

M-BITION (Microteknologi Biomethal Remediation): REMEDIASI LAHAN PASCA TAMBANG BERBASIS MIKROORGANISME TERINDUKSI DALAM SEL TANAMAN HIPERAKUMULATOR DI PROVINSI RIAU

M-BITION (Microteknologi Biomethal Remediation): POST – MINING LAND REMEDITION BASED ON MICROORGANISM INDUCED IN HYPER COMULATOR PLANT CELLS IN RIAU PROVINCE

Syahabudin Ahmad, Fauzan Alamsyah Nasution

Fakultas Pertanian, Universitas Riau

Email : syahabudinahmad69@gmail.com

ABSTRACT

Riau is one of the provinces that has a large natural resource potential, one of the natural resources utilized in the mining industry is petroleum. The petroleum mining industry in Indonesia has problems in the post mining period. Problems that occur at the time of post-mining is the presence of petroleum contamination which causes critical land. Petroleum has toxic compounds, namely hydrocarbons and heavy metals. Biological remediation efforts are a solution in remediating petroleum in post-mining land. Innovations that can be made with the use of Microtechnology Biomethal Remediation (M-BITION). M-BITION is an attempt to introduce sorghum plant cells by using *Pseudomonas putida* as bioremediation of post-mining land in Riau Province. The study objective was to assess the use of *P. putida* induced in sorghum plant tissue (M-BITION) in tackling environmental pollution and increasing land productivity. The method was documentary study. The data used in making references and making ideas are obtained from various library sources consisting of books, magazines, electronic media, theses, theses, dissertations and scientific journals. The data that has been collected was analyzed using document content analysis (content analysis document). M-BITION could be used as a remediation of oil-contaminated land that was easy to apply, economical, safe for the environment and fast process. *P. Putida* will increase the protection and growth of sorghum plants and will enrich biological agents on contaminated land. (This manuscript was a winners of the 23rd National Conference on National Technology Awakening Day (HAKTEKNAS) 2018).

Keywords : M-BITION, petroleum, post mining period, *pseudomonas putida*.

ABSTRAK

Riau merupakan salah satu Provinsi yang memiliki potensi sumber daya alam yang besar, salah satu sumber daya alam yang dimanfaatkan dalam bidang

industri pertambangan adalah minyak bumi. Industri pertambangan minyak bumi di Indonesia memiliki permasalahan pada saat pasca tambang. Permasalahan yang terjadi pada saat pasca tambang yaitu adanya kontaminasi minyak bumi yang menyebabkan terjadinya lahan kritis. Minyak bumi memiliki senyawa toksik yaitu hidrokarbon dan logam berat. Upaya remediasi biologi menjadi solusi dalam meremediasi minyak bumi pada lahan pasca tambang. Inovasi yang dapat dilakukan dengan penggunaan Microteknologi Biomethal Remediation (M-BITION). M-BITION merupakan suatu upaya mengintroduksi sel tanaman sorgum dengan menggunakan *Pseudomonas putida* sebagai bioremediasi lahan pasca tambang di Provinsi Riau. Tujuan penelitian ini adalah menilai pemanfaatan *P. putida* yang terinduksi dalam jaringan tanaman sorgum (M-BITION) dalam menanggulangi pencemaran lingkungan dan peningkatan produktivitas lahan. Metode pengumpulan yang digunakan adalah studi dokumenter. Data yang digunakan dalam pembuatan referensi dan pembuatan gagasan didapatkan dari berbagai sumber pustaka yang terdiri dari buku, majalah, media elektronik, skripsi, tesis, disertasi dan jurnal ilmiah. Data yang telah terkumpul dianalisis menggunakan analisis isi dokumen (Content analysis dokumen). Penggunaan M-BITION dapat digunakan sebagai remediasi lahan terkontaminasi minyak bumi yang mudah pengaplikasiannya, ekonomis, aman bagi lingkungan dan cepat prosesnya. *P. Putida* akan meningkatkan perlindungan dan pertumbuhan tanaman sorgum dan akan memperkaya agensia hayati pada lahan yang terkontaminasi. (Artikel ini merupakan salah satu Pemenang Lomba Karya Tulis Ilmiah Nasional Hari Kebangkitan Teknologi Nasional (HAKTEKNAS) Ke 23 -Tahun 2018).

Kata Kunci : M-BITION, minyak bumi, pasca tambang, *pseudomonas putida*

PENDAHULUAN

Riau merupakan salah satu Provinsi yang memiliki potensi sumber daya alam yang banyak dimanfaatkan dalam bidang industri pertambangan. Salah satu sumber daya alam yang dimanfaatkan dalam bidang industri pertambangan adalah minyak bumi. Industri pertambangan minyak bumi di Indonesia memiliki permasalahan pada saat pasca tambang berupa adanya kontaminasi minyak bumi yang menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan dan lahan kritis.

Salah kendala dalam pengembangan industri pertambangan ditinjau dari aspek adanya lahan yang terkontaminasi minyak bumi. Jumlah lahan terkontaminasi minyak bumi di Provinsi Riau yang disumbangkan PT. Chevron Pacific Indonesia pada tahun 2003 sebesar 500.000 m³ (PT. CPI, 2012). Kurniawan dan Efendi (2014) menyatakan bahwa lahan terkontaminasi minyak bumi mengandung senyawa berbahaya yang berdampak negatif terhadap lingkungan seperti logam berat dan senyawa organoklorin

(Hidrokarbon). Upaya remediasi secara biologi yang dilakukan adalah dengan pemanfaatan bakteri *Pseudomonas putida* yang di introduksikan kedalam jaringan tanaman sorgum melalui proses enkapsulasi benih sorgum dengan penambahan IPB-RI 1 yang diberi nama M-BITION. M-BITION merupakan inovasi remediasi lahan dengan pemanfaatan bakteri *Pseudomonas putida* dengan penambahan IPB-RI 1 yang di introduksikan kedalam jaringan dan tanaman sorgum yang diaplikasikan dalam bentuk kapsul benih sorgum. Inovasi remediasi lahan menggunakan M-BITION belum pernah dilaporkan. Selain itu, aplikasi M-BITION menjadi inovasi metode remediasi yang bertujuan untuk memudahkan dalam aplikasi remediasi lapangan.

P. putida merupakan bakteri yang telah banyak dimanfaatkan sebagai agen bioremediasi dan agensia hayati perlindungan tanaman. Kurniawan dan Efendi (2014) menyatakan bahwa *P. putida* AK. A merupakan bakteri yang lebih baik dibanding *P. diminuta* AK. B dalam remediasi hidrokarbon di Laboratorium. Soesato (2008) menyatakan bahwa *P. putida* merupakan bakteri antagonis yang banyak digunakan untuk bioremediasi, biokontrol dalam perlindungan tanaman dan pemacu pertumbuhan tanaman (PGPR).

Tanaman sorgum merupakan tanaman sereal yang berpotensi dalam meremediasi logam berat yang

terdapat didalam minyak bumi. Revanti et al., (2010) menyatakan bahwa sorgum merupakan salah satu jenis tanaman akumulator logam berat. Inovasi ini diharapkan menjadi upaya remediasi lahan terkontaminasi minyak bumi dan menanggulangi pencemaran lingkungan serta meningkatkan potensi lahan yang bebas penyakit tanaman dan kaya agensia hayati yang dapat memacu pertumbuhan tanaman sehingga mendukung pengembangan pertanian dan penanggulangan pencemaran lingkungan.

Berdasarkan hal-hal yang telah dikemukakan tujuan penelitian ini adalah menilai pemanfaatan *P. putida* yang terinduksi dalam jaringan tanaman sorgum (M-BITION) dalam menanggulangi pencemaran lingkungan dan peningkatan produktivitas lahan.

METODE

Metode Pengumpulan Data

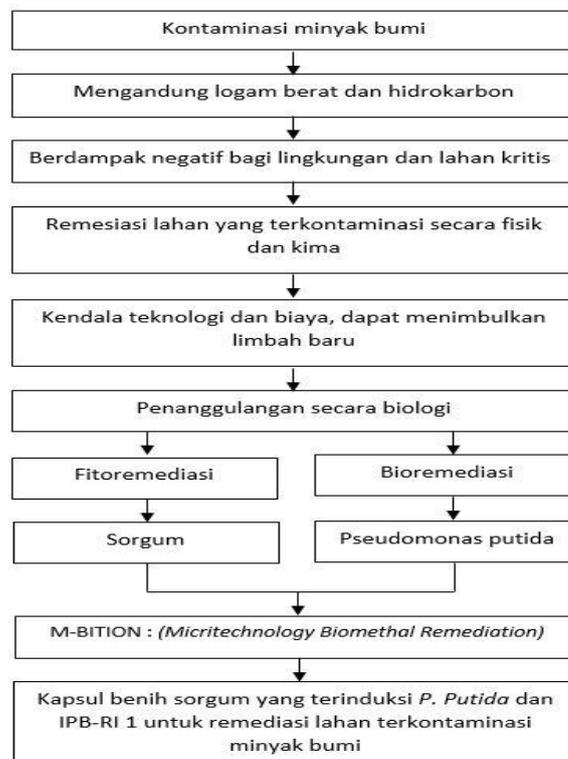
Metode pengumpulan yang digunakan adalah studi dokumenter. Data yang digunakan dalam pembuatan referensi dan pembuatan gagasan didapatkan dari berbagai sumber pustaka yang terdiri dari buku, majalah, media elektronik, skripsi, tesis, disertasi dan jurnal ilmiah. Data yang telah terkumpul dianalisis menggunakan analisis isi dokumen (Content analysis dokument) berdasarkan penjelasan Moleong dan Lexy (2007).

Analisis data yang dilakukan secara logis dan sistematis

menghasilkan suatu solusi yang dapat menyelesaikan permasalahan yang diambil dimasyarakat dan bersifat deskriptif, inovatif dan informatif. Selanjutnya disusun saran-saran yang dirangkum dalam bentuk kesimpulan untuk penyelesaian masalah yang terjadi. Tahapan penulisan dilakukan dengan mencari masalah yang berkembang dimasyarakat, selanjutnya pengumpulan data tentang masalah yang diangkat, pengolahan atau analisis data, perumusan solusi, dan penarikan kesimpulan.

Pembahasan difokuskan pada pemanfaatan *Pseudomonas putida* yang terintroduksi dalam jaringan tanaman sorgum untuk remediasi lahan terkontaminasi minyak bumi. Setelah mengidentifikasi masalah

dan membahas tentang cara penanggulangannya, maka didapatkan suatu upaya untuk penyelesaian masalah, dan potensi sumber daya lingkungan yang menjadi solusi sehingga dilakukan pembuatan gagasan. Gagasan berupa kesimpulan yang dikembangkan menjadi suatu ide dari permasalahan yang terjadi untuk menciptakan solusi yang belum ada sebelumnya, sehingga dihasilkan suatu solusi yang diperkirakan dapat membantu dalam mengimplementasikan gagasan yang dibuat untuk menyelesaikan permasalahan yang terjadi. Gagasan baru yang telah dihasilkan kemudian dipaparkan secara jelas dan dideskripsikan secara rinci (Gambar 1).



Gambar 1. Kerangka Gagasan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan M-BITION

M-BITION dibuat dengan menggunakan metode enkapsulasi berdasarkan penelitian Priadi (2011) dengan memodifikasi bahan dalam pembuatan kapsul. Bahan yang digunakan dalam pembuatan kapsul adalah 100 g tanah, 100 gram kompos, 100 g tepung tapioka, media IPB-RI 1, benih sorgum dan isolat *P. putida*. Pembuatan kapsul dimulai dengan melarutkan tepung tapioka dengan air dengan perbandingan 10:1 sambil dipanaskan hingga

mengental dan membentuk gel. Bahan-bahan (tanah, kompos, IPB-RI 1 dan *P. putida*) diaduk sampai homogen dan ditambahkan dengan larutan tapioka didalam baki plastik. Benih sorgum kemudian dienkapsulasi secara manual menggunakan campuran tersebut hingga membentuk butiran-butiran berdiameter $\pm 1,0$ cm (Gambar 2). Benih sorgum yang telah dienkapsulasi kemudian dikering anginkan pada ruangan terbuka.



Gambar 2. Kapsul benih sorgum

Aplikasi dan Mekanisme Remediasi M-BITION

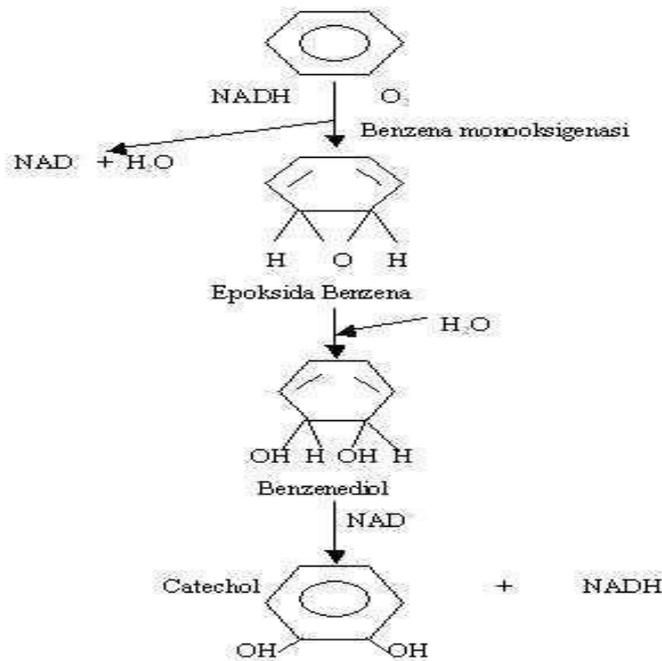
Aplikasi remediasi lahan yang terkontaminasi minyak bumi dilakukan dengan cara membudidayakan benih sorgum yang terenkapsulasi (M-BITION) pada lahan yang terkontaminasi ditanam dengan jarak (60cm-70cm) x 20cm sesuai dengan penelitian Tabri dan Zubaktirodin (2013). *P. putida* akan aktif dan beradaptasi pada tanah yang terkontaminasi. Selanjutnya *P. putida* akan bergerak dan menyebar didalam tanah

menggunakan flagelum. Menurut Soesanto (2008) *P. putida* merupakan bakteri yang memiliki habitat didalam tanah. Sifat *P. Putida* sebagai pemacu pertumbuhan perakaran akan mempercepat proses pembentukan akar tanaman sorgum pada lahan yang terkontaminasi. Menurut Soesanto (2008) *P. putida* berperan sebagai rhizobakteri pemacu pertumbuhan tanaman (PGPR). Selanjutnya *P. putida* bersimbiosis pada perakaran tanaman dan berfungsi sebagai pelindungan

tanaman serta bioremediasi minyak bumi. Menurut Soesanto (2008) *P. putida* merupakan bakteri yang mempunyai kemampuan dalam mengkolonisasi perakaran tanaman secara agresif, sehingga dikenal istilah rhizobakteri.

P. putida yang telah menyebar dan mengkolonisasi didaerah perakaran tanaman selanjutnya akan mendegradasi senyawa toksik minyak bumi pada lahan terkontaminasi. Mekanisme degradasi hidrokarbon yang dilakukan *P. putida* berupa pemanfaatan hidrokarbon sebagai metabolisme pertumbuhannya. Menurut Karwati (2009) *P. putida*

memanfaatkan senyawa hidrokarbon dalam proses metabolisme yang diawali dengan pembentukan katekol atau protokatekuat. Senyawa tersebut selanjutnya didegradasi menjadi senyawa yang dapat masuk ke dalam siklus Krebs, yaitu asam suksinat, asetil Ko-A, dan asam piruvat (Gambar 3). *P. putida* memiliki kelajuan degradasi senyawa hidrokarbon sebesar 96,1 ppm/hari dan persentase penurunan sebesar 91,51%. Hal ini berdasarkan pada penjelasan Yoswaty (2002).



Gambar 3. Reaksi degradasi hidrokarbon oleh *P. putida*.

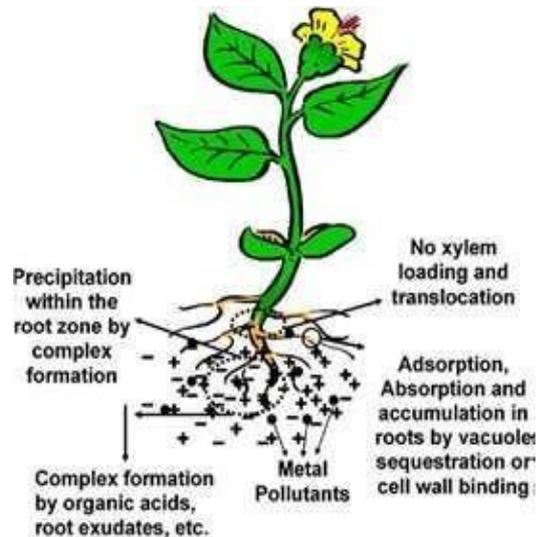
P. putida dapat mendegradasi logam berat yang bersifat toksik melalui mekanisme reduksi logam berat. Menurut Rahman *et al.* (2007)

P. putida merupakan bakteri yang toleran terhadap logam berat toksik seperti Cr dan Cd sehingga dapat digunakan dalam mereduksi Cr dan

Cd. Reduksi bermanfaat dalam menekan ketoksitasan logam berat dan memudahkan sorgum dalam proses penstabilan logam berat. *P. putida* mereduksi menggunakan H₂, laktat, piruvat, asetat sebagai donor elektron, Fe(III) dan Mn(IV) sebagai akseptor elektron dan mereduksinya menjadi Fe(II) dan Mn (II) (Sumarsih, 2013). *P. putida* memiliki kecepatan dalam mereduksi Cr(IV) dengan kecepatan 6 ppm min⁻¹ yang diuji pada medium agar yang mengandung Cr(IV) (Lowe *et al.*,2002).

Tanaman sorgum meremediasi logam berat melalui mekanisme fitostabilisasi. Fitostabilisasi merupakan mekanisme penstabilan

senyawa toksik menjadi senyawa tidak toksik. Menurut Madejon *et al.* (2002) sorgum dapat dijadikan fitostabilisasi lahan yang terkontaminasi logam berat. Tanaman sorgum menstabilisasi logam berat melalui proses imobilisasi polutan. Selanjutnya polutan tersebut diadsorpsi pada permukaan akar dan mengendapkan presipitat polutan pada zona akar (Gambar 4) (ITRC, 2001). Mekanisme tanaman sorgum dalam meremediasi logam berat membuat hasil tanaman sorgum aman untuk dikonsumsi sebagai bahan pangan atau pakan.



Gambar 4. Mekanisme fitostabilisasi tanaman.

Tanaman sorgum merupakan tanaman pengakumulasi logam berat. Menurut Ustak dan Vana (1998) sorgum mengakumulasi jumlah yang signifikan dari logam berat dan dapat digunakan untuk pemurnian tanah dari Cd. Hasil dari

akumulasi logam berat tidak disimpan pada karbohidrat melainkan pada unsur makro konten. Sehingga biji sorgum aman untuk dikonsumsi sebagai bahan pangan. Menurut Almoda *et al.* (2007) penyimpanan logam berat

yang diakumulasi oleh sorgum meliputi unsur makro konten dan tidak pada karbohidrat. Tanaman sorgum yang telah menyerap logam berat pada saat proses akumulasi dapat digunakan sebagai bioenergi yang ramah lingkungan. Sehingga tanaman sorgum tidak hanya berfungsi sebagai bahan dasar pangan tetapi dapat berfungsi sebagai bahan dasar dalam pembuatan bioetanol. Wang *et al.* (2014), menyatakan bahwa sorgum dapat menyerap berbagai logam berat dan memiliki kenggunaan dalam produksi bioetanol.

IPB-RI 1 yang terenkapsulasi pada kapsul benih sorgum membuat jumlah *P. putida* meningkat sebanyak 100 kali lipat, sehingga proses remediasi logam berat dapat dilakukan 100 kali lipat lebih cepat dibandingkan tanpa pemberian IPB-RI 1. Menurut Gunawan (2011) IPB RI-1 mampu meningkatkan populasi *Azotobacter* 100 kali lipat. Lahan yang terkontaminasi minyak bumi dapat digunakan secara normal untuk budidaya tanaman setelah pemanenan yaitu selama 4 bulan.

Logam berat yang masuk kedalam jaringan tanaman sorgum akan didegradasi oleh *P. putida* yang berada didalam jaringan tanaman sorgum. Selain itu, *P. putida* juga akan masuk kedalam jaringan reproduktif dan akan mengaktifkan sistem ketahanan atau menstimulasi mekanisme resistensi alami tanaman tanpa introduksi gen-gen baru, sehingga akan

menghasilkan varietas turunan yang resisten dari hasil tanaman sorgum. Menurut Hoerussalam *et al.* (2013) induksi ketahanan sistemik melalui mekanisme PGPR dapat dijadikan sebagai upaya dalam mendapatkan keragaman genetik melalui pengaktifan sistem ketahan dan stimulasi resistensi tanaman tanpa menggunakan gen-gen baru. Tanaman sorgum yang telah dibudidayakan akan menghasilkan tanaman baru varietas resiten terhadap serangan hama dan penyakit. Menurut Hoerussalam *et al.* (2013) tanaman dari varietas yang mengalami peningkatan ketahanan tanaman melalui mekanisme PGPR akan mendapatkan benih tahan generai S1.

P. putida yang tertinggal didalam tanah berkembang biak dan berfungsi menjadi perlindungan bagi tanaman yang dibudidayakan selanjutnya. Lahan terkontaminasi minyak bumi yang telah ternetralisir melalui proses remediasi yang dilakukan *P. putida* dan tanaman sorgum dapat meningkatkan produktivitas lahan pertanian.

Analisis Biaya Remediasi Menggunakan M-BITION

Biaya yang diperlukan untuk proses remediasi menggunakan M-BITION dalam proses remediasi pada lahan terkontaminasi minyak bumi di provinsi Riau per 1 hektar dijelaskan pada tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 1. Biaya pengeluaran

No	Keterangan	Jumlah
1	Biaya pembelian alat	Rp 3.841.467
2	Biaya pembelian bahan	Rp 21.400.510
3	Biaya tenaga kerja	Rp 1.200.000
Total Biaya (TC)		Rp 26.441.977

Tabel 2. Total Penerimaan

No	Keterangan	Jumlah
1	Produksi (Q)	5 ton
2	Harga Jumlah Sorgum (p)	Rp 4.500/kg
Total Penerimaan (TR)		Rp. 22.500.000

Fix cost (FC) adalah biaya yang dikeluarkan untuk membeli input dimana pemakaiannya lebih dari satu kali dengan jangka waktu lebih dari 1 tahun. Biasanya yang termasuk fix cost atau biaya tetap adalah mesin produksi, lahan dan alat-alat lainnya yang dibutuhkan dalam produksi. Biaya tetap menggunakan biaya penyusutan untuk alat-alat yang digunakan. Sementara variable cost (VC) atau biaya variabel yaitu biaya yang digunakan untuk membeli input berupa bahan yang pemakaiannya hanya sekali pakaidengan jangka waktu kurang dari 1 tahun. Total biaya (TC) merupakan semua penggabungan dari biaya tetap dan biaya variabel.

Berdasarkan tabel rincian biaya diatas maka dapat dilihat bahwa biaya yang dibutuhkan adalah sebesar Rp 26.441.977 yang terbagi dari biaya tetap dari alat dan tenaga kerja sebesar Rp 5.041.467 dan biaya variabel pada pembelian bahan sebesar Rp 21.400.510. Dalam proses produksi juga dikenal

dengan revenue atau penerimaan. Total revenue yaitu total penerimaan yang didapat pada satu kali proses produksi. Total penerimaan adalah hasil kali dari banyaknya output dengan harga persatuannya. Produksi dari sorgum selama satu periode tanam atau 4 bulan adalah sebesar \pm 5 ton. Harga sorgum yaitu sebesar Rp 4.500/kg. Sehingga penerimaan dari sorgum adalah Rp 22.500.000.

Jika dilihat dari efisiensi budidaya sorgum, maka budidaya tanaman sorgum ini akan mendapat kerugian karena besarnya biaya yang dikeluarkan tidak dapat tertutupi oleh total penerimaan yang didapat. Kerugian pada budidaya tanaman sorgum menjadi biaya yang dikeluarkan untuk proses remediasi tanah. Sehingga dapat menekan biaya dalam remediasi.

Besarnya biaya yang dikeluarkan untuk proses remediasi yaitu sebesar Rp 3.941.977. Biaya tersebut didapat dari pengurangan biaya input dengan biaya output. Maka biaya yang dikeluarkan untuk

remediasi ini merupakan biaya yang paling kecil dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan apabila menggunakan metode yang lain.

Kelebihan Remediasi Minyak Bumi Menggunakan M-BITION

Kelebihan yang dimiliki dalam proses remediasi menggunakan M-BITION yaitu proses aplikasinya lebih mudah diterapkan, tidak meninggalkan limbah baru, lebih ekonomis serta prosesnya lebih cepat 100 kali lipat dibandingkan metode remediasi yang lain. Bioremediasi yang dilakukan *P. putida* memiliki biaya yang lebih ekonomis dan mudah dibandingkan remediasi lahan yang terkontaminasi serta dapat dilaksanakan secara berkelanjutan. Selain itu, fitoremediasi yang dilakukan menggunakan sorgum juga memiliki keunggulan yang sama dengan bioremediasi yaitu lebih ekonomis dalam aplikasinya. Menurut Nur (2013) remediasi logam berat secara biologi hanya membutuhkan US\$ 80/kubik yard sedangkan secara fisik membutuhkan US\$ 250/kubik yard. Sedangkan remediasi dengan menggunakan M-BITION per hanya membutuhkan biaya US\$ 293/ Ha.

Remediasi menggunakan M-BITION dapat mempercepat proses degradasi minyak bumi dilahan yang terkontaminasi. Hal ini dikarenakan sorgum yang dibudidayakan dilahan yang terkontaminasi akan membantu *P. putida* dalam mendegradasi logam

berat. Selain itu IPB-RI 1 juga akan memacu peningkatan populasi *P. putida* sebanyak 100 kali lipat. *P. putida* yang diaplikasikan dengan tanaman sorgum berfungsi sebagai agensia pelindung, sehingga tidak lagi menggunakan pestisida dalam teknis budidaya sorgum. Peniadaan penggunaan pestisida dapat menekan munculnya pencemaran logam berat baru. Pestisida merupakan bahan agrokimia yang berpotensi dalam menyumbangkan logam berat pada lahan pertanian.

Lahan yang telah ternetralisir dari kontaminasi minyak bumi tersebut apabila digunakan dalam teknis budidaya tanaman pertanian selanjutnya tidak lagi menggunakan pestisida dalam teknis budidayanya karena didalam tanah tersebut sudah tersebar *P. putida* yang berfungsi sebagai perlindungan tanaman. Sehingga dapat menekan pengeluaran biaya pestisida saat budidaya tanaman pertanian selanjutnya.

Hasil dari tanaman sorgum dapat digunakan sebagai bahan dasar pangan dan pakan. Sehingga akan menambah biaya pemasukan dari penjualan hasil sorgum. Proses remediasi menggunakan sorgum dapat menekan pengeluaran biaya dan tenaga karna adanya pemasukan dari hasil penjualan sorgum.

Remediasi menggunakan M-BITION memiliki sifat keberlanjutan dimana memiliki konsep yang mudah diterapkan, ekonomis dan ramah lingkungan. Selain itu penggunaan sorgum dan

P. putida meningkatkan pemasukan serta meningkatkan jumlah agensia hayati dalam tanah untuk perlindungan bagi tanaman.

Arah dan Potensi Pengembangan

a. Arah Pengembangan

Pengembangan teknologi remediasi lahan terkontaminasi minyak bumi dengan menggunakan M-BITION diarahkan dalam upaya pengembangan yang lebih berkelanjutan, ekonomis dan mudah dilakukan oleh balai proteksi bahkan masyarakat serta dapat diarahkan untuk mendukung pertanian berkelanjutan. Pemanfaatan kapsul benih sorgum yang mengandung *P. putida* dan IPB-RI 1 menjadi upaya remediasi lahan terkontaminasi minyak bumi yang ramah lingkungan dan dapat dikembangkan.

b. Potensi Pengembangan

Pemanfaatan M-BITION dalam remediasi lahan terkontaminasi minyak bumi memiliki potensi pengembangan dibidang lingkungan, pertanian dan industri. Hal ini dikarenakan inovasi kombinasi benih sorgum dan *P.putida* memiliki daya tarik tersendiri karena dapat menekan biaya yang sangat besar dari proses remediasi lahan terkontaminasi minyak bumi. Selain itu, ditinjau cara aplikasi remediasi menggunakan kapsul benih sorgum yang mengandung *P. putida* dan IPB-RI 1 lebih mudah diterapkan, tidak menimbulkan pencemaran lingkungan serta merupakan metode

bioremediasi tercepat dari metode lainnya.

Remediasi lahan terkontaminasi menggunakan M-BITION memiliki potensi untuk dikembangkan secara berlanjut. Hal ini dikarenakan sorgum merupakan tanaman yang memiliki daya adaptasi tinggi dibandingkan dengan tanaman lainnya. Sedangkan *P. putida* tersedia dalam jumlah yang besar didalam tanah. Selain itu, remediasi menggunakan M-BITION memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan. Hal ini dikarenakan remediasi menggunakan MBITION memiliki keuntungan untuk dikembangkan selain sebagai remediasi yaitu sebagai agensia hayati perlindungan tanaman yang berada didalam tanah tersebut serta menambah pemasukan dari hasil sorgum yang dibudidayakan.

Proses Pengembangan M-BITION Jangka Panjang

Pengembangan M-BITION jangka panjang dilakukan melalui kerja sama beberapa pihak untuk mendapatkan dukungan dari beberapa kelompok masyarakat dalam menanggulangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh kontaminasi minyak bumi pada saat pasca tambang di Indonesia. Kerjasama terdiri dari pihak akademis, pemerintah dan perusahaan.

a. Akademis

Akademisi merupakan pihak yang memiliki dan menyumbang ide tentang pengembangan dan

pembuatan M-BITION. Akademisi berperan dalam menganalisis bahan dan komponen yang tepat dalam pembuatan M-BITION. Akademisi berinovasi menyesuaikan pengembangan produk M-BITION secara baik supaya dapat digunakan dalam meremediasi lahan yang terkontaminasi minyak bumi di Provinsi Riau. Pihak akademisi yang menciptakan M-BITION terdiri dari mahasiswa dan tenaga pendidik.

b. Pemerintah

Pemerintah diharapkan dapat bekerjasama dengan akademisi dalam pengembangan produk M-BITION. Pemerintah berperan dalam memberikan fasilitas yang diperlukan pihak akademisi supaya pengembangan produk dapat dilakukan dengan baik yang dapat mendukung penanggulangan kerusakan lingkungan di Provinsi Riau. M-BITION dapat dikembangkan dengan baik dengan bekerjasama dengan pelaku bisnis sehingga produksi M-BITION dapat berjalan dalam jangka waktu yang panjang.

c. Perusahaan

Perusahaan adalah suatu mitra kerja pemerintah dalam memproduksi dan mendistribusikan produk M-BITION secara berkepanjangan dalam bentuk skala industri. Perusahaan mengembangkan lebih jauh produk M-BITION dalam upaya menjaga keberlanjutan produk dalam jangka panjang. Pengembangan M-BITION jangka panjang dapat memberikan lapangan pekerjaan yang lebih luas

di Indonesia. Peningkatan lapangan pekerjaan di Indonesia akan mendukung kemajuan bangsa Indonesia. Pihak pemerintahan juga dapat menjadikan M-BITION sebagai teknologi remediasi yang dapat dipasarkan keseluruh negara lain.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan studi pustaka yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan M-BITION dapat digunakan sebagai remediasi lahan terkontaminasi minyak bumi yang mudah pengaplikasiannya, ekonomis, aman bagi lingkungan dan cepat prosesnya. *P. Putida* akan meningkatkan perlindungan dan pertumbuhan tanaman sorgum dan akan memperkaya agensia hayati pada lahan yang terkontaminasi.

Metode remediasi menggunakan M-BITION dapat menekan biaya dalam meremediasi lahan. Biaya yang digunakan dalam meremediasi lahan seluas 1 ha sebesar Rp 3.941.977 yang didapat dari pengurangan input dan output. Remediasi menggunakan M-BITION merupakan biaya terkecil dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan menggunakan metode lain. Metode penggunaan kapsul benih sorgum yang mengandung *P. putida* dan IPB-RI 1 menjadikan remediasi secara biologi sebagai produk unggulan dalam meremediasi lahan terkontaminasi minyak bumi di Provinsi Riau.

Saran

Pemanfaatan M-BITION untuk remediasi lahan terkontaminasi minyak bumi perlu diimplementasikan untuk menanggulangi pencemaran lingkungan serta meningkatkan produktivitas lahan pertanian di Provinsi Riau.

DAFTAR PUSTAKA

- Almoda R. A., Taheri R and Adeli S. 2007. Inter-relationship between growth analysis and carbohydrate contents of sweet sorghum cultivars and lines. *Journal Environ Biol*, volume 28(3): 527-53.
- Chairiyah R. R., Guchi H and Rauf A. 2013. Bioremediasi tanah tercemar logam berat cd, cu, dan pb dengan menggunakan endomikoriza. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, volume 2(1): 348-361.
- Chancey S. T., Wood D. W., Pierson E. A and Pierson L. S. 2002. Survival of GacS/GacA mutants of the biological control bacterium *Pseudomonas aureofaciens* 30-84 in the wheat rhizosphere. *Journal Appl Environ Microbiol*, volume 68: 3308-3314.
- Chasanaah A. N. 2007. Efektivitas biofilm *Pseudomonas putida* dengan medium pendukung pipa PVC dan tempurung kelapa untuk menurunkan kadar kromium (Cr) limbah cair industri penyamakan kulit. Skripsi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Direktorat Budidaya Serealia. 2013. Kebijakan direktorat jenderal tanaman pangan dalam pengembangan komoditas jagung, sorgum dan gandum. Direktorat Jenderal Tanaman Pangan. Kementan RI. Jakarta.
- Eris, F. R. 2006. Pengembangan teknik bioremediasi dengan slurry bioreaktor untuk tanah tercemar minyak diesel. Tesis Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Gandjar I., W. Sjamsuridzal and O. Ariyanti. 2006. Mikologi Dasar dan Terapan. Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.
- Gunawan, R. 2011. Produksi masal inokulum *azotobacter*, *azospirillum* dan bakteri pelarut fosfat dengan menggunakan media alternatif. (skripsi) Program Sarjana Pertanian Pada Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Husna. 2013. Pemanfaatan pupuk hayati (*Pseudomonas flourensencens*) untuk meningkatkan efisiensi pemupukan pada tanaman

- tomat. Makalah: www.slidshare.net/m.
Diakses 19 Seotember 2016.
- Hussein H., S. H. Ibrahim., K. Kandeel and H. Moawad. 2004. Biosorption of heavy metals from waste water using *Pseudomonas* sp. Electronic Journal of Biotechnology, volume 7 (1).
- Interstate Technology Regulatory Council (2001). Technical and regulatory guidance document, phytotechnology. Interstate Technology Regulatory Council USA.
- Karwati. 2009. Degradasi hidrokarbon tanah tercemar minyak bumi dengan isolat A10 dan D8. Skripsi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Kristanti N. 2005. Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Bumi dengan menggunakan bakteri petrofilik dan jamur sporotrichum pulverulentum. Abstrak.
- Kurniawan A dan A. J. Efendi. 2014. Biodegradasi residu total petroleum hidorkarbon dibawah konsentrasi 1% (W/W) hasil proses bioremediasi. Jurnal Manusia dan Lingkungan, volume 21(1).
- Lowe K. L., Fliflet R. E., Tonny L. E., Little B. J and Meehan J. J. 2002. Chromium tolerant microbial communities from the chesapeake bay watershed. Virginia Journal of Science, volume 53(3): 142-155.
- Lumbanraja P. 2014. Mikroorganisme dalam bioremediasi. Disertasi Universitas Sumatra Utara. Medan.
- Mohamed H. A. A. 2012. Effectiveness of some remediation methods in Cd and Ni contaminated soils of fayoum. Thesis Sciences Agricultural Cairo University. Cairo.
- Moleong dan Lexy J. (2007) Metodologi Penelitian Kualitatif. PT Remaja Rosdakarya Offset. Bandung.
- Morel O., Jesel L., Hugel B., Douchet M-P., Zupan M. 2003. Protective effect of vitamin c on endothelium damage and platelet activation during myocardial infarction in patients with sustained generation of circulation microparticles. Journal of Thrombosis and Haemostasis, volume 1(1): 171-177.
- Munir E. 2006. Pemanfaatan mikroba dalam bioremediasi suatu teknologi alternatif untuk

- pelestarian lingkungan. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sumatra Utara. Medan.
- Notodarmojo S. 2005. Pencemaran Tanah dan Air Tanah. ITB. Bandung.
- Nur F. 2013. Fitoremediasi logam berat kadmium (Cd). Journal ilmiah biologi, volume 1(1): 74-83.
- P. Madejon., J. M. Murillo., T. Maranon., F. Cabrera., R. Lopez., .2002. Bioaccumulation of As, Cd, Cu, Fe and Pb in wild grasses affected by the Aznalcóllar mine spill (SW Spain). Journal Science of the Total Environment 290: 105-120.
- Pramono, A., Retno, R., Ngadiman., Irfan, D. P. 2011. Peran mikoriza dalam fitoekstraksi logam berat kromium pada tanaman jagung. Jurnal Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, volume 6(1): 1-60.
- Press C. M., Loper J. E and Kloepper J. W. 2001. Role of iron in rhizobacteriamediated induced systemic resistance of cucumber. Journal Phytopathology, volume 91: 593-598.
- Priadi, P. 2011. Pengaruh penambahan *Glomus aggregatum* pada enkapsulasi benih sengon (*Paraserianthes falcataria*). Prosiding Seminar Nasional Sains IV. Pusat Penelitian Bioteknologi-Lipi. Bogor.
- Priadie B. 2012. Teknik bioremediasi sebagai alternatif dalam upaya pengendalian pencemaran air. Jurnal Ilmu Lingkungan, volume 1(1): 38-48.
- Putra M. L. 2010. The role of genetic algorithm for well placement optimization in the x oil filed. Bandung Instinct of Technology. Bandung.
- PT Chevron Pasific Indonesia. 2012. Proyek bioremediasi CPI menggunakan proses dan teknologi yang terbukti secara ilmiah mampu meremediasi tanah dan mendukung upaya penghijauan di Provinsi Riau. Riau.
- Rahman M. U., Gul S and Uihak M. Z. 2007. Reduction of cromium (VI) by locallu isolated Pseudomonas sp. C171. Turkey Journal Biol, volume 31:161-166.
- Revanthi G. R., Haribabu T. E end Sudha P. N. 2010. Phytoremediation of cromunium contaminated soil using sorghum plant, International Journal of Invironmental Sciences, volume 2(2): 417-428

- Ruchjaniningsih. 2008. Rejuvenasi dan Karakterisasi Morfologi 225 Akses Sorgum. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sulawesi Selatan Sulawesi Selatan.
- S. Ustak., J. Vana. 1998. Hazardous element transfer from contaminated soils to selected energy plants. *Journal Rostlinna Vyroba*, volume 44: 477-485.
- Salt D. E., Smith R. D dan Raskin I. 1998. Phytoremediation. *annu. rev. plant physiol. Plant Mol. Journal Biol*, volume 49:643-668.
- Sirappa M. P. 2003. Prospek pembangunan sorgum di Indonesia sebagai komoditas alternatif untuk pangan, pakan, dan industri. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian Jakarta*, volume 22 (4): 133-140.
- Sulistiyono., Suntoro., M. Masykuri. 2012. Kajian dampak tumpahan minyak dari kegiatan ope rasi kilang minyak terhadap kualitas air dan tanah (Studi Kasus Kilang Minyak Pusklat Migas Cepu). *Jurnal Ekosains*, volume 4(2).
- Sumantri A. 1993. Pedoman teknis budi daya sorgum manis sebagai bahan baku industri gula. Kerja Sama Direktorat Jenderal Perkebunan dengan Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia.
- Sumarsih S. 2013. Teknik bioremediasi logam berat dan radionuklida. Materi Kuliah Bioremediasi Tanah. Fakultas Pertanian. UPNVY.
- Sungkono T., D. Wirnas., D. Sopandie., S. Human dan M. A. Yudiarto. 2009. Pendugaan parameter genetik dan seleksi galur mutan sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) di tanah masam. *Jurnal Agron Indonesia*, volume 37(3): 220-225.
- Soesanto L. 2008. Pengantar pengendalian hayati penyakit tanaman, suplemen ke gulma dan nematoda. Rajawali Press. Jakarta. Syngenta Foundation for Sustainable Agriculture (SFSA). 2003. *Sorghum: increasing oportunities and choice for poor rural communities in semi-arid areas through sustainable innovation in agriculture*. Diakses pada tanggal 20 September 2016.
- Tabri F dan Zubactirodin. 2013. Budidaya tanaman sorgum. sorgum: inovasi teknologi dan pengembangan. *Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. 175:187.
- Ujung I. M. 2015. Respons pertumbuhan dan produksi duavarietas sorgum

-
- (*Sorghum bicolor* (L.)
moench) terhadap mulsa
organik dilahan sawah.
Skripsi Fakultas Pertanian
Universitas Sumatera
Utara, Medan.
- USDA.2008.Classification for
Kingdom Plantae Downto
Species *Sorghum bicolor*
(L.) Moench.
<http://plants.usda.gov/java/>.
Diakses pada tanggal 21
September 2016.
- Vidali M. 2001. Bioremediation.
Pure Appl. Journal Chem,
volume 73: 11631172.
- Wahyuni W S., Yutriono R dan
Winarso S. 2005. Pengaruh
konsentrasi besi dalam
media tanam pada aktivitas
Pseudomonas putida Pf- 20
untuk menginduksi
ketahanan tembakau
terhadap
Cucurmosaicvirus.
Journal Hayati, volume 10:
130-133.
- Wang M., Chen Y., Xia X., Li J and
Liu J. 2014. Energy
efficiency and
environmental performance
of bioethanol production
from sweet sorghum stem
based on life cycle analysis.
Journal Bioresour Technol,
volume 163: 74-81.
- Yoswati D. 2002. Pemanfaatan
Bakteri Pemecah Minyak
dalam proses bioremediasi:
kasus pengolahan tanah
terkontaminasi minyak
minas SBU PT Caltex
Pasific Indonesia, Riau.
Tesis Program Pasca
Sarana. Universitas
Indonesia. Jakarta. (Tidak
dipublikasikan)