PENURUNAN KANDUNGAN LOGAM BERAT DAN PERTUMBUHAN TANAMAN SENGON (*Paraserianthes falcataria* L (Nielsen) BERMIKORIZA DALAM MEDIUM LIMBAH LUMPUR MINYAK HASIL EKSTRAKSI

Nia Rossiana
Laboratorium Mikrobiologi dan Biologi Lingkungan Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung Sumedang Km 21 Jatinangor Sumedang 45363 Bandung 40600

ABSTRAK

Penelitian penurunan kandungan logam berat dan pertumbuhan tanaman sengon dalam medium limbah minyak bumi hasil ekstraksi telah dilakukan dalam skala rumah kaca. Limbah selain mengandung residu minyak juga mengandung logam berat seperti Pb, Zn dan Cu dengan kadar masing-masing 62 ppm, 591.7 ppm dan 176.7 ppm.

Pada penelitian ini digunakan limbah konsentrasi dengan konsentrasi 10%, 15%, 20% dan 25% sebagai medium tanam sengon bermikoriza.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa inokulasi mikoriza meningkatkan pertumbuhan tanaman sengon. Limbah dengan konsentrasi 15% menghambat pertumbuhan tinggi tanaman dan luas daun, sedangkan konsentrasi 25% menghambat panjang akar tanaman sengon.

Tanaman sengon yang diinokulasi mikoriza berpengaruh terhadap penurunan kandungan Pb, Zn dan Cu. Penurunan tertinggi terjadi pada konsentrasi 5%, yaitu Pb (10,1 ppm), Zn (16,6 ppm) dan Cu (21,55 ppm).

PENDAHULUAN

Setiap kegiatan industri dan pertambangan yang menghasilkan limbah minyak bumi wajib melakukan pengolahan limbahnya (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.128, 2003). Salah satu pengolahan limbah secara fisik dilakukan secara ekstraksi, yaitu pemanfaatan limbah menjadi bahan bangunan dan bahan bakar. Hal itu dilakukan dengan cara memanfaatkan kembali sisa minyak yang masih terkandung di dalam limbah tersebut Namun hasil analisis menunjukkan bahwa limbah lumpur minyak bumi hasil ekstraksi mengandung senyawa petroleum karbon dan logam berat seperti Pb (62 ppm), Zn (591,7 ppm) dan Cu (176 ppm). Oleh karena itu limbah tersebut berpotensi mencemari lingkungan tanah, maka diperlukan penelitian dan pengujian terhadap pertumbuhan tanaman.

Logam berat yang terdapat pada tanah dapat menyebabkan toksik pada tumbuhan. Hal ini akan berpengaruh terhadap ekosistem dan dapat mengganggu perkembangan dan pertumbuhan tanaman (Subiksa, 2002). Hal ini didukung oleh Fitter & Hay (1991), yang menyatakan bahwa ion-ion logam seperti Cu^{2+}, $Zn^{2+,}$ dan Ni^{2+} dapat bereaksi secara spesifik dengan enzim. Akibat adanya gangguan terhadap kerja enzim, maka akan mengganggu proses metabolisme pada tanaman. Tembaga (Cu) merupakan salah satu logam berat yang bersifat racun terhadap semua tumbuhan pada konsentrasi larutan diatas 0,1 ppm. Sedangkan nikel (Ni) merupakan elemen yang beracun pada tumbuhan, dan kandungannya tidak lebih dari 1 ppm pada tumbuhan (Suhendrayatna, 2001).

Mikoriza merupakan simbiosis mutualistis antara cendawan (myces) dan perakaran (riza) tumbuhan tinggi, dapat diinokulasikan secara tunggal dan campuran. Cendawan ini mempunyai kemampuan untuk berasosiasi dengan hampir 90% jenis tanaman (Setiadi, 1996). Mikoriza dapat berperan sebagai biofertilizer, perbaikan struktur tanah, meningkatkan penyerapan hara dan membantu proses pelapukan, sedangkan secara tidak langsung, cendawan mikoriza dapat meningkatkan serapan air, hara, dan melindungi tanaman dari patogen akar dan unsur toksik seperti logam berat pada lahan pasca tambang(Subiksa, 2002).

Salah satu bentuk isolat campuran dari beberapa jenis mikoriza adalah mikofer, yang terdiri dari *Acaulospora* sp, *Gigaspora* sp, *Glomus* sp, dan *Glomus manihotis* (Setiadi, 2001). Tanaman sengon dapat berasosiasi baik dengan mikoriza. Isolat-isolat CMA *Gigaspora rosea*, *Glomus etunicatum*, *Glomus manihotis*, dan *Acaulospora scrobiculata*, telah terbukti efektif berasosiasi dengan bibit sengon.

Pengolahan limbah secara biologis untuk mengurangi ion logam berat adalah teknologi yang berpotensi untuk dikembangkan (Suhendrayatna, 2001). Salah satu proses biologis tersebut adalah fitoremediasi, yaitu pemanfaatan tumbuhan hijau dan ataupun mikroorganisme yang berasosiasi, untuk menyerap, memindahkan, menginaktifkan, serta mengurangi kandungan senyawa toksik dalam tanah (Truu dkk, 2003). Fitoremediasi dapat diterapkan pada polutan organik dan polutan metal (anorganik) (Firdaus, 2000). Fitoremediasi banyak memiliki manfaat dan keuntungan, yaitu prosesnya ramah lingkungan, mudah untuk diterapkan, efisien dan estetik, dapat

bekerja pada berbagai polutan, serta yang utama adalah tidak memerlukan biaya yang tinggi (Zynda, 2001). Teknologi fitoremediasi belum begitu berkembang di Indonesia, mengingat akan kekayaan hayati tumbuhan Indonesia yang besar serta ditunjang iklim yang tropis, tentunya peranan tumbuhan dalam mengendalikan pencemaran perlu dikaji dan diteliti lebih lanjut, serta diterapkan di indonesia.

Dalam pelaksanaan fitoremediasi, diperlukan tanaman dan asosiasinya yang cocok, serta mempunyai kemampuan untuk memperbaiki lingkungan (Priyanto & Prayitno, 2002). Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman sengon bermikoriza dapat meningkat pertumbuhannya 2-3 kali lipat dibandingkan sengon tanpa mikoriza. Hal ini menunjukkan terjadinya asosiasi antara tanaman sengon dan mikoriza, yang dapat digunakan dalam proses fitoremediasi (Setiadi, 2001).

Beberapa ion logam berat, seperti arsenik, timbal, cadmium, dan mercuri berbahaya bagi kehidupan di lingkungan. Tembaga (Cu) merupakan salah satu logam berat yang bersifat racun terhadap semua tumbuhan pada konsentrasi larutan diatas 0,1 ppm. Sedangkan nikel (Ni) merupakan elemen yang beracun pada tumbuhan, dan kandungannya tidak lebih dari 1 ppm pada tumbuhan (Suhendrayatna, 2001).

Toksisitas logam berat dalam tanah tergantung pada jenis logam, ketersediaannya, serta besarnya keragaman antara satu tanah dengan yang lainnya. Bentuk kimia logam dapat berubah akibat pengaruh fisikokimia, biologis, atau akibat aktivitas manusia. Toksisitasnya dapat berubah drastis bila bentuk kimianya berubah (Lu, 1994). Polusi logam berat yang terjadi pada ekosistem hutan sangat berpengaruh terhadap kesehatan tanaman, khususnya pertumbuhan bibit tanaman hutan. Kandungan logam berat yang berlebih dapat menyebabkan penurunan pertumbuhan, penurunan produktivitas tanaman, serta dapat menyebabkan kematian (Connel & Miller, 1995).

Logam berat seperti Cd, Cu, Ni, dan Zn dapat berinteraksi dengan besi dan mencegah masuknya besi ke dalam metabolisme tanaman. Selain itu adanya logam berat tersebut dapat menyebabkan terbatasnya jumlah fosfor, kalium, dan besi yang ada di dalam jaringan akar (Barber *dalam* Connell & Miller, 1995). Ion Tembaga (Cu) mengubah kesatuan fungsional dari protein terkait. Ion logam Cu mempunyai kemampuan untuk melakukan reaksi redoks, yaitu Cu^{2+} Cu^{+}. Ion-ion logam Pb dapat membentuk ion-ion logam yang dapat larut dalam lemak (lipid soluble). Ion-ion logam yang larut dalam lemak mampu untuk melakukan penetrasi pada membran sel, sehingga ion logam Pb akan terakumulasi di dalam sel dan jaringan yang lain (Heryando, 1994).

Cendawan mikoriza mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman karena dapat meningkatkan penyerapan nutrisi oleh tanaman. Mikoriza yang menginfeksi sistem perakaran tanaman inang akan memproduksi jalinan hifa secara intensif, sehingga tanaman bermikoriza akan mampu meningkatkan kapasitasnya dalam menyerap unsur hara dan air (Hidayat, 1995). Fosfor merupakan unsur hara utama yang diserap tanaman bermikoriza (Fitriatin dkk, 2003). Unsur hara fosfor pada tanaman berfungsi untuk memacu pertumbuhan akar, perkembangan jaringan meristem, mempercepat pembungaan dan pembuahan, serta sebagai bahan penyusun inti sel, lemak dan protein (Sarief, 1993). Hifa cendawan mikoriza dapat mengeluarkan enzim phospatase yang mampu melepaskan fosfor dari ikatan-ikatan spesifik, sehingga

tersedia bagi tamanan (Subiksa, 2002). Selain meningkatkan penyerapan unsur fosfor, mikoriza juga dapat meningkatkan penyerapan beberapa unsur mikro seperti Cu dan Zn. Pada tanaman kedelai bermikoriza, penyerapan unsur Cu dan Zn dapat meningkat (Ross *dalam* Islami, 1995).

Akar tanaman yang berasosiasi dengan cendawan mikoriza diketahui dapat menyerap pupuk fosfor lebih tinggi (10-27%) dibandingkan dengan tanaman yang tidak bermikoriza (0,4-13%) (Iskandar, 2001). Simarmata & Hendriani (2003), telah membuktikan dengan suatu penelitian, bahwa inokulasi CMA mampu meningkatkan fosfor tersedia dari 4,16 mg/kg menjadi 6,55 mg/kg. Keberadaan CMA dalam tanah dapat meningkatkan aktivitas enzim phospatase yang mengkatalisis perubahan fosfor organik menjadi fosfor anorganik, dan mobilisasi fosfor terfiksasi menjadi fosfor tersedia (Rao, 1994). Selanjutnya Smith dkk, *dalam* Muin (2002), mengamati serapan hara fosfor dan nitrogen pada akar yang bermikoriza dan membandingkannya dengan yang tidak bermikoriza. Hasil penelitiannya membuktikan bahwa serapan fosfor dan nitrogen ke dalam akar lebih banyak dibandingkan dengan yang tidak bermikoriza. Pupuk hayati mikoriza juga telah diterapkan dalam memproduksi tanaman sengon pada lahan marginal di propinsi Lampung. Hasilnya menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman sengon pada lahan tersebut meningkat dibandingkan dengan pupuk kandang atau kontrol (Iskandar, 2001).

Akar tanaman yang berasosiasi dengan mikoriza diketahui dapat berperan dalam mereklamasi lahan-lahan yang terkontaminasi logam berat. *Glomus mosseae* yang berasosiasi dengan tanaman *Phaseolus vulgaris* terbukti efektif dalam menyerap logam berat, yaitu Cd, Zn, dan Cu. *Glomus claroideum* dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman *Allium porrum* dan *Sorghum bicolor* pada tanah terkontaminasi logam berat, serta dapat menurunkan kandungan logam berat, yaitu Zn, Cd, Cu, Ni, Pb. Mekanisme perlindungan terhadap logam berat dan unsur beracun yang diberikan mikoriza dapat melalui efek filtrasi, menonaktifkan secara kimiawi atau akumulasi unsur tersebut dalam hifa cendawan. Cendawan mikoriza dapat terjadi secara alami pada tanaman pionir di lahan limbah yang terkontaminasi logam berat (Adholeya & Gaur, 2004). Pemanfaatan cendawan mikoriza dalam fitoremediasi tanah tercemar, disamping adanya akumulasi bahan tersebut dalam hifa, juga dapat melalui mekanisme penguraian logam tersebut oleh sekresi hifa ekternal (Subiksa, 2002).

Tanaman yang tumbuh pada limbah pertambangan batubara diteliti Rani dkk, *dalam* Subiksa (2002), menunjukkan bahwa dari 18 spesies tanaman setempat yang diteliti, 12 diantaranya bermikoriza. Tanaman yang tumbuh dengan baik di lahan limbah batubara tersebut, ditemukan adanya "oil droplets" dalam vesikel akar mikoriza. Hal ini menunjukkan bahwa ada mekanisme penyerapan, sehingga bahan dalam minyak tersebut tidak sampai diserap oleh tanaman.

Tanaman sengon yang diinokulasi mikoriza dapat tumbuh dengan baik pada lahan bekas penambangan nikel. Isolat-isolat CMA *Gigaspora rosea*, *Glomus etunicatum*, *Glomus manihotis*, dan *Acaulospora scrobiculata*, telah terbukti efektif berasosiasi dengan bibit sengon serta dapat digunakan untuk mereklamasi lahan-lahan bekas tambang nikel dan batubara (Setiadi, 2001).

Respon pertumbuhan tanaman yang bermikoriza tergantung kepada kecepatan infeksi dan kolonisasi mikoriza. Fitriatin dkk (2003), membuktikan dengan penelitian bahwa tanaman yang diinokulasi CMA 50g/tanaman dan kascing lebih tinggi persentase infeksi akarnya dibandingkan tanaman yang tidak diinokulasi. Hal ini menunjukkan bahwa inokulan CMA dapat meningkatkan infeksi akar tanaman. Inokulasi mikoriza mempengaruhi parameter pertumbuhan, yaitu panjang akar dan berat kering akar seperti yang telah dilakukan oleh Neeraj dkk, *dalam* Manan (1994), bahwa inokulasi *Gigaspora gilmori* sebanyak 100-150 spora/10 kg tanah meningkatkan panjang akar. Dosis inokulan mikofer 50 g/tanaman berpengaruh signifikan terhadap panjang akar, penurunan senyawa *fluoranthene*, *acenaphthylene*, dan *fluoranthrene* (Rossiana & Titin, 2003). Untuk penelitian ini dosis inokulasi mikoriza yang digunakan adalah 50 g pertanaman.

Hal-hal tersebut diatas menunjukkan bahwa inokulasi mikoriza sangat penting dalam proses pertumbuhan tanaman dan penyerapan logam berat pada tanah tercemar. Pernyatan ini didukung oleh Subiksa (2002), bahwa cendawan mikoriza arbuskular dapat berperan sebagai biokontrol penyerapan logam berat, dan dapat membantu tanaman terhindar dari keracunan logam berat.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara deskriptif dan eksperimental melalui dua tahap. Tahap pertama yaitu penelitian pendahuluan untuk mendapatkan konsentrasi yang tepat sebagai medium perlakuan. Tahap kedua yaitu pengujian limbah LMB hasil ekstraksi dan inokulasi mikoriza terhadap pertumbuhan tanaman sengon dan kandungan logam berat. Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap pola faktorial 5x2 dengan empat ulangan. Faktor pertama adalah konsentrasi limbah LMB hasil ekstraksi (L) dengan lima taraf yaitu 0% (l_0), 5% (l_1), 15% (l_2), 25% (l_3), dan 35% (l_4). Faktor kedua adalah inokulasi mikoriza (M) dengan dua taraf yaitu dengan inokulasi mikoriza (m_1) dan tanpa inokulasi mikoriza (m_0). Parameter yang diukur adalah tinggi tanaman, panjang akar, berat kering akar, jumlah daun, luas daun dan persentase infeksi sebagai parameter pertumbuhan tanaman serta analisis kandungan Pb, Zn dan Cu sebagai parameter kandungan logam berat.

Data yang diperoleh diuji secara statistik dengan analisis varian dan uji jarak berganda Duncan dengan taraf nyata 5% (Gomez & Gomez, 1995).

Mikoriza merupakan suatu bentuk hubungan. Mikoriza mempunyai kemampuan untuk serta (Iskandar, 2001).

Prinsip kerja mikoriza adalah r (Salishbury & Ross, 1995).

Berdasarkan hubungan jamur dengan inangnya serta susunan anatomi infeksinya, terdapat tiga macam mikoriza, yaitu endomikoriza, ektomikoriza, dan ektendomikoriza. Cendawan ektomikoriza mudah dikenali tanpa melalui pewarnaan. Hifa ektomikoriza tumbuh di dalam ruang interseluler diantara epidermis dan korteks, dan membentuk mantel yang menyelimuti akar yang disebut dengan *Hartig net* dan sifatnya tidak merusak akar (Islami & Utomo, 1995).

Tipe kedua yaitu endomikoriza, yang struktur hifanya tidak membentuk mantel atau selubung luar, tetapi hidup di dalam sel-sel akar dan membentuk hubungan langsung antara sel-sel akar dan tanah sekitarnya (Rao, 1994). Di dalam jaringan akar, endomikoriza membentuk arbuskel dan vesikel, yang terbentuk melalui penggelembungan hifa terminal. Struktur-struktur ini membentuk landasan bagi penyebut endomikoriza sebagai Vesikular Arbuskular Mikoriza (MVA). Tipe ketiga adalah mikoriza yang strukturnya diantara ekto dan endomikoriza, oleh karena itu disebut ektendomikoriza. Ektendomikoriza mempunyai penyebaran yang terbatas, sehingga pengetahuan mengenai jenis mikoriza ini masih sedikit (Islami & Utomo, 1995).

2.1.2 Endomikoriza

Endomikoriza merupakan suatu bentuk asosiasi yang saling menguntungkan antara cendawan dan akar tanaman tingkat tinggi, dimana hifa dari cendawan

menginfeksi sampai masuk ke dalam sel-sel penyusun korteks tanaman inang. Endomikoriza umumnya termasuk ke dalam ordo Glomales (Zygomycetes), yang terbagi ke dalam subordo Glominae dan Gigasporinae (Pujiyanto, 2001). Pertumbuhan spora endomikoriza dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tanah dan kondisi edafik. Kondisi lingkungan tanah yang cocok untuk perkecambahan biji juga cocok untuk perkecambahan spora. Pertumbuhan hifa juga dipengaruhi oleh kadar fosfor dalam jaringan tanaman inang, eksudat akar, dan CO_2 (Sylvia *dalam* Pujiyanto, 2001). Endomikoriza melakukan penetrasi terhadap epidermis akar melalui tekanan mekanis dan aktivitas enzim, yang selanjutnya tumbuh menuju korteks (Pujianto, 2001).

Akar yang terinfeksi oleh endomikoriza akan memiliki perubahan morfologi yang berbeda dibandingkan dengan asosiasi antara akar dengan ektomikoriza. Endomikoriza terdiri atas tiga anak kelompok, namun sejauh ini yang paling lazim dikenal adalah Vesikular-Arbuskula Mikoriza (VAM)

2.1.3 Mikoriza Vesikular-Arbuskular (MVA)

Cendawan Mikoriza Vesikular-Arbuskular (MVA) merupakan jenis cendawan endomikoriza yang membentuk vesikel dan arbuskel di dalam akar. Arbuskel yang terbentuk di dalam jaringan akar akan berfungsi sebagai tempat pertukaran antara cendawan mikoriza dengan akar tanaman inang. Vesikel merupakan organ yang berbentuk kantung yang terletak di ujung hifa. Vesikel mengandung banyak lemak yang berfungsi untuk penyerapan. Pertumbuhan hifa, pembentukan, dan *senescense*

arbuskel serta pembentukan vesikel berhubungan langsung dengan pembentukan akar (Sylvia *dalam* Pujiyanto, 2001).

Cendawan VAM mempunyai pengaruh yang spesifik terhadap jenis tanaman yang terinfeksi. Hal ini karena VAM tidak mempunyai sifat morfologi dan fisiologi yang sama. Oleh karena itu sangat penting untuk mengetahui identitas atau jenis dari VAM ini. Salah satu strain mikoriza adalah mikofer, yang merupakan campuran dari beberapa jenis cendawan mikoriza yang terdiri atas *Acaulospora sp*, *Gigaspora sp, Glomus sp, dan Glomus manihotis* (Setiadi, 2001)

1. Glomus

   Perkembangan spora Glomus adalah dari hifa. Ujung hifa akan membesar sampai ukuran maksimal dan terbentuk spora. Sporanya disebut Chlamidospora. Hifa yang lain kadang-kadang bercabang dan tiap cabang terbentuk *Chlamydospores* dan ini disebut *sporocarp.*

2. Gigaspora

   Perkembangan spora Gigaspora tidak berasal dari hifa. Ujung hifanya pertama-tama membulat dan dinamakan suspensor. Di atas suspensor ini timbul bulatan kecil yang semakin lama semakin membesar dan mencapai ukuran maksimum lalu akhirnya menjadi spora. Spora ini dinamakan *azygospora*.

3. Acaulospora

   Proses perkembangan Acaulospora seolah-olah dimulai dari hifa, padahal sebenarnya tidak. Pertama-tama terbentuk substending hifa yang dihasilkan oleh hifa terminus. Diantara dua organ tersebut timbul bulatan kecil yang semakin besar. Selama proses perkembangan, hifa terminus akan rusak dan hancur. Isi dari

hifa terminus tersebut adalah spora. Karena perkembangan spora bukan dari hifa, maka dinamakan *azygospora*.

2.1.4 Peranan Mikoriza

Hubungan timbal balik antara cendawan mikoriza dengan tanaman inangnya mendatangkan manfaat positif bagi keduanya (simbiosis mutualistis) (Donelly & Fletcher, 1994). Inokulasi cendawan mikoriza dapat dikatakan sebagai 'biofertilisasi", baik untuk tanaman pangan, perkebunan, kehutanan maupun tanaman penghijauan (Killham *dalam* Subiksa, 2002). Bagi tanaman inang, adanya asosiasi ini, dapat memberikan manfaat yang sangat besar bagi pertumbuhannya, baik secara langsung maupun tidak langsung. Secara tidak langsung, cendawan mikoriza berperan dalam perbaikan struktur tanah, meningkatkan kelarutan hara dan proses pelapukan bahan induk. Sedangkan secara langsung, cendawan mikoriza dapat meningkatkan serapan air, hara dan melindungi tanaman dari patogen akar dan unsur toksik.

Peranan cendawan mikoriza dalam rhizosfer adalah memfasilitasi pergerakan mineral tanah menuju tanaman. Tumbuhan inang dapat menyediakan sumber karbon terlarut untuk cendawan. Cendawan mikoriza juga mampu untuk mendegradasi senyawa-senyawa yang sukar diuraikan dalam tanah (Donelly & Fletcher, 1994).

Nuhamara *dalam* Subiksa (2002), mengatakan bahwa sedikitnya ada 4 hal yang dapat membantu perkembangan tanaman dari adanya mikoriza ini yaitu :

1. Mikoriza dapat meningkatkan absorpsi hara dari dalam tanah, serta berperan dalam perbaikan struktur tanah

2. Mikoriza dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan dan kelembaban yang ekstrim
3. Mikoriza dapat berperan sebagai biokontrol terhadap patogen dan unsur toksik
4. Menjamin terselenggaranya proses biogeokemis.

Namun demikian, respon tanaman tidak hanya ditentukan oleh karakteristik tanaman dan cendawan, tapi juga oleh kondisi tanah dimana percobaan dilakukan. Efektivitas mikoriza dipengaruhi oleh faktor lingkungan tanah yang meliputi faktor abiotik (konsentrasi hara, pH, kadar air, temperatur, pengolahan tanah dan penggunaan pupuk/pestisida) dan faktor biotik (interaksi mikrobial, spesies cendawan, tanaman inang, tipe perakaran tanaman inang, dan kompetisi antar cendawan mikoriza).

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa tidak semua jenis tanaman selalu memberikan respon positif terhadap aplikasi CMA (Setiadi, 2001). Hal ini selain ditentukan oleh tingkat efektifitas isolat dan nutrisi substrat, juga sangat ditentukan oleh tingkat ketergantungan tanaman tehadap mikoriza.

Cendawan mikoriza melalui jaringan hifa eksternal dapat memperbaiki dan memantapkan struktur tanah. Sekresi senyawa-senyawa polisakarida, asam organik dan lendir oleh jaringan hifa eksternal yang mampu mengikat butir-butir primer menjadi agregat mikro. "Organic binding agent" ini sangat penting artinya dalam stabilisasi agregat mikro. Struktur tanah yang baik akan meningkatkan aerasi dan laju infiltrasi serta mengurangi erosi tanah, yang pada akhirnya akan meningkatkan

pertumbuhan tanaman. Dengan demikian cendawan mikoriza bukan hanya simbion bagi tanaman, tapi juga bagi tanah (Pujiyanto, 2001).

Jaringan hifa ekternal mikoriza akan memperluas bidang serapan air dan hara. Disamping itu ukuran hifa yang lebih halus dari bulu-bulu akar memungkinkan hifa bisa menyusup ke pori-pori tanah yang paling kecil (mikro) sehingga hifa bisa menyerap air pada kondisi kadar air tanah yang sangat rendah (Killham *dalam* Subiksa, 2002). Serapan air yang lebih besar oleh tanaman bermikoriza, juga membawa unsur hara yang mudah larut dan terbawa oleh aliran masa seperti N, K dan S, sehingga serapan unsur tersebut juga makin meningkat.

2.2 Tanaman Sengon

2.2.1 Tinjauan Botanis Tanaman Sengon

Klasifikasi sengon dalam Steenis, (1992) :

Kingdom	:	Plantae
Divisio	:	Spermatophyta
Sub Divisio	:	Angiospermae
Classis	:	Dicotyledonae
Ordo	:	Leguminosae
Familia	:	Mimosaceae
Genus	:	Paraserianthes
Species	:	*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen

Tanaman sengon di Indonesia dikenal dengan beberapa sebutan, yaitu jeunjing, jeunjing laut, sengon laut, seja, sikat, dan tawa. Pohon sengon berbatang

lurus, kulit berwarna kelabu keputih-putihan, licin, tidak mengelupas, dan memiliki batang bebas cabang mencapai 20 meter. (Atmosuseno, 1999). Tajuk tanaman berbentuk menyerupai payung dengan rimbun daun yang tidak terlalu lebat. Daun sengon tersusun majemuk menyirip ganda dengan anak daunnya kecil-kecil dan mudah rontok. Warna daun sengon hijau pupus, berfungsi untuk memasak makanan dan sekaligus sebagai penyerap nitrogen dan karbondioksida dari udara bebas (Teten, 2001).

Perakaran sengon terbentang melebar dan memiliki akar tunggang yang cukup kuat menembus ke dalam tanah. Akar rambutnya tidak terlalu besar, tidak rimbun, dan tidak menonjol ke permukaan tanah (Teten, 2001). Semakin besar tanaman, semakin kuat perakaran serabutnya sehingga mengurangi resiko terputusnya perakaran pada saat pemindahan tanaman dari pot ke lapangan. Perakaran sengon mengandung bintil atau nodul akar, sehingga akar sengon dapat berfungsi untuk menyimpan nitrogen dan menjadi pohon yang cocok untuk penghijauan dan rehabilitasi lahan kritis (Atmosuseno, 1999).

2.2.2 Pertumbuhan Tanaman Sengon

Dalam hal pertumbuhan, sengon memiliki kelebihan dibandingkan pohon budidaya kayu lainnya. Secara khusus tanaman ini tidak memerlukan persyaratan tumbuh yang rumit. Pohon sengon dapat tumbuh di tanah marginal sampai tanah yang banyak mengandung unsur hara. Tetapi pertumbuhan sengon akan optimal pada tanah-tanah yang subur, banyak mengandung hara mineral, dan pada tanah yang tekstur serta strukturnya baik. Tanaman sengon menyukai pH tanah yang netral

sampai basa dan membutuhkan fosfat dalam jumlah yang agak besar. Kisaran pH ini penting diperhatikan mengingat pH tanah tersebut menentukan penyerapan unsur hara oleh tanaman (Atmosuseno, 1999).

Sengon termasuk tanaman tropis, sehingga untuk pertumbuhannya memerlukan suhu sekitar 18-27°C. Kelembaban juga berpengaruh pada pertumbuhan setiap tanaman, dimana reaksinya tergantung kepada jenis tanaman itu sendiri. Tanaman sengon membutuhkan kelembaban sekitar 50-75% dan sengon menyukai tanah yang relatif datar. Akan tetapi, pada keadaan tertentu sengon juga dapat ditanam di areal yang bergelombang dan miring dengan persentase kemiringan mencapai 25% (Atmosuseno, 1999).

2.2.3 Pemanfaatan Tanaman Sengon

Pohon sengon merupakan pohon yang serbaguna. Mulai daun hingga perakarannya dapat dimanfaatkan untuk beragam keperluan (Teten, 2001). Sistem perakaran sengon banyak mengandung nodul akar. Hal ini sangat menguntungkan bagi akar dan sekitarnya. Keberadaan nodul akar dapat membantu porositas tanah dan penyediaan unsur nitrogen dalam tanah, sehingga pohon sengon dapat membuat tanah di sekitarnya menjadi lebih subur (Atmosuseno, 1999). Sengon juga diketahui dapat berasosiasi secara baik dengan Vesikular-Arbuskular Mikoriza (MVA), sehingga dengan adanya asosiasi ini memungkinkan tanaman sengon untuk tumbuh baik pada lingkungan yang ekstrim, kritis unsur hara, dan air (Setiadi, 2001). Oleh karena itu, tanaman sengon dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas tanah dan untuk merehabilitasi lahan kritis.

Daun sengon, sebagaimana famili Mimosaceae lainnya, merupakan pakan ternak yang sangat baik dan mengandung protein tinggi. Jenis ternak seperti sapi, kerbau, dan kambing menyukai daun sengon tersebut. Bagian yang memberikan manfaat paling besar dari pohon sengon adalah batang kayunya yang memiliki nilai ekonomis, sehingga dengan harga yang cukup menggiurkan saat ini, sengon banyak diusahakan untuk berbagai keperluan dalam bentuk kayu olahan (Teten, 2001). Keunggulan ekonomi tanaman sengon lainnya adalah masa tebang yang relatif pendek, pengelolaan relatif mudah, dan permintaan pasar yang terus meningkat (Atmosuseno, 1999).

2.3 Limbah Lumpur Minyak Bumi Hasil Ekstraksi

Limbah lumpur minyak bumi adalah sisa atau residu minyak yang terbentuk dari proses pengumpulan dan pengendapan kontaminan minyak yang terdiri atas kontaminan yang sudah ada di dalam minyak, maupun kontaminan yang terkumpul dan terbentuk dalam penanganan suatu proses dan tidak dapat digunakan kembali dalam proses produksi (Kementrian Lingkungan Hidup, 2003). Limbah lumpur minyak bumi termasuk ke dalam kategori Limbah B3 karena mengandung senyawa toksik. Kandungan dalam lumpur minyak bumi yang bersifat toksik antara lain polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH), polychlorinated biphenyls (PCB), dan logam berat, khususnya timbal.

Upaya pengolahan limbah lumpur minyak bumi banyak dilakukan secara konvensional, yaitu melalui proses kimia dan fisik. Salah satu pengolahan limbah secara fisik dilakukan secara ekstraksi, yaitu pemanfaatan limbah lumpur minyak

bumi menjadi bahan bangunan dan bahan bakar. Hal itu dilakukan dengan cara mengambil dan memanfaatkan kembali sisa minyak yang masih terkandung di dalam limbah tersebut (Proses tidak dipublikasikan). Limbah LMB hasil ekstraksi mengandung logam berat, yaitu Pb (62 ppm), Zn (591,7 ppm) dan Cu (176 ppm) (Tidak dipublikasikan). Logam berat yang terkandung dalam limbah LMB hasil ekstraksi memiliki potensi untuk mencemari dan meracuni lingkungan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengelolaan yang baik dalam mengendalikan Limbah tersebut (Kementrian Lingkungan Hidup, 2003)

2.4 Logam Berat

Logam merupakan kelompok toksikan yang unik. Logam ditemukan dan menetap dalam alam, tetapi bentuk kimianya dapat berubah akibat pengaruh fisikokimia, biologis, atau akibat aktivitas manusia (Lu, 1994). Niebor & Richardson *dalam* Heryando (1994), menggunakan istilah logam berat ke dalam 3 kelompok biologi dan kimia (bio-kimia). Pengelompokan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur oksigen
2. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur nitrogen dan atau unsur sulfur.
3. Logam antara atau logam transisi yang memiliki sifat khusus (spesifik) sebagai logam pengganti.

Logam berat dapat menimbulkan efek-efek khusus pada makhluk hidup. Dapat dikatakan bahwa semua logam berat merupakan bahan toksik yang dapat meracuni tubuh makhluk hidup (Heryando, 1994).

Logam berat merupakan unsur yang berbahaya, yang dapat bersifat toksik bagi lingkungan dan ekosistem (Subiksa, 2002). Hal ini karena logam berat dapat terakumulasi sampai pada rantai makanan, sehingga mengganggu kestabilan dan keseimbangan rantai makanan. Hal ini juga mengakibatkan meningkatnya keracunan terhadap air, tanah, dan udara (Suhendaryatna, 2001). Sifat umum dari logam berat adalah potensial toksisitasnya terhadap mikroorganisme dan bentuk kehidupan yang lain (Gadd, 1990).

1. Seng (Zn). Biasanya terdapat dalam tanah dengan level 10-300 ppm dengan perkiraan kasar rata-rata 30-50 ppm. Lumpur Limbah biasanya mengandung Zn yang tinggi, dan bersifat aktif di tanah.
2. Timbal (Pb). Timbal merupakan logam berat yang sangat beracun pada seluruh aspek kehidupan. Sumber utama timbal berasal dari komponen gugus alkil timbal pada bahan additive bensin. Mobilitas timbal di tanah dan tumbuhan cenderung lambat dengan kadar normalnya pada tumbuhan berkisar 0,5 – 3 ppm.
3. Tembaga (Cu). Tembaga bersifat racun terhadap semua tumbuhan pada konsentrasi larutan diatas 0,1 ppm. Konsentrasi normal elemen ini di tanah berkisar 20 ppm dengan tingkat mobilitas sangat lambat karena ikatan yang sangat kuat dengan material organik dan mineral tanah liat.

Logam berat yang terkontaminasi ke dalam tanah dapat menyebabkan tanah menjadi tercemar dan dapat menyebabkan penurunan pertumbuhan, produktivitas

tanaman, serta menyebabkan kematian pada tumbuhan (Connell & Miller, 1995). Logam berat seperti Cd, Cu, Ni, dan Zn dapat berinteraksi dengan besi dan mencegah masuknya besi ke dalam metabolisme tanaman. Selain itu adanya logam berat terebut dapat menyebabkan terbatasnya jumlah fosfor, kalium, dan besi yang ada di dalam jaringan akar (Barber *dalam* Connell & Miller, 1995).

Pencemaran logam berat pada tanah dapat didegradasi dengan proses fitoremediasi, yaitu proses biologis yang menggunakan tumbuhan dan organisme yang berasosiasi dengannya untuk mengurangi polutan logam berat di tanah yang terkontaminasi (Schnoor, 1997).

2.5 Fitoremediasi

2.5.1 Definisi Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan salah satu teknologi yang bersifat biologi, yaitu pemanfaatan jasa tumbuhan hijau dan ataupun mikroorganisme yang berasosiasi, untuk mengurangi polutan lingkungan, baik pada air, tanah, maupun udara, baik yang disebabkan oleh polutan metal maupun organik (Firdaus, 2003). Fitoremediasi pada lahan yang terkontaminasi logam berat dapat dilakukan melalui tiga cara (EPA 1998; Pivetz, EPA 2001), yaitu :

1. Fitoekstraksi, yaitu penyerapan polutan logam berat (Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn) di dalam tanah oleh akar tumbuhan, dan mengakumulasikan senyawa tersebut ke bagian tumbuhan, seperti akar, batang, atau daun.

2. Rhizofiltrasi, yaitu pemanfaatan kemampuan akar tumbuhan untuk menyerap, mengendapkan, dan mengakumulasi logam (Pb, Cd, Cu, Fe, Ni, Mn, Zn, Cr) dari permukaan atau aliran air yang terkontaminasi Limbah.
3. Fitostabilisasi, yaitu penggunaan jenis tumbuhan tertentu untuk mengimobilisasi polutan di daerah rhizosfer tanah dan permukaan air, melalui absorpsi dan akumulasi oleh akar.

2.5.2 Penyerapan Logam Oleh Tumbuhan

Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dibagi menjadi tiga proses, yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi logam pada bagian jaringan tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut (Prayitno & Priyanto, 2002)

1. Penyerapan oleh akar

   Dalam menyerap logam berat, tumbuhan membentuk suatu enzim reduktase di membran akarnya. Reduktase ini berfungsi mereduksi logam yang selanjutnya diangkut melalui mekanisme khusus di dalam membran akar.
2. Translokasi di dalam tubuh tanaman

   Setelah logam masuk ke dalam sel akar, selanjutnya logam diangkut melalui jaringan pengangkut, xylem dan floem ke bagian tumbuhan yang lain. Untuk meningkatkan efisiensi pengangkutan, logam diikat oleh molekul khelat. Berbagai molekul khelat yang berfungsi mengikat logam dihasilkan oleh tumbuhan, misalnya histidin yang terikat pada Ni dan fitokhelatin-glutation yang terikat pada Cd.

3. Lokalisasi logam pada jaringan.

   Untuk mencegah toksisitas logam terhadap sel, tumbuhan mempunyai mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar (untuk Cd pada *Silene dioica*), trikhoma (untuk Cd), dan lateks (untuk Ni pada *Serbetia acuminata*)

2.5.3 Peranan Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan teknologi yang relatif baru berkembang dan belum banyak mendapat perhatian di Indonesia (Firdaus, 2000). Mengingat akan kekayaan hayati tumbuhan Indonesia yang besar serta iklim yang tropis, tentunya peranan tumbuhan untuk mengendalikan pencemaran perlu lebih dikaji lebih teliti dan diterapkan di Indonesia.

Fitoremediasi dapat memberikan keuntungan dan juga kerugian. Keuntungan fitoremediasi adalah dapat bekerja pada senyawa organik dan anorganik, prosesnya dapat dilakukan secara *insitu* dan *eksitu*, mudah diterapkan dan tidak memerlukan biaya yang tinggi, teknologi yang ramah lingkungan dan bersifat estetik bagi lingkungan, serta dapat mereduksi kontaminan dalam jumlah yang besar (Zynda, 2001). Sedangkan kerugian fitoremediasi ini adalah prosesnya memerlukan waktu lama, bergantung kepada keadaan iklim, dapat menyebabkan terjadinya akumulasi logam berat pada jaringan dan biomasa tumbuhan, dan dapat mempengaruhi keseimbangan rantai makanan pada ekosistem (Zynda, 2001). Selain itu, fitoremediasi belum bisa diterapkan pada semua lahan yang terkontaminasi, karena proses fitoremediasi tergantung kepada kedalaman dan kemampuan akar dalam

menyerap polutan (Frazar, 2000). Oleh karena itu, dengan adanya asosiasi antara tanaman sengon dengan mikoriza diharapkan proses fitoremediasi dapat berjalan lebih optimum dan efektif.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah bak, plastik, pot, timbangan, scalpel, gunting, cawan petri, saringan, otoklaf, beaker glass, pembakar bunsen, stop watch, cutter, mikroskop cahaya, pinset, penggaris, pipet tetes, kaca objek, alat tulis, soil tester, pemanas, pengaduk, label, tabung reaksi, tabung sentrifuge, alat sentrifuge, oven, shaker, botol plastik, kaca penutup, gelas ukur dan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)

3.1.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Limbah LMB hasil ekstraksi, benih tanaman sengon, tanah yang berasal dari Sekeloa, pasir, inokulum mikoriza dari Pusat Antar Universitas Bogor, Formalin Asam Asetic (FAA), NH_4OH, H_2O_2 10%, air ledeng, asam laktat, gliserin, air fuchsin, phenol, KOH 10%, HCl 1%, bayclean, kertas saring, aluminium foil dan aquades.

3.2 Metode Penelitian

3.2.1 Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan secara deskriptif dan eksperimental melalui dua tahap. Tahap pertama yaitu penelitian pendahuluan untuk mendapatkan campuran

konsentrasi yang tepat sebagai medium perlakuan. Tahap kedua yaitu pengujian limbah LMB hasil ekstraksi dan inokulasi mikoriza terhadap pertumbuhan tanaman sengon dan kandungan logam berat. Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap dengan pola faktorial 5x2 dan masing-masing perlakuan diulang sebanyak 4 kali.

Faktor pertama adalah konsentrasi limbah LMB hasil ekstraksi (L) dengan lima taraf yaitu :

l_0 : Konsentrasi limbah LMB hasil ekstraksi 0%

l_1 : Konsentrasi limbah LMB hasil ekstraksi 5%

l_2 : Konsentrasi limbah LMB hasil ekstraksi 15%

l_3 : Konsentrasi limbah LMB hasil ekstraksi 25%

l_4 : Konsentrasi limbah LMB hasil ekstraksi 35%

Faktor kedua adalah Inokulasi mikoriza (M) dengan 2 taraf, yaitu :

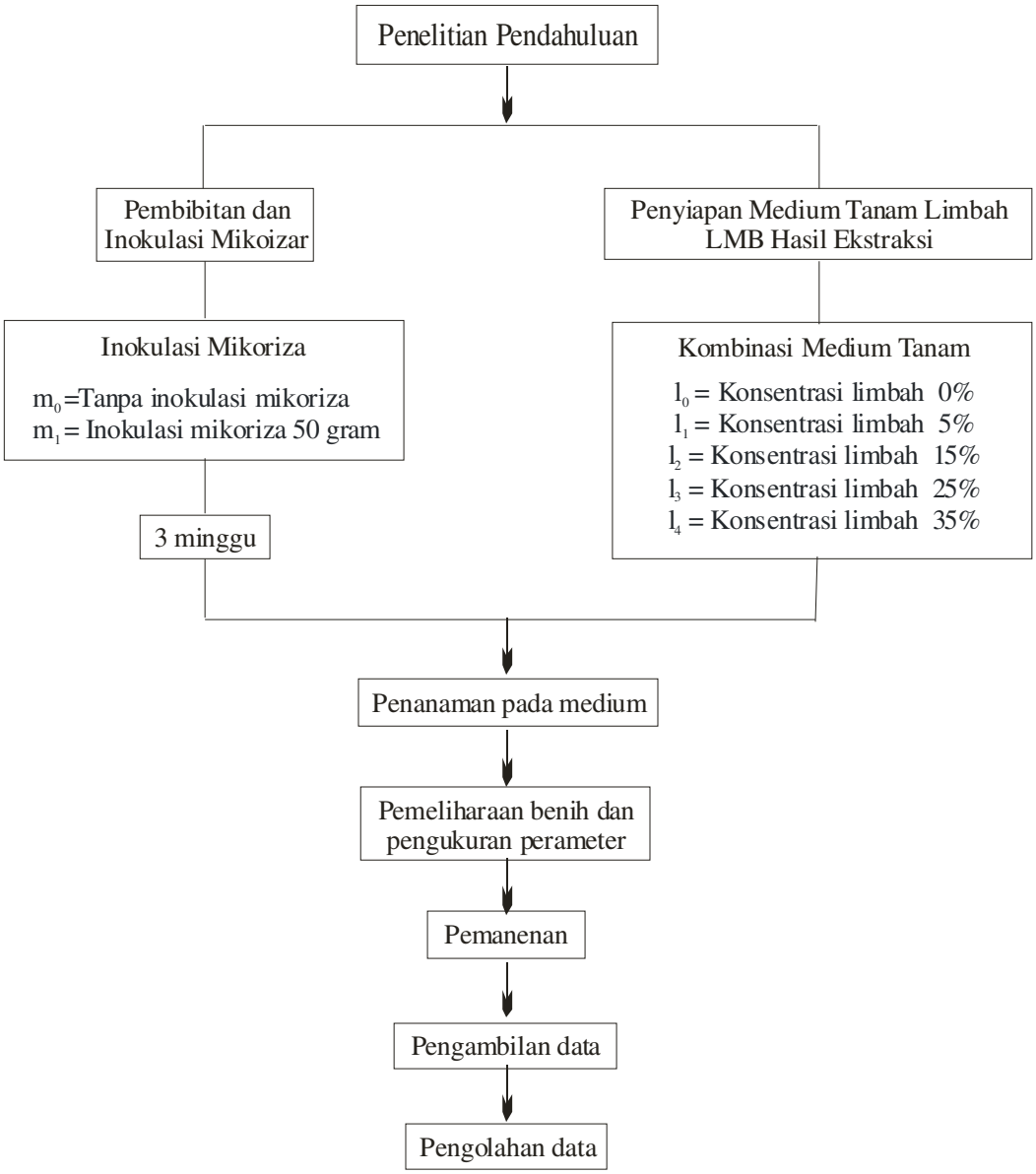
m_0 : Inokulasi mikoriza

m_1 : Tanpa inokulasi mikoriza

Tabel 3.1. Faktorial antar perlakuan

Inokulasi Mikoriza (M)	**Konsentrasi Limbah LMB Hasil Ekstraksi (L)**				
	0% (l_0)	**5% (l_1)**	**15% (l_2)**	**25% (l_3)**	**35% (l_4)**
m_0 (Tanpa inokulasi)	l_0m_0	l_1m_0	l_2m_0	l_3m_0	l_4m_0
m_1 (Inokulasi)	l_0m_1	l_1m_1	l_2m_1	l_3m_1	l_4m_1

3.2.2 Alur Kerja



3.2.3 Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis dengan analisis varian, dan apabila ada perbedaan diuji lanjut dengan Uji Jarak Berganda Duncan dengan taraf nyata 5% (Gomez & Gomez, 1995).

3.3 Cara Kerja

3.3.1 Persiapan Medium Tanam

Komposisi medium tanam diperoleh dari hasil penelitian pendahuluan, dan didapat campuran medium seperti pada tabel dibawah (Tanah dan pasir 2:1).

Tabel 3.2. Komposisi medium perlakuan limbah lumpur minyak bumi hasil ekstraksi

Komposisi (gram)	**l_0**	**l_1**	**l_2**	**l_3**	**l_4**
Limbah LMB hasil ekstraksi	0	50,4	150,4	250,4	350,4
Tanah sekeloa	666,5	633,3	566,3	500,3	433,3
Pasir	333,5	316,3	283,3	250,3	216,3
Total	1000	1000	1000	1000	1000

3.3.2 Pembibitan

Sebelum ditanam pada medium perlakuan, terbih dahulu dilakukan pembibitan agar diperoleh hasil yang lebih baik. Pembibitan dilakukan di wadah plastik dengan media tanam berupa tanah sekeloa yang dicampur pasir dengan perbandingan 2:1 dengan berat masing-masing wadah adalah 100 g.

Setelah medium tanamnya siap, benih-benih sengon yang sudah dipilih ditaburkan ke dalam media tersebut bersamaan dengan inokulasi mikoriza pada perlakuan m_1. Sebelum ditanam, benih terlebih dahulu direndam dalam larutan bayclean selama 1 menit, kemudian dicuci dengan air berulang-ulang hingga bersih. Benih disiram dengan air panas sebanyak 5 kali volume benih dan dibiarkan dingin selama 24 jam. Setelah itu benih dicuci dengan air (Atmosuseno, 1999). Pembibitan sengon dilakukan selama 3 minggu, dan pemeliharaannya dilakukan dengan cara penyiraman setiap pagi atau sore hari, serta penyiangan terhadap gulma.

3.3.3 Penanaman

Setelah bibit berumur 3 minggu sejak benih disemaikan, kemudian dipindahkan ke dalam pot yang telah diisi oleh medium tanam yang telah dicampur sesuai dengan masing-masing perlakuan tanaman sengon (kombinasi perlakuan dapat dilihat pada Tabel 3.2). Drainase dan lubang-lubang pada pot perlu diperhatikan.

Bibit dipilih yang homogen, dan kemudian langsung dipindahkan secara hati-hati ke dalam pot beserta inokulan mikoriza. Penanaman bibit pada media perlakuan diusahakan tegak lurus dan satu pot sebaiknya digunakan untuk satu tanaman.

3.3.4 Pemeliharaan

Pemeliharaan tanaman sengon meliputi penyiraman, penyiangan gulma, dan pengendalian hama. Penyiraman dilakukan setiap hari, yaitu pada pagi atau sore hari selama 3 bulan. Penyiangan dilakukan dengan mencabut gulma yang mengganggu disekitar tanaman sengon.

3.4 Pengukuran Parameter

3.4.1 Tinggi Tanaman

Pengukuran tinggi tanaman dilakukan dengan menggunakan penggaris (cm) dari bagian pangkal batang tanaman yang tumbuh dipermukaan tanah sampai titik tertinggi batang dan diukur setiap seminggu sekali selama 3 bulan penanaman (Sitompul & Guritno, 1995)

3.4.2 Panjang Akar

Pengukuran panjang akar dilakukan dengan menggunakan penggaris (cm) dari bagian pangkal akar sampai ujung akar yang terdalam dan dilakukan pada akhir penanaman (Sitompul & Guritno, 1995).

3.4.3 Berat Kering Akar

Pengukuran berat kering akar dilakukan pada saat panen. Akar dipisahkan dari batang dan daun, kemudian dibungkus dengan aluminium foil. Setelah itu akar dikeringkan pada suhu 75-105°C selama 2 hari. Berat kering diperoleh dengan menimbang akar yang telah dikeringkan sampai diperoleh berat yang konstan (Sitompul & Guritno, 1995)

3.4.4 Jumlah Daun

Perhitungan jumlah daun dilakukan setiap seminggu sekali selama 3 bulan penanaman. Daun yang dihitung adalah daun yang menunjukkan warna hijau agak tua, karena diduga sudah aktif melakukan fotisintesis yang mendukung pertumbuhan tanaman (Sitompul & Guritno, 1995).

3.4.5 Luas Daun

Pengukuran luas daun dilakukan di akhir perlakuan, yaitu 3 bulan setelah penanaman. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan metode milimeter block. Daun digambar pada kertas milimeter block dan pola daun diikuti. Luas daun dihitung berdasarkan jumlah kotak yang terdapat dalam pola daun, mengikuti rumus :

$$LD = n \times LK$$

Keterangan : LD = luas daun

n = jumlah kotak

LK = luas kotak

(Sitompul & Guritno, 1995)

3.4.6 Persentase Infeksi

Pengambilan secara acak potongan-potongan akar yang telah diwarnai sepanjang 1 cm. Potongan-potongan akar tersebut disusun dalam kaca objek. Satu kaca objek untuk 10 potong akar. Dihitung jumlah akar yang terinfeksi mikoriza dari 10 potongan akar tersebut dan diulangi hingga 3 kaca objek. Persentase akar yang terinfeksi dihitung berdasarkan rumus :

$$\text{Persentase Infeksi} = \frac{\text{Jumlah akar yang terinfeksi}}{\text{Jumlah seluruh akar yang diamati}} \text{ X } 100\%$$

Penggolongan tingkat infeksi akar adalah berdasarkan klasifikasi yang dibuat oleh The Institute of Mycorrhizal Research and Development, USDA *dalam* Setiadi (1992), yaitu :

a. Kelas 1, bila infeksinya 0 – 5% (sangat rendah, +).
b. Kelas 2, bila infeksinya 6 – 26% (rendah, ++).
c. Kelas 3, bila infeksinya 27 – 50% (sedang, +++).
d. Keals 4, bila infeksinya 51 – 75% (tinggi, ++++).
e. Kelas 5, bila infeksinya 76 – 100% (sangat tinggi, +++++).

3.4.7 Kandungan Logam Berat

Setengah gram sampel dilarutkan dalam 10 ml aquaregia (HCl dan Asam Nitrat 3:1) di dalam gelas kimia dan dipanaskan sampai kering. Kemudian sampel diberi asam nitrat 5 ml dan aquades lalu dipanaskan kembali hingga larut. Setelah dingin kemudian ditambahkan aquades kembali sampai 50 ml. Setelah itu sampel disentrifuse selama 10 menit dengan kecepatan 3000-4000 rpm, supernatannya diambil lalu diukur kandungan logam beratnya menggunakan atomic absorption spectrophotometry (AAS).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Parameter Pertumbuhan

Data pengamatan tinggi tanaman, panjang akar, berat kering akar, jumlah daun, luas daun, dan persentase infeksi dapat dilihat pada Lampiran 1. Sedangkan analisis varian disajikan pada Lampiran 2. Rekapitulasi analisis varian tinggi tanaman, panjang akar, berat kering akar, jumlah daun, luas daun, dan persentase infeksi akar tanaman sengon dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Rekapitulasi tinggi tanaman, panjang akar, berat kering akar, jumlah daun, luas daun dan persentase infeksi akar tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) berumur 3 bulan setelah tanam.

Parameter	**Perlakuan**		
	Limbah LMB Hasil Ekstraksi (L)	**Inokulasi Mikoriza (M)**	**Interaksi L x M**
Tinggi tanaman	*	*	tn
Panjang akar	*	*	tn
Berat kering akar	tn	*	tn
Jumlah daun	tn	*	tn
Luas daun	*	*	tn
Persentase infeksi	tn	*	tn

Keterangan : * = berbeda nyata pada taraf uji $F_{0.05}$

tn = tidak berbeda nyata pada taraf uji $F_{0.05}$

Dari hasil analisis varian pada Tabel 4.1 diketahui bahwa faktor perlakuan limbah LMB bumi hasil ekstraksi berbeda nyata terhadap tinggi tanaman, panjang

akar dan luas daun tanaman sengon, tetapi tidak berbeda nyata terhadap berat kering akar, jumlah daun dan persentase infeksi. Perlakuan inokulasi mikoriza berbeda nyata terhadap tinggi tanaman, panjang akar, berat kering akar, jumlah daun, luas daun dan persentase infeksi. Sedangkan dari kedua faktor perlakuan, yaitu konsentrasi limbah LMB hasil ekstraksi dan inokulasi mikoriza tidak ada interaksi terhadap semua parameter pertumbuhan. Untuk mengetahui adanya perbedaan pada parameter yang berbeda nyata tersebut dilakukan Uji Jarak Berganda Duncan.

4.1.1.1 Tinggi Tanaman

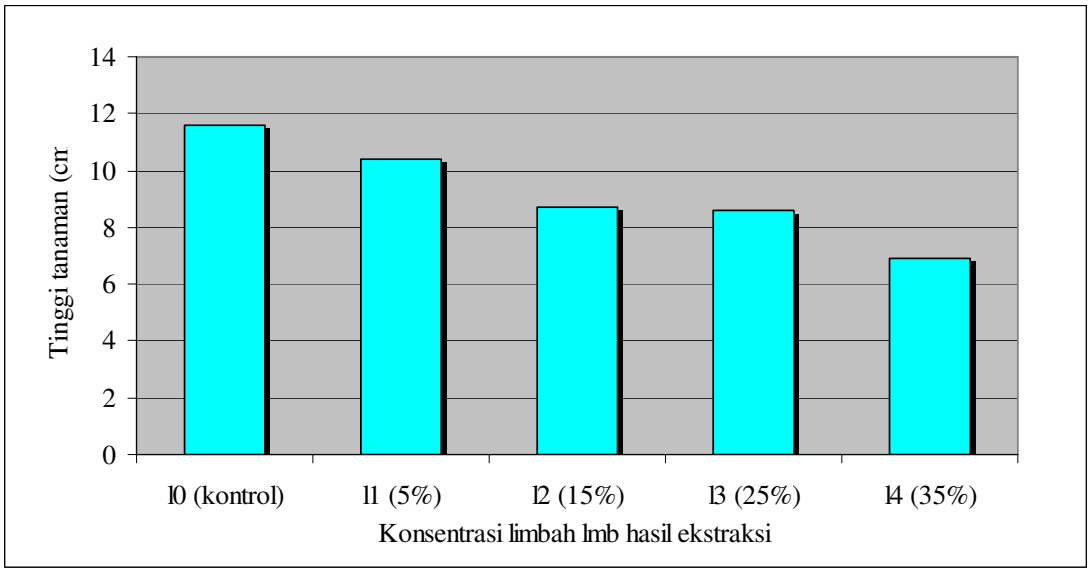
Tabel 4.1 menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi limbah LMB hasil ekstraksi (L) dan perlakuan inokulasi mikoriza (M) berbeda nyata terhadap tinggi tanaman. Namun dari kedua faktor tersebut tidak berinteraksi. Hal ini menunjukkan adanya efek mandiri dari masing-masing perlakuan terhadap tinggi tanaman. Untuk melihat adanya perbedaan tersebut, dilakukan Uji Jarak Berganda Duncan yang tertera pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

Tabel 4.2 Rata-rata tinggi tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) berumur 3 bulan setelah tanam pada perlakuan limbah LMB hasil ekstraksi.

Perlakuan	Rata-rata tinggi tanaman (cm)
l_0 (kontrol)	11.61 c
l_1 (5%)	10.39 bc
l_2 (15%)	8.70 ab
l_3 (25%)	8.59 ab
l_4 (35%)	6.88 a

Keterangan : Huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan (α = 0.5%)

Dari Tabel 4.2 terlihat bahwa perlakuan limbah LMB hasil ekstraksi konsentrasi 15% sudah menghambat tinggi tanaman sengon. Untuk lebih jelas adanya perbedaan antar perlakuan konsentrasi limbah LMB pada umur 3 bulan setelah tanam dapat dilihat pada Gambar 4.1.



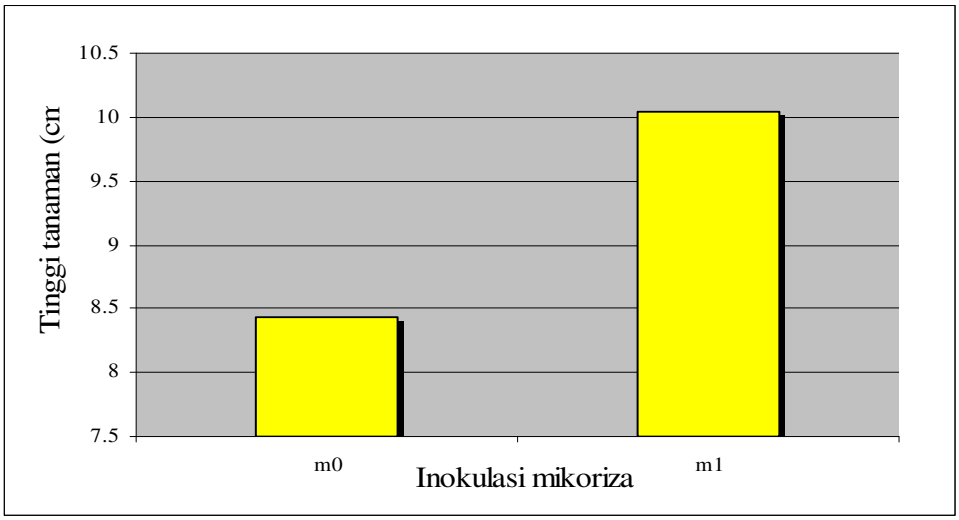
Gambar 4.1 Rata-rata tinggi tanaman sengon pada perlakuan limbah LMB hasil ekstraksi berumur 3 bulan setelah tanam.

Tabel 4.3 Rata-rata tinggi tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) berumur 3 bulan setelah tanam pada perlakuan inokulasi mikoriza

Perlakuan	Rata-rata tinggi tanaman (cm)
m_0 (Tanpa inokulasi mikoriza)	8.43 a
m_1 (Inokulasi mikoriza)	10.04 b

Keterangan : Huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan (α = 0.5%)

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa perlakuan inokulasi mikoriza memberikan pengaruh lebih baik terhadap tinggi tanaman sengon. Untuk lebih jelas adanya perbedaan pada perlakuan inokulasi mikoriza terhadap tinggi tanaman sengon pada umur 3 bulan setelah tanam dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Rata-rata tinggi tanaman sengon pada perlakuan inokulasi mikoriza berumur 3 bulan setelah tanam.

4.1.1.2 Panjang Akar

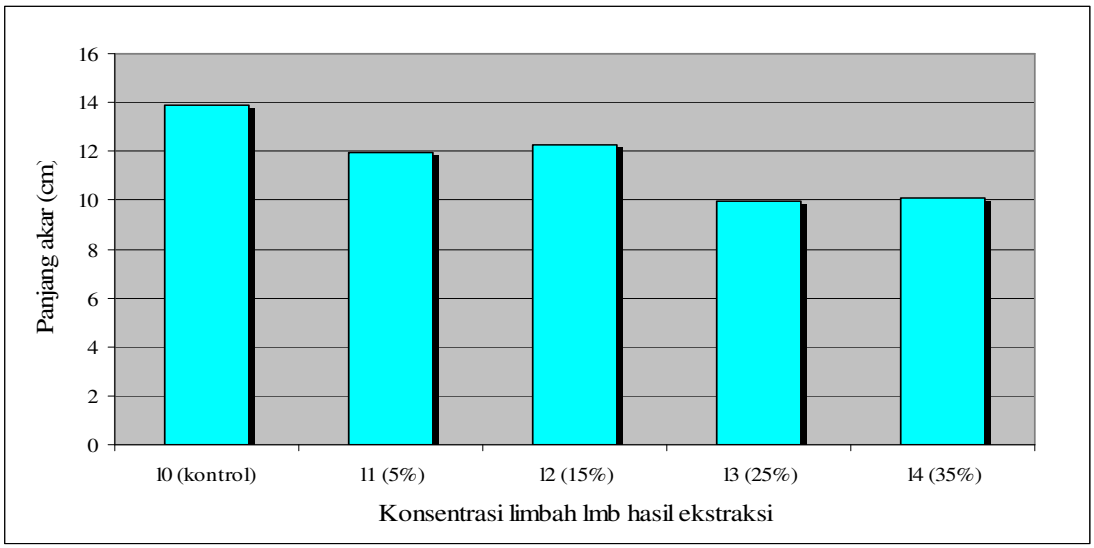
Tabel 4.1 menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi limbah LMB hasil ekstraksi (L) dan perlakuan inokulasi mikoriza (M) berbeda nyata terhadap panjang akar. Namun dari kedua faktor tersebut tidak berinteraksi. Hal ini menunjukkan adanya efek mandiri dari masing-masing perlakuan terhadap panjang akar. Untuk melihat adanya perbedaan tersebut, dilakukan Uji Jarak Berganda Duncan yang tertera pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5.

Tabel 4.4 Rata-rata panjang akar tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) berumur 3 bulan setelah tanam pada perlakuan limbah LMB hasil ekstraksi.

Perlakuan	Rata-rata panjang akar (cm)
l_0 (kontrol)	13.88 b
l_1 (5%)	11.96 ab
l_2 (15%)	12.27 ab
l_3 (25%)	9.99 a
l_4 (35%)	10.06 a

Keterangan : Huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan (α = 0.5%)

Dari Tabel 4.4 terlihat bahwa perlakuan limbah LMB hasil ekstraksi konsentrasi 25% sudah menghambat panjang akar tanaman sengon. Untuk lebih jelas adanya perbedaan antar perlakuan konsentrasi limbah LMB pada umur 3 bulan setelah tanam dapat dilihat pada Gambar 4.3.



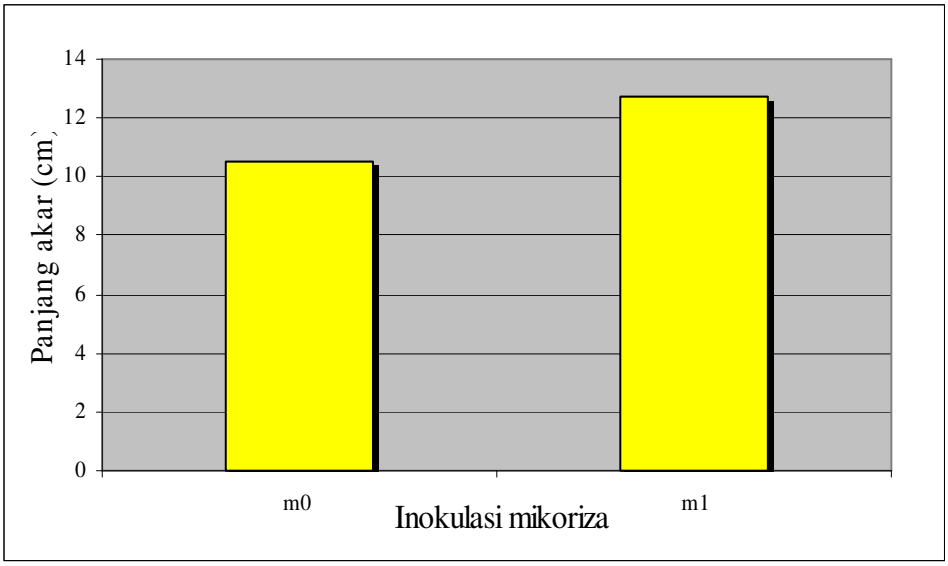
Gambar 4.3 Rata-rata panjang akar tanaman sengon pada perlakuan limbah LMB hasil ekstraksi berumur 3 bulan setelah tanam.

Tabel 4.5 Rata-rata panjang akar tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) berumur 3 bulan setelah tanam pada perlakuan inokulasi mikoriza

Perlakuan	Rata-rata panjang akar (cm)
m_0 (Tanpa inokulasi mikoriza)	10.538 a
m_1 (Inokulasi ikoriza)	12.738 b

Keterangan : Huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan (α = 0.5%)

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa perlakuan inokulasi mikoriza memberikan pengaruh lebih baik terhadap panjang akar tanaman sengon. Untuk lebih jelas adanya perbedaan pada perlakuan inokulasi mikoriza terhadap panjang akar tanaman sengon pada umur 3 bulan setelah tanam dapat dilihat pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Rata-rata panjang akar tanaman sengon pada perlakuan inokulasi mikoriza berumur 3 bulan setelah tanam

4.1.1.3 Berat Kering Akar

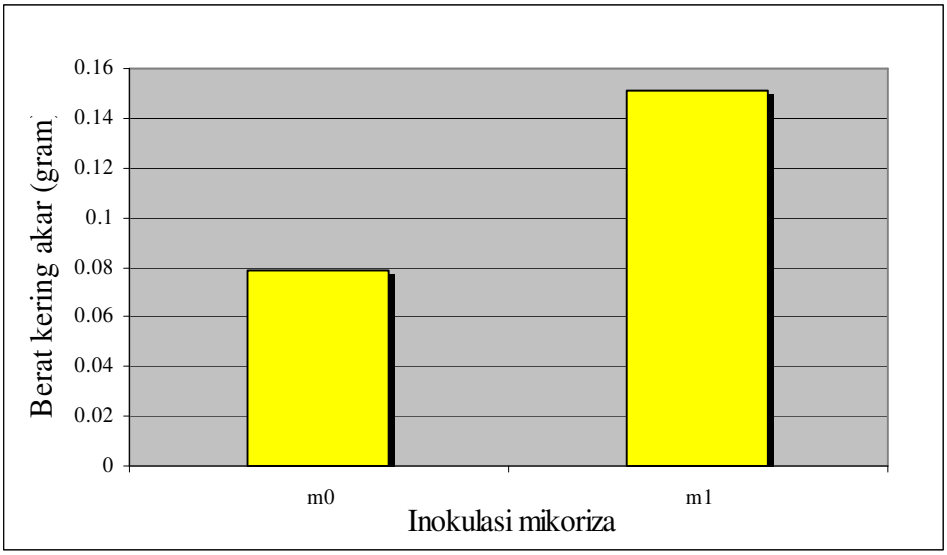
Tabel 4.1 menunjukkan bahwa perlakuan inokulasi mikoriza (M) berbeda nyata terhadap berat kering akar. Namun perlakuan limbah LMB hasil ekstraksi dan interaksi antara kedua faktor tersebut tidak berpengaruh nyata terhadap berat kering akar. Untuk melihat adanya perbedaan tersebut, dilakukan Uji Jarak Berganda Duncan yang tertera pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Rata-rata berat kering akar tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) berumur 3 bulan setelah tanam pada perlakuan inokulasi mikoriza.

Perlakuan	Rata-rata berat kering akar (gram)
m_0 (Tanpa inokulasi mikoriza)	0.079 a
m_1 (Inokulasi mikoriza)	0.151 b

Keterangan : Huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan (α = 0.5%)

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa pemberian perlakuan inokulasi mikoriza memberikan pengaruh lebih baik terhadap berat kering akar tanaman sengon. Untuk lebih jelas adanya perbedaan perlakuan inokulasi mikoriza terhadap berat kering akar tanaman sengon pada umur 3 bulan setelah tanam dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Rata-rata berat kering akar tanaman sengon pada perlakuan inokulasi mikoriza berumur 3 bulan setelah tanam

4.1.1.4 Jumlah Daun

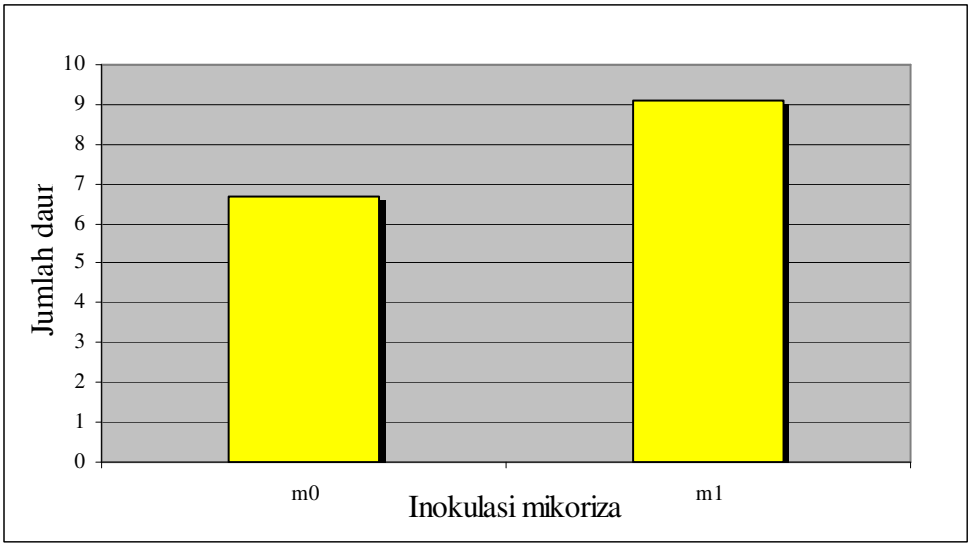
Tabel 4.1 menunjukkan bahwa perlakuan inokulasi mikoriza (M) berbeda nyata terhadap jumlah daun tanaman sengon. Namun perlakuan limbah LMB hasil ekstraksi dan interaksi antara kedua faktor tersebut tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah daun. Untuk melihat adanya perbedaan tersebut, dilakukan Uji Jarak Berganda Duncan yang tertera pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Rata-rata jumlah daun tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) berumur 3 bulan setelah tanam pada perlakuan inokulasi mikoriza.

Perlakuan	Rata-rata jumlah daun
m_0 (Tanpa inokulasi mikoriza)	6.700 a
m_1 (Inokulasi mikoriza)	9.100 b

Keterangan : Huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan (α = 0.5%)

Tabel 4.7 menunjukkan bahwa perlakuan inokulasi mikoriza memberikan pengaruh lebih baik terhadap jumlah daun tanaman sengon. Untuk lebih jelas adanya perbedaan perlakuan inokulasi mikoriza terhadap jumlah daun tanaman sengon pada umur 3 bulan setelah tanam dapat dilihat pada Gambar 4.6



Gambar 4.6 Rata-rata jumlah daun tanaman sengon pada perlakuan inokulasi mikoriza berumur 3 bulan setelah tanam

4.1.1.5 Luas Daun

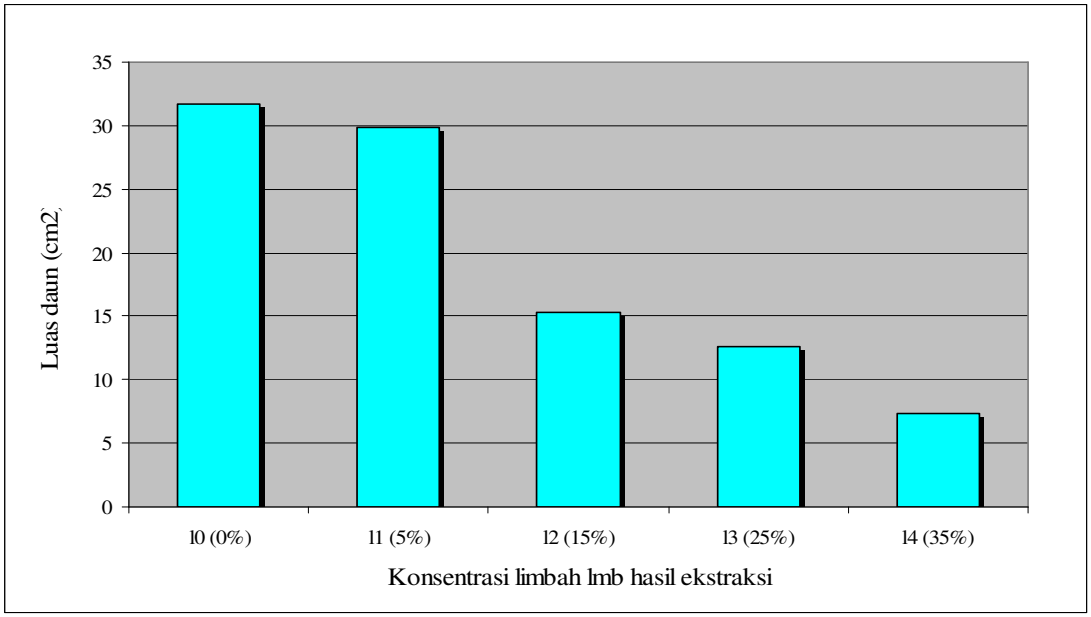
Tabel 4.1 menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi limbah LMB hasil ekstraksi (L) dan perlakuan inokulasi mikoriza (M) berbeda nyata terhadap luas daun tanaman sengon. Namun dari kedua faktor tersebut tidak berinteraksi. Hal ini menunjukkan adanya efek mandiri dari masing-masing perlakuan terhadap luas daun. Untuk melihat adanya perbedaan tersebut, dilakukan Uji Jarak Berganda Duncan yang tertera pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9

Tabel 4.8 Rata-rata luas daun tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) berumur 3 bulan setelah tanam pada perlakuan limbah LMB hasil ekstraksi.

Perlakuan	Rata-rata luas daun (cm^2)
l_0 (0%)	31.71 c
l_1 (5%)	29.80 bc
l_2 (15%)	15.25 ab
l_3 (25%)	12.57 a
l_4 (35%)	7.31 a

Keterangan : Huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan (α = 0.5%)

Dari Tabel 4.8 terlihat bahwa perlakuan limbah LMB hasil ekstraksi konsentrasi 15% sudah menghambat luas daun tanaman sengon. Untuk lebih jelas adanya perbedaan antar perlakuan konsentrasi limbah LMB hasil ekstraksi pada umur 3 bulan setelah tanam dapat dilihat pada Gambar 4.7.



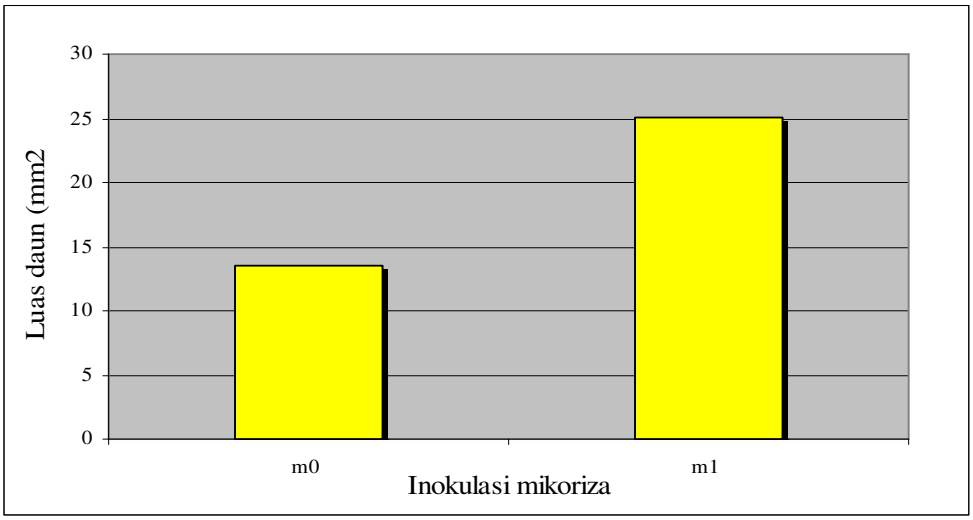
Gambar 4.7 Rata-rata luas daun tanaman sengon pada perlakuan limbah LMB hasil ekstraksi berumur 3 bulan setelah tanam.

Tabel 4.9 Rata-rata luas daun tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) berumur 3 bulan setelah tanam pada perlakuan inokulasi mikoriza.

Perlakuan	Rata-rata luas daun (cm^2)
m_0 (Tanpa inokulasi mikoriza)	13.55 a
m_1 (Inokulasi mikoriza)	25.10 b

Keterangan : Huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan (α = 0.5%)

Tabel 4.9 menunjukkan bahwa perlakuan inokulasi mikoriza memberikan pengaruh lebih baik terhadap rata-rata luas daun tanaman sengon. Untuk lebih jelas adanya perbedaan perlakuan inokulasi mikoriza terhadap luas daun tanaman sengon pada umur 3 bulan setelah tanam dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Rata-rata luas daun tanaman sengon pada perlakuan inokulasi mikoriza berumur 3 bulan setelah tanam.

4.1.1.6 Persentase Infeksi

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa perlakuan inokulasi mikoriza (M) berbeda nyata terhadap persentase infeksi akar tanaman sengon. Namun perlakuan limbah LMB hasil ekstraksi dan interaksi antara kedua faktor tersebut tidak berpengaruh nyata terhadap persentase infeksi akar. Untuk melihat adanya perbedaan tersebut, dilakukan Uji Jarak Berganda Duncan yang tertera pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Persentasee infeksi akar tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) berumur 3 bulan setelah tanam pada perlakuan inokulasi mikoriza.

Perlakuan	Rata-rata persentase infeksi (%)
m_0 (Tanpa inokulasi mikoriza)	0 a
m_1 (Inokulasi mikoriza)	40.31 b

Keterangan : Huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan (α = 0.5%)

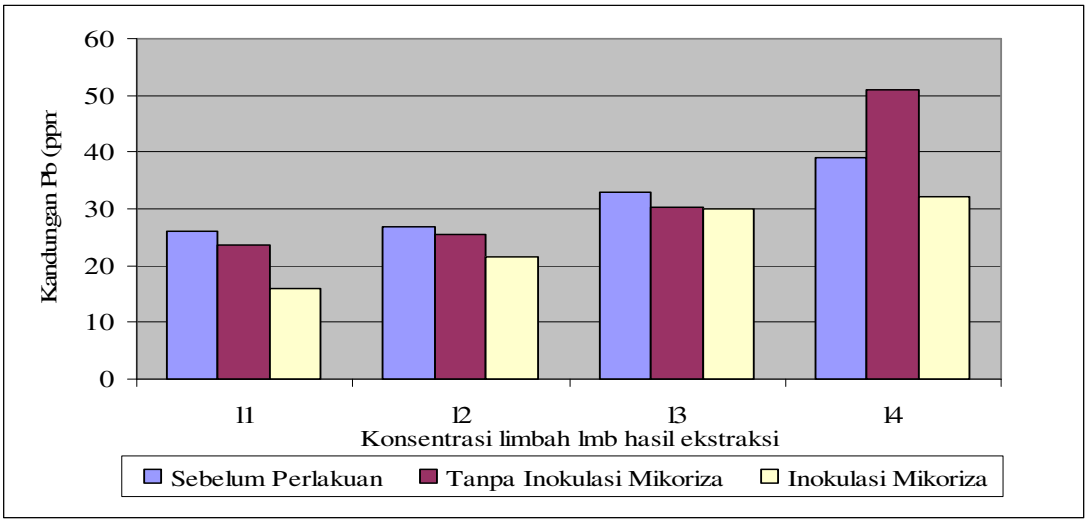
Tabel 4.10 memperlihatkan bahwa perlakuan inokulasi mikoriza memberikan pengaruh lebih baik terhadap persentase infeksi akar tanaman sengon.

4.1.2 Kandungan Logam Berat

Analisis kandungan Pb, Zn dan Cu dilakukan sebanyak dua kali, yaitu sebelum tanam dan setelah tanam dengan tanaman sengon dan inokulasi mikoriza. Data hasil analisis disajikan pada Lampiran 3.

1.1.2.1 Kandungan Pb

Data pengamatan kandungan Pb pada medium perlakuan tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) 3 bulan setelah tanam dapat dilihat dalam Lampiran 3.

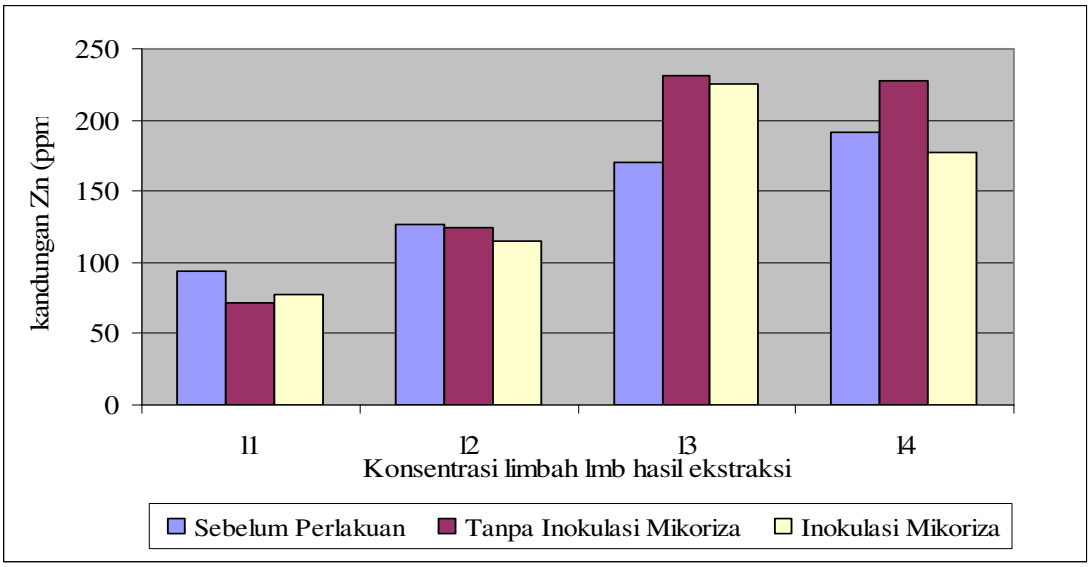


Gambar 4.9 Pengaruh tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) yang diinokulasi mikoriza terhadap kandungan Pb pada medium perlakuan

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa tanaman sengon yang diinokulasi mikoriza menurunkan kandungan Pb pada semua perlakuan limbah LMB hasil ekstraksi. Tetapi pada tanaman sengon yang tidak diinokulasi mikoriza terjadi peningkatan kandungan Pb pada perlakuan limbah konsentrasi 35%.

1.1.2.2 Kandungan Zn

Data pengamatan kandungan Zn pada medium perlakuan tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) berumur 3 bulan setelah tanam dapat dilihat dalam Lampiran 3.

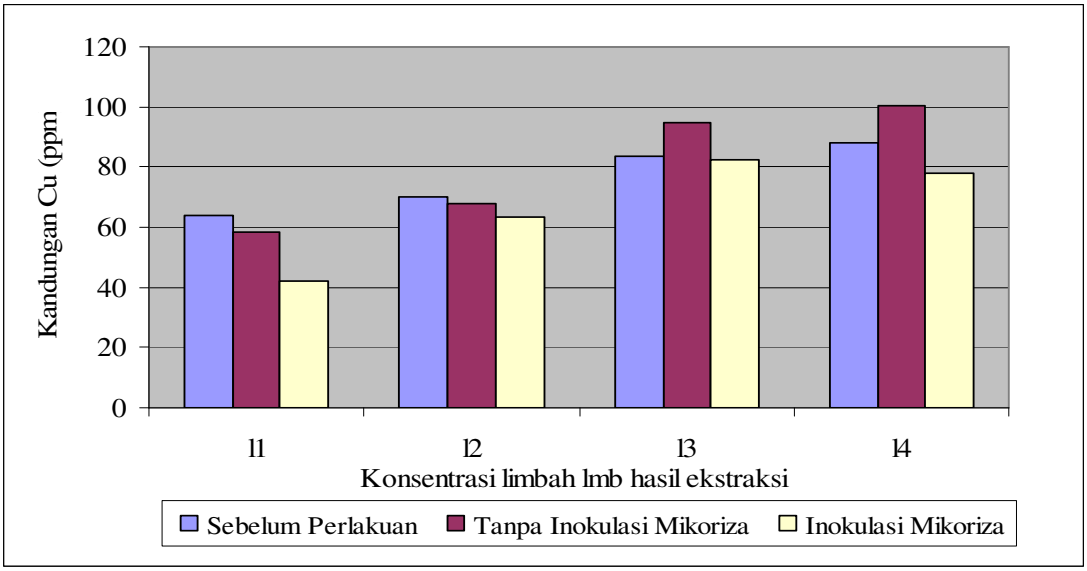


Gambar 4.10 Pengaruh tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) yang diinokulasi mikoriza terhadap kandungan Zn pada medium perlakuan

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa tanaman sengon yang diinokulasi mikoriza menurunkan kandungan Zn pada perlakuan limbah LMB hasil ekstraksi konsentrasi 5%, 15% dan 35%. Tanaman sengon yang tidak diinokulasi mikoriza menurunkan kandungan Zn pada konsentrasi 5% dan 15%, tetapi terjadi peningkatan kandungan Zn pada konsentrasi 25% dan 35%.

1.1.2.3 Kandungan Cu

Data pengamatan kandungan Cu pada medium perlakuan tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) 3 bulan setelah tanam dapat dilihat dalam Lampiran 3.



Gambar 4.11 Pengaruh tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) yang diinokulasi mikoriza terhadap kandungan Cu pada medium perlakuan

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa tanaman sengon yang diinokulasi mikoriza menurunkan kandungan Cu pada semua perlakuan limbah LMB hasil ekstraksi. Tanaman sengon yang tidak diinokulasi mikoriza menurunkan kandungan Cu pada konsentrasi 5% dan 15%, tetapi terjadi peningkatan kandungan Cu pada konsentrasi 25% dan 35%.

1.2 Pembahasan

Tabel 4.1 menunjukkan tidak adanya interaksi antara inokulasi mikoriza dan konsentrasi limbah LMB hasil ekstraksi terhadap pertumbuhan tanaman sengon. Menurut Suryatmana dkk (2003), mikoriza mampu beradaptasi pada tanah yang mengandung logam yang tinggi. Demikian pula menurut Subiksa (2002), yang menyatakan bahwa kemasaman tanah dan kandungan almunium yang tinggi bukan

merupakan faktor pembatas bagi cendawan mikoriza, tetapi merupakan masalah bagi pertumbuhan tanaman

Perlakuan konsentrasi limbah LMB hasil ekstraksi 15%, secara nyata mulai menghambat pertumbuhan tinggi tanaman dan luas daun. Tetapi konsentrasi 25% mulai berpengaruh nyata menghambat pertambahan panjang akar. Berdasarkan hasil analisis tanah terlihat bahwa medium perlakuan dengan konsentrasi 15%, kandungan logam beratnya sudah cukup tinggi, yaitu Pb=26.9 ppm, Zn=126.7 ppm, Cu=70.2 ppm, sedangkan pH-nya adalah 5.6. Logam berat yang terkandung dalam medium semakin meningkat sejalan dengan pertambahan konsentrasi. Sedangkan pH tanah semakin menurun sejalan dengan pertambahan konsentrasi (Lampiran 4).

Menurut Rao (1994), keadaan pH tanah 5.6 sudah menunjukkan sifat masam. Dikatakan pula bahwa pada umumnya tanah yang masam miskin akan ion kalsium dan kaya akan ion almunium. Demikian pula menurut Sarwono (1994), bahwa pada reaksi tanah yang masam, unsur-unsur mikro akan menjadi mudah larut, sehingga dapat ditemukan unsur mikro yang terlalu banyak. Unsur mikro merupakan unsur

hara yang diperlukan oleh tanaman dalam jumlah yang sangat kecil, sehingga menjadi racun kalau terdapat dalam jumlah yang terlalu besar. Contoh unsur mikro adalah Mn, Fe, Zn, dan Cu. Keadaan tanah dengan pH masam menyebabkan logam-logam berat yang terkandung dalam medium tersebut menjadi larut dan aktif diserap oleh tanaman.

Logam berat yang terserap, menurut Connel & Miller (1995), dapat menyebabkan toksik pada tumbuhan. Kandungan logam berat yang berlebih dapat menyebabkan penurunan pertumbuhan, penurunan produktivitas tanaman, serta dapat menyebabkan kematian. Adapun mekanisme keracunan logam menurut Ochiai *dalam* Heryando (1994), terbagi ke dalam 3 kategori, yaitu :

1. Memblokir atau menghalangi kerja gugus fungsi biomolekul yang essensial untuk proses-proses biologi, seperti protein dan enzim.
2. Menggantikan ion-ion logam essensial yang terdapat dalam molekul terkait
3. Mengadakan modifikasi atau perubahan bentuk dari gugus-gugus aktif yang dimiliki oleh biomolekul.

Selain itu adanya logam berat tersebut, menurut Barber *dalam* Connell & Miller (1995), dapat menyebabkan terbatasnya jumlah fosfor, kalium, dan besi yang ada di dalam jaringan akar, yang akibatnya akan memperlambat pertumbuhan akar dan perkembangan jaringan meristem. Ditunjang oleh pernyataan Fitter & Hay (1991), yang menyatakan bahwa ion-ion logam seperti Cu^{2+}, $Zn^{2+,}$ dan Ni^{2+} dapat mengganggu kerja enzim, sehingga mengganggu proses metabolisme pada tanaman, dan berpengaruh terhadap pembentukan sel-sel dan jaringan tanaman, khususnya

pada jaringan meristem. Akibat adanya gangguan kerja pada jaringan meristem, maka akan menghambat pembentukan dan perpanjangan organ tanaman, khususnya batang.

Menurut Gani & Endriani (1996), perkembangan akar tanaman kurang baik pada tanah-tanah masam. Ditunjang oleh Fitter & Hay (1991), bahwa Ion aluminium dapat mengikat fosfor pada permukaan akar dan mengurangi respirasi akar, pembelahan sel, dan pengambilan serta pemanfaatan Ca, Mg, P, K dan H_2O. Akibat kekurangan unsur fosfor tersebut, menurut Rao (1995), akan menyebabkan perakaran tanaman menjadi sangat kurang dan tidak berkembang.

Defisiensi fosfor juga dapat menghambat proses respirasi dan fotosintesis pada tanaman. Hal ini menurut Sarwono (1994), akan mengurangi pembentukan klorofil daun sehingga menyebabkan pembentukan luas daun terhambat. Pernyataan ini didukung oleh Sitompul & Guritno (1995), yang menyatakan bahwa kemampuan tanaman untuk melakukan fotosintesis ditentukan oleh luas daun.

Efek mandiri inokulasi mikoriza dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman yang mencakup tinggi tanaman, panjang akar, berat kering akar, jumlah daun, luas daun, dan persentase infeksi. Dari hasil analisis tanah menunjukkan bahwa medium perlakuan pada semua konsentrasi mengandung unsur hara P dan N yang rendah. Semua kombinasi medium memiliki kandungan N = <0,20% dan kandungan P = <10 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan unsur hara tersebut rendah (Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor). Keadaan ini menurut Setiawati dkk (2003), sangat menguntungkan bagi mikoriza, karena peran mikoriza dalam mengeksplorasi fosfor dalam tanah melalui hifa eksternanya lebih efektif pada kandungan fosfor

tanah yang rendah. Demikian pula pernyataan Fitter & Hay (1991), yang mengatakan bahwa pada tanah yang defisiensi unsur hara fosfor, tanaman bermikoriza biasanya tumbuh baik dibandingkan dengan tanaman tanpa inokulasi mikoriza. Tetapi akan terjadi sebaliknya pada tanah yang disuplai fosfat dengan baik, yaitu tanaman bisa memperlihatkan tingka tinfeksi yang rendah.

Menurut Hidayat (1995), Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA) mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman karena dapat meningkatkan penyerapan nutrisi oleh tanaman. CMA yang menginfeksi sistem perakaran tanaman inang akan memproduksi jalinan hifa secara intensif, sehingga tanaman bermikoriza akan mampu meningkatkan kapasitasnya dalam menyerap air dan unsur hara. Ukuran hifa yang halus akan memungkinkan hifa bisa menyusup ke pori-pori tanah yang paling kecil (mikro), sehingga hifa bisa menyerap air pada kondisi kadar air yang sangat rendah (Kilham *dalam* Subiksa, 2002). Dengan adanya peran mikoriza dalam membantu penyerapan air dan unsur hara, maka sel tumbuhan akan cepat tumbuh dan berkembang, sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman.

Selain fosfor menurut Dwidjoseputro (1994), mikoriza dapat meningkatkan penyerapan beberapa unsur hara seperti N, K, Mg, Fe, Mn, Cu, dan Zn, yang merupakan bahan-bahan yang berperan dalam pembentukan klorofil. Dengan adanya klorofil maka akan meningkatkan proses fotosintesis yang akan berpengaruh baik terhadap jumlah daun dan luas daun.

Pengangkutan hasil fotosintesis ke akar menentukan kemampuan akar untuk menyerap dan memperoleh hara (Fitter & Hay, 1991). Menurut Donelly & Fletcher

(1994), sel akar yang terinfeksi mikoriza ukurannya akan semakin bertambah. Hal ini disebabkan karena hifa ekstraseluler memperluas permukaan penyerapan unsur hara. Suplai unsur hara yang lebih akan meningkatkan aktivitas protoplasma sel sehingga menunjang pertumbuhan sel. Dengan adanya pertumbuhan sel dan jaringan yang baik pada akar, maka akan meningkatkan biomassa akar tanaman tanaman sengon. Sehingga akan meningkatkan panjang akar dan berat kering akar. Hal ini sesuai dengan pernyataan Dwidjoseputro (1994), yang menyatakan bahwa pertumbuhan organ-organ tanaman seperti akar, batang, dan daun akan menentukan bobot kering tanaman.

Tanaman yang diinokulasi mikoriza akan mempunyai persentase akar lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman yang tidak diinokulasi mikoriza. Persentase infeksi mikoriza yang tinggi biasanya berkorelasi dengan kemampuan dari cendawan dalam menyerap unsur hara di dalam tanah terutama fosfor. Hasil analisis tanah menunjukkan bahwa medium perlakuan pada semua konsentrasi mengandung unsur hara fosfor yang rendah. Keadaan ini mendukung mikoriza untuk lebih efektif dalam mengeksplorasi fosfor dalam tanah melalui hifa eksternanya. (Setiawati dkk, 2003). Hal ini sesuai dengan pernyataan Mose & Hayman, *dalam* Hamzah dkk (1999), bahwa apabila persentase infeksi akar tanaman yang diinokulasi mikoriza lebih tinggi daripada yang tidak diinokulasi, maka ini merupakan indikasi keberhasilan inokulasi.

Gambar 4.9 sampai dengan Gambar 4.11 menunjukkan bahwa tanaman sengon yang diinokulasi mikoriza dapat menurunkan kandungan Pb, Zn dan Cu. Penurunan tertinggi terjadi pada konsentrasi 5%, yaitu Pb (10,1 ppm), Zn (16,6 ppm)

dan Cu (21,55 ppm). Tetapi tanaman yang tidak diinokulasi mikoriza tidak efektif dalam menurunkan Pb pada konsentrasi 35%, Zn pada konsentrasi 25% dan 35%, serta kandungan Cu pada konsentrasi 25% dan 35%. Hal ini menunjukan bahwa tanaman sengon yang diinokulasi mikoriza lebih efektif dalam menyerap logam berat. Galli *dalam* Khan dkk (2000), menyatakan bahwa mikoriza memegang peranan penting dalam melindungi akar tanaman dari unsur toksik, diantaranya yaitu logam berat. Menurut Subiksa (2002), mekanisme perlindungan terhadap logam berat dan unsur toksik oleh mikoriza dapat melalui efek filtrasi, menonaktifkan secara kimiawi, atau akumulasi unsur tersebut dalam hifa cendawan. Tanaman yang diinokulasi mikoriza memiliki kemampuan menekan serapan Pb. Hal ini menurut Suryatmana dkk (2003), terjadi karena mikoriza diketahui dapat mengikat logam tersebut pada gugus karboksil dan senyawa pektak (hemiseslulosa) pada matriks antar permukaan kontak mikoriza dan tanaman inang, pada selubung polisakarida dan dinding sel hifa.

Selain itu, sejumlah penelitian menunjukkan bahwa CMA dapat meningkatkan serapan logam, seperti Zn dan Cu dari tanah yang terkontaminasi. Mekanisme perlindungan mikoriza terhadap logam berat Cu dan Zn juga telah dilaporkan oleh Schuepp dkk, *dalam* Lasat (2002), yang menyatakan bahwa Mikoriza dapat mengikat ion-ion logam Zn dan Cu dalam dinding sel hifanya dan dapat melindungi tanaman dari ion-ion logam tersebut. Zn disimpan dalam crystaloid di dalam miselium jamur dan pada sel-sel korteks akar tanaman bermikoriza. Khan dkk (2000), dalam penelitiannya menunjukkan bukti bahwa tanaman yang diinokulasi mikoriza *Glomus mossae* dan *Glomus macrocarpum* memiliki kandungan Pb dan Zn lebih rendah dibandingkan dengan tanaman kontrol. Hal ini sesuai dengan penelitian

Lasat (2000), bahwa pada pengamatan rumah kaca, akumulasi Zn pada akar tanaman yang diinokulasi mikoriza lebih rendah dibandingkan dengan tanaman yang tidak diinokulasi.

Tanaman yang tidak diinokulasi mikoriza dapat juga menurunkan kandungan Pb, Zn dan Cu. Penurunan tertinggi terjadi pada konsentrasi 5%, yaitu Pb (2,6 ppm), Zn (21,9 ppm) dan Cu (5,5 ppm). Hal ini menurut Salt *dalam* Khan dkk (2000), disebabkan karena tumbuhan dapat mengeluarkan enzim dan eksudat yang dapat mendegradasi kontaminan organik dalam tanah. Selain itu, secara fisik tanaman dapat memindahkan polutan dengan mengabsorpsi atau memindahkan polutan ke dalam jaringan, kemudian akan mentransformasikan atau memineralisasi polutan tersebut (Bollag *dalam* Khan dkk 2000). Hal ini didukung oleh Prayitno & Priyanto (2002), yang menyatakan bahwa penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan terjadi melalui tiga proses, yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi logam pada bagian jaringan tertentu.

Penyerapan unsur-unsur mikro oleh tanaman bermikoriza bergantung kepada beberapa faktor, yaitu kondisi fisik-kimia tanah, tingkat kesuburan tanah, pH, jenis tanaman, serta konsentrasi unsur-unsur mikro di dalam tanah (Khan dkk, 2000). Cendawan mikoriza membutuhkan kondisi lingkungan yang sesuai. Keberhasilan inokulasi mikoriza tidak hanya berdasarkan kecocokan dengan tanaman inang, namun juga harus sesuai dengan kondisi tanah atau medium tanam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada konsentrasi limbah 25%, kandungan Zn setelah 3 bulan penanaman lebih besar dibandingkan dengan sebelum penanaman. Hal ini disebabkan karena kandungan logam berat pada perlakuan tersebut sangat tinggi, sehingga

tanaman sengon dan mikoriza tidak efektif dalam menyerap Zn. Menurut Lu (1994), menyatakan bahwa toksisitas logam berat dalam tanah tergantung pada jenis logam, ketersediaannya, serta besarnya keragaman antara satu tanah dengan yang lainnya Hal ini sesuai dengan pernyataan Vidal *dalam* Muin (2002), bahwa jika logam yang terdapat dalam tanah pada tingkat yang tinggi, maka bisa terjadi penurunan serapan oleh mikoriza. Pernyataan ini juga didukung oleh Subiksa (2002), yang menyatakan bahwa efektifitas mikoriza dipengaruhi oleh faktor lingkungan tanah, diantaranya yaitu faktor abiotik yang meliputi konsentrasi hara, pH, kadar air dan temperatur.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Konsentrasi limbah LMB hasil ekstraksi 15% menghambat pertumbuhan tinggi tanaman dan luas daun. Sedangkan konsentrasi 25% menghambat panjang akar tanaman sengon.
2. Inokulasi mikoriza meningkatkan pertumbuhan tanaman sengon, yang meliputi tinggi tanaman, panjang akar, berat kering akar, jumlah daun, luas daun, dan persentase infeksi..
3. Tanaman sengon yang diinokulasi mikoriza berpengaruh terhadap penurunan kandungan Pb, Zn dan Cu. Penurunan tertinggi terjadi pada konsentrasi 5%, yaitu Pb (10,1 ppm), Zn (16,6 ppm) dan Cu (21,55 ppm).
4. Tidak terjadi interaksi antara konsentrasi limbah LMB hasil ekstraksi dan inokulasi mikoriza terhadap pertumbuhan tanaman sengon.

5.2 Saran

1. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai asosiasi antara tanaman sengon dengan mikoriza secara berkesinambungan dan dalam jangka waktu yang lama.
2. Perlu dilakukan penelitian dan identifikasi lebih jelas mengenai kandungan unsur toksik yang diserap dan terakumulasi di dalam jaringan tanaman sengon dan hifa mikoriza dalam fitoremediasi.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh pemberian limbah LMB hasil ekstraksi terhadap pertumbuhan tanaman lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

Adholeya. & Gaur, Atimanav. 2004. *Prospect of Arbuscular Mycorrizal fungi in Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soils*. Centre for Mychorrhizal Research, The Energy and Resources Institute, Darbari Seth Block, Habitat Place, Lodhi road, New Delhi 110 003, India.

Atmosuseno, Budi Setiawan .1999. *Budi Daya, Kegunaan, Dan Prospek Sengon*. Jakarta : Penebar Swadaya.

Connell, D.W & G.J Miller. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Diterjemahkan oleh Yanti Koestoer. Universitas Indonesia Press. Jakarta.

Donelly, PK & Fletcher, JS. 1994. *Potential Use of Mycorrhizal Fungi as Bioremediation Agents*. American Chemical Society. USA. 94-97.

Dwidjoseputro, D. 1994. *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

EPA. 1998. A citizen's Guide to Phytoremediation. Dalam *http://www.clu-in.org/download/citizens/citphyto.pdf.*

Firdaus, LN. 2000. Teknologi Fitoremediasi Lingkungan. Dalam *http://www.terranet.or.id/goto_berita.php?id=14350*

Fitriatin, Betty. Setiawati, M & Hindersah, R. 2003. Aplikasi pupuk organik (kascing dan ekstrak cacing) serta cendawan mikoriza arbuskula terhadap populasi mikroba di rhizosfer, kolonisasi mikoriza, pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis pada ultisol. Dalam *Seminar Teknologi Produksi dan Pemanfaatan Inokulan Endo-Ektomikoriza Untuk Pertanian, Perkebunan, dan Kehutanan.* Bandung.

Fitter, A.H & Hay, R.K.M. 1991. *Fisiologi Lingkungan Tanaman*. Terjemahan oleh Sri Andani dan E.D. Purbayanti. Universitas Gadjah Mada Press. Yogyakarta.

Frazar, Chriss. 2000. *The Bioremediation and Phytoremediation of Pesticide-contaminated Sites*. National Network of Environmental Studies (NNEMS) Fellow.

Gadd, G.M. 1990. *Metal Tolerance, In Microbiology of Extreme Envirinments*. Open University Press. Milton Keynes.

Gani, Zul Fahri & Endriani. 1996. Pengaruh inokulasi MVA dan pupuk P terhadap ketersediaan dan serapan P serta hasil tanaman kedelai (*Glycine max* (L) Merr). *Buletin Agronomi*. Univrsitas Jambi. Jambi

Gomez and Gomez. 1995. *Prosedur Statistik Untuk Penelitian Pertanian*. Edisi Kedua. Penerbit Universitas Indonesia.

Hamzah, Amir; E. Santosa; T. Prihatini; Komariah. 1999. Peranan MVA dalam meningkatkan serapan hara P dan produksi jagung pada ultisol Lampung. Dalam *Prodising Seminar Nasional Sumber Daya Alam*. Cisarua-Bogor. Buku III Pusat Penelitian Tanah dan Agriklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departement Petanian.

Heryando, Palar. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Penerbit PT Rieneka Cipta. Jakarta.

Hidayat, Estiti. 1995. *Anatomi Tumbuhan Berbiji*. Penerbit ITB. Bandung.

Iskandar, Dudi. 2001. Pupuk Hayati Mikoriza Untuk Petumbuhan dan Adaptasi Tanaman di Lahan Marginal. Dalam *www.iptek.net.id*

Islami, T. & W.H Utomo. 1995. *Hubungan Tanah, Air dan Tanaman.*.IKIP Semarang Press. Semarang

Kementrian Lingkungan Hidup. 2003. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup, Nomor 128 Tahun 2003 : Tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi Oleh Minyak Bumi Secara Biologis.* Jakarta.

Khan, A.G; C. Kuek; T.M. Chaundry; C.S. Khoo; W.J. Hayes. 2000. *Role of Plants, Mycorrhizae and Phytochelators in Heavy Metal Contaminated land Remediation*. Faculty of Infomatics, Science and Technology, university of Western Sydney, Macarthur, campbelltown NSW 2560. Australia.

Lasat, Mitch M. 2002. Phytoextraction of Toxic Metals: A Review of Biological Mechanisms. Dalam *www.epa.gov/ord/htm/lasatarticle.pdf*

Lu, C. Frank. 1994. *Toksikologi Dasar : Asas, Organ, Sasaran dan Penilaian Resiko, Edisi Kedua*. Universitas Indonesia Press. Jakarta.

Manan, A. 1994. The impotance of vesikular-arbuskular mycorrhizae (VAM) in deciduous tropical forest ecosystem at DOI Suthep-Pui National Park. *Biotrop Special Publication* No. 56. SEAMEO BIOTROP, 157. Bogor.

Muin, Abdurrani. 2002. Penggunaan Mikoriza Untuk Menunjang Pembangunan Hutan Pada Lahan Kritis Atau Marginal. Dalam *http//www.hayati-ipb.com/users/rudyct/PPs702/ABDURRANI.htm.*

Pivetz, E.Bruce. EPA 2001. *Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites*. EPA Ground Water Issue.

Priyanto, Budhi & Prayitno, J. 2002. Fitoremediasi sebagai sebuah teknologi pemulihan pencemaran, khususnya logam berat. Dalam *Http://ltl.bppt.tripod.com/sublab/lflora.htm*

Pujiyanto. 2001. Pemanfaatan Jasad Mikro Jamur Mikoriza dan Bakteri Dalam Sistem Pertanian Berkelanjutan di Indonesia : Tinjauan dari Perspeltif Falsafah Sains. Dalam : *http//www.hayati-ipb.com/users/rudyct/indiv2001/pujiyanto.htm.*

Rao, N.S. 1994. *Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan*. Diterjemahkan oleh H. Soesilo. Universitas Indonesia Press, 299-310. Jakarta

Rossiana, N. & Titin, S. 2003. Fitoremediasi Lumpur Minyak Bumi Dengan Tanaman Sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) Bermikoriza Skala Rumah Kaca. Dalam *Seminar dan Pameran Teknologi Produksi dan Pemanfaatan Inokulan Endo-Ektomikoriza Untuk Pertanian, Perkebunan, dan Kehutanan.* Bandung

Salisbury, F dan W, Ross. 1995. *Fisiologi Tumbuhan*. Penerbit ITB. Bandung.

Sarief, Saefudin. 1993. *Kesuburan dan Pemupukan Tanah Pertanian*. Penerbit Pustaka Buana. Bandung

Sarwono, Hardjowigeno. 1995. *Ilmu Tanah*. Penerbit Akademia Pressindo. Jakarta

Schnoor, Jerald. 1997. *Phytoremediation*. Ground Water Remediation Technologies Analysis Center.

Setiadi, Y; I. Mansur; S.W. Budi & Ahmad. 1992. *Petunjuk Laboratorium Mikrobiologi Tanah Hutan.* Bogor : Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Jendral Pendidikan Tinggi Pusat Antar Universitas Bioteknologi IPB.

Setiadi, Yadi. 1996. Mengenal cendawan mikoriza arbuskular (CMA) dan prospek aplikasinya sebagai pupuk biologis untuk meningkatkan pertumbuhan dan kualitas semai tanaman kehutanan. Dalam *Lokakarya Sistem Produksi Bibit Secara Massal.* Bogor

Setiadi, Yadi. 2001. Peranan mikoriza arbuskula dalam rehabilitasi lahan kritis di Indonesia. Dalam *Seminar Penggunaan Cendawan Mikoriza dalam Sistem Pertanian Organik dan Rehabilitasi Lahan Kritis*. Bandung.

Setiawati, M.R; A. Nurbaity; BN. Fitriatin; Y. Sumarni. 2003. Peranan cendawan mikoriza dalam meningkatkan efisiensi pupuk P dan kualitas bibit kentang pada andisols asal Garut. Dalam *Seminar Teknologi Produksi dan Pemanfaatan Inokulan Endo-Ektomikoriza Untuk Pertanian, Perkebunan, dan Kehutanan.* Bandung.

Simarmata, Tualar & Elvina, H. 2003. Efek pemberian inokulan CMA dan pupuk kandang terhadap P tersedia, retensi P dalam tanah dan hasil bawang merah (Allium ascalocinum L.) pada andisols. Dalam *Seminar Teknologi Produksi dan Pemanfaatan Inokulan Endo-Ektomikoriza Untuk Pertanian, Perkebunan, dan Kehutanan.* Bandung.

Sitompul, S.N & B. Guritno. 1995. *Analisis Pertumbuhan Tanaman*. Universitas Gadjah Mada Press. Yogyakarta.

Steenis, Van. 1992. *Flora : Untuk Sekolah di Indonesia*. Diterjemahkan oleh M. Soerjowinoto. Pradnya Paramita. Jakarta.

Subiksa, I.G.M. 2002. Pemanfaatan Mikoriza Untuk Penanggulangan Lahan Kritis. Dalam *http//rudyct.tripod.com/sem2_012/igm_subiksa.htm.*

Suhendrayatna. 2001. Bioremoval Logam Berat Dengan Menggunakan Mikroorganisme : Suatu Kajian Kepustakaan. Dalam *Seminar on-Air Bioteknologi untuk Indonesia abad 21.*

Suryatmana, P; Setiawati, M.R; Primahesa, R. 2003. Peranan mikoriza mikofer dan bahan organik kascing dalam translokasi Pb, serapan fosfor dan hasil tanaman cabai (*Capsicum anuum*) pada tanah tercemar logam berat. Dalam *Seminar Teknologi Produksi dan Pemanfaatan Inokulan Endo-Ektomikoriza Untuk Pertanian, Perkebunan, dan Kehutanan.* Bandung.

Teten. 2001. Laboratorium Pembangunan dan Lingkungan (Lablink). Dalam *http://www.lablink.or.id/Agro/Sengon/sengon.htm*

Truu, J. Talpsep, E. Vedler, E. Heinaru, E & Heinaru, A. 2003. *Enhanced Biodegradation of Oil Shale Chemical Industry Solid Wastes by Phytoremediation and Bioaugmentation*. Estonia Academy Publisher.

Zynda, Todd. 2001. *Phytoremediation*. Michigan State University The Technical Assistance for Brownfield Communities *(TAB)* Program.

Lampiran 1.

Rata-rata tinggi tanaman, panjang akar, berat kering akar, jumlah daun, luas daun dan persentase infeksi akar tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) berumur 3 bulan setelah tanam

Rata-rata Tinggi Tanaman

Perlakuan	Rata-rata Tinggi Tanaman (cm)
L0M0 (Kontrol)	11,6
L0M1 (Kontrol + Mikoriza 50gr)	11,625
L1M0 (Limbah 5%)	9,12
L1M1 (Limbah 5% + Mikoriza 50gr)	11,65
L2M0 (Limbah 15%)	7,62
L2M1 (Limbah 15% + Mikoriza 50gr)	9,77
L3M0 (Limbah 25%)	7,4
L3M1 (Limbah 25% + Mikoriza 50gr)	9,77
L4M0 (Limbah 35%)	6,41
L4M1 (Limbah 35% + Mikoriza 50gr)	7,35

Rata-rata Panjang Akar

Perlakuan	Rata-rata Panjang Akar (cm)
L0M0 (Kontrol)	11,58
L0M1 (Kontrol + Mikoriza 50gr)	16,175
L1M0 (Limbah 5%)	10,86
L1M1 (Limbah 5% + Mikoriza 50gr)	13,075
L2M0 (Limbah 15%)	11,06
L2M1 (Limbah 15% + Mikoriza 50gr)	13,48
L3M0 (Limbah 25%)	9,61
L3M1 (Limbah 25% + Mikoriza 50gr)	10,375
L4M0 (Limbah 35%)	9,41
L4M1 (Limbah 35% + Mikoriza 50gr)	10,57

Rata-rata Berat Kering Akar

Perlakuan	Rata-rata Berat Kering Akar (gr)
L0M0 (Kontrol)	0,0915
L0M1 (Kontrol + Mikoriza 50gr)	0,192
L1M0 (Limbah 5%)	0,103
L1M1 (Limbah 5% + Mikoriza 50gr)	0,18
L2M0 (Limbah 15%)	0,108
L2M1 (Limbah 15% + Mikoriza 50gr)	0,11
L3M0 (Limbah 25%)	0,079
L3M1 (Limbah 25% + Mikoriza 50gr)	0,151
L4M0 (Limbah 35%)	0,08
L4M1 (Limbah 35% + Mikoriza 50gr)	0,118

Rata-rata Jumlah Daun

Perlakuan	Rata-rata Jumlah Daun
L0M0 (Kontrol)	10,25
L0M1 (Kontrol + Mikoriza 50gr)	10,75
L1M0 (Limbah 5%)	7,25
L1M1 (Limbah 5% + Mikoriza 50gr)	9
L2M0 (Limbah 15%)	6,25
L2M1 (Limbah 15% + Mikoriza 50gr)	10
L3M0 (Limbah 25%)	5,25
L3M1 (Limbah 25% + Mikoriza 50gr)	8,5
L4M0 (Limbah 35%)	4,5
L4M1 (Limbah 35% + Mikoriza 50gr)	7,25

Rata-rata Luas Daun

Perlakuan	Rata-rata Luas Daun (cm2)
L0M0 (Kontrol)	24.33
L0M1 (Kontrol + Mikoriza 50gr)	39.09
L1M0 (Limbah 5%)	23.2
L1M1 (Limbah 5% + Mikoriza 50gr)	36.4
L2M0 (Limbah 15%)	7.11
L2M1 (Limbah 15% + Mikoriza 50gr)	18.04
L3M0 (Limbah 25%)	7.11
L3M1 (Limbah 25% + Mikoriza 50gr)	23.38
L4M0 (Limbah 35%)	6.01
L4M1 (Limbah 35% + Mikoriza 50gr)	8.61

Rata-rata Persentase Infeksi

Perlakuan	Rata-rata Persentase Infeksi (%)
L0M0 (Kontrol)	0
L0M1 (Kontrol + Mikoriza 50gr)	43,3%
L1M0 (Limbah 5%)	0
L1M1 (Limbah 5% + Mikoriza 50gr)	44,12%
L2M0 (Limbah 15%)	0
L2M1 (Limbah 15% + Mikoriza 50gr)	42,9%
L3M0 (Limbah 25%)	0
L3M1 (Limbah 25% + Mikoriza 50gr)	37,45%
L4M0 (Limbah 35%)	0
L4M1 (Limbah 35% + Mikoriza 50gr)	33,75%

Lampiran 2.

Analisis varian pengaruh limbah LMB hasil ekstraksi dan inokulasi mikoriza terhadap tinggi tanaman, panjang akar, berat kering akar, jumlah daun, luas daun dan persentase infeksi berumur 3 bulan setelah tanam.

A. Analisis varian rata-rata tinggi tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria (L)* Nielsen) berumur 3 bulan setelah tanam

Sumber Variasi	DK	JK	RJK	F_{Hitung}	$F_{0.05}$
Rata-rata	1	3410.486	3410.486		
Perlakuan L	4	105.811	26.453	9.132*	2.69
Perlakuan M	1	25.680	25.680	8.865*	4.17
Interaksi L x M	4	9.356	2.339	0.808^{tn}	2.69
Kekeliruan	30	86.899	2.8966		
Total	40	3638.233			

Keterangan : * = berbeda nyata pada taraf 5%

tn = tidak berbeda nyata pada taraf 5%

B. Analisis varian rata-rata panjang akar tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) berumur 3 bulan setelah tanam

Sumber Variasi	DK	JK	RJK	F_{Hitung}	$F_{0.05}$
Rata-rata	1	5417.256	5417.256		
Perlakuan L	4	85.707	21.427	2.786*	2.69
Perlakuan M	1	48.400	48.400	6.294*	4.17
Interaksi L x M	4	18.455	4.614	0.600^{tn}	2.69
Kekeliruan	30	230.696	7.6899		
Total	40	5800.515			

Keterangan : * = berbeda nyata pada taraf 5%

tn = tidak berbeda nyata pada taraf 5%

C. Analisis varian rata-rata berat kering akar tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) berumur 3 bulan setelah tanam

Sumber Variasi	DK	JK	RJK	F_{Hitung}	$F_{0.05}$
Rata-rata	1	0.592	0.592		
Perlakuan L	4	0.012	0.003	0.514^{tn}	2.69
Perlakuan M	1	0.033	0.033	5.532*	4.17
Interaksi L x M	4	0.012	0.003	0.489^{tn}	2.69
Kekeliruan	30	0.181	0.006		
Total	40	0.831			

Keterangan : * = berbeda nyata pada taraf 5%

tn = tidak berbeda nyata pada taraf 5%

D. Analisis varian rata-rata jumlah daun tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) berumur 3 bulan setelah tanam

Sumber Variasi	DK	JK	RJK	F_{Hitung}	$F_{0.05}$
Rata-rata	1	2496.400	2496.400		
Perlakuan L	4	96.100	24.025	2.607^{tn}	2.69
Perlakuan M	1	57.600	57.600	6.250*	4.17
Interaksi L x M	4	13.400	3.350	0.363^{tn}	2.69
Kekeliruan	30	276.500	9.2167		
Total	40	2940.000			

Keterangan : * = berbeda nyata pada taraf 5%

tn = tidak berbeda nyata pada taraf 5%

E. Analisis varian rata-rata luas daun tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) berumur 3 bulan setelah tanam

Sumber Variasi	DK	JK	RJK	F_{Hitung}	$F_{0.05}$
Rata-rata	1	149478890.625	149478890.625		
Perlakuan L	4	37577891	9394473	4.223*	2.69
Perlakuan M	1	13343715	13343715	5.999*	4.17
Interaksi L x M	4	2315517	578879.2	0.260^{tn}	2.69
Kekeliruan	30	66734960	2224499		
Total	40	269450973.000			

Keterangan : * = berbeda nyata pada taraf 5%

tn = tidak berbeda nyata pada taraf 5%

F. Analisis varian rata-rata persentase infeksi akar tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) berumur 3 bulan setelah tanam

Sumber Variasi	DK	JK	RJK	F_{Hitung}	$F_{0.05}$
Rata-rata	1	16244.930	16244.930		
Perlakuan L	4	162.831	40.708	2.575^{tn}	2.69
Perlakuan M	1	16244.930	16244.930	1027.53*	4.17
Interaksi L x M	4	162.831	40.708	2.575^{tn}	2.69
Kekeliruan	30	474.287	15.8096		
Total	40	33289.810			

Keterangan : * = berbeda nyata pada taraf 5%

tn = tidak berbeda nyata pada taraf 5%

Lampiran 3.

Rata-rata kandungan logam berat pada medium perlakuan sebelum dan setelah tanam dengan sengon dan inokulasi mikoriza.

Kandungan Pb

Hasil (ppm)	**Konsentrasi limbah LMB hasil ekstraksi**			
	l_1	**l_2**	**l_3**	**l_4**
Sebelum Perlakuan	26.1	26.9	32.8	39.05
Tanpa Inokulasi Mikoriza	23.5	25.5	30.3	51
Inokulasi Mikoriza	16	21.5	30	32

Kandungan Zn

Hasil (ppm)	**Konsentrasi limbah LMB hasil ekstraksi**			
	l_1	**l_2**	**l_3**	**l_4**
Sebelum Perlakuan	93.7	126.7	170.1	191.2
Tanpa Inokulasi Mikoriza	71.8	123.85	231.1	227.15
Inokulasi Mikoriza	77.1	114.7	225	177.45

Kandungan Cu

Hasil (ppm)	**Konsentrasi limbah LMB hasil ekstraksi**			
	l_1	**l_2**	**l_3**	**l_4**
Sebelum Perlakuan	63.8	70.2	83.45	88.25
Tanpa Inokulasi Mikoriza	58.3	67.6	94.9	100.6
Inokulasi Mikoriza	42.25	63.6	82.6	77.85

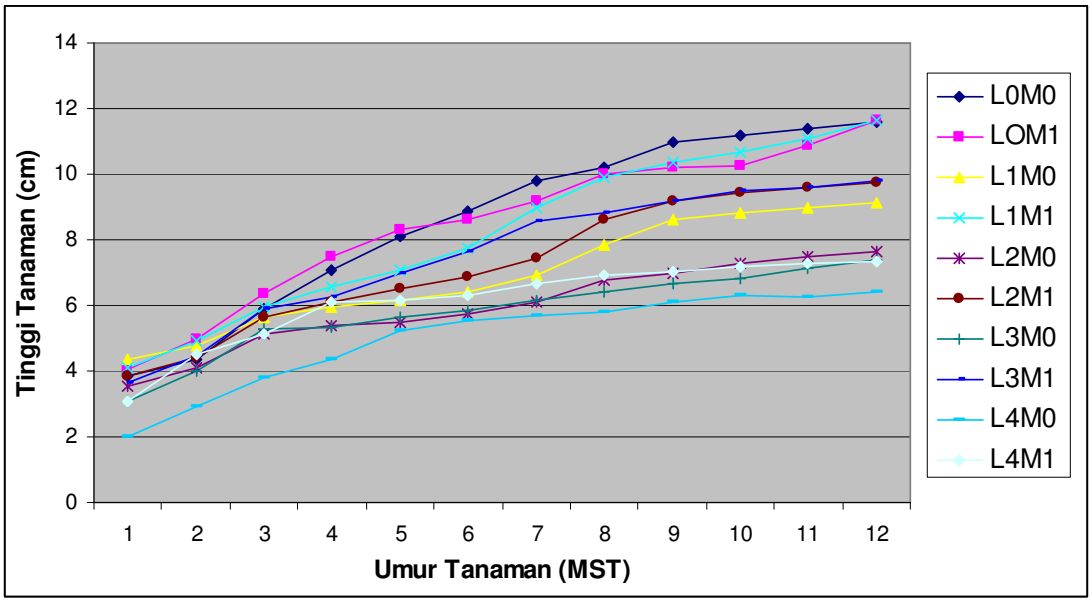
Lampiran 4.

Hasil analisis limbah LMB hasil ekstraksi dan medium perlakuan

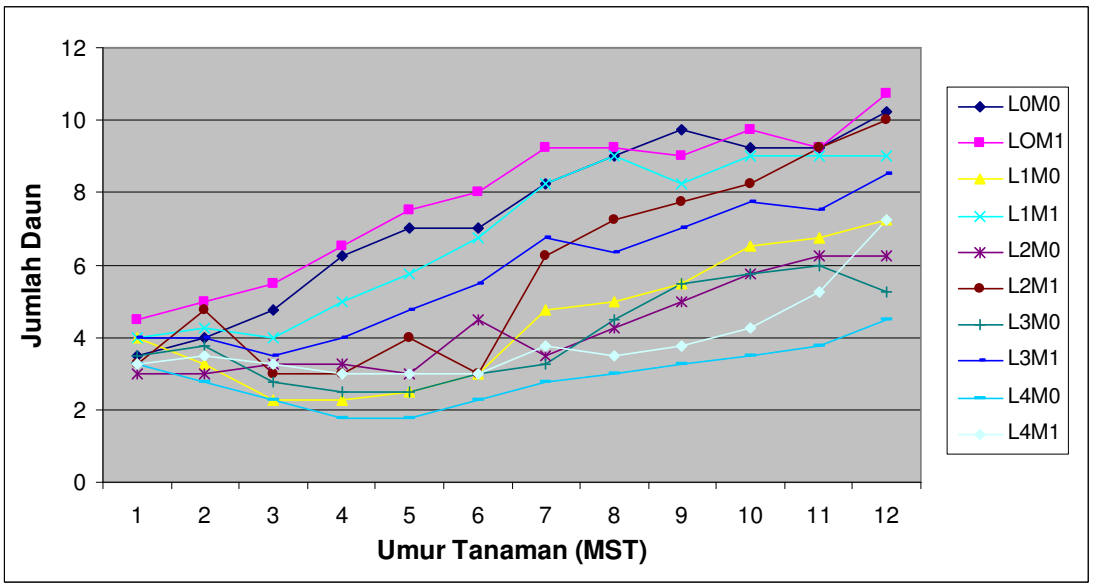
No	Parameter	Satuan	Medium perlakuan					Limbah
			0%	5%	15%	25%	35%	100%
	Fisika							
1	pH		6.1	6	5.6	5.3	5	3.4
2	Kelembaban	%	72	70	70	69	67	
	Kimia							
	Unsur Makro							
1	C	%	1.38	2.36	3.75	4.66	4.92	19.17
2	N	%	0.11	0.14	0.15	0.15	0.17	0.35
3	C/N		13	17	25	31	29	55
4	P	ppm	6.7	5.8	6.7	8	8.9	9.2
	Logam Berat							
1	Pb	ppm	12.75	26.1	26.9	32.8	39.05	62
2	Zn	ppm	65.4	93.7	126.7	170.1	191.2	591.7
3	Cu	ppm	34.65	63.8	70.2	83.45	88.25	176.7

Lampiran 5

Grafik pertumbuhan tinggi dan jumlah daun tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) selama 12 minggu penanaman.



Grafik pertumbuhan tinggi tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) selama 12 minggu penanaman.



Grafik pertambahan jumlah daun tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) selama 12 minggu penanaman.

Lampiran 6

Limbah lumpur minyak bumi (LMB) hasil ekstraksi

Limbah lumpur minyak bumi (LMB) hasil ekstraksi merupakan limbah yang dihasilkan dari pengolahan limbah lumpur minyak bumi asal Balongan secara konvensional melalui proses kimia dan fisik, yaitu secara ekstraksi. Pengolahan secara ekstraksi merupakan proses pemanfaatan limbah lumpur minyak bumi asal Balongan menjadi bahan bangunan dan bahan bakar. Hal itu dilakukan dengan cara mengambil dan memanfaatkan kembali sisa minyak yang masih terkandung di dalam limbah tersebut (Proses tidak dipublikasikan). Limbah LMB hasil ekstraksi mengandung logam berat, yaitu Pb (62 ppm), Zn (591,7 ppm) dan Cu (176 ppm) (Tidak dipublikasikan).

Lampiran 7

Teknik pewarnaan akar

Alat dan bahan

Formalin asam asetic (FAA), NH_4OH, H_2O_2 10%, air, asam laktat, gliserin, air fuchsin, fenol, KOH, HCl, label, botol vial, scalpel, gunting, alat tulis, cawan petri, saringan, otoklaf, gelas kimia, pembakar bunsen, stopwatch dan cutter.

Prosedur

I. Pengumpulan contoh akar

Akar di sekitar tanaman diambil dengan cara membongkar akar, kemudian dipotong dan dimasukan ke dalam botol yang berisi FAA.

II. Pembersihan dan pewarnaan akar

Metode Pemanasan dari Kormanik dan Mc Graw's (1982) :

1. Akar-akar dikeluarkan dari botol vial dan dicuci dengan air untuk menghilangkan FAA.
2. Akar-akar dimasukan ke dalam gelas kimia berisi KOH 10%.
3. Diotoklaf selama 10 menit pada tekanan 15 psi.
4. KOH dibuang dan akar dicuci dengan sangat hati-hati. Dibilas sebanyak 3 kali dengan air kran atau sampai warna coklat tidak tampak.
5. Akar-akar tadi dimasukan ke dalam larutan H_2O_2 10% selama 10-20 menit.
6. Akar-akar dibilas dengan air sebanyak 3-4 kali untuk menghilangkan H_2O_2 10%.
7. Dimasukan ke dalam HCl 1% selama 3-4 menit, kemudian HCl 1% dibuang.

8. Dimasukkan ke dalam air fuchsin-asam laktat 0,02% dan diotoklaf selama 10 menit pada tekanan 15 psi.
9. Spesimen ditaruh pada cawan petri yang berisi laktofenol untuk destining.
10. Dibilas dengan air beberapa kali dan dimasukan ke dalam cawan petri berisi larutan gliserin 50%.
11. Akar sudah siap dilihat infeksinya.

Lampiran 8

Foto-foto penelitian

Foto 1. Tanaman Sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) pada perlakuan tanpa inokulasi mikoriza (m_0) berumur 3 bulan setelah tanam

Foto 2. Tanaman Sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) pada perlakuan inokulasi mikoriza (m_1) berumur 3 bulan setelah tanam

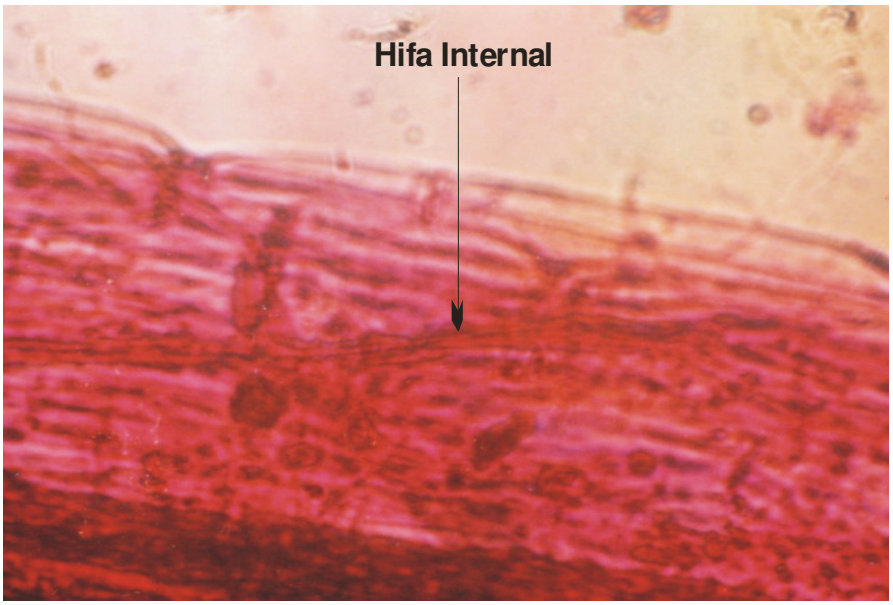


Foto 3. Hifa Internal Mikoriza

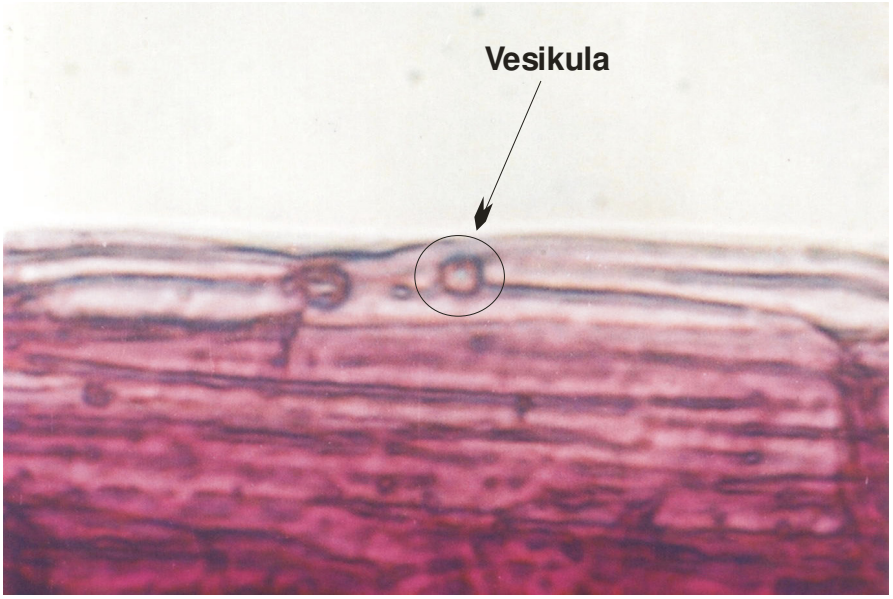


Foto 4. Vesikula

Foto 5. Limbah lumpur minyak bumi hasil ekstraksi

Foto 6. Rumah kaca PPSDAL UNPAD