

ISOLASI BAKTERI PEREDUKSI SULFAT UNTUK MEMPERBAIKI SIFAT KIMIA TANAH BEKAS TAMBANG BATUBARA DAN PENGARUHNYA TERHADAP KARET (*HEVEA BRASILIENSIS*) DI POLIBEG

Isolation of Sulphate Reducing Bacteria to Improve the Chemical Properties of Ex-Coal Mining Soil and Their Effect on Rubber (Hevea brasiliensis) in Polybag

Yan Riska Venata SEMBIRING¹⁾, Mochlisin ANDRIYANTO¹⁾, Nurhawaty SIAGIAN¹⁾,
Enny WIDYATI²⁾, dan AZWIR³⁾

¹⁾Balai Penelitian Sungei Putih, Pusat Penelitian Karet,
PO BOX 1415 Medan 20001 Sumatera Utara
Email: balitsp@indosat.net.id

²⁾Pusat Litbang Hutan dan Konservasi Alam,
Jalan Gunung Batu Nomor 5 Bogor Jawa Barat

³⁾Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Sumatera Barat
Jalan Raya Padang – Solok KM 40 Sukarami Sumatera Barat

Diterima : 12 Juli 2016 / Direvisi : 3 November 2016 / Disetujui : 18 November 2016

Abstract

Open pit mining techniques in West Sumatra resulted in loss of ground cover, soil compaction, nutrient deficiency, acid reaction, thin top soil, low organic matter, bad soil texture, mineral toxicity and interfere with the activity of soil microorganisms. Utilisation of soil microbial activity with Sulphate Reducing Bacteria (BPS) can be used to improve soil chemical properties of ex coal mining soil. The research objective was to obtain isolates BPS and it's effect on soil chemical properties of the ex-coal mining soil as well as rubber growth in the polybag. This research was conducted at the Sungei Putih Research Centre in March-December 2015. The source of BPS used was from sewage sludge, industrial sludge and rumen of cattle. Isolates obtained were then purified and applied into polybag media. The result showed that three isolates of BPS were obtained i.e A, B and D isolates, respectively. All isolates BPS could decrease the pH, organic C, and soil sulphate content of the ex-coal mine soil. B isolates had no significant on plant height in polybag increment for three months compared with organic materials + ex-coal mining soil (control 2). The increment of plant height in polybag after three months of application in all isolates were significantly larger than the control (no isolates and only media ex-coal mining soil).

Keywords: Hevea brasiliensis; sulphate reducing bacteria; ex-coal mining soil; soil chemical; plant height

Abstrak

Teknik pertambangan terbuka pada lahan bekas tambang batubara di Sumatera Barat mengakibatkan vegetasi penutup tanah hilang, pemadatan tanah, kahat unsur hara, reaksi masam, *top soil* tipis, rendah bahan organik, tekstur tanah buruk, toksisitas mineral, kandungan logam tinggi dan mengganggu aktivitas mikroorganisme tanah. Mikroba tanah seperti Bakteri Pereduksi Sulfat (BPS) dapat dimanfaatkan untuk perbaikan sifat kimia tanah dalam mendukung revegetasi lahan bekas tambang batubara. Tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan isolat BPS dan pengaruhnya terhadap sifat kimia tanah bekas tambang batubara, serta pertumbuhan karet di polibeg. Penelitian ini dilakukan di Balai Penelitian Sungei Putih yang berlangsung bulan Maret-Desember 2015. Sumber isolat BPS yang digunakan berasal dari *sewage sludge*, *sludge* industri kertas dan rumen sapi. Isolat yang didapatkan tersebut selanjutnya dimurnikan dan diaplikasikan

ke media polibeg. Berdasarkan penelitian didapatkan tiga jenis isolat BPS yaitu isolat A, isolat B, dan isolat D. Semua isolat BPS dapat menurunkan pH, C-organik, dan kandungan sulfat tanah bekas tambang batubara. Pertambahan tinggi tanaman di polibeg setelah tiga bulan aplikasi, semua isolat nyata lebih besar dibandingkan dengan kontrol (tanpa isolat dan hanya media bekas tanah tambang saja).

Kata kunci : *Hevea brasiliensis*; bakteri pereduksi sulfat; tanah bekas tambang batubara; sifat kimia tanah; tinggi tanaman

PENDAHULUAN

Lahan bekas tambang batubara yang masih dalam kondisi terbuka tanpa vegetasi di Provinsi Sumatera Barat mencapai 7.510,08 Ha (Dinas ESDM Sumbar, 2011). Teknik penambangan yang dilakukan di Sumatera Barat pada umumnya secara terbuka (*open pit minning*). Teknik ini menyebabkan terjadinya lahan kritis akibat hilangnya vegetasi penutup tanah, erosi, dan pemadatan tanah yang disebabkan penggunaan alat berat dalam proses penambangan. Selain itu juga lahan bekas tambang batubara menyebabkan lahan memiliki kondisi tanah kahat unsur hara, reaksi tanah masam, *top soil* tipis, bahan organik tanah rendah, tekstur tanah buruk, adanya toksisitas mineral dan memungkinkan terakumulasinya kandungan logam berat yang tinggi, serta mengganggu aktivitas mikroorganisme tanah (BPPMD Kalimantan Timur, 2012). Kondisi negatif yang diakibatkan kegiatan penambangan tersebut harus dipulihkan kembali vegetasinya dan menjadi tanggung jawab setiap perusahaan. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2014 tentang Peningkatan Nilai Tambah Mineral melalui Kegiatan Pengolahan dan Pemurnian Mineral di Dalam Negeri mengharuskan setiap perusahaan tambang untuk melakukan revegetasi pada lahan kritis bekas tambang untuk meminimalkan kerusakan lahan akibat proses penambangan.

Salah satu komoditas perkebunan yang dapat dijadikan alternatif dalam

merevegetasi lahan kritis bekas tambang batubara adalah tanaman karet. Tanaman karet berpotensi untuk dikembangkan di lahan bekas tambang batubara dengan beberapa alasan, yaitu: (1) tanaman karet dapat berproduksi dengan baik di wilayah dengan iklim kering tegas 4-5 bulan dengan rata-rata produktivitas 1.300 Kg/Ha/tahun; (2) tanaman karet masih dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik di lahan yang meskipun memiliki faktor pembatas berat seperti bentuk muka lahan yang bergunung curam, lereng (>40%), dataran rawa, kedalaman tanah efektif yang hanya mencapai ± 45 cm, persentase batuan di permukaan dan di dalam tanah >50%, memiliki lapisan sulfat masam 25 cm dari permukaan tanah, ketersediaan status hara tanah pada lapisan 0-30 cm rendah, dan pada kondisi pH tanah <4,0 atau >6,5 (Pangudijatno, 1983; Sugiyanto, 1987; Istianto, 2012); (3) nilai ekonomis tanaman karet sebagai penghasil lateks dan kayu (Siagian, 2001); (4) tanaman karet memiliki potensi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca CO₂ (Thomas, 1995).

Perbaikan (remediasi) sifat kimia tanah lahan bekas tambang batubara untuk mendukung revegetasi dapat dilakukan melalui pemanfaatan aktivitas mikroba tanah, salah satu di antaranya adalah bakteri pereduksi sulfat (BPS). BPS dapat dimanfaatkan untuk menurunkan konsentrasi sulfat pada tanah bekas tambang batubara yang terjadi akibat proses AMD (*Acid Mine Drainage*) karena dalam aktivitas metabolisme BPS dapat mereduksi sulfat menjadi H₂S (Widyati, Mansyur, Kusmana, Anas & Santoso, 2005). Efektivitas BPS pada tanah bekas tambang batubara yang akan ditanami tanaman karet masih memerlukan kajian penelitian lanjut.

Tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan isolat BPS dan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat kimia tanah bekas tambang batubara, serta pertumbuhan tanaman karet di polibeg.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di Balai Penelitian Sungei Putih, Pusat Penelitian Karet yang berlokasi di Galang, Deli Serdang, Sumatera Utara dengan ketinggian tempat sekitar 25 m dpl yang berlangsung

pada bulan Maret hingga Desember 2015. Penelitian terdiri dari dua kegiatan, yaitu: 1. isolasi bakteri pereduksi sulfat (BPS) dari beberapa sumber dan pemurniannya; 2. aplikasi isolat BPS pada tanaman karet di polibeg.

Isolasi Bakteri Pereduksi Sulfat (BPS) dan Pemurniannya

Sumber isolasi BPS yang digunakan adalah *sewage sludge*, *sludge* industri kertas yang diambil dari pabrik kertas di Riau, dan rumen sapi yang diambil dari Fakultas Peternakan, Institut Pertanian Bogor. Isolasi BPS dilakukan mengikuti metode Atlas dan Parks (1993) dengan komposisi media *Postgate* B yang disederhanakan. Komposisi untuk satu liter media cair *Postgate* B terdiri atas natrium laktat (8 mL), magnesium sulfat (1,0 g), ammonium klorida (0,5 g), kalium dihidrogen fosfat (1,0 g), besi fosfat (0,1 g) dan asam askorbat (0,5 g), glukosa (0,1 g), kalsium klorida (0,1 g), natrium sulfat (0,5 g), dan ekstrak khamir (0,1 g). Pengaturan pH 4 dilakukan dengan penambahan asam sulfat sebelum disterilisasi selanjutnya dihomogenisasi dengan vortex dan dilakukan pengenceran 10^{-6} dan 10^{-3} dengan dua kali ulangan. Biakan BPS diinkubasi pada inkubator sampai 10 hari. Tumbuhnya BPS ditandai dengan berubahnya media menjadi warna hitam. Isolat yang terbentuk kemudian dimurnikan pada media *Postgate* cair.

Pemurnian isolat dilakukan dengan metode pengenceran (Stanier, Adelberg, & Ingraham, 1982). Isolat yang diperoleh dikocok dengan baik hingga terbentuk suspensi. Tingkat pengenceran sepuluh kali dilakukan dengan memindahkan secara aseptik 1 mL suspensi mikrob ke dalam tabung yang berisi 9 mL larutan fisiologi 0,85% lalu dihomogenisasi. Suspensi tersebut diencerkan lebih lanjut dengan cara yang sama hingga pada tingkat pengenceran 10^{12} . Suspensi dipindahkan secara aseptik sebanyak 1 mL ke dalam tabung ulir yang telah berisi media cair steril 1/3 bagian, lalu media ditambahkan secara perlahan-lahan hingga penuh dan ditutup rapat dan diinkubasi pada suhu 35°C . Pengamatan dilakukan terhadap waktu pertumbuhan biakan mulai dari munculnya warna hitam hingga seluruh tabung menghitam. Isolat

yang tumbuh pada tingkat pengenceran terakhir diindikasikan sebagai biakan dengan satu jenis sel BPS.

Aplikasi Bakteri Pereduksi Sulfat (BPS) Pada Tanaman Karet Polibeg

Lokasi penelitian ini terletak di Desa Sijantang Koto, Kecamatan Talawi-Kota Sawah Lunto, Provinsi Sumatera Barat. Lokasi tersebut merupakan lahan bekas tambang batubara dengan sistem tambang terbuka yang telah ditinggalkan perusahaan besar selama ± 4 tahun. Pengambilan tanah sebagai media tumbuh dilakukan dengan diayak menggunakan saringan berukuran 25 *mesh* dan dimasukkan ke dalam polibeg yang berukuran 40 x 50 cm (ukuran terlipat). Selanjutnya tanah bekas tambang batubara dicampur dengan bahan organik (perbandingan volume 1 bahan organik dan 3 tanah bekas tambang *anaerob jar*) sebagai media tumbuh tanaman polibeg.

Pemberian bahan organik bertujuan untuk memicu perkembang-biakan dan sumber C untuk BPS. Selanjutnya tanah yang telah dicampur bahan organik, harus dijenuhkan terlebih dahulu sebelum aplikasi BPS. Penjenuhan dilakukan dengan penambahan air *steril* sampai berbentuk pasta atau lumpur. Tujuan penjenuhan adalah untuk menjaga kondisi anaerob agar BPS dapat tumbuh. Selanjutnya setiap polibeg diaplikasikan isolat BPS sebanyak satu liter (kepadatan bakteri 10^5), dan diinkubasi selama 10 hari (Widyati, 2007). Tujuan inkubasi adalah untuk menurunkan kandungan sulfat pada tanah bekas tambang batubara sebelum dilakukan penanaman karet. Dilakukan penambahan air sebanyak 1500 ml untuk mempertahankan kejenuhan air dan kondisi anaerob sehingga mikroba dapat bekerja optimum. Adapun perlakuan yang dilakukan dalam penelitian adalah:

1. Isolat A + bahan organik + tanah bekas tambang batubara
2. Isolat B + bahan organik + tanah bekas tambang batubara
3. Isolat D + bahan organik + tanah bekas tambang batubara
4. Bahan organik + tanah bekas tambang batubara dengan perbandingan 1:3 (v/v) atau kontrol 2
5. Tanah bekas tambang batubara (100%) atau kontrol 1

Penanaman tanaman karet dilakukan setelah proses penjemuran dan inkubasi BPS selama 10 hari. Tanaman karet yang digunakan pada penelitian ini adalah tanaman karet klon PB 60 dengan stadia 2 payung.

Parameter pengamatan di polibeg meliputi tinggi tanaman (dari pertautan okulasi), jumlah payung daun, dan diameter batang karet (diukur pada ketinggian 10 cm) yang dilakukan pada awal sebelum tanam dan tiga bulan setelah tanam. Sedangkan untuk tanah bekas tambang batubara dilakukan analisis sifat kimia dan fisik mencakup pH, unsur hara, KTK, KB, dan kandungan sulfat sebelum perlakuan. Setelah perlakuan dilakukan analisis kandungan sulfat pada tanah bekas tambang batubara tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi dan Perbanyakan Bakteri Pereduksi Sulfat (BPS)

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh sesuai kegiatan isolasi yang telah dilakukan, hanya didapatkan tiga isolat BPS. Dua isolat dari *sludge* industri kertas, satu isolat dari *sewage* industri kertas, dan tidak didapatkan isolat dari rumen sapi.



Gambar 1. Isolat BPS yang diisolasi dari *sludge* industri kertas dan *sewage sludge*
Figure 1. BPS isolates were isolated from the paper industry sludge and sewage sludge

Isolat dikarakterisasi menjadi tiga kelompok isolat, yaitu hitam yang terletak di dasar tabung (Isolat A) dan hitam merata penuh (Isolat B) didapatkan dari *sludge* industri kertas, serta hitam dengan kecoklatan merata (Isolat D) dari *sewage sludge* industri kertas (Gambar 1).

Isolat yang didapatkan dari penelitian ini telah dipastikan merupakan isolat BPS karena dilihat dari adanya perubahan warna media yang digunakan yaitu media selektif *Postgate B* menjadi hitam. Identifikasi bakteri ini sesuai dengan metode yang disampaikan oleh Atlas & Parks (1993) dan Stanier *et al* (1982). Hasil isolat yang sama juga terdapat dalam penelitian Widyati (2011) bahwa karakterisasi isolat BPS dari *sludge* industri kertas terbagi menjadi 4 kelompok yaitu isolat 1 (hitam dengan keabu-abuan), isolat 2 (hitam dasarnya coklat), isolat 3 (hitam penuh), dan isolat 4 (hitam berdasar abu-abu di dasar tabung) serta isolat 4 yang paling efektif mudah diaplikasikan di lapangan.

Perbanyakan yang telah dilakukan terhadap ketiga isolat dalam media kompos steril menghasilkan masing-masing isolat sebanyak ±40 liter (Gambar 2). Biakan BPS yang tumbuh ditandai dengan terbentuknya gelembung di permukaan bahan organik.



Gambar 2. Perbanyakan isolat dalam *carrier* kompos steril
Figure 2. Isolates propagation in sterile compost carrier

Sifat Fisik dan Kimia Tanah Bekas Tambang Batubara Sebelum Perlakuan

Sifat fisik dan kimia tanah bekas tambang batubara tertera pada Tabel 1. Dilihat dari tekstur tanah (fraksi pasir, debu, liat), untuk perkebunan karet masih kurang sesuai. Hal ini dikarenakan nilai fraksi pasir masih relatif tinggi. Tanah bekas bertekstur pasir memiliki Kapasitas Tukar kation (KTK) yang rendah dan kandungan pirit yang tinggi. KTK merupakan kapasitas tanah untuk menjerap dan mempertukarkan kation (Tan, 1991). Koloid anorganik (liat) dan koloid organik (bahan organik) berperan aktif dalam pertukaran dan penjerapan kation (Hanafiah, 2005).

Ditinjau dari sifat kimianya, Tabel 1 menunjukkan tingkat kesuburan tanah rendah. Berdasarkan kriteria penilaian tanah dalam Hardjowigeno (1995), sampel tanah bekas tambang menunjukkan pH yang sangat masam. Pada perkebunan karet, pH tanah 3,3 merupakan ambang batas minimal, sehingga diperlukan perlakuan untuk meningkatkan pH tanah. pH yang rendah mengganggu serapan unsur hara dan pertumbuhan tanaman melalui ketersediaan unsur hara dan unsur yang bersifat racun bagi tanaman, serta menyebabkan kandungan C-organik pada

tanah bekas tambang batubara juga rendah, yaitu hanya 0,65%. Ketersediaan hara dan kation-kation yang dapat ditukar pada tanah bekas tambang batubara sangat rendah, serta kandungan sulfat yang tinggi. Begitupun kandungan unsur alkali tanah, seperti Ca, Mg, Na, dan K pada areal bekas tambang rendah.

Profil tanah terganggu akibat pengerukan, penimbunan, dan pemadatan alat-alat berat. Hal ini mengakibatkan buruknya sistem tata air dan aerasi yang secara langsung mempengaruhi perkembangan akar. Perkembangan akar tanaman *Acacia mangium* pada lahan bekas tambang batu bara di Kalimantan Timur terhambat akibat buruknya sistem tata air dan aerasi akibat kondisi tanah yang kompak (Istomo, Setiadi, & Putri, 2013). Tekstur tanah menjadi rusak sehingga mempengaruhi kapasitas tanah untuk menampung air dan nutrisi. Akibat pemadatan tanah menyebabkan pada musim kering tanah menjadi padat dan keras. Kondisi kimia lahan bekas tambang penambangan menunjukkan bahwa kesuburan tanah, pH, dan keberadaan hara dalam tanah rendah, sedangkan keberadaan sulfat tinggi, karena larutan dari metal sulfida. pH tanah yang sangat rendah menyebabkan rusaknya sistem penyerapan

Tabel 1. Hasil analisa kimia tanah bekas tambang batubara
Table 1. Chemical analysis of ex coal mining soil

| Parameter <i>Parameters</i> | Jumlah <i>Value</i> | Keterangan <i>Descriptions</i> |
|--|------------------------|-----------------------------------|
| Fraksi Pasir (%) | 48 | - |
| Fraksi Debu (%) | 23 | - |
| Fraksi Liat (%) | 29 | - |
| pH | 3,3 | Rendah |
| C (%) | 0,65 | Rendah |
| N (%) | 0,05 | Rendah |
| P ₂ O ₅ Bray 1 (ppm) | 3,01 | Rendah |
| Ca (cmol+)/Kg) | 1,73 | Rendah |
| Mg (cmol+)/Kg) | 1,71 | Rendah |
| K (cmol+)/Kg) | 0,09 | Rendah |
| Na (cmol+)/Kg) | 0,1 | Agak rendah |
| KTK (cmol+)/Kg) | 7,5 | Agak rendah |
| KB (%) | 47,52 | Agak rendah |
| Sulfat (S-SO ₄) (%) | 0,26 | Tinggi |

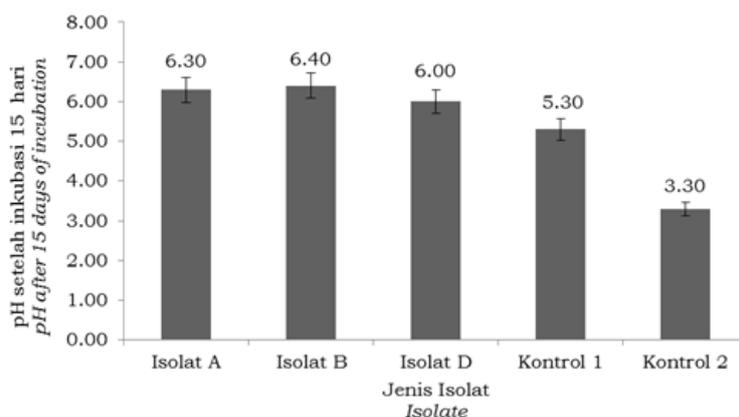
unsur P, Ca, Mg, dan K, serta toksisitas tanah. Keasaman sisa penambangan dapat meningkatkan kandungan total unsur Fe, senyawa yang berasal dari rusaknya tanah akibat hujan yang menghasilkan sulfur (Pattimahu, 2004).

Pengaruh Bakteri Pereduksi Sulfat Terhadap Sifat Kimia Tanah Bekas Tambang Batubara (pH, C-organik, Kandungan Sulfat)

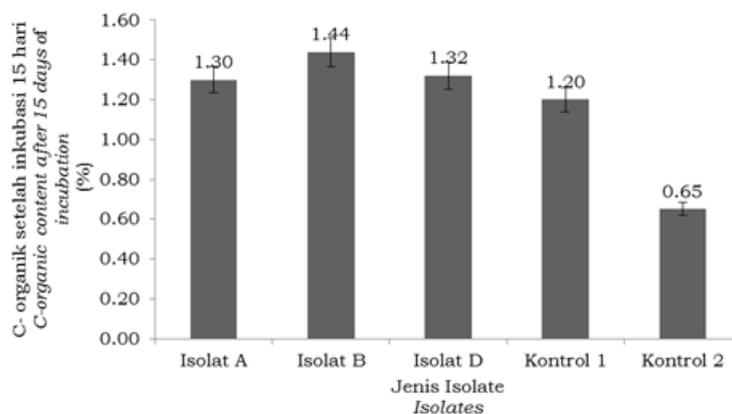
Hasil pengukuran pH tanah setelah 15 hari inkubasi tertera pada Gambar 3. Seluruh perlakuan dapat meningkatkan pH setelah diaplikasikan BPS. Perlakuan isolat B menunjukkan peningkatan pH tertinggi mendekati netral dibandingkan semua perlakuan, yaitu pH mencapai 6,4. Hal ini dikarenakan BPS memanfaatkan sumber energi dari sulfat yang banyak terdapat pada

lahan bekas tambang batubara. Sulfat termasuk golongan asam kuat, sehingga akibat dari proses reduksi sulfat adalah dilepaskannya ion hidroksil, menghasilkan H₂S dan ion bikarbonat, dan terjadi peningkatan pH (Widyati, 2006).

Peningkatan pH berhubungan dengan peningkatan bahan organik karena bahan organik akan mengalami mineralisasi menghasilkan CO₂ yang pada kondisi anaerob akan berperan sebagai *buffer* (Stevenson, 1994). Gambar 4 menunjukkan bahwa perlakuan isolat BPS dapat menambah jumlah C-organik dalam tanah bekas tambang batubara. Hal ini terlihat dari jumlah C-organik awal sebelum aplikasi BPS sebesar 0.65% dan tergolong dalam kategori rendah (kriteria PPT, 1983) menjadi 1,44% pada isolat B (tergolong sedang).



Gambar 3. pH tanah pada berbagai perlakuan
Figure 3. Soil pH on various treatments



Gambar 4. C-organik tanah pada berbagai perlakuan
Figure 4. C-organic of soil on various of treatments

Aplikasi isolat BPS pada tanah bekas tambang batubara menurunkan kandungan sulfat dibandingkan dengan sebelum aplikasi BPS (Gambar 5). Penurunan kandungan sulfat tertinggi ditunjukkan pada perlakuan isolat B. Hal ini dikarenakan adanya aktivitas BPS yang menggunakan sulfat sebagai sumber energi yaitu sebagai akseptor elektron dengan menggunakan bahan organik (kompos) sebagai sumber karbon. Karbon tersebut berperan sebagai donor elektron dalam metabolisme dan sebagai penyusun selnya (Groudev, Spanova, Georgiev, Nicolova, & Angelov, 2001). Sulfat menerima elektron maka senyawa ini akan mengalami reduksi menjadi sulfida sehingga konsentrasinya menurun.

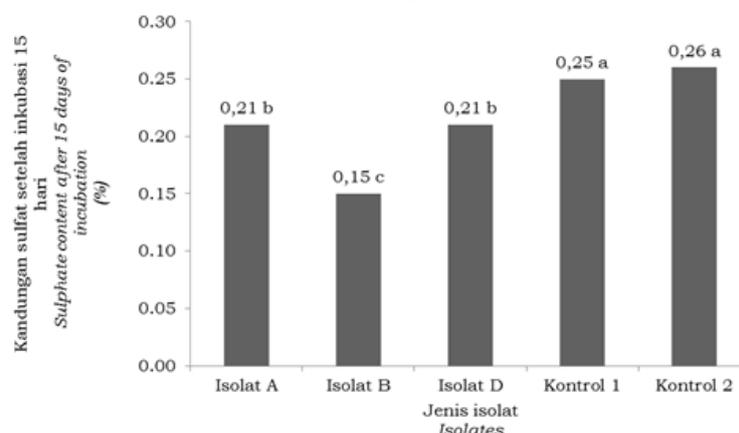
Gambar 5 menunjukkan bahwa pada perlakuan kontrol 2 (bahan organik dan penjujukan selama 15 hari) juga mengalami penurunan sulfat. Kandungan sulfat pada kontrol 1 dan 2 tidak berbeda nyata. Hal ini diduga persediaan oksigen dalam tanah menurun akibat penjujukan. Perubahan sifat fisik tanah akibat penjujukan menyebabkan perombakan bahan organik, sulfat dan sulfida (Yuliana, 2013). Penjujukan air mengakibatkan tanah menjadi anaerob dimana pori-pori tanah yang awalnya terisi oksigen menjadi terdesak dan tergantikan oleh air. Penurunan sulfat dapat terjadi dikarenakan pada kondisi anaerob akseptor elektron yang pada kondisi aerob dilakukan oleh oksigen bebas akan digantikan oleh molekul lain (Foth, 1990; Widyati, 2007).

Penurunan kandungan sulfat pada semua perlakuan isolat BPS lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol 1 dan peningkatan pH serta C-organik tertinggi pada tanah bekas tambang batubara. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi reduksi sulfat yang dikatalis oleh BPS lebih efisien daripada proses reduksi secara kimia karena penjujukan air dan penambahan bahan organik. Namun, menurut Widyati (2007) penambahan bahan organik dan penjujukan tetap perlu dilakukan karena reaksi reduksi sulfat oleh BPS menjadi sulfida dapat ditingkatkan melalui penambahan kadar air dan bahan organik.

Pengaruh Aplikasi BPS Terhadap Pertumbuhan Tanaman Karet di Polibeg

Pengaruh isolat BPS terhadap pertumbuhan tinggi tanaman, jumlah payung, dan diameter batang setelah tiga bulan perlakuan tertera pada Tabel 2.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada perlakuan tanah tambang saja (kontrol 1), pertumbuhan tinggi tanaman selama tiga bulan hanya 0,72 cm, jumlah payung daun tidak bertambah dan pertumbuhan diameter batang hanya 0,47 mm, nyata lebih kecil dibandingkan dengan semua perlakuan lainnya. Pertumbuhan tinggi tanaman pada semua perlakuan isolat adalah berbeda tidak nyata dibandingkan dengan pertumbuhan tinggi tanaman pada perlakuan bahan organik + tanah tambang (kontrol 2). Sementara pada parameter pertumbuhan jumlah payung dan diameter batang, perlakuan kontrol 2 nyata lebih besar dibandingkan dengan semua perlakuan isolat.



Gambar 5. Kandungan sulfat setelah aplikasi BPS
Figure 5. Sulphate content after application of BPS isolates

Tabel 2. Pengaruh isolat BPS terhadap pertumbuhan tanaman karet di polibeg
 Table 2. BPS isolats influence on the growth of rubber plants in polybag

| Perlakuan <i>Treatment</i> | Pertambahan <i>Increment</i> | | |
|---|---|---|--|
| | Tinggi tanaman <i>Plant height</i> (cm) | Jumlah payung daun <i>Number of whorls</i> | Diameter batang <i>Trunk diameter</i> (mm) |
| Tanah Tambang + Bahan Organik + Isolat A | 18,25 a | 0,78 ab | 0,82 bc |
| Tanah Tambang + Bahan Organik + Isolat B | 21,38 a | 0,85 ab | 0,89 bc |
| Tanah Tambang + Bahan Organik + Isolat D | 14,44 a | 0,61 b | 1,24 d |
| Tanah Tambang (Kontrol 1) | 1,72 b | 0,00 c | 0,47 c |
| Tanah Tambang + Bahan Organik (Kontrol 2) | 21,28 a | 1,22 a | 1,71 a |

Angka pada kolom yang sama diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada $P_{0.05}$
 (Figures in the same column followed by the same letter are not significantly different at $P_{0.05}$)

Secara umum dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa pertambahan pertumbuhan pada kontrol 2 (bahan organik + tanah tambang, tanpa isolat) adalah berbeda tidak nyata dibandingkan dengan semua perlakuan isolat + tanah tambang + bahan organik. Hal ini mengindikasikan bahwa seolah-olah pemberian isolat tidak secara nyata mendukung pertumbuhan tanaman. Ketidaknyataan tersebut diduga karena rentang waktu pengamatan yang tergolong singkat (3 bulan) sehingga belum terlihat pengaruhnya. Tanaman tahunan seperti tanaman karet, umumnya respon pertumbuhan nyata dapat dianalisis setelah 6 bulan perlakuan. Alasan tidak nyatanya perlakuan tersebut juga dapat disebabkan karena pada perlakuan kontrol 2, pH tanah dan C-organik setelah inkubasi adalah relatif sama dan masih netral. Diduga bahwa dalam jangka panjang, perlakuan kontrol tidak bisa dipastikan akan sama dengan pengamatan saat ini. Hal ini dapat dibandingkan dengan data kandungan sulfat. Kandungan sulfat pada perlakuan kontrol (bahan organik dan tanah tambang) dan perlakuan isolat memberikan hasil berbeda nyata. Ini menunjukkan bahwa reaksi reduksi sulfat yang dikatalis oleh BPS lebih efisien daripada proses reduksi secara kimia karena penjumlahan dan penambahan bahan organik. Menurut Widyati (2007), penjumlahan dan penambahan bahan organik tetap perlu dilakukan karena reaksi reduksi sulfat oleh BPS menjadi sulfida dapat meningkat melalui penjumlahan dan penambahan bahan organik tanah.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa telah diperoleh tiga jenis isolat bakteri pereduksi sulfat yaitu isolat A dari *sewage sludge*, isolat B dan D dari *sludge* industri kertas. Isolat bakteri pereduksi sulfat yang diperoleh mampu menurunkan pH, C-organik, dan kandungan sulfat tanah bekas tambang batubara. Berdasarkan parameter pertambahan tinggi tanaman di polibeg setelah tiga bulan aplikasi, semua isolat nyata lebih besar dibandingkan dengan kontrol (tanpa isolat dan hanya media bekas tanah tambang saja). Disarankan penelitian ini masih perlu dilanjutkan untuk mendapatkan data pertumbuhan tanaman karet di polibeg dan untuk mengetahui efektivitas isolat BPS dalam perbaikan sifat kimia tanah bekas tambang batubara di lapangan, serta dilakukan penelitian serupa dengan mengubah desain dan waktu aplikasi BPS.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada DIPA Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian yang telah membiayai penelitian ini melalui Program Kerjasama Kemitraan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Nasional (KKP3N) periode tahun 2015 dengan Nomor Kontrak kerjasama 44.81/HM.230/I.1/3/2015.K Tanggal 5 Maret 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- Atlas, M. R., & Parks, L. C. (1993). *Handbook of Microbiological Media*. Boca Raton, USA: CRC Press.
- Badan Perizinan dan Penanaman Modal Daerah Provinsi Kalimantan Timur. (2012). *Penyusunan kajian investasi di lahan bekas tambang*. Kalimantan Timur, Indonesia: BPPMD. Diakses dari <http://bppmd.kaltimprov.go.id>
- Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Sumatera Barat. (2011). *Kumpulan data Propinsi Sumatera Barat*. Sumatera Barat, Indonesia: Bapedalda Provinsi Sumbar.
- Groudev, S., Spanova, I., Georgiev, P., Nicolova, M., & Angelov, A. (2006). Treatment of acid mine drainage by means of a natural wetland. *Annual of The University of Mining and Geology "ST. Ivan Rilski". Geology and Geophysics*, 49(1), 179-182.
- Hanafiah, K. A. (2005). *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Jakarta, Indonesia: Rajawali Press.
- Hardjowigeno, S. (1995). *Ilmu Tanah. Edisi Revisi*. Jakarta, Indonesia: Akademika Pressindo.
- Istianto. (2012). Kesesuaian lahan untuk tanaman karet hubungannya dengan produktivitas. *Workshop Teknik Mempersingkat Masa Tanaman Belum Menghasilkan pada Tanaman Karet*. Medan, Indonesia: Balai Penelitian Sungei Putih.
- Istomo, Y., Setiadi, & Putri, A. N. (2013). Evaluasi keberhasilan tanaman hasil revegetasi di lahan pasca tambang batubara site lati PT. Berau Coal Kalimantan Timur. *Jurnal Silvikutur Tropika*, 4(2), 77-81.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2014). Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1 Tahun 2014 Tentang Peningkatan Nilai Tambah Mineral Melalui Kegiatan Pengolahan dan Pemurnian Mineral di Dalam Negeri. Jakarta, Indonesia: Kementerian ESDM.
- Pangudijatno, G. (1983). Kriteria penilaian teknis kemampuan lahan untuk budidaya karet. *Bull. Perkaratan*, 2, 34-42.
- Pattimahu, D. V. (2004). *Restorasi lahan kritis pascatambang sesuai kaidah ekologi*. Diakses dari <http://www.rudycct.com>.
- Siagian, N. (2001). Sistem tanam karet sebagai penghasil lateks dan kayu karet. *Warta Perkaratan*, 20(1-3), 44-63.
- Stanier, R. Y., Adelberg, E. A., & Ingraham, J. L. (1982). *Dunia Mikroba I*. Jakarta, Indonesia: Bhratara Karya.
- Stevenson, F. J. (1994). *Humus Chemistry : Genesis, Composition, Reaction*. New York, USA: John Willey & Son.
- Sugiyanto, Y. (1987). Suatu usulan perbaikan dalam penilaian kesesuaian lahan untuk tanaman karet. *Warta Perkaratan*, 1(6), 8-12.
- Tan, K. H. (1991). *Dasar-dasar kimia tanah*. Yogyakarta, Indonesia: Gadjah Mada University Press.
- Thomas. (1995). Estimasi fिकासasi CO₂ oleh kanopi karet klon GT 1. *Jurnal Penelitian Karet*, 13(2), 113-123.
- Widyati, E., Mansyur, I., Kusmana, C., Anas, I., & Santoso, E. (2005). Pemanfaatan sludge industri kertas sebagai agen pembenah tanah pada lahan bekas tambang batubara. *Litbang Hutan*, 1(2), 57-64.

- Widyati, E. (2006). *Bioremediasi tanah bekas tambang batubara dengan sludge industri kertas untuk memacu revegetasi lahan* [Disertasi], Institut Pertanian Bogor, Indonesia.
- Widyati, E. (2007). Pemanfaatan bakteri pereduksi sulfat untuk bioremediasi tanah bekas tambang batubara. *Biodiversitas*, 4(8), 283-286
- Widyati, E. (2011). Formulasi inokulasi bakteri pereduksi sulfat yang diisolasi dari sludge industri kertas untuk mengatasi air asam tambang. *Tekno Hutan Tanaman*, 4(3), 119-125.
- Yuliana, E. D. (2013). Jenis mineral liat dan perubahan sifat kimia tanah akibat proses reduksi dan oksidasi pada lingkungan tanah sulfat masam. *Jurnal Bumi Lestari*, 12(2), 327-337.