama.	110
Rajah 5.8	Kesan saling tindakan mikoriza dan paras P ke atas berat kering batang semasa tuaian kedua.	110
Rajah 5.9	Kesan saling tindakan mikoriza dan paras P ke atas nisbah akar:pucuk semasa tuaian pertama.	111
Rajah 5.10	Kesan saling tindakan mikoriza dan paras P ke atas kandungan N daun semasa tuaian kedua.	124
Rajah 5.11	Kesan saling tindakan mikoriza dan paras P ke atas kandungan Ca daun semasa tuaian pertama.	124
Rajah 5.12	Kesan saling tindakan mikoriza dan paras P ke atas kandungan Ca daun semasa tuaian ketiga.	125
Rajah 5.13	Kesan saling tindakan mikoriza dan paras P ke atas kandungan Mg daun semasa tuaian pertama.	126
Rajah 5.14	Kesan saling tindakan mikoriza dan paras P ke atas kandungan Mg daun semasa tuaian kedua.	127
Rajah 5.15	Kesan saling tindakan mikoriza dan paras P ke atas kandungan K batang semasa tuaian kedua.	128
Rajah 5.16	Kesan saling tindakan mikoriza dan paras P ke atas kandungan Ca batang semasa tuaian kedua.	128
Rajah 5.17	Kesan saling tindakan mikoriza dan paras P ke atas kandungan Mg batang semasa tuaian pertama.	129

SENARAI PLAT

Plat 3.1	<i>Glomus</i> sp. yang dipencil dari tanah persekitaran akar <i>O. sumatrana</i> di kedua-dua kawasan pensampelan.	62
Plat 3.2	<i>Acaulospora</i> sp. yang ditemui pada persekitaran akar <i>O. sumatrana</i> di kedua-dua kawasan pensampelan.	63
Plat 3.3	<i>Gigaspora</i> sp. yang dipencil dari persekitaran akar <i>O. sumatrana</i> di kedua-dua kawasan pensampelan.	63
Plat 3.4	<i>Acaulospora</i> sp. yang dipencil dari persekitaran akar <i>A. chinensis</i> .	64
Plat 3.5	Genus <i>Glomus</i> yang ditemui pada persekitaran akar <i>A. chinensis</i> .	64
Plat 4.1	Morfologi jenis <i>Arum</i> pada akar <i>A. excelsa</i> akibat jangkitan <i>Acaulospora</i> 1.	80
Plat 4.2	Morfologi jenis <i>Arum</i> pada akar <i>A. excelsa</i> akibat jangkitan <i>Acaulospora</i> 2.	81
Plat 4.3	Morfologi jenis <i>Arum</i> pada akar <i>A. excelsa</i> akibat jangkitan <i>Acaulospora</i> 3.	81
Plat 4.4	Morfologi jenis <i>Arum</i> pada akar <i>A. excelsa</i> akibat jangkitan <i>Acaulospora</i> 4.	82
Plat 4.5	Morfologi jenis <i>Paris</i> pada akar <i>A. excelsa</i> akibat jangkitan <i>Glomus</i> 1.	82
Plat 4.6	Morfologi jenis <i>Arum</i> pada akar <i>A. excelsa</i> akibat jangkitan <i>Glomus</i> 2.	83

**PEMENCILAN DAN PENGECAMAN SPORA MIKORIZA SERTA KESAN MIKORIZA
DAN FOSFORUS KE ATAS MORFOLOGI AKAR, PERTUMBUHAN DAN
KANDUNGAN NUTRIEN ANAK BENIH *Azadirachta excelsa***

ABSTRAK

Kepelbagaian spesies mikoriza yang tinggi menyukarkan proses pemilihan mikoriza yang mampu bersimbiosis dengan tumbuhan perumah. Di samping itu, penentuan paras baja P yang sesuai memastikan kadar pertumbuhan dan penyerapan nutrien yang optimum oleh tumbuhan perumah. *Azadirachta excelsa* merupakan spesies tumbuhan yang berpotensi tinggi sebagai spesies ladang hutan tetapi kajian mengenai spesies tersebut masih amat terhad. Untuk memahami kesan mikoriza dan paras P yang berlainan ke atas pertumbuhan dan penyerapan nutrien oleh anak benih *Azadirachta excelsa*, satu kajian yang terbahagi kepada tiga fasa telah dijalankan.

Fasa kajian pertama menunjukkan kewujudan tiga genus mikoriza iaitu *Glomus*, *Acaulospora* dan *Gigaspora* di tanah persekitaran akar pokok *Octomeles sumatrana* dan *Anthocephalus chinensis* di dua kawasan pensampelan yang berlainan. Genus *Glomus* didapati mendominasi kedua-dua kawasan pensampelan diikuti oleh *Acaulospora* dan *Gigaspora*. Kajian mendapati kehadiran dan bilangan spora yang diperolehi adalah dipengaruhi oleh tekstur tanah dan spesies tumbuhan perumah.

Fasa kajian kedua mendapati genus mikoriza yang berlainan gagal memberikan sebarang perbezaan bererti ke atas pertumbuhan tinggi, diameter dan bilangan anak daun sungguhpun peratus jangkitan akar menunjukkan perbezaan bererti. Semua rawatan mikoriza memberikan peratus jangkitan yang lebih tinggi berbanding kawalan. Kajian ke atas morfologi jangkitan mendapati kewujudan kedua-dua jenis MA, iaitu *Paris* dan *Arum*, di dalam akar *A. excelsa*. Penemuan ini bercanggah dengan pendapat sesetengah penyelidik yang melaporkan bahawa morfologi MA ditentukan sepenuhnya oleh spesies tumbuhan perumah.

Rawatan mikoriza dan paras P mempengaruhi kadar pertumbuhan dan kandungan nutrien anak benih *A. excelsa* dalam fasa kajian ketiga. Rawatan *Acaulospora* dan *Glomus* memberikan nilai-nilai cerapan yang lebih tinggi malah menunjukkan penggunaan nutrien yang lebih baik berbanding kawalan pada peringkat awal pertumbuhan. Peningkatan kandungan N, P, K, Ca dan Mg sehingga tiga kali ganda dicatatkan pada anak benih yang dijangkiti mikoriza. Penggunaan paras P yang lebih tinggi mengakibatkan pengurangan pada peratus jangkitan akar tetapi peningkatan pada parameter pertumbuhan anak benih.

Saling tindakan mikoriza dan paras P gagal mempengaruhi peratus jangkitan akar *A. excelsa*. Peratus jangkitan akar didapati tidak berkaitan dengan pertambahan biojisim yang direkodkan. Peranan yang dimainkan oleh mikoriza dalam pertumbuhan dan pengambilan nutrient adalah lebih penting semasa peringkat awal pertumbuhan anak benih manakala peranan rawatan paras P adalah lebih kritikal pada peringkat-peringkat seterusnya. Saling tindakan mikoriza dan paras P turut mempengaruhi kandungan N, Ca dan Mg daun dan K, Ca dan Mg batang manakala tiada perbezaan bererti dicatatkan pada akar. Bilangan inokulum mikoriza yang lebih tinggi turut membantu meningkatkan kemampuan anak benih bermikoriza untuk menyerap nutrien.

Acaulospora didapati memberikan kesan pertumbuhan dan kandungan nutrien yang lebih tinggi berbanding rawatan-rawatan *Glomus* dan kawalan. Penggunaan mikoriza pada anak benih *A. excelsa* semasa di peringkat tapak semaian dapat membantu mengurangkan penggunaan baja. Sepanjang tempoh kajian, anak benih *A. excelsa* yang dijangkiti *Acaulospora* dan bekalan baja NPK pada paras 15:10:5 didapati memberikan nilai pertumbuhan dan kandungan nutrien yang lebih tinggi. Kajian ini membuktikan mikoriza mempunyai kebolehan untuk membantu meningkatkan pertumbuhan dan kandungan nutrien anak benih *A. excelsa*.

ISOLATION AND IDENTIFICATION OF MYCORRHIZA SPORES AND THE EFFECT OF MYCORRHIZA AND PHOSPHORUS ON ROOT MORPHOLOGY, GROWTH AND NUTRIENT CONTENT OF *Azadirachta excelsa* SEEDLINGS

ABSTRACT

High diversity of mycorrhiza species complicates the selection of mycorrhizae which are able to form symbiosis with the host plant. Moreover, the determination of suitable P fertilizer level ensure optimum growth rate and nutrient uptake by the host plant. *Azadirachta excelsa* has high potential as a forest plantation species. but research on the species is still very limited. In order to understand the effect of mycorrhiza and different P levels on growth and nutrient absorption by *Azadirachta excelsa* seedlings, a study consisted of three phases was conducted.

The first phase of the study showed the presence of three mycorrhizae genus namely *Glomus*, *Acaulospora* and *Gigaspora* in the rhizosphere soil of *Octomeles sumatrana* and *Anthocephalus chinensis* at two different sampling sites. *Glomus* was found dominating both sites followed by *Acaulospora* and *Gigaspora*. The study found that the presence and number of spores obtained were influenced by soil texture and plant host.

The second phase of the study indicated that different mycorrhizal genera failed to show any significant difference in height increment, diameter and number of leaflets although the root infectivity percentages were significantly different. All mycorrhiza treatments gave high percentage of infection compared to the control. Study on the morphology of the infection found the presence of both AM, namely *Paris* and *Arum*, in the root of *A. excelsa*. This finding contradicts the opinion of some researchers whom reported that AM morphology is determined solely by the host plant species.

Treatment of mycorrhiza and P levels influenced the growth rate and nutrient content of *A. excelsa* seedlings in phase three of the study. The *Acaulospora* and *Glomus* treatments gave higher values and showed better nutrient use efficiencies compared to the control during the initial growing stage. An increment of up to three folds on the N, P, K, Ca and Mg contents were recorded on seedlings infected by mycorrhiza. Application of higher P levels caused a decrease in the percentage of root infection but an increase in the growth parameters of the seedlings.

Interaction between mycorrhiza and P levels failed to influence the percentage of root infection of *A. excelsa*. The percentage of root infection was found to be unrelated to the mass increment recorded. The role played by mycorrhiza in growth and nutrient uptake was more important during the initial stage of seedling growth while P level treatments were more critical during the later stages. Interaction between mycorrhiza and P levels also influenced leaf N, Ca and Mg contents and stem K, Ca and Mg while no significant difference was recorded for the root. Higher mycorrhizal inoculum (spore) number also helped in increasing the capability of mycorrhizal seedlings to absorb nutrients.

Acaulospora was found to provide higher growth and nutrient contents compared to the *Glomus* and control treatments. The application of mycorrhiza on *A. excelsa* seedlings while at the nursery stage would help in reducing fertilizer application. During the study period, *A. excelsa* seedlings infected by *Acaulospora* and supplied with NPK fertilizer at a rate of 15:10:5 were found to show higher growth and nutrient content values. In conclusion, this study proved that mycorrhiza has the ability to enhance growth and nutrient content of *A. excelsa* seedlings.

BAB 1

PENGENALAN

1.0 Pendahuluan

Masalah kemusnahan hutan tropika merupakan isu penting yang sedang hebat diperkatakan di peringkat antarabangsa. Aktiviti manusia seperti pembalakan dan amalan pertanian pindah yang tidak tradisional dikatakan sebagai punca penyebab berlakunya perubahan yang mendadak pada hutan tropika (Samejima *et al.*, 2004). Semua aktiviti tersebut menyebabkan kewujudan banyak hutan primer yang rosot teruk di samping pembentukan hutan sekunder di kebanyakan negara terutamanya di negara-negara pengeluar kayu tropika. Kemerosotan hutan turut mengakibatkan pengurangan sumber ekonomi hutan dan seringkali hampir mengakibatkan kemusnahan ekologi semulajadi (Kobayashi, 2007).

Kawasan hutan bertindak sebagai penimbal untuk menuras air dan memegang tanah di samping berperanan mengekalkan air dan tanah melalui proses kitaran nutrien. Proses kemerosotan hutan mewujudkan kawasan terdedah dan mengakibatkan berlakunya banjir, hakisan dan tanah runtuh (Kobayashi, 2004). Keadaan ini menyumbang kepada kehilangan nutrien (Kobayashi, 1995; Olsson *et al.*, 1996) akibat aliran air dalam tanah (Kubin, 1995) dan air sungai (Malmer, 1996) melalui larian air (Kobayashi, 2007). Hutan yang mengalami kemerosotan atau kemusnahan boleh meningkatkan berlakunya keadaan kontang (Kobayashi, 2004) di kawasan legih akibat pengurangan aliran air terutama semasa musim kering. Sebaliknya, keadaan banjir dan peningkatan proses hakisan tanah boleh terjadi semasa musim tengkujuh dengan peningkatan jumlah taburan hujan.

Hutan sekunder dan hutan yang telah rosot memainkan peranan penting dalam aktiviti pemuliharaan kerana ia merangkumi keluasan tanah yang besar. Hutan tropika dianggarkan merangkumi kawasan seluas 11,000,000 km² dengan sekitar 5,000,000 km² daripadanya digolong sebagai hutan sekunder atau rosot (ITTO, 2002; Wright, 2005). Sungguhpun hutan rosot dan sekunder tidak mampu memainkan peranan seperti yang dilakukan oleh hutan primer, ia masih lagi berupaya menampung fungsi-fungsi ekologi dan perlindungan. Hutan sekunder dan rosot berpotensi mencapai struktur dan komposisi spesies yang menyerupai hutan primer dalam jangkamasa panjang dengan syarat agen-agen kemerosotan yang sedia ada menjadi tidak aktif (ITTO, 2002; Lamb *et al.*, 2005).

Aktiviti pemuliharaan hutan merupakan satu proses penting untuk meningkatkan penjanaan semula hutan bagi penghasilan sumber pada masa akan datang. Aktiviti ini penting terutama untuk memperbaiki dan memelihara kawasan yang dikategori sebagai rosot dan tidak produktif di samping mengembalikan semula fungsi dan kepelbagaian biologi di kawasan terlibat. Penggantungan kepada proses sesaran secara semulajadi, terutama bagi kawasan dengan kesuburan tanah yang rendah, dianggap memerlukan jangkamasa tidak kurang daripada 200 tahun untuk mencapai keadaan yang asal (Saldarriaga *et al.*, 1988). Riswan *et al.* (1985) menganggarkan hutan campuran dipterokarpa yang diusahakan secara pertanian pindah mungkin memerlukan tempoh masa 150 hingga 500 tahun untuk ditumbuhi semula oleh spesies tumbuhan hutan primer. Kewujudan spesies pokok perintis dipercayai sebagai salah satu aspek kritikal yang perlu untuk mempercepatkan proses pertumbuhan semula hutan. Hutan sekunder dianggarkan boleh pulih kepada keadaan yang memuaskan untuk didiami semula oleh kumpulan arthropoda dan spesies haiwan hutan primer setelah melalui proses pertumbuhan semulajadi selama 40 tahun (Dunn, 2004; Quintero dan Roslin, 2005).

Proses sesaran hutan dapat dipercepatkan dengan pengenalan spesies yang mampu membantu meningkatkan kesuburan tanah dan memangkin proses sesaran hutan asli (Parrotta *et al.*, 1997; Lamb *et al.*, 1997; Holl *et al.*, 2000; Montagnini, 2001). Penggunaan spesies yang cepat tumbuh berpotensi meningkatkan kandungan bahan organik tanah, kitaran nutrien serta mengelakkan berlakunya hakisan tanah (Montagnini dan Sancho, 1994). Tambahan pula, tumbuhan turut bertindak sebagai sinki karbon yang membantu memacu proses sesaran hutan (Brown dan Lugo, 1990; Uhl, 1987). Tumbuhan yang cepat tumbuh dilaporkan mampu menyimpan di antara 100 hingga 200 tan karbon sehektar dalam bentuk biojisim (Moura-Costa, 1996).

Aktiviti pembalakan yang kurang sesuai dan amalan pertanian pindah mengakibatkan perubahan ketara kepada sumber bawah tanah di samping mendatangkan kesan negatif kepada pertumbuhan dan kemandirian anak pokok yang ditanam (Vincent dan Davies, 2003). Pengusahaan kawasan pembalakan melibatkan pemindahan tanah atas dan pemadatan tanah (Carpenter *et al.*, 2001) pada suatu kawasan yang luas. Keadaan ini mengakibatkan masalah kehilangan nutrien, pengurangan daya pegangan air, perubahan mikroiklim dan perubahan mikroflora tanah (Arocena, 2000; Demir *et al.*, 2007).

Proses pemuliharaan hutan menjadi terbantut sekiranya sesuatu kawasan tanah mengalami hakisan dan kehilangan nutrien yang keterlaluan (Kobayashi, 2007; Lee, 1998). Kawasan yang kerap kali mengalami kemerosotan teruk adalah seperti jalan penarikan dan pangkalan balak, di mana semua vegetasi dan kebanyakan tanah atas telah hilang (Carpenter *et al.*, 2001; van Rheenen *et al.*, 2004). Pada kawasan berkenaan, proses pemuliharaan berlaku dengan amat perlahan kerana kandungan nutrien yang meruncing (Kobayashi, 2007; Nussbaum *et al.*, 1995a). Penggunaan baja nutrien semasa proses penanaman semula di kawasan hutan sekunder atau kawasan hutan yang rosot merupakan suatu amalan biasa yang dilakukan di Malaysia

(Appanah dan Weiland, 1993; Krishnapillay, 2002) untuk mengatasi masalah ini. Aktiviti pembajaan biasanya melibatkan kos tambahan yang tinggi.

Pemuliharaan hutan secara buatan memerlukan anak benih disemai di tapak semaian terlebih dahulu atau diperolehi daripada anak pokok liar yang kemudiannya ditanam di bawah naungan tinggalan pokok pada hutan yang telah dibalok (Kobayashi, 2007). Kaedah ini seringkali merekodkan kadar kematian yang tinggi (Tang dan Wadley, 1976) terutama setelah penanaman dilakukan di lapangan. Kekurangan atau kemusnahan mikoriza di dalam tanah dikenalpasti sebagai punca berlakunya kadar kematian anak benih yang tinggi (Ashton, 1982; Noor dan Smits, 1987).

Penggunaan mikoriza dalam bidang perhutanan di Asia Tenggara, terutama pada spesies tempatan hutan tropika, masih agak terbatas sungguhpun sumbangannya telah lama diketahui. Mikoriza merupakan fungi tanah simbiotik obligat yang menjangkiti akar kebanyakan spesies tumbuhan (Smith *et al.*, 2003). Potensi penggunaan mikoriza dalam bidang perhutanan di Asia Tenggara adalah lebih kepada kebolehannya memperbaiki kemandirian anak benih semasa peringkat awal penanaman (Davies, 2000). Mikoriza membantu memperbaiki pertumbuhan tumbuhan dengan mempertingkatkan daya penyerapan nutrien mineral dan toleransi terhadap masalah kekurangan air (Lee, 1998; Setiadi, 2000). Keadaan ini menghasilkan tumbuhan yang lebih sihat dan mempunyai daya tahan terhadap penyakit dan perosak yang lebih tinggi (Davies, 2000). Jangkitan mikoriza juga mengakibatkan perubahan morfologi akar bagi meningkatkan daya serapan nutrien yang tidak mobil terutama fosforus (P) (Villegas dan Fortin, 2001).

Kebanyakan kawasan tropika terdiri daripada tanah berasid terluluhawa yang miskin dari segi kandungan P (Satter *et al.*, 2006a). Pembekalan baja P merupakan kaedah utama yang diamalkan untuk mengatasi masalah ini. Penggunaan baja P secara berterusan boleh mengakibatkan kesan pencemaran ke atas alam sekitar (Sharpley *et al.*, 2000). Oleh yang demikian, suatu pendekatan alternatif hendaklah dicari bagi mengurangkan kadar penggunaan baja P tanpa menjejaskan hasil tuaian tumbuhan yang ditanam. Penggunaan mikoriza yang sesuai dengan spesies tumbuhan yang ditanam akan mampu membantu meningkatkan pertumbuhan tumbuhan (Matsubara *et al.*, 2008). Penentuan kombinasi mikoriza dan paras P yang sesuai bagi spesies tumbuhan tertentu haruslah dibuat bagi memastikan pertumbuhan tumbuhan mencapai kadar yang optimum.

1.1 Objektif Kajian

Penyelidikan ini dijalankan bagi mengkaji kesan mikoriza arbuskular (MA) dan penggunaan paras P yang berbeza ke atas pertumbuhan dan kandungan nutrien anak benih *Azadirachta excelsa*. *Azadirachta excelsa* atau sentang mempunyai kepentingan dalam bidang perladangan hutan kerana ciri-ciri kayunya yang berkualiti. Ia digunakan dalam kerja-kerja pembinaan umum, perabot dan pertukangan kayu (Kijkar, 2002). Penyelidikan ini dibahagikan kepada tiga fasa iaitu (i) pengecaman genus MA di lapangan, (ii) pemencilan dan propagasi MA menggunakan kaedah kultur pasu dan pemilihan spesies MA dominan yang berpotensi untuk dijangkitkan kepada spesies kajian dan (iii) penilaian gabungan kesan jangkitan mikoriza dengan paras baja P yang berbeza ke atas parameter pertumbuhan dan kandungan nutrien spesies kajian. Fasa-fasa kajian tersebut melibatkan pemerhatian ke atas perubahan fisiologi, morfologi, mikrobiologi, kimia dan fizikal sama ada pada tanah atau tumbuhan. Berpandukan fasa-fasa kajian tersebut, objektif-objektif penyelidikan ini adalah seperti berikut:

1. mengecam spesies mikoriza yang terdapat pada ekosistem semulajadi kawasan kajian,
2. mengetahui tahap jangkitan MA pada tanah di lapangan serta taburannya menggunakan kaedah bilangan kebarangkalian terbanyak (MPN) dan kiraan spora,
3. mengetahui kesan jangkitan MA yang berlainan serta penggunaan paras kandungan baja P yang berbeza ke atas kadar pertumbuhan dan kandungan nutrien anak benih *A. exce/sa* yang dikaji dan
4. menentukan kombinasi MA dan paras kandungan baja (P) yang sesuai untuk mempertingkatkan pertumbuhan *A. exce/sa*.

BAB 2

TINJAUAN BACAAN

2.0 Status dan Kesan Kemusnahan Hutan

Pada tahun 2000 dianggarkan 60% kawasan hutan tropika dunia tergolong di dalam hutan yang diklasifikasikan sebagai rosot, termasuk hutan sekunder, hutan primer serta tanah hutan yang rosak. Kemusnahan hutan asli di kawasan tropika pada tahun 1990an dilaporkan menjangkau sekitar 15.2 juta hektar setahun dan 14.2 juta hektar melibatkan perubahan guna tanah (FAO, 2001). Statistik tahun 2002 pula menganggarkan keluasan kawasan hutan yang dikategorikan sebagai rosot atau hutan sekunder menjangkau keluasan 850 juta hektar, iaitu 245 juta hektar di Afrika, 335 juta hektar di Amerika dan selebihnya di Asia. Dari keluasan 850 juta hektar ini, tanah hutan yang rosot dianggarkan merangkumi kawasan seluas 350 juta hektar manakala 500 juta hektar lagi terdiri daripada kawasan hutan primer yang rosot dan hutan sekunder (ITTO, 2002).

Kehilangan kawasan yang dilitupi hutan dilihat sebagai salah satu masalah persekitaran penting di Asia Tenggara (Rowe *et al.*, 1992; Harrison, 1993; Achard *et al.*, 2002). Asia Tenggara mengalami kadar pembalakan industri yang amat tinggi berbanding negara tropika yang lain (Whitmore, 1997) dan dijangka akan kehilangan sebilangan besar kawasan litupan hutan pada penghujung abad ke-21 (Sodhi *et al.*, 2004). Kadar relatif untuk penyahutanan hutan tropika adalah dianggarkan dua kali ganda lebih tinggi (0.8-0.9% setahun) berbanding di Amerika Latin atau Afrika dengan kadar 0.4-0.5% setahun (Mayaux *et al.*, 2005). Jumlah litupan hutan di negara-negara Asia adalah agak rendah sungguhpun mengambilkira kawasan hutan yang telah dibalok, hutan sekunder dan hutan ladang. Menurut Laurance (2007), litupan kawasan hutan di Bangladesh hanya merangkumi 10.2% daripada anggaran litupan hutan yang asal. Filipina dan India mempunyai litupan hutan sebanyak 19.4% dan 21.6% masing-

masingnya. Thailand (28.9%), Sri Lanka (30.0%) dan Vietnam (30.2%) pula mengekalkan tiga per sepuluh kawasan litupan yang asal. Kawasan litupan hutan yang lebih tinggi dicatatkan bagi Myanmar (52.3%), Cambodia (52.9%), Laos (54.4%), Indonesia (58.0%), Malaysia (58.7%) dan Papua New Guinea (67.6%).

Hutan tropika terutamanya, mengalami perubahan yang pesat dari segi cara penggunaan tanah (Achard *et al.*, 2002). Perubahan pesat ini mengakibatkan berlaku penyahhutan yang melibatkan proses kompleks dan sering disalahtafsir (Lambin *et al.*, 2001). Aktiviti-aktiviti seperti pembalakan komersil, perladangan, perlombongan, industri, perbandaran serta pembinaan jalan sering diperkatakan sebagai pencetus berlakunya penyahhutan (Geist dan Lambin, 2002). Ini ditambah pula dengan aktiviti-aktiviti seperti amalan pertanian pindah serta aktiviti penerokaan tanah tanpa izin (Devendra dan Thomas, 2002).

Pembalakan di kawasan hutan tropika adalah berbeza dari segi kesannya ke atas struktur dan komposisi hutan yang berlainan. Pada hakikatnya terdapat aktiviti pembalakan yang berintensiti rendah, bersifat polisiklik (lebih daripada satu kitaran tebaran) dan mengamalkan tebaran memilih yang seakan-akan mirip gangguan semulajadi (Hartshorn, 1995). Tebaran memilih dilaporkan berupaya mengekalkan populasi tumbuhan yang asal sungguhpun individu pokok yang ditinggalkan mungkin tidak terdiri daripada balak yang berkualiti (ter Steege *et al.*, 2002). Sebaliknya, terdapat juga kaedah pembalakan tebaran habis yang memusnahkan litupan hutan dan mengakibatkan berlakunya proses sesaran hutan sekunder (Chazdon, 2003). Pada hakikatnya, kesan sebenar pembalakan tidak berakhir dengan kemusnahan yang berlaku semasa aktiviti pembalakan tetapi menjadi lebih ketara setelah berakhirnya aktiviti tersebut (Dennis *et al.*, 2001; Siegert *et al.*, 2001). Kesan yang sama turut kelihatan apabila berlaku kemerosotan tanah akibat perubahan guna tanah untuk aktiviti pertanian (Kartawinata *et al.*, 2001; de Jong *et al.*, 2001).

Antara sebab berlakunya kegagalan aktiviti pemulihan hutan adalah kurangnya sumber anak benih akibat bekalan dan penyebaran biji benih yang terhad (Fredericksen dan Licona, 2000; Guariguata dan Pinard, 1998) terutama bagi spesies pokok yang bernilai komersial. Kehadiran spesies eksotik sebagai pesaing kuat bagi spesies tempatan, turut menjadi punca bagi kegagalan penggunaan spesies tempatan dalam aktiviti pemulihan hutan (Horvitz *et al.*, 1998; Denslow *et al.*, 2001).

2.1 Kemosoton Tanah di Sarawak

Aktiviti pembalakan menyumbang kepada proses penyahhutan di Sarawak di samping perubahan guna tanah untuk penubuhan ladang kelapa sawit yang semakin giat dijalankan (Samejima *et al.*, 2004). Aktiviti pembalakan seperti pembinaan jalan penarikan dan pangkalan balak melibatkan pemindahan tanah atas dan pemadatan tanah yang mengakibatkan tanah menjadikan kurang produktif. Menurut Dickinson *et al.* (2000) dan Nabe-Nielsen *et al.* (2007), tanah menjadi terganggu akibat penggunaan jentera berat dalam proses pembalakan. Pearce (1994) menegaskan bahawa pembuatan jalan penarikan sahaja merangkumi kira-kira 6% daripada keseluruhan kawasan yang dibalak.

Penggunaan jentera berat menyebabkan kerosakan vegetasi dan tanah yang kemudiannya dihanyutkan oleh larian air. Peningkatan mendapan dalam sungai dilaporkan meningkat sebanyak 12 kali ganda semasa proses pembalakan. Asian Timber (1996) melaporkan sebanyak 60 juta tan tanah masuk ke dalam sungai setiap tahun akibat pembalakan dan aktiviti-aktiviti yang berkaitan. Data oleh Jabatan Alam Sekitar Malaysia ke atas 90 kawasan pensampelan di 21 lembangan sungai di Malaysia merekodkan beban endapan terampai yang tinggi bagi kebanyakan sungai dan anak sungai. Keadaan ini berlaku akibat hakisan tanah pada hulu sungai yang secara langsung berkaitan dengan aktiviti pembinaan jalan pembalakan, jalan penarikan, kawasan tapak kem dan aktiviti penebangan balak (Heyzer, 1996).

Amalan pertanian pindah secara tradisional merupakan satu proses pengurusan dan guna tanah yang baik dari segi ekologi (Lee, 2004). Pertanian jenis ini memberi ruang untuk kawasan yang telah diusahakan kembali menyerupai keadaan asal dari segi komposisi tanaman dan kesuburan tanah. Proses ini boleh terjadi kerana kawasan yang telah diusaha akan ditinggalkan untuk suatu jangkamasa yang lama, iaitu untuk tempoh satu hingga dua tahun (Lee, 2004) sebelum diusahakan semula. Guariguata dan Ostertag (2001) menegaskan bahawa pertanian pindah merupakan amalan pertanian yang paling berkesan dalam membantu proses pemulihan hutan jika dibandingkan dengan amalan lain yang lebih intensif dan meluas.

Amalan pertanian pindah di Sarawak semakin meningkat disebabkan oleh kewujudan jalan-jalan pembalakan yang memudahkan kemasukan ke kawasan-kawasan yang selama ini terpencil. Lee (2004) melaporkan sebanyak tiga juta hektar atau 25% daripada keluasan Negeri Sarawak tergolong dalam kawasan yang terjejas akibat amalan pertanian pindah. Kawasan yang telah dibalak menjadi daya penarik untuk aktiviti pertanian pindah memandangkan kawasan tersebut mempunyai kepadatan pokok yang rendah dan tidak memerlukan usaha yang banyak untuk dibersihkan. Ini ditambah pula dengan penggunaan mesin seperti gergaji berantai yang meningkatkan kadar, kekerapan dan keluasan kawasan yang boleh diteroka.

Amalan pertanian pindah dengan kitaran penanaman yang semakin pendek dan lebih intensif turut mengakibatkan banyak kawasan yang diusahakan tidak mempunyai ruang masa yang cukup untuk pulih daripada proses hakisan nutrien. Kini, aktiviti pertanian pindah di Sarawak mula beralih dari kawasan tanah hutan milik kerajaan negeri ke kawasan hutan simpanan kekal. Sekitar 180,000 hektar kawasan pertanian pindah terletak di dalam kawasan hutan simpanan kekal sementara 12,000 hektar terdapat di kawasan terlindung sepenuhnya seperti taman negara, santuari hidupan liar dan hutan simpanan (Lee, 2004).

2.2 Pemuliharaan Kawasan Rosot

Di Malaysia, 72% dari kawasan tanahnya adalah terdiri daripada tanah oksisol dan ultisol (IBSRAM, 1985) yang mengandungi simpanan nutrien dan pH yang rendah (Hinsinger, 2001) dengan kadar ketoksikan aluminium yang tinggi (Ismail *et al.*, 1993; Sanchez *et al.*, 1982). Hutan yang tumbuh di atas tanah seumpama ini mempunyai kitaran nutrien yang tertutup dan sumber nutrien untuk tumbuhan diperolehi dari input atmosfera dan kitaran dalaman (Baillie, 1989). Pada kawasan yang telah terpulihara sepenuhnya, pengguguran sarap dan kejatuhan terus dikenalpasti sebagai sumber nutrien utama untuk pertumbuhan. Input atmosfera menyumbang kurang daripada 10% sumber nitrogen (N), fosforus (P) dan kalium (K) tahunan (Zulkifli dan Baharuddin, 1997). Oleh yang demikian, kawasan yang mengalami masalah kemerosotan penuh dan kurang ditumbuhi tumbuhan termasuk jalan pembalakan, jalan penarikan, pangkalan balak dan kawasan tinggalan pertanian pindah, tidak akan mampu untuk pulih tanpa campur tangan manusia.

Penggunaan baja kimia semasa peringkat tapak semaian dan lapangan merupakan suatu amalan biasa di Malaysia (Krishnapillay, 2002). Nussbaum *et al.* (1995a) melaporkan berkenaan kesan pemberian nutrien tambahan yang mampu meningkatkan pertumbuhan pokok di kawasan pangkalan balak yang dicirikan oleh tanah atas yang terhakis, berkesuburan rendah dan padat. Raja Barizan dan Appanah (2000) mendapati pembekalan P pada dua spesies dipterokarpa memberikan kesan positif yang bererti kepada pertumbuhan spesies tersebut. Nussbaum *et al.* (1995b) melaporkan penggantian tanah atas mampu membantu anak benih yang ditanam memberikan kadar pertumbuhan yang serupa dengan plot yang menerima nutrien tambahan. Terdapat juga penyelidikan yang mendapati keadaan tanah yang padat mengakibatkan pertumbuhan tumbuhan menjadi terbatas (van Rheenen *et al.*, 2004). Vincent dan Davies (2003) mencadangkan agar kajian yang lebih terperinci dilakukan

bagi menentukan komponen bawah tanah yang menjadi penghad kepada pertumbuhan anak benih.

Penggunaan sungkupan berupaya meningkatkan kadar kemandirian dan pertumbuhan anak benih di kawasan ladang hutan dengan keupayaannya mengekalkan kelembapan tanah di samping mengurangkan pertumbuhan rumpai semasa peringkat awal pertumbuhan (Fang *et al.*, 2008). Sungkupan merupakan satu pendekatan lain yang diguna bagi tujuan meningkatkan kandungan nutrien di dalam tanah menerusi proses penguraian. Ia berkeupayaan untuk mempengaruhi sumber nutrien dengan mengubah ketersediaan nutrien (Evans, 1996; Fang *et al.*, 2007; Suhaili *et al.*, 1998). Bekalan nutrien yang dihasilkan boleh dipertingkatkan dengan penggunaan sungkupan yang lebih berkualiti dalam kuantiti yang lebih banyak.

Vincent dan Davies (2003) melaporkan peningkatan pertumbuhan spesies *Dryobalanops aromatica* dan *Shorea parvifolia* pada suatu kawasan kajian akibat penggunaan sungkupan tetapi mendapati kesan yang berbeza pada kawasan kajian yang lain. Kajian lain pula mendapati sungkupan gagal memberi sebarang kesan ke atas pertumbuhan tumbuhan (Huang *et al.*, 2008) malah memberikan kesan pertumbuhan yang negatif (Truax dan Gagnon, 1993; Vincent dan Davies, 2003). Nussbaum *et al.* (1995b) mengaitkan kesan negatif penggunaan sungkupan pada anak benih spesies dipterokarpa kepada sistem akar tumbuhan yang terendam di dalam air. Ini membuktikan penggunaan sungkupan memberikan kesan yang berlainan ke atas pertumbuhan tumbuhan bergantung kepada spesies yang dikaji dan lokasi kawasan kajian.

Pendekatan lain yang kerap diamalkan dalam aktiviti pemuliharaan hutan adalah penubuhan ladang hutan secara monokultur bagi mempergiatkan proses sesaran hutan (Montagnini, 2001). Penggunaan spesies tumbuhan dengan kadar

pertumbuhan yang tinggi, terutama di kalangan tumbuhan pengikat nitrogen, mampu meningkatkan kandungan organik dan kitaran nutrien dalam tanah di samping mengawal berlakunya hakisan tanah (Amede, 2003; Montagnini dan Sancho, 1994; Moukouri *et al.*, 2005). Di Sarawak, statistik sehingga 2002 mendapati terdapat 24,000 hektar kawasan telah selesai ditanam dengan spesies pokok eksotik dan tempatan yang cepat tumbuh (Anon, 2003). Kerajaan negeri pula bercadang untuk menanam seluas 1.4 juta hektar hutan ladang dalam tempoh 20 tahun yang akan datang (GAIN Report, 2004).

Ciri-ciri pertumbuhan spesies pokok tempatan yang lebih perlahan dan kesukaran untuk menanamnya di tapak semaian merupakan dua punca mengapa ramai pengusaha ladang hutan memilih untuk menanam spesies pokok eksotik (Muthukumar *et al.*, 2001). Keadaan ini menjadi lebih rumit akibat kesukaran untuk mendapat stok tanaman yang mencukupi disebabkan oleh faktor penghasilan bunga dan buah yang agak jarang (Ashton *et al.*, 1988; Ghazoul dan McLeish, 2001) di samping sifat biji benih yang rekalsitran (Tompsett, 1987). Penggunaan anak benih liar merupakan salah satu alternatif yang sering diguna untuk mengatasi masalah ini tetapi kadar kemandirian yang direkodkan adalah agak rendah tanpa pengendalian yang cermat (Palmiotto, 1993). Sungguhpun begitu, spesies pokok tempatan mula mendapat perhatian bagi menggantikan spesies pokok eksotik yang cepat tumbuh untuk tujuan pemuliharaan kawasan yang mengalami kemerosotan di kawasan hutan tropika (Itoh *et al.*, 2002).

Berbagai usaha telah dilakukan bagi mengatasi masalah kekurangan stok tanaman dan kadar kematian anak benih spesies tempatan yang tinggi termasuklah penggunaan kaedah propagasi vegetatif. Dick dan Aminah (1994) telah menjalankan penyelidikan penggunaan keratan propagasi vegetatif pada spesies yang kebanyakannya terdiri daripada famili Dipterocarpaceae yang bernilai komersil. Itoh *et*

al. (2002) pula melakukan penyelidikan ke atas kebolehan penghasilan akar oleh 100 spesies tumbuhan tropika dari Sarawak tanpa mengira kepentingan ekonominya. Kajian mereka mendapati kebanyakan spesies tumbuhan yang kecil dan cepat tumbuh mempunyai kebolehan pengakaran yang agak baik di samping mudah untuk dihasilkan. Spesies dari kalangan kanopi atas dan emergent, termasuk spesies dipterokarpa, menunjukkan penghasilan akar yang kurang memberansangkan. Keadaan ini menyukarkan lagi pemilihan mereka sebagai spesies tempatan yang sesuai untuk dimajukan bagi kegunaan aktiviti pemuliharaan hutan.

Kesan mikoriza pada kawasan tanah yang rosot bukan merupakan sesuatu yang baharu. Tidak kurang daripada 80% spesies tumbuhan di dunia (Harrier dan Watson, 2004; Pendleton dan Smith, 1983) dan majoriti spesies pokok hutan di Asia Tenggara dijangkiti oleh MA (Redhead, 1977; Smits, 1992; Norani, 1996a). Hubungan simbiotik antara tumbuhan dan MA berkeupayaan untuk meningkatkan daya serapan air (Augé, 2001) dan kandungan nutrien seperti fosforus (P), nitrogen (N), magnesium (Mg), ferum (Fe), zink (Zn) serta kuprum (Cu) pada tumbuhan yang dijangkitinya (Sorensen *et al.*, 2005; Titus dan Leps, 2000). Mikoriza arbuskular juga berkebolehan untuk mengurangkan kesan keasidan (Giovannetti *et al.*, 2001; Wiseman dan Wells, 2005), kealkalian (Entry *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2005) malah ketoksikan logam berat (Enkhtuya *et al.*, 2000) pada tanah. Mikoriza arbuskular memberikan kebaikan kepada tumbuhan perumah dengan meningkatkan keupayaan akar untuk meneroka kawasan sekeliling dan menyerap ion tanah terutama ion yang mempunyai daya pergerakan yang terbatas (Sorensen *et al.*, 2005).

Di kawasan Asia Tenggara, Lee (1998) mengutarakan kepentingan mikoriza dalam memperbaiki tahap kemandirian di samping membantu peringkat awal pertumbuhan anak benih. Mikoriza membantu mempercepatkan kadar pertumbuhan anak benih dengan meningkatkan keupayaan penyerapan nutrien mineral serta

memperbaiki toleransi terhadap masalah kekurangan air (Gupta dan Kumar, 2000). Sungguhpun begitu, masih terdapat banyak persoalan berkenaan hubungan MA dan tumbuhan perumah yang perlu diselesaikan sebelum kebaikan jangka panjang dan kebolehan MA dalam mengurangkan kos dapat dilihat terutama sekali oleh para pengusaha ladang.

2.3 Ekologi Mikoriza Arbuskular

2.3.1 Pengkelasan

Morton dan Benny (1990) pada awalnya mengkelaskan semua MA ke dalam order Glomales yang terdiri daripada tiga famili (*Acaulosporaceae*, *Gigasporaceae* dan *Glomaceae*), dua suborder (*Glominae* dan *Gigasporaceae*) dan enam genera (*Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Sclerocystis* dan *Scutellospora*). Suborder *Glominae* dan *Gigasporaceae* kemudiannya digabungkan untuk membentuk suborder *Glomales*. Di bawah pengkelasan ini, genus *Gigaspora* dan *Scutellospora* terdiri daripada ahli yang mempunyai struktur arbuskular serta hifa inter- dan intra-selular manakala genus *Glomus*, *Entrophospora*, *Acaulospora* dan *Sclerocystis* turut menunjukkan kehadiran struktur vesikel (Strullu *et al.*, 1983).

Redecker *et al.* (2000a, 2000b) berpandukan informasi filogenetik hasil daripada data morfologi dan molekular mengkelaskan semula taksonomi yang sedia ada dengan memindahkan genus *Sclerocystis* kepada *Glomus*. Perubahan ini memperkuatkan lagi cadangan awal yang diutarakan oleh Almeida dan Schenck (1990). Morton dan Redecker (2001) memasukkan dua famili yang baharu iaitu *Archaeosporaceae* dan *Paraglomaceae* yang masing-masingnya dianggotai oleh genera *Archaeospora* dan *Paraglomus*. Schüßler *et al.* (2001) diikuti oleh Walker *et al.* (2004) melakukan beberapa pembetulan ke atas pengkelasan awal MA berdasarkan sub-unit kecil (*small sub-unit*, SSU) jujukan gen DNA ribosomal (rDNA). Perubahan ini mengakibatkan MA dan semua fungi yang berkaitan diletakkan di bawah filum

Glomeromycota yang terdiri daripada empat order iaitu Glomerales, Paraglomerales, Archaeosporales dan Diversisporales.

Order Glomerales terdiri daripada famili Glomeraceae 1 dan Glomeraceae 2 manakala Archaeosporales terdiri daripada famili Archaeosporaceae dan Geosiphonaceae. Order Diversisporales mempunyai empat famili iaitu Acaulosporaceae, Diversisporaceae, Gigasporaceae dan Pacisporaceae (sinonim Gerdemanniaceae). Paraglomerales mempunyai hanya satu famili iaitu Paraglomeraceae. Lapan famili MA ini terdiri daripada sepuluh genus iaitu *Acaulospora* dan *Entrophospora* (Acaulosporaceae), *Glomus* (Glomeraceae), *Archaeospora* (Archaeosporaceae), *Diversispora* (Diversisporaceae), *Geosiphon* (Geosiphonaceae), *Gigaspora* dan *Scutellospora* (Gigasporaceae), *Pacispora* (Pacisporaceae) dan *Paraglomus* (Paraglomeraceae).

2.3.2 Kemandirian

Mikoriza arbuskular merupakan organisma simbiotik obligat aseksual. Fungi glomeromiset merupakan organisma tanah yang wujud dan membiak di kawasan tanah yang mempunyai tompok bahan organik (Azcón-Aquilar *et al.*, 1999; Hodge *et al.*, 2001). Fungi ini ditemui pada semua bahagian tisu tumbuhan selain daripada akar (Brundrett dan Kendrick, 1988; Imhof, 2001) dan menghuni hidupan tanah yang telah mati (Rydlová *et al.* 2004). Mikoriza arbuskular adakalanya didapati mendiami MA yang lain (Koske, 1984) malah turut menghuni akar spesies tumbuhan yang dijangkiti oleh ektomikoriza (Smith *et al.*, 1998; Egerton-Warburton dan Allen, 2001).

Spora MA pernah direkodkan pada kedalaman sehingga 2.2 meter (Zajicek *et al.*, 1986). Sungguhpun begitu, 70% hingga 85% daripada sporanya terdapat pada kedalaman 40 hingga 45 cm (Jakobsen dan Nielson, 1983; Thompson, 1991). Bilangan spora MA berkait rapat dengan faktor cuaca dan persekitaran semulajadi.

Ramai penyelidik melaporkan bahawa spora MA dipengaruhi oleh faktor musim (Li *et al.*, 2005; Lugo dan Cabello, 2002). Selain daripada itu, spora MA didapati wujud secara bertompok di lapangan (Lovelock dan Miller, 2002) dan tidak dipengaruhi oleh taburan akar (Friese dan Koske, 1991).

2.3.3 Morfologi

Mikoriza arbuskular adalah hubungan endomikoriza yang dicirikan oleh pembentukan struktur intra-selular seperti arbuskul (Davies, 2000; Smith dan Read, 1997). Empat ciri morfologi yang digunakan dalam pengecaman fungi sehingga ke peringkat genus merangkumi: (i) struktur mikoriza pada akar, (ii) pembentukan spora yang diperolehi dari sampel tanah (secara kultur atau lapangan), (iii) ciri struktur sub-selular spora (lapisan dinding, kelenturan dinding) dan (iv) kaedah percambahan spora (Schenck dan Perez, 1990; Morton dan Bentivenga, 1994). Pengecaman menggunakan kaedah morfologi selalunya memberikan keputusan yang tidak sama dengan hasil yang diperolehi menggunakan data biokimia. Spora yang diperolehi dari lapangan selalunya lebih sukar untuk dikenalpasti dan memerlukan penanaman secara perangkap (*trap cultivation*) menggunakan tumbuhan perumah bagi menghasilkan spora yang mudah dicam (Bever *et al.*, 2001). Sebahagian besar daripada 190 spesies MA yang telah dikenalpasti adalah tergolong dalam genus *Glomus* (Sieverding dan Oehl, 2005).

Struktur utama pada MA adalah arbuskul, iaitu cabang hifa di dalam sel akar, yang terhasil kesan daripada hubungan tumbuhan dan fungi. Arbuskul merupakan tempat utama di mana berlakunya pertukaran karbon dan nutrien antara simbion (Entry *et al.*, 2002). Struktur intra-radikal seperti arbuskul, vesikel (struktur simpanan lipid) dan hifa lingkaran yang tumbuh di dalam tisu kortikal akar tumbuhan dihubungkan kepada miselia radikal luaran (Allen, 1991; Smith dan Read, 1997). Miselia tanah mempunyai pelbagai fungsi (Friese dan Allen, 1991) termasuk

pembentukan spora (propagul untuk penyebaran), pembentukan hifa larian (bagi mengeksplotasi kawasan tanah dan menjangkiti akar yang baru) dan penyerapan nutrien (Rillig, 2004a).

Pengecaman genus MA menggunakan data morfologi telah dilaporkan oleh ramai penyelidik. Ini termasuklah genus *Gigaspora* oleh Gerdemann dan Trappe (1974), genus *Entrophospora* oleh Ames dan Schneider (1979), genus *Glomus* oleh Walker (1983) dan genus *Acaulospora* oleh Berch (1985). Ini disusuli pula oleh pengecaman genus *Scutellospora* oleh Walker dan Sanders (1986), genus *Diversispora* oleh Pfeiffer *et al.* (1996), genus *Archaeospora* dan *Paraglomus* oleh Morton dan Redecker (2001), genus *Pacispora* oleh Walker *et al.* (2004) dan genus *Gesiphon* oleh Schüßler dan Wolf (2005).

Famili Gigasporaceae yang dianggotai oleh genus *Gigaspora* dan *Scutellospora* dicirikan oleh struktur yang berbentuk bebawang di bahagian bawah blastospora (Morton dan Benny, 1990). Ia mempunyai saiz spora yang bervariasi serta bilangan dinding, jenis dan warna spora yang tidak sama. Famili ini tidak membentuk sebarang sporokarpa kompaun. Genus *Gigaspora* mempunyai ciri yang lebih ringkas berbanding *Scutellospora* yang mempunyai lebih banyak dinding spora dan bercambah menerusi pelindung percambahan (*germination shield*) (Walker dan Sanders, 1986). Genus *Pacispora* daripada famili Pacisporaceae turut dilaporkan bercambah menggunakan kaedah yang serupa (Walker *et al.*, 2004).

Spora daripada famili Acaulosporaceae terbentuk pada hifa yang memegang sel induk atau sakul. Spora *Entrophospora* terbentuk pada bahagian dalam manakala spora *Acaulospora* terbentuk pada sisi hifa yang memegang sakul (Gerdemann dan Trappe, 1974; Berch, 1985). Kekeliruan dalam pengecaman famili ini kerap berlaku disebabkan oleh sambungan hifa yang agak pendek dan tidak ketara. Kebanyakan

spesies dalam famili ini didapati menghasilkan spora jenis individu yang seringkali terbentuk di dalam tanah dan adakalanya pada bahagian akar.

Genus *Archaeospora* merupakan genus MA yang sukar diperolehi kerana kerap kali membentuk bilangan koloni yang terhad tetapi kuat di dalam akar. Ciri pengecaman yang selalu diguna sebagai rujukan penting bagi MA adalah pembentukan vesikel. Famili Gigasporaceae misalnya tidak membentuk vesikel di dalam struktur akar manakala famili Acaulosporaceae dan Pacisporaceae menghasilkan vesikel dengan dinding yang nipis dan tertumpu pada titik kemasukan akar (Walker *et al.*, 2004).

Spesies *Glomus* membentuk kedua-duanya jenis dinding yang tebal dan nipis di dalam akar. Pemencilan sporokarpik *Glomus* adakalanya tidak membentuk vesikel. Oleh yang demikian, penggunaan vesikel dalam kes yang sedemikian tidak boleh dijadikan sebagai ciri penting dalam pengecaman genus. Struktur vesikel didapati jarang kelihatan pada genus *Paraglomus* manakala genus *Archaeospora* langsung tidak membentuk sebarang vesikel (Morton dan Redecker, 2001).

2.3.4 Taburan

Mikoriza diperolehi dengan banyaknya pada komuniti tumbuhan darat dan menjangkiti kebanyakan spesies tumbuhan (Davies, 2000; Smith dan Read, 1997). Lebih daripada 80% famili spesies tumbuhan mempunyai hubungan mikoriza (Harrier dan Watson, 2004; Smith *et al.*, 2003) dan masih terdapat banyak sistem akar tumbuhan yang belum dikaji. Umumnya, spesies pokok hutan selalu membentuk hubungan ektomikoriza atau arbuskular (Davies, 2000). Tumbuhan herba dan rerumput pula lebih kerap dihuni oleh mikoriza dari jenis erikoid, orkid atau arbuskular (Smith dan Read, 1997).

Hubungan MA paling kerap ditemui pada spesies tumbuhan berbanding mikoriza yang lain (Entry *et al.*, 2002). Tumbuhan yang dijangkiti mikoriza dilaporkan menunjukkan kelainan dari segi percambahan, pertumbuhan dan pembungaan. Pelbagai jenis perumah termasuk angiosperma, gimnosperma, paku-pakis dan lumut, likopod serta silotales dan sebilangan kecil kumpulan fungi berfilamen tanpa septum turut dijangkiti mikoriza (Bago *et al.*, 2000).

Majoriti tumbuhan berkayu di hutan Asia Tenggara membentuk hubungan MA (Smits, 1992; Norani, 1996a) dengan kebanyakannya terdiri daripada genus *Gigaspora*, *Glomus* dan *Acaulospora* (Norani, 1996b). Hanya segelintir famili tumbuhan seperti Dipterocarpaceae, Caesalpinoideae dan Fagaceae dikenalpasti membentuk hubungan ektomikoriza. Terdapat juga spesies tumbuhan tidak langsung membentuk sebarang hubungan mikoriza. Ini termasuklah spesies tumbuhan daripada famili Axoaceae, Brassicaceae, Crassulaceae, Cyperaceae, Juncaceae, Pinaceae, Proteaceae dan Restionaceae (van der Heijden dan Sanders, 2002).

2.4 Kepentingan Hubungan Tumbuhan-Mikoriza Arbuskular

2.4.1 Fungsi Ekologi

Fungi mikoriza penting dalam ekologi kerana membentuk hubungan di dalam dan luar akar tumbuhan perumah secara simbiotik (Entry *et al.*, 2002). Tumbuhan perumah membekalkan MA dengan sumber karbon yang terlarut dan sebaliknya ia meningkatkan kebolehan tumbuhan perumah menyerap lebih banyak air dan nutrien dari tanah (Augé *et al.*, 2001; Gupta dan Kumar, 2000; Smith dan Read, 1997). Ini membuktikan bahawa proses penyerapan nutrien oleh tumbuhan tidak bergantung sepenuhnya kepada struktur akar (Bago *et al.*, 2000; Smith dan Read, 1997). Kebanyakan tumbuhan disahkan mempunyai hubungan spesifik dengan mikoriza dengan sebahagiannya membentuk hubungan yang terbuka.

Mikoriza arbuskular terdapat dengan banyaknya dalam ekosistem tropika dan penting dari segi ekonomi. Namun, sumbangan MA pada tanah adalah sesuatu yang tidak mudah untuk dianggarkan (Jakobsen, 1994; Ryan dan Graham, 2002). Mikoriza arbuskular penting semasa peringkat pertumbuhan awal dan pertumbuhan anak benih tumbuhan berkayu dengan keupayaannya meningkatkan tahap kesuburan anak benih (Davies, 2000). Ia juga mampu meningkatkan permukaan fotosintesis semasa peringkat dewasa pertumbuhan dengan mempergiatkan proses penyerapan nutrien oleh tumbuhan, terutamanya nutrien N dan P yang terhad di dalam tanah (Finlay, 2004; Marschner dan Dell, 1994). Siqueira *et al.* (1998) mengemukakan kenyataan yang serupa dan membincangkan kepentingan MA dalam menentukan kemandirian spesies tumbuhan. Hubungan simbiosis di antara tumbuhan dan mikoriza berperanan penting dalam membantu proses sesaran terutama pada tanah tandus dengan kandungan nutrien tersedia yang terhad (Wu *et al.*, 2004).

2.4.2 Mikoriza Arbuskular Dan Ciri Fizikal Tanah

Ekosistem bawah tanah dipengaruhi oleh kewujudan MA. Mikoriza arbuskular memainkan peranan penting dalam mengekalkan dan meningkatkan kestabilan pegangan tanah (Cardoso dan Kuyper, 2006; Miller dan Jastrow, 2000). Daya pegangan tanah penting dari aspek struktur tanah kerana pengaruhnya ke atas kadar aliran air, ruang liang tanah dan daya tahan dari hakisan. Hifa ekstraradikal MA membantu menyaring dan memerangkap zarah tanah dan membentuk daya pegangan tanah yang lebih stabil (Douds dan Millner, 1999; Miller dan Jastrow, 2000). Suborder Gigasporineae dilaporkan mempunyai keupayaan yang lebih tinggi berbanding suborder Glomineae dalam mempengaruhi kestabilan pegangan tanah (Schreiner dan Bethlenfalvay, 1995).

Miselial ekstraradikal MA adalah penyumbang utama kepada pembentukan dan penyelenggaraan struktur tanah (Miller dan Jastrow, 1994; Rillig, 2004a). Struktur

tanah merupakan pembolehubah di dalam ekosistem yang umumnya mempengaruhi semua proses kitaran nutrien dan biota tanah (Diaz-Zorita *et al.*, 2002). Struktur tanah membentuk susunan zarah utama dan bahan organik kepada agregat dan rongga tanah yang penting dalam penghasilan model ekosistem yang berasaskan kepada parameter tekstur tanah (taburan saiz zarah utama). Wujud hubungan yang erat di antara tekstur dan struktur tanah. Struktur tanah dilaporkan boleh mengalami kemerosotan atau pembentukan menerusi skala masa ekologi tanpa melibatkan sebarang perubahan pada tekstur. Agregat tanah dipengaruhi oleh pelbagai rawatan di dalam ekosistem pertanian dan kitaran tumbuhan atau ekosistem asli yang melibatkan faktor perubahan global (Rillig *et al.*, 1999; Niklaus *et al.*, 2003).

Hifa ektraradikal MA mengeluarkan glikoprotein yang dikenali sebagai glomalin, sejenis protein putatif (Rillig, 2004b). Glomalin berperanan penting dalam penghasilan dan pengekalan agregat tanah yang stabil air (Douds dan Millner, 1999). Glomalin yang terhasil mampu membantu dalam menstabilkan agregat makro tanah (>250 μm) dan bertindak melalui proses penyaringan (mekanisme '*string-bag*') (Miller dan Jastrow, 2000). Kandungan glomalin dalam tanah adalah tinggi. Di hutan hujan tropika Costa Rica sebanyak 12.5 mg glomalin cm^{-3} telah direkodkan pada kedalaman sehingga 10 cm dari atas tanah (Lovelock *et al.*, 2004) manakala di Hawaii sejumlah 60 mg glomalin cm^{-3} telah dilaporkan (Rillig *et al.*, 2001).

Sungguhpun kepentingan biokimia glomalin masih kabur, aspek kandungan bahannya telah mula dikira dan diukur menggunakan beberapa jenis protein tanah berkaitan (GRSP) (Rillig, 2004a) termasuk protin immunoreaktif yang menggunakan antibodi monoklon (Rillig, 2004b). Kepekatan GRSP dilaporkan berkadar positif tetapi membentuk lengkok linear dengan kestabilan air pada agregat tanah (Wright dan Upadhyaya, 1998). Menurut Rillig *et al.* (2003), kandungan GRSP pada tahap 50%

berupaya mengurangkan proses peralihan tanah. Oleh yang demikian GRSP dipercayai penting di dalam bidang 'kejuruteraan' struktur tanah (Rillig, 2004b).

2.4.3 Interaksi Mikoriza Arbuskular Dan Mikroorganisma Lain

Semasa MA menjangkiti akar, ia membentuk miselia luaran yang bertindak menghubungkan akar dengan mikrohabitat tanah di sekelilingnya. Sifat simbiosis MA bertindak menjalinkan bahagian biotik dengan geokimia ekosistem dan menyumbang kepada penyerapan dan bekalan nutrien (Jeffries dan Barea, 1994). Sifat simbiotik MA mempengaruhi komposisi kimia eksudat akar. Pembentukan miselia mikoriza mengakibatkan perubahan fizikal persekitaran di sekeliling akar dan mendatangkan kesan terhadap komuniti mikrobial pada persekitaran akar tumbuhan bermikoriza (Johansson *et al.*, 2004; Marschner *et al.*, 2001).

Populasi mikrobial merupakan komponen penting di dalam sistem hubungan tanah-tumbuhan dan berupaya mempengaruhi perkembangan tumbuhan (Lynch, 1990; Zangaro *et al.*, 2000). Mikroorganisma berupaya mengaktifkan permukaan tanah-tumbuhan di mana sistem mikrokosm pada persekitaran akar terbentuk (Azcón-Aquilar dan Barea, 1992). Bakteria yang bertindak di dalam zon akar membantu mempromosi pertumbuhan tumbuhan (Toljander *et al.*, 2006) dan menyumbang kepada proses ekosistem utama seperti kawalan biologi patogen (Larsen *et al.*, 2003), kitaran nutrien dan perkembangan awal anak benih (Glick, 1995; Weller dan Thomashow, 1993).

Mikroorganisma tanah mempengaruhi pembentukan dan fungsi MA (Azcón-Aquilar dan Barea, 1992; Toljander *et al.*, 2006) terutama melalui bakteria pembantu mikoriza (BPM). Bakteria ini berupaya memangkin pertumbuhan mikoriza di samping meningkatkan pembentukannya (Barea *et al.*, 1997; Hildebrandt *et al.*, 2006). Garbaye (1994) mencadangkan lima mekanisme bagi menerangkan sumbangan BPM: (i)

peningkatan jangkitan kolonisasi mikoriza, (ii) peningkatan proses pengecaman akar-fungi, (iii) peningkatan nutrien untuk pertumbuhan mikoriza, (iv) perubahan positif pada kandungan tanah pada persekitaran akar dan (v) pemangkin kepada percambahan propagul mikoriza.

Bakteria pelarut fosfat dikaitkan dengan mikoriza dan bertindak mempromosi proses jangkitan akar (Frey-Klett *et al.*, 1997; Hildebrandt *et al.*, 2006). Toro *et al.* (1997) mendapati jangkitan menggunakan kedua-dua MA dan bakteria mampu meningkatkan penggunaan fosfat batuan berbanding fosfat semulajadi oleh tumbuhan. Ion P yang dibebaskan oleh fosfat batuan boleh diserap terus oleh miselia MA dan mengakibatkan kepekatan P yang terlarut berkurangan pada habitat mikro yang jauh. Zarah fosfat batuan yang diserang bakteria pelarut fosfat turut membantu dalam penghasilan dan pembebasan P secara berterusan. Kewujudan kedua-dua MA dan bakteria pelarut fosfat tidak hanya memberikan sumbangan dengan menyediakan permukaan akar yang lebih luas bagi tujuan pencarian nutrien mineral (Muthukumar *et al.*, 2001) malah mengekalkan bekalan nutrien dengan mengubah kadar kepekatan dalam tumbuhan dan mengurangkan pergerakannya menerusi pengawalan biojisim (Jeffries dan Barea, 1994).

Banyak kajian telah melaporkan kesan positif hubungan bakteria dan MA. Ini melibatkan peningkatan pertumbuhan tumbuhan (Timmusk *et al.*, 1999) dan penindasan patogen (Bae *et al.*, 2000; Li *et al.*, 2007; von der Weid *et al.*, 2000). Budi *et al.* (1999) menemui strain *Paenibacillus* yang meningkatkan pembentukan MA. Ia mampu bertindak sebagai agen kawalan biologi bagi penyakit kulat yang berasal dari tanah. Mamatha *et al.* (2002) menjumpai strain *Bacillus coagulans* yang mampu meningkatkan bilangan mikoriza di dalam tumbuhan yang dijangkitinya. Duponnois dan Planchette (2003) melaporkan kesan *Pseudomonas monteillii* yang berupaya meningkatkan daya kolonisasi mikoriza pada spesies *Acacia* yang berbeza.