

PRODUKSI DAN APLIKASI INOKULUM MIKORIZA ARBUSKULA, DAN PROSPEK PENGEMBANGANNYA

Dr. Hanna Artuti

Topik

1. Produksi Inokulum Mikoriza Arbuskula
2. Aplikasi Mikoriza dalam Kehutanan dan Lingkungan
3. Prospek Pengembangan Teknologi Mikoriza

1. Produksi Inokulum Mikoriza Arbuskula (MA)

1.1 Sumber inokulum MA

- Inokulum MA: bahan padat/cair yg mengandung spora mikoriza, hifa/miselia, potongan akar bermikoriza yang diinokulasikan (ditularkan) ke tanaman inang.
- Sumber awal inokulum FMA untuk perbanyakannya dapat menggunakan:
 - a. Inokulum tanah dari rizosfer tumbuhan bermikoriza
 - b. Kultur penangkaran tanah bermikoriza
 - c. Kultur penangkaran spora hasil ekstraksi dari sampel tanah dan/atau potongan akar bermikoriza.

a. Sumber inokulum MA: inokulum tanah

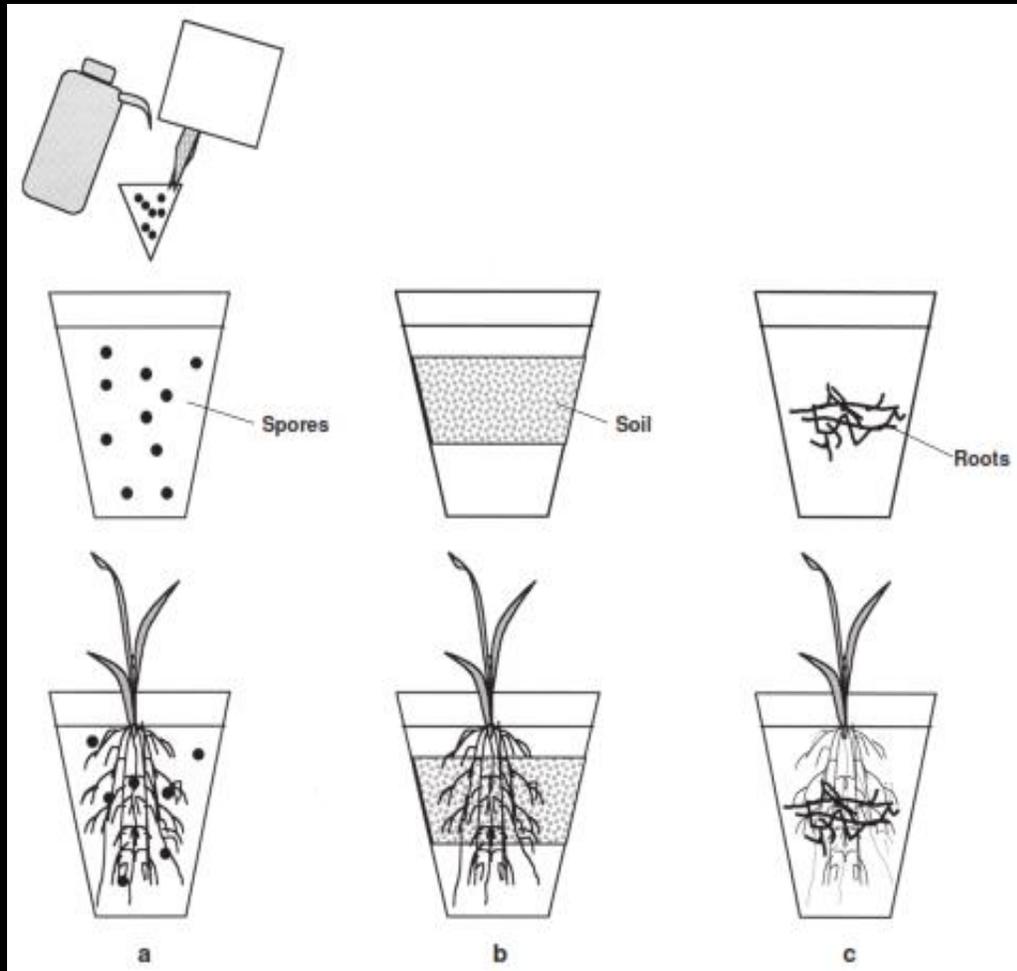
- Tanah yang terdapat di zona perakaran (rizosfer) tumbuhan inang FMA dapat digunakan sebagai inokulum.
- Inokulum tanah terdiri dari tanah dan propagul (potongan akar kering, spora FMA, sporokarp dan potongan hifa).
- Namun, inokulum tanah memiliki banyak kelemahan seperti:
 - ✓ sangat kurang efisien sebagai sumber inokulum FMA,
 - ✓ inokulum tanah bercampur dengan biji-biji gulma dan patogen,
 - ✓ kelimpahan dan viabilitas propagul FMA di dalam tanah tidak tentu.

b. Sumber inokulum MA: Kultur penangkaran tanah bermikoriza

- Kultur penangkaran digunakan untuk menstimulasi sporulasi atau meningkatkan jumlah propagul FMA yg ada di dlm sampel tanah yg diambil dr lapangan.
- Kultur penangkaran dibuat dgn cara mencampur tanah atau akar dr lapangan sbg sumber inokulum dgn medium tumbuh steril (pasir/zeolit) dan tanaman inang yg sesuai.
- Kultur penangkaran memerlukan waktu yg panjang (\pm 3 bulan) utk menghasilkan spora segar yang mudah diidentifikasi karakteristik morfologinya.



c. Sumber inokulum MA: Kultur penangkaran spora dan potongan akar



- Spora diperoleh dari hasil ekstraksi sampel tanah. Potongan akar yang digunakan adalah dari akar tanaman bermikoriza.
- Kecambah benih yang digunakan sebagai inang FMA, misalnya *Pueraria javanica*, sorghum, jagung.
- Selanjutnya, hasil kultur penangkaran spora FMA yang matang dan akar digunakan untuk produksi inokulum

Adapted from M. Brundrett

Ekstraksi spora

- Spora FMA dibentuk dari ujung hifa yang menggelembung, kemudian putus membentuk struktur yg mandiri dan bertahan lama pada kondisi yg kering.
- Spora FMA yg ada dalam tanah atau di permukaan akar dapat diekstraksi secara langsung menggunakan air yang mengalir.
- Spora yang ada di dalam akar (intraradikal) hanya dpt diekstrak setelah akarnya dihancurkan lebih dulu dgn blender.
- Selanjutnya spora diekstraksi dengan penyaring bertingkat dengan teknik tuang saring basah.



blender



saringan bertingkat

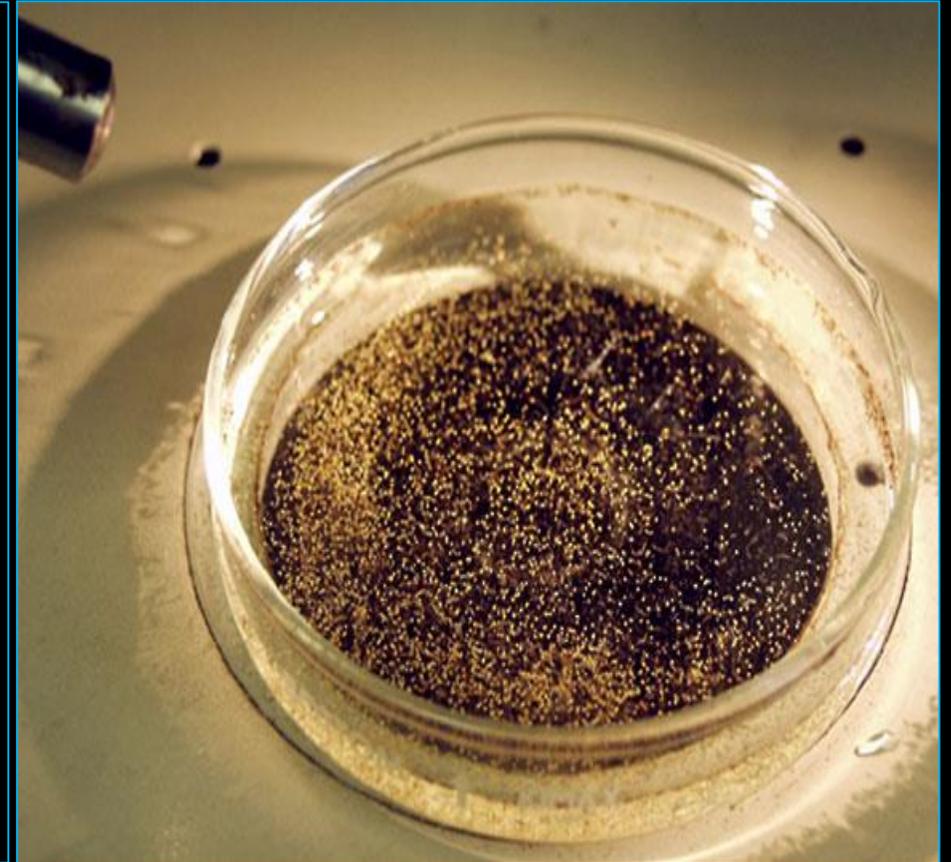
Ekstraksi spora

- Sampel tanah disuspensikan kemudian dimasukkan ke dalam blender dan diblender selama 5 detik.
- Suspensi dituang ke penyaring bertingkat.
- Endapan yang ada di saringan paling bawah dituang ke dalam Petri dish yang telah berisi air.



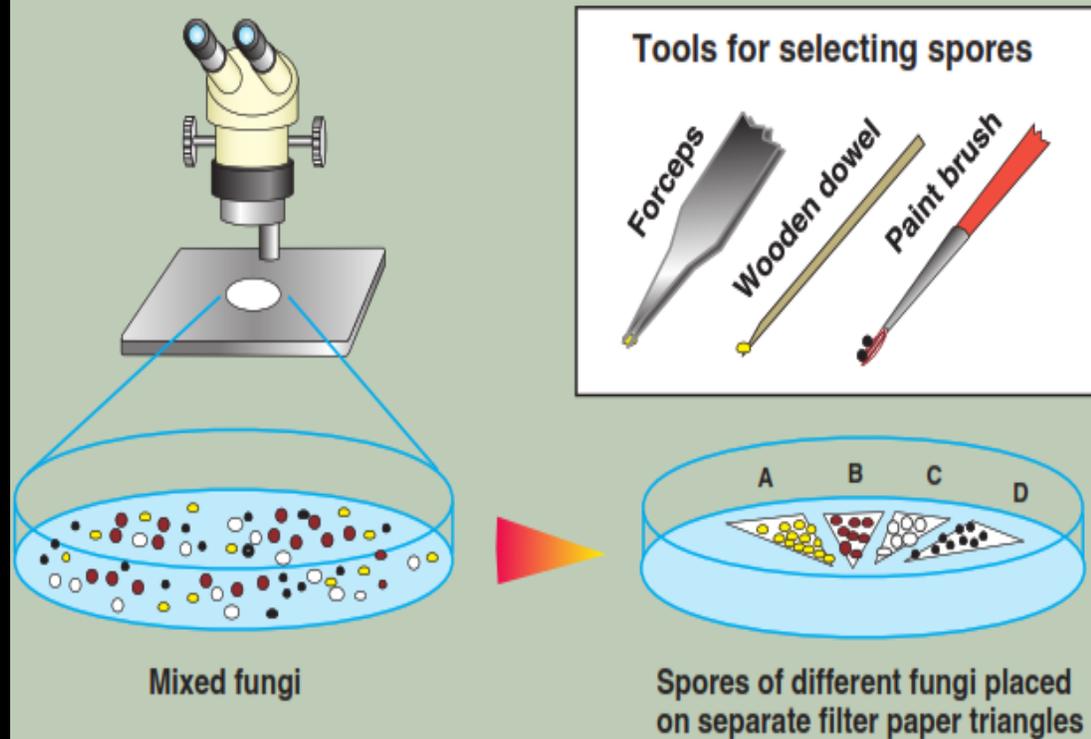
Ekstraksi spora

- Suspensi jernih dituang ke saringan paling bawah dan dibersihkan dengan air dari botol semprot.
- Spora yang telah bersih dituangkan ke cawan Petri dgn bantuan botol semprot.
- Selanjutnya, spora-spora yang setipe dikelompokkan.

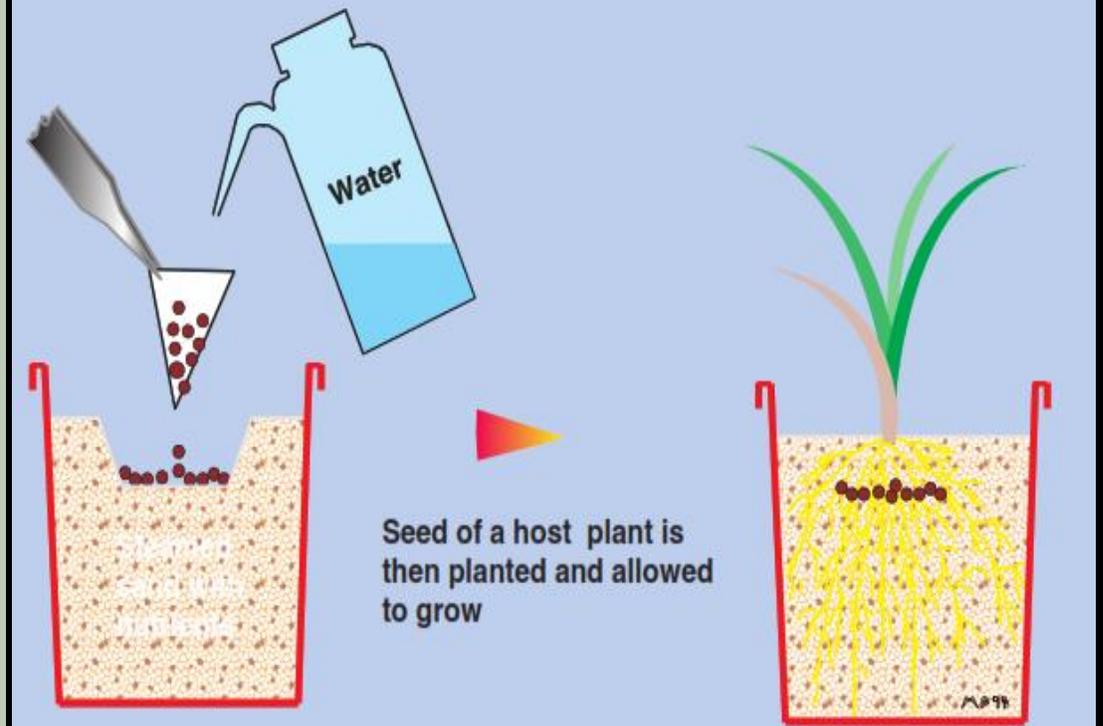


Kultur pot spora FMA

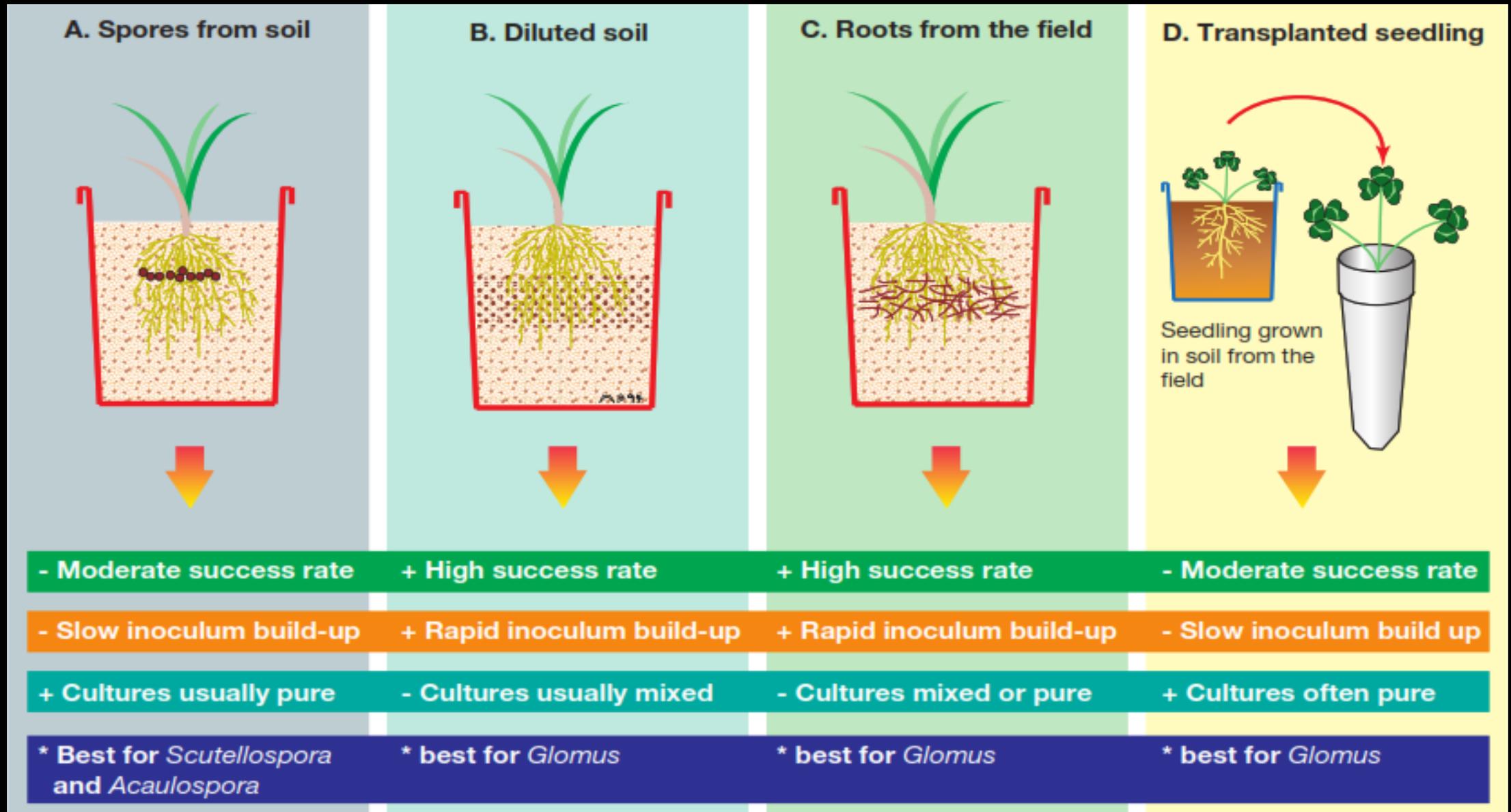
A. Spores sieved from soil are selected with a dissecting microscope



B. Spores of a single fungus are washed into hole in a pot and covered with sand



Perbandingan metode kultur pot FMA



1.2. Produksi inokulum MA

Inokulum MA dapat diproduksi dengan cara:

- produksi inokulum kasar
- produksi inokulum akar

Produksi inokulum kasar

- Inokulum kasar dibuat dengan menumbuhkan satu isolat dan tanaman inang yang sesuai di medium yang dioptimasi untuk perkembangan dan pembentukan spora.
 - Inokulum kasar ini biasa digunakan untuk perbanyakkan dalam skala besar, yang mengandung spora, potongan akar terinfeksi, potongan hifa, dan media tumbuh.
- Tingkat keberhasilan produksi inokulum MA berkualitas tinggi tergantung pada beberapa faktor penting, seperti:
 - status kultur awal
 - tipe tanaman inang
 - manajemen hara, dan
 - lama pertumbuhan (*duration of growth*).

Produksi inokulum kasar

Kultur awal

- Inokulum awal untuk inokulum kasar dapat berupa isolat murni.
- Kultur harus infeksiif tinggi, mengandung paling sedikit 4 propagul infeksiif per gram dan bebas mikrob patogen.
- Tujuannya adalah untuk menginokulasi media produksi inokulum pada dosis 500 propagul infeksiif FMA per kg media.

Jenis tanaman inang

- Tanaman inang yang digunakan harus cepat tumbuh, dapat beradaptasi dengan kondisi umum untuk tumbuh, dapat dikolonisasi oleh FMA, dan menghasilkan jumlah akar yang besar dalam waktu yang singkat (45 – 60 hari).

Produksi inokulum kasar

Manajemen hara

- Suplai hara immobil, khususnya fosfor (P), dan nitrogen (N) harus dimonitor dengan baik.
- P dengan konsentrasi tinggi dapat menekan kolonisasi akar oleh FMA.
- Unsur hara esensial lainnya, tentu harus tersedia dalam jumlah cukup utk pertumbuhan normal tanaman inang. Tingkat unsur-unsur hara tsb bila menggunakan media campuran pasir-tanah 1:1 (pH 6.2) adalah (dalam mg/kg media) K 250, Mg 212 (MgSO), Zn 10, Cu 5, B 0.1, Mo 0.5.

Lama pertumbuhan

- Untuk menjamin spora-spora dalam inokulum matang, sangat penting menumbuhkan tanaman inang di media produksi inokulum selama 12-14 minggu.

Produksi inokulum akar

Jenis tanaman inang

- Jenis tanaman inang bervariasi dlm hal jumlah massa akar yg diproduksi dlm jangka waktu tertentu dan perluasannya yg dapat dikolonisasi oleh FMA.
- *Leucaena leucocephala* cv. K8, *Cynodon dactylon*, *Panicum maximum*, *Chloris gayana*, *Sesbania grandiflora*, *S. pachycarpa*, *S. sesban*, *Sorghum sudanese*, *Pueraria javanica* dan *Zea mays*.

Aspek-aspek produksi inokulum akar

- Produksi massa akar dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor meliputi tipe tanaman inang dan matriks padat, jumlah tanaman inang per unit volume media tumbuh, dan kualitas kultur awal.
- Pasir merupakan media yang sesuai untuk produksi inokulum akar.

Produksi inokulum akar

Kelebihan menggunakan inokulum akar

- Inokulum akar umumnya lebih unggul dibanding spora dalam hal kecepatan mengkolonisasi akar tanaman.
- Selain itu, juga lebih ringan dari pada inokulum kasar dan lebih cepat waktu yg diperlukan utk produksi dari pada inokulum kasar.

Prosedur kesehatan umum

- Untuk pencegahan penyebaran penyakit melalui inokulum, maka benih tanaman inang harus disterilisasi permukaannya sebelum dikecambahkan.
- Hanya bibit yang bersih dan sehat yang disapih ke media produksi inokulum.

Produksi inokulum akar

Kerapatan tanaman inang

- Jumlah tanaman inang per unit berat media mempengaruhi kualitas dan kuantitas produksi inokulum akar melalui pengaruhnya pada massa akar dan tingkat kolonisasi FMA.
- Jumlah tanaman inang per unit berat media pasir-tanah berpengaruh sangat kecil pada tingkat kolonisasi FMA, tetapi pengaruhnya nyata pada massa akar *Zea mays* yang tumbuh di media.
- Jumlah maksimum massa akar yg dikolonisasi FMA diperoleh pada kerapatan satu tanaman jagung per kg media.

Kultur awal (*starter culture*)

- Kualitas kultur FMA sangat ditentukan oleh produksi inokulum awal yang berpengaruh pada kualitas produk akhir dan lamanya waktu produksi inokulum yg diperlukan.
- Hasil terbaik pada massa akar dan tingkat kolonisasi FMA jika inokulum awal mengandung 520 propagul infeksi per kg media.

1.3 Penyimpanan inokulum MA

- Baik akar maupun inokulum kasar harus dikeringkan hingga kadar air kurang dari 5% sebelum disimpan.
- Inokulum disimpan dalam wadah plastik pada suhu ruang yang kering sekitar 22°C.
- Inokulum kasar dapat dikeringkan pada suhu ruang atau rumah kaca dengan menyebarkannya di permukaan yang bersih, dan lingkungan yg tidak lembap (pada kelembapan relatif 65% atau kurang).



1.3 Penyimpanan inokulum MA

- Inokulum akar paling baik dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C.
- Inokulum akar yg dikeringkan di bawah kondisi rumah kaca memiliki jangka hidup yg sangat singkat dibandingkan dengan inokulum yg dikering oven.
- Semakin lama penyimpanan, efektivitas inokulum akar semakin menurun.
- Penurunan nyata jika akar dikeringkan di rumah kaca atau di dalam oven pada suhu 40°C daripada jika mereka dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C.
- Perpanjangan masa hidup inokulum akar dapat dilakukan dengan penyimpanan dingin.

2. Aplikasi Mikoriza dalam Kehutanan & Lingkungan

2.1. Bio-restorasi ektomikoriza pada Dipterokarpa

- Bio-restorasi didefinisikan sebagai suatu kegiatan memperbaiki lingkungan yang rusak dengan pendekatan secara biologi melalui proses regenerasi vegetasi asli setempat.
- Intinya ekosistem yang terdegradasi harus dimulai dengan memperbaiki rantai makanan menjadi terkoneksi dan aliran nutrisi dari tanah ke tumbuhan.
- Ekosistem yang rusak biasanya ditandai adanya hilangnya vegetasi utama seperti pohon-pohon jenis asli, yang menyebabkan cahaya matahari masuk ke lantai hutan, yang menyebabkan terjadinya kenaikan suhu tanah dan penurunan kelembapan.

2.1. Bio-restorasi ektomikoriza pada Dipterokarpa

- Awal kegiatan yang harus dilakukan adalah melakukan survei dengan cara mengidentifikasi dan menemukan jenis mikrob simbiosis “kunci” apa saja yang ditemukan di areal yang akan direstorasi.
- Dalam proses bio-restorasi tahap awal perlu diidentifikasi dan dipahami tentang faktor interaksi inang dan kelompok mikrob yang berperan dalam merekonstruksi jejaring ekosistem di hutan dipterokarpa yang terdegradasi.

2.1. Bio-restorasi ektomikoriza pada Dipterokarpa



Input teknologi restorasi dengan aplikasi fungsi ektomikoriza sebagai kunci teknologi dalam membangun hutan dipterokarpa

2.1. Bio-restorasi ektomikoriza pada Dipterokarpa

- Beberapa jenis ektomikoriza yang terkenal dan praktis untuk diaplikasikan skala massal dalam rangka kegiatan rehabilitasi maupun restorasi termasuk dalam kategori *puffball* (badan buah yang besar dan mengandung spora berlimpah) dari famili Sclerodermataceae, yaitu *Pisolithus*, *Scleroderma*, dan *Rhizopogon*.
- Sebaiknya fungi ektomikoriza yg dipilih adalah:
 1. yg mampu bersimbiosis pada banyak inang pohon dipterokarpa,
 2. yg memiliki banyak spora,
 3. fungi mudah diperbanyak secara vegetatif,
 4. dapat diproduksi secara massal dan sepanjang tahun,
 5. teknik inokulasi yg mudah, efektif, dan efisien.

2.2. Aplikasi mikoriza dalam menghadapi cekaman lingkungan

- Cekaman lingkungan dapat ditimbulkan dari mikrob (fungi penyebab penyakit busuk akar) maupun dari kondisi fisik.
- Beberapa kondisi lingkungan fisik yg dapat menimbulkan cekaman terhadap pertumbuhan tanaman di antaranya adalah:
 - (1) daerah dengan curah hujan rendah akan mengalami cekaman kekeringan
 - (2) daerah dengan sebaran tanah masam yang luas akan mengalami cekaman aluminium
 - (3) daerah pantai akan mengalami cekaman salinitas
 - (4) daerah bekas penambangan akan mengalami cekaman logam berat.

Peran mikoriza dalam cekaman salinitas

- Mekanisme fisiologis tanaman bermikoriza dalam meningkatkan toleransi terhadap cekaman salinitas dapat melalui penyesuaian osmotik dan keberadaan mikoriza pada tanaman dapat mempengaruhi potensial osmotik daun dengan mempengaruhi akumulasi prolin pada daun.
- *Casuarina equisetifolia* yang diberi cekaman salinitas 5% serta diinokulasi dengan mikoriza arbuskula dapat meningkatkan pertumbuhannya yang ditunjukkan oleh meningkatnya bobot kering sampai 186,87% serta serapan P tanaman hingga 114,79%. Adapun kandungan prolin dan Na dalam daun menurun berturut-turut 61,25% dan 61,44% dibanding tanaman tidak bermikoriza.

Peran mikoriza dalam cekaman logam berat

- Logam berat dalam jumlah berlebihan dalam sel dapat menyebabkan karsinogenik sehingga tanaman tumbuh kerdil bahkan dapat menyebabkan kematian.
- Hifa-hifa mikoriza mampu menyerap dan kemudian menyimpan logam-logam berat di dalam struktur vakuola, vesikel maupun hifa sehingga tidak ditranslokasikan ke bagian vital tanaman, oleh karena itu tanaman dapat tetap tumbuh normal.
- *P. mooniana* yang diinokulasi dengan mikoriza arbuskula mampu mereduksi logam Ni sebesar 29-49% dibanding tanaman kontrol.

Peran mikoriza dalam cekaman logam berat

- Tanaman Euphorbia yang diinokulasi dengan *Glomus fasciculatum* meningkatkan efisiensi penyerapan Pb pada tanaman, meningkatkan akumulasi logam Pb pada akar dan menurunkan akumulasinya pada batang dan pucuk tanaman.
- *Antocephalus cadamba* (Roxb.) Miq. yang ditanam pada media tailing dengan kandungan Pb yg tinggi dan diinokulasi dengan mikoriza, secara nyata dapat menurunkan rata-rata kandungan Pb di dalam akar, batang dan daun antara 18 – 33%.

Peran mikoriza dalam cekaman logam berat

- Tanaman lonkida (*Nauclea orientalis*) yang diinokulasi dengan mikoriza arbuskula lokal *Glomus* sp. dapat menurunkan serapan Fe dan Ni berturut turut sebesar 13% dan 3% dan *Acaulospora tuberculata* dapat menurunkan serapan Fe, Mn, Ni, Cr.
- Pada media pasca tambang Nikel yang banyak mengandung logam berat Fe, Mn, Ni, Cr dan Zn serta diberi kompos dan diinokulasi dengan mikoriza arbuskula dapat menurunkan konsentrasi logam berat Cr, Ni, Mn, Fe dan Zn pada media tanah berturut-turut sebesar 95,82%, 85,54%, 92,98%, 99,25% dan 94,09%, serta terjadi peningkatan konsentrasi logam tersebut pada jaringan tanaman.

Peran mikoriza dalam cekaman penyakit akar

- Tanaman yang bermikoriza lebih tahan terhadap serangan pathogen akar seperti *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Pythium*, *Alternaria* dan *Fusarium*.
- Mikoriza menghasilkan senyawa-senyawa antibiotik yang mampu menghadang datangnya penyakit akar yang dapat menyerang tanaman. Tanaman kelapa sawit yang diinokulasi dengan mikoriza arbuskula mampu menekan perkembangan penyakit akar *Ganoderma boninense*.

2.3. Aplikasi mikoriza pada lingkungan yang terdegradasi

Rehabilitasi pada lahan bekas tambang (timah, batubara, tembaga, nikel, minyak bumi, kapur, dll).

3. Potensi dan Prospek Pengembangan Teknologi Mikoriza

3.1 Potensi Pengembangan Teknologi Mikoriza

- Di Indonesia masih sangat tinggi
- Peluang meneliti masih sangat terbuka
- Peluang produksi inokulum mikoriza masih sangat terbuka
- Perlu jejaring yang kuat dan sosialisasi yg lebih intensif

3.2. Prospek Pengembangan Teknologi Mikoriza

- Sangat baik
- Hasil-hasil penelitian laboratorium dan lapangan menunjukkan mikoriza sangat bermanfaat untuk meningkatkan produktivitas tanaman
- Beberapa permasalahan:
 - ✓ Respons tanaman terhadap inokulasi lama (1,5-8 bln)
 - ✓ Hasil belum konsisten
 - ✓ Sosialisasi kepada masyarakat masih kurang

Prospek bagi tanaman kehutanan

- Luas lahan hutan perlu direhabilitasi: 59 juta Ha.
- ✓ Jika setiap Ha 1000 bibit, mk diperlukan 59 M bibit (1 tablet ektomikoriza per bibit atau 5 g inokulum FMA per bibit)
- Laju kerusakan hutan per tahun 2,8 juta Ha, perlu minimum 2,8 M bibit per tahun
- Pembangunan HTI berkembang dengan pesat

Prospek bagi tanaman pertanian dan hortikultura

- Jenis lebih banyak & areal sangat luas sehng. peluang penggunaan mikoriza sgt luas
- Konversi lahan subur utk non pertanian, menggeser usaha pertanian ke lahan marginal → mikoriza lbh diperlukan

Prospek bagi tanaman perkebunan

- Peluang sangat tinggi \longrightarrow tanaman perkebunan
diusahakan scr. intensif \longrightarrow input tinggi
- Hasil penelitian utk kakao, kopi, teh, tebu, kelapa sawit,
dan karet menunjukkan FMA scr signifikan dpt
meningkatkan pertumbuhan tanaman
- Input mikoriza \longrightarrow mengurangi biaya pemupukan

Prospek bagi tanaman pakan ternak

- Prospek mengikuti pola beternak di Indonesia. Saat ini investasi untuk pembangunan hamparan pakan ternak belum mendapatkan perhatian yg serius dr pemerintah maupun dunia usaha
- Pada tingkat penelitian, tanaman pakan ternak juga responsif terhadap FMA

Prospek bagi rehabilitasi lahan bekas penambangan

- Potensi 100-300 Ha per tahun utk satu perusahaan.
Populasi penanaman per Ha 400 – 1000 batang
- Biaya untuk rehabilitasi lahan bekas penambangan sangat tinggi → Rp 60-300 juta per ha
- Penggunaan mikoriza terbukti dpt meningkatkan daya hidup dan pertumbuhan bibit di lahan-lahan bekas penambangan

3.3. Peluang Penelitian

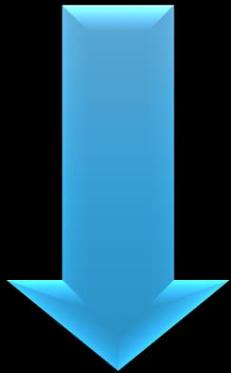
FMA

- Enumerasi spora FMA hasil penangkaran
- Enumerasi propagul infeksi FMA (dengan metode MPN)
- Determinasi efektivitas populasi FMA indigen
- Reproduksi populasi FMA indigen di pot kultur pada tanaman inang
- Uji efektivitas isolat FMA

Fungi Ektomikoriza

- Eksplorasi fungi ektomikoriza
- Perbanyak kultur ektomikoriza
- Uji efektivitas isolat mikoriza
- Uji tingkat ketergantungan terhadap mikoriza

Ketergantungan terhadap Mikoriza



derajat ketergantungan suatu tanaman thd. mikoriza utk menghasilkan produksi atau pertumbuhan maksimal pada tingkat kesuburan tanah tertentu



dipengaruhi karakter tanaman

Generalised relationship between features of root systems and the mycorrhizal dependency of plants

Root feature	Mycorrhizal dependency of plant	
	high	low
A. Root surface area	low	high
1. Root system surface area (specific root length)	low	high
2. Branching orders of lateral roots	few	many
3. Branching frequency (architecture)	sparse	frequent
4. Root hair abundance & length	few/short	many/long
B. Root activity	slow	fast
1. Root growth rate	slow	fast
2. Response to soil conditions	slow	fast
3. Primary root life span	long	short
4. Protective structural features	strong	weak
5. Root exudation	less ?	more ?
C. Mycorrhizal formation	efficient	inefficient or inhibited

A close-up photograph of a green leaf, showing a detailed network of veins. The veins are light green and form a complex, branching pattern across the darker green leaf surface. The lighting is bright, highlighting the texture and structure of the leaf.

TERIMA KASIH