

Karakteristik Tanah dan Strategi Rehabilitasi Lahan Bekas Tambang Timah di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung

Soil Characteristics and Rehabilitation Strategies of Abandoned Tin-Mining Area in Bangka Belitung Islands Province

S. Sutono, Umi Haryati, dan Fahmuddin Agus

Balai Penelitian Tanah, Jl. Tentara Pelajar No. 12 Bogor, Indonesia 1611

E-mail: sutono.salem@gmail.com

Diterima 16 Mei 2019, Direview 17 Mei 2019, Disetujui dimuat 30 Juli 2019, Direview oleh Asep Nugraha Ardiwinata dan Yayan Apriyana

Abstrak. Pasca penambangan timah menyisakan sebagian berupa lahan pasir *tailing* yang mempunyai tekstur pasir dengan proporsi fraksi pasir >80%, debu dan liat keduanya <20%. Lahan ini merupakan lahan sangat miskin bahan organik dan hara, sukar menyimpan air, sulit merehabilitasinya karena memerlukan input tinggi. Tulisan ini membahas karakteristik dan dinamika hara tanah pada lahan bekas tambang timah serta teknik pendekatan rehabilitasi lahan tepat guna menanggulangi faktor pembatas lahan pasir *tailing* timah agar mampu menghasilkan produk berupa komoditas pertanian. Sampai saat ini tanah mineral liat dan bahan organik merupakan bahan yang secara ekonomis murah dan secara teknis mudah dilakukan. Memperbaiki kemampuannya menyimpan hara dan air merupakan kunci keberhasilan merehabilitasi lahan pasir *tailing* timah. Pendekatan inilah yang seharusnya menjadi pedoman umum dalam merehabilitasi lahan pasir *tailing* timah untuk dijadikan lahan pertanian.

Kata Kunci: Bekas tambang timah / pasir *tailing* / rehabilitasi tanah / lahan pertanian

Abstract. Post tin mining leaves a portion in the form of tailings sand which has a sand texture with a proportion of sand fraction >80%, both silt and clay <20%. This land is a very poor of organic matter and nutrients, it is difficult to store water. Therefore to rehabilitate it is very difficult and high input is needed. This paper examines the characteristic and dynamics of soil nutrients in abandoned tin-mining area and the appropriate land rehabilitation techniques to overcome the limiting factor for tin tailings sand to be ability and can produce agricultural commodity products. Clay soil mineral and organic material is a material that is economically inexpensive and technically easy to do. Improving its ability to store nutrients and water is the key to the success of rehabilitating tin tailings sand fields. This approach should be a general guideline in rehabilitating tin tailings sand land to be used as agricultural land.

Keywords: Tin mined / sand *tailing* / soil rehabilitation / agricultural land

PENDAHULUAN

Tambang timah merupakan salah satu sumber ekonomi utama Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Kegiatan penambangan timah di Provinsi ini, pada umumnya dilakukan di wilayah Izin Usaha Pertambangan (IUP) yang sebagian besar berlokasi di Pulau Bangka dan Pulau Belitung. Luas IUP pertambangan timah wilayah darat dan laut masing-masing seluas 236.390,33 ha dan 183.837,03 ha (PT Timah 2016) dan Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP 2016) melaporkan bahwa di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung terdapat 124.838 ha bekas penambangan timah yang terdiri atas 79.163 ha di Pulau Bangka dan 45.675 ha di Pulau Belitung.

Penambangan timah di darat yang dilakukan secara terbuka (*open pit*) diawali dengan pembukaan lahan (*land clearing*), pengupasan tanah bagian atas (*stripping*), penggalian, pembuatan dam, pencucian, dan pembuangan bahan padat sisa hasil pencucian timah (*tailing*). Kegiatan penambangan, terutama yang terbuka, menyebabkan: 1) lubang bekas tambang yang biasanya berisi air (kolong atau *void*), 2) tumpukan hasil galian (tanah pucuk yang membentuk wilayah berombak, 3) tumpukan hasil galian di bagian bawah tanah pucuk (*overburden*), 4) tumpukan hasil prosesing pencucian bahan yang mengandung timah (*tailing*) (Sukarman dan Gani 2017). Lahan bekas tambang timah di Pulau Bangka terdiri dari lahan darat seluas 72.400 ha (90,48%) dan kolong bekas galian tambang

yang umumnya berisi air (void) seluas 7.618 ha (9,52%) dari yang terpetakan seluas 80.018 ha (Sukarman dan Agustian 2016, Sukarman dan Husnain 2016).

Penambangan timah meskipun berdampak positif terhadap perekonomian, tetapi berdampak negatif terhadap lingkungan dan lanskap. Penambangan timah berdampak negatif terhadap lingkungan karena hilangnya flora dan fauna, serta menurunnya kesuburan tanah, menyebabkan erosi, menurunnya kualitas air dan menghancurkan komunitas mikroba, kehilangan biodiversitas, berkurangnya habitat hewan liar, dan degradasi daerah penampung air (Tanpibal dan Sahunalu 1989, Dubey *et al.* 2006, Simarmata 2007, Sitorus *et al.* 2008). Dampak negatif terhadap lingkungan maupun lanskap adalah terjadinya degradasi lahan berupa kerusakan bentang lahan, kerusakan sifat fisik, tercampurnya lapisan olah tanah dan tanah bawah, rendahnya bahan organik dan tersingkapnya lapisan beracun (Sukarman dan Husnain 2016).

Ditinjau dari segi luasan, lahan bekas tambang timah masih ada yang berpotensi untuk dijadikan lahan budidaya pertanian, namun memerlukan tindakan dan input teknologi reklamasi serta rehabilitasi yang tepat terlebih dahulu sebelumnya, agar lahan tersebut optimal untuk pertumbuhan tanaman (Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial Departemen Kehutanan 1997, Sukarman dan Husnain 2016).

Reklamasi lahan-lahan terganggu melibatkan sejumlah langkah yang berurutan sebagai berikut: (i) karakteristikasi lahan, (ii) rekayasa dan perencanaan reklamasi, (iii) pengelolaan material, (iv) rekonstruksi topografis, (v) pengembalian topsoil atau pengganti yang sesuai, (vi) manipulasi permukaan lahan, (vii) amandemen tanah, (viii) revegetasi, (ix) irigasi (jika dibutuhkan), dan (x) pemeliharaan dan pemantauan (Toy dan Black 2000).

Menurut Iskandar *et al.* (2012) upaya reklamasi lahan bekas tambang secara teknis dimulai dengan *recounturing*, *regrading* atau *resloping* dari lubang-lubang bekas tambang (*landscaping*). Penataan lahan dilakukan untuk menata ulang lanskap bekas tambang dengan tofografi yang tidak beraturan, sehingga bentang alam menjadi teratur. Penataan lahan tersebut dapat dilakukan dengan cara: a) menutup lubang galian (kolong) dengan limbah tailing (*overburden*), tetapi lubang kolong yang sangat dalam dibiarkan terbuka

untuk menampung air; b) membuat saluran drainase untuk mengendalikan kelebihan air; c) menata lahan agar revegetasi mudah dilakukan; d) menempatkan atau memanfaatkan tanah pucuk agar dapat digunakan secara efisien (Dariah *et al.* 2010). Tanah pucuk adalah lapisan tanah bagian atas yang terdiri dari horison A, B dan C. Tanah pucuk ini di lahan tambang timah biasanya dikeruk atau digali dan dikumpulkan dalam suatu tempat tertentu, yang kemudian akan dikembalikan lagi sebagai lapisan atas pada saat reklamasi lahan.

Dalam pelaksanaan revegetasi, perlu dilakukan pemilihan tanaman yang sesuai dengan kesesuaian lahan, terutama untuk lahan bekas kegiatan penambangan *alluvial* yang sering berdampak pada erosi tanah (Sari dan Buchori 2015). Pengelolaan lanskap lahan bekas tambang meliputi pengelolaan tanah pucuk, pencegahan erosi dan aliran permukaan, serta revegetasi sedangkan untuk peningkatan kesuburan tanah, tanaman penutup tanah, tanaman pagar dan rotasi tanaman dapat dijadikan sebagai sumber bahan organik (Erfandi 2017).

Upaya reklamasi dan rehabilitasi untuk pemulihan lahan bekas tambang timah memerlukan input dengan biaya yang tinggi, oleh karena itu untuk menekan biaya pendekatan rehabilitasi dan reklamasi dapat dilakukan dengan memanfaatkan sumber daya lokal (*in-situ*) yang banyak tersedia di lokasi dan ramah lingkungan. Salah satu cara rehabilitasi yang dinilai layak adalah menggunakan bahan organik sebagai bahan utama pembenah tanahnya. Makalah ini membahas tentang karakteristik dan dinamika hara tanah pada lahan bekas tambang timah di Pulau Bangka dan Belitung serta strategi rehabilitasi lahan yang berbasis penambahan mineral liat dan bahan organik.

KARAKTERISTIK UMUM TANAH LAHAN BEKAS TAMBANG TIMAH

Komposisi Bahan Galian dan Indikator Kerusakan Sifat Tanah

Komposisibahan timbunan galian bekas tambang timah di Bangka Belitung dibagi menjadi empat golongan besar yaitu: 1) tanah galian bagian atas (tanah pucuk), berasal daritanah campuran bagian A, horison B dan horison C tanah asli; 2) tanah galian dari bagian bawah dari horison C tanah; 3) *tailing* berupa

pasir kuarsa, sisa hasil pencucian proses pengolahan pemisahan biji timah dan 4) campuran antara *tailing* dan galian bagian bawah (Sukarman dan Husnain 2016, Sukarman dan Gani 2017) dan *tailing* merupakan bagian dengan sifat tanah yang paling buruk. Selain itu ada *dumping* area yang berasal dari liat marin, mengandung sulfat sangat masam (pH 2,7-3,5) dengan kandungan unsur hara makro (N,P,K, Ca, Mg) tidak tersedia bagi tanaman, sehingga tanaman tidak mampu tumbuh dan yang berasal dari bahan induk kaolin berwarna putih, kedap air, sehingga air dan akar tanaman tidak mampu menembus lapisan tersebut (Asmarhansyah dan Subardja 2012).

Tanah bekas tambang timah sebagian besar merupakan pasir *tailing* yang tersusun dari mineral pasir yang berasal dari batuan granit dan sukar lapuk, hanya sedikit sekali bahan mineral yang mudah lapuk. Lahan pasir *tailing* timah di Bangka Barat sebagai contoh, mengandung mineral sukar lapuk terdiri dari opak (1-20%), zirkon (1-17%), kuarsa keruh (34-84%), kuarsa bening (10-31%), konkresi besi (1-5%), dan limonit (1%). Mineral fraksi pasir lain yang kadang-kadang dijumpai adalah andesin, hornblenda hijau, olivin, epidot dan turmalin. Berdasarkan komposisi tersebut, maka dapat diduga bahwa lahan bekas tambang di Bangka Barat tersebut mempunyai cadangan hara yang tergolong sangat rendah (Sukarman dan Gani 2017).

Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat (1996) menetapkan indikator utama kerusakan tanah pasca penambangan timah, yaitu terjadinya perubahan bentang lahan, tekstur, struktur, dan bahan organik

tanah mengalami penurunan dan berada di bawah ambang ideal untuk berkembangnya perakaran tanaman. Indikator kunci untuk mengevaluasi kualitas tanah pada lahan bekas tambang adalah kandungan bahan organik tanah (*soil organic matter* = SOM), reaksi tanah (pH), berat isi tanah (*bulk density* = BD), kapasitas air tersedia (*available water content* = AWC), agregasi (*water stable aggregate* = WSA), dan respirasi tanah, namun dapat ditambahkan indikator lain sesuai tujuan evaluasi dan kondisi geografis lahan yang akan dievaluasi (Rachman *et al.* 2017).

Sifat Fisik Tanah

Tekstur Tanah

Hasil-hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa tanah pada lahan bekas tambang timah berkelas tekstur pasir, yang didominasi oleh fraksi pasir 81-94% dengan kandungan debu 2-10% dan liat 2-12% (Tabel 1). Hal tersebut sejalan dengan hasil-hasil penelitian lain yang mengemukakan bahwa tekstur tanah lahan bekas tambang timah didominasi oleh fraksi pasir (Inonu *et al.* 2010, Nurcholis *et al.* 2013).

Perubahan tekstur pada lahan yang telah rusak ditandai oleh proporsi tekstur di permukaan tanah dan daerah perakaran mengandung fraksi pasir $\geq 80\%$; fraksi debu $\leq 10\%$; dan fraksi liat $\leq 9\%$ serta kandungan bahan organik $\leq 1\%$ (Puslittanak 1996). Kondisi lahan tersebut dapat dijumpai pada lahan bekas tambang yang disebut *tailing* pasir yang penyebarannya cukup luas. Menurut hasil penelitian Lestari *et al.* (2008), telah terjadi

Tabel 1. Tekstur tanah lahan bekas tambang timah di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung

Table 1. Texture of abandoned tin mining land in the Bangka Belitung Islands Province

Lokasi	Kandungan fraksi (%)			Kelas tekstur	Sumber
	Pasir	Debu	Liat		
P. Bangka	81	10	9	Pasir	Puslittanak (1996)
Bangka Tengah	91	7	2	Pasir	Santi (2005)
Bangka	94	2	6	Pasir	Sitorus <i>et al.</i> (2008)
S.Liat, Bangka	91	4	5	Pasir	Lestari <i>et al.</i> (2008)
Bangka Tengah	91	7	2	Pasir	Subardja <i>et al.</i> (2012)
	-	-	-	Pasir	Asmarhansyah dan Subardja (2012)
Bangka Selatan	-	-	-	Pasir	Asmarhanyah (2015)
Pulau Bangka	-	-	-	Pasir	Sukarman dan Agustian (2016)
Bangka, Belitung	83	5	12	Pasir	Sukarman dan Gani (2017)
	89	5	6	Pasir	Hamid <i>et al.</i> (2017)
Bangka Tengah	84	6	10	Pasir	Haryati <i>et al.</i> (2019)

Tabel 2. Rata-rata proporsi fraksi pasir, debu, dan liat sebelum dan setelah penambangan dan reklamasi lahan timah di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung

Table 2. Average proportion of sand, dust, and clay fractions before and after mining and reclamation of tin land in Bangka Belitung Islands Province

Fraksi	Tanah asli	Pasca penambangan/reklamasi (tahun)						Referensi
		Belum reklamasi	1	3	7	16	23	
Pasir (%)	74	100	-	80	89	-	-	Hamid <i>et al.</i> (2017)
Debu (%)	12	0	-	4	5	-	-	
Liat (%)	14	0		16	6	-	-	
Pasir (%)	21	-	96	-	92	93	94	Sitorus <i>et al.</i> (2008)
Debu (%)	8	-	0	-	2	1	2	
Liat (%)	71	-	4	-	6	6	6	

Keterangan: - tidak tersedia data

perubahan tekstur tanah lahan bekas tambang timah di Desa Rebo, Kecamatan Sungai Liat, Kabupaten Bangka. Tekstur di lahan hutan asli dan lahan bekas penambangan timah jauh berbeda. Di lahan hutan asli, tanah mengandung pasir 62-64%, debu 11-14% dan liat $\pm 24\%$, sedangkan pada lahan bekas tambang timah mengandung pasir 91%, debu 4% dan liat 5%.

Mengembalikan proporsi fraksi tekstur tanah seperti keadaan sebelum ditambang sangatlah sulit walaupun telah direklamasi selama lebih dari 7 tahun (Hamid *et al.* 2017) bahkan sampai 23 tahun setelah penambangan (Sitorus *et al.* 2008). Proporsi pasir masih tetap berada di atas ambang kriteria kerusakan lahan pasca tambang timah yang ditetapkan Puslittanak (1996). Memulihkan proporsi pasir mendekati lahan yang belum ditambang (21 - 74%) selama 23 tahun tidak dapat tercapai karena proporsi pasir pada bekas penambangan timah > 88%. Pembentuk tekstur pada lahan pasir tailing timah adalah mineral dari batuan granit yang tidak mudah lapuk, dalam 23 tahun tidak cukup untuk menurunkan proporsi pasir menjadi < 74% (Tabel 2).

Struktur Tanah, BD, PD, Distribusi Ruang Pori dan WHC

Struktur tanah pada lahan bekas tambang timah berbeda tergantung bahan asalnya. Tanah pucuk berstruktur gumpal - pejal (masif), pasir *tailing* timah merupakan butir tunggal (*single grain*) yang remah dan lepas satu sama lain, tanah mineral bagian bawah pejal (masif) dan tanah campuran pejal (Sukarman dan Gani 2017). Hal ini menyebabkan pori-pori tanah didominasi oleh pori aerasi atau pori drainase cepat yang tinggi dan sangat sedikit pori air tersedia (Tabel 3). Pori aerasi adalah pori-pori tanah tempat terjadinya pertukaran air

dengan udara sangat intensif, air yang mengisi pori aerasi mudah hilang karena menguap (evaporasi) atau terinfiltrasi ke bagian tanah yang lebih dalam karena adanya gaya gravitasi sedangkan pori air tersedia adalah tempat air tersimpan untuk dimanfaatkan tanaman sehingga disebut pori air tersedia. Tingginya pori aerasi menyebabkan permukaan lahan pada kedalaman 0-20 cm mudah mengalami defisit air atau kekeringan (Haryati *et al.* 2019) sampai cepat dengan konsistensi lepas (Zulfahmi *et al.* 2012).

Rendahnya pori air tersedia (Tabel 3) menimbulkan keuntungan dan atau kerugian saat melakukan budidaya tanaman semusim pada lahan pasir *tailing* timah. Keuntungannya adalah mempermudah mencapai kondisi kapasitas lapang melalui penyiraman dan sebaliknya, kerugiannya adalah tanaman mudah sekali kekurangan air akibat cepat meresap kebagian yang lebih dalam. Kadar air pada saat kapasitas lapang mudah tercapai dengan hanya sedikit penyiraman, tetapi untuk mempertahankannya dibutuhkan penyiraman dalam frekuensi yang lebih sering. Kejadian kekeringan pada lahan bekas tambang pada umumnya disebabkan karena ini.

Adanya tekstur tanah yang didominasi oleh fraksi pasir, struktur yang lepas dengan ruang pori total, pori air tersedia, pori drainase lambat yang rendah disertai pori drainase cepat yang tinggi menyebabkan tanah tidak dapat meretensi air atau tanah mempunyai kemampuan memegang air (*water holding capacity* = WHC) yang rendah (Rajiman *et al.* 2008, Ferry *et al.* 2013, Haryati *et al.* 2019).

Tanah pada lahan bekas tambang timah mempunyai BD yang cukup tinggi yaitu $1,4 \text{ g cm}^{-3}$ (Haryati *et al.* 2019), bahkan pada *overburden* mencapai

Tabel 3. Distribusi ruang pori tanah pada lahan pasir *tailing* timah di Desa Bukit Kijang Kecamatan Namang, Kabupaten Bangka TengahTable 3. *Distribution of soil pore space in tin tailings sand fields in Bukit Kijang Village, Namang District, Central Bangka Regency*

Sifat Fisika Tanah	Satuan	Nilai	Diameter pori	Kelas
Bobot isi (BD)	g.cc ⁻¹	1,50	-	tinggi
Bobot jenis (PD)	g.cc ⁻¹	2,64	-	tinggi
Ruang Pori Total	% volume	43,23	-	rendah
Pori Aerasi	% volume	26,23	28,6μ	tinggi
Pori drainase lambat	% volume	5,13	8,6μ	rendah
Air tersedia	% volume	6,60	0,2μ	rendah

Sumber: Data primer, hasil analisis tahun 2016, sebelum aplikasi pembenah tanah

1,9-11,4 g cm⁻³, sehingga tanah cenderung padat dan akan mengganggu penetrasi akar tanaman ke lapisan tanah yang lebih dalam. Hal ini akan mengganggu perkembangan akar tanaman (Sheoran *et al.* 2010, Haryati *et al.* 2019). Karena itu, untuk meningkatkan serapan hara oleh tanaman diperlukan penurunan permeabilitas atau menurunkan jumlah perkolasi agar hara-hara dari pupuk dapat ditahan di daerah perakaran tanaman.

Sifat Kimia Tanah

Reaksi tanah (pH) bekas tambang timah tergolong sangat masam dengan kisaran pH 2,7-4,5 (Santi 2005, Hanura 2005), sedangkan Pusat Penelitian Bioteknologi Hutan dan Lingkungan IPB (2002) melaporkan kisaran pH 4,7-5,6. Asmarhansyah (2015) melaporkan kisaran pH 4,3-5,1; Sukarman dan Gani (2017) mendapatkan kisaran pH 4,0-4,5. Nilai pH tanah bekas tambang sekitar 3,6-4,6, dengan kandungan N, P dan K masing-masing hanya 0,02%; 2,8-3,9 ppm dan 4,9-9,6 ppm (Ferry *et al.* 2013). Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Sukarman dan Agustian (2016) yang menunjukkan bahwa karakteristik tanah lahan bekas tambang timah di Pulau Bangka dan Belitung baik tanah pucuk, *tailing* dan mineral lapisan bawah didominasi oleh pasir, serta pH, C-organik, kapasitas tukar kation (KTK), kejenuhan basa (KB) dan unsur hara lainnya tergolong rendah - sangat rendah.

Kandungan liat dan bahan organik yang sangat rendah menyebabkan KTK dan unsur hara di dalam tanah sangat rendah (Pratiwi *et al.* 2012, Haryati *et al.* 2019) dan hal ini menjadi indikator buruknya kesuburan tanah di lahan bekas tambang timah (Santi 2005, Hanura 2005, Subardja *et al.* 2012,

Asmarhansyah 2015). Nilai KTK tanah lahan bekas tambang timah berkisar dari 2,48-6,95 cmol⁺.100g⁻¹ dengan KB 10-35% (Sukarman dan Gani 2017), KTK berkisar dari 3,17-3,37 cmol⁺.100g⁻¹ dengan KB 34,10-40,64 % dilaporkan oleh Haryati *et al.* (2019).

Rendahnya KTK dan KB tanah lahan bekas tambang timah tersebut berpengaruh terhadap kesuburan dan kandungan unsur-unsur hara di dalam tanah. Asmarhansyah (2015) menunjukkan bahwa kandungan N, P dan K serta Ca, Mg, K dan Na yang sangat rendah dengan kandungan nitrogen (N) berkisar 0,01-0,19%, P₂O₅ (Bray 1) 3,9-8,9 ppm; K₂O (Morgan) 13-43 ppm; serta basa-basa Ca 0,07-2,95, Mg 0,10-0,27, K 0,02-0,09 dan Na 0,01-0,26 cmol⁺.100g⁻¹. Sukarman dan Gani (2017) mendapatkan kandungan P₂O₅ dan K₂O total masing-masing berkisar dari 3,6-8,6 mg.100g⁻¹ dan 1,8-5,0 mg.100g⁻¹; P₂O₅ (Bray 1) 1,40-8,66 ppm dan basa-basa 0,60-1,05 cmol⁺.100g⁻¹. Haryati *et al.* (2019) melaporkan bahwa kandungan N, P dan K serta basa-basa tanah lahan bekas tambang timah tergolong sangat rendah.

Iklim (Curah Hujan, Suhu dan Kelembaban)

Daerah lahan bekas tambang timah di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung mempunyai curah hujan rata-rata yang bervariasi dari 1.727-3.090 mm per tahun. Curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Januari dan yang terendah pada bulan Agustus, dengan zone agroklimat E-2 sampai B-1 berdasarkan kriteria yang dikemukakan oleh Oldeman *et al.* (1978) dengan suhu udara rata-rata berkisar dari 26,2-27 °C (Sukarman dan Agustian 2016).

Penambangan timah telah merubah iklim mikro di Desa Rebo, Kecamatan Sungai Liat, Kabupaten Bangka (Lestari *et al.* 2008). Iklim (suhu, kelembaban)

Tabel 4. Iklim dan tekstur tanah di lahan hutan asli dan lahan bekas penambangan timah di Desa Rebo, Kecamatan Sungai Liat, Kabupaten Bangka

Table 4. *Climate and soil texture in native forest land and former tin mined in Rebo Village, Sungai Liat District, Bangka Regency*

Lokasi	Iklim		Kedalaman tanah (cm)
	T (°C)	RH (%)	
Hutan Asli	27-31	79-100	0 - 40
Lahan Bekas Tambang	42-45	35-40	0 - 40

Sumber : Lestari *et al.* 2008

di hutan asli mempunyai suhu rata-rata 27-31 °C dan kelembaban 79-100% sedangkan pada lokasi lahan bekas penambangan timah suhu rata-rata 42-45 °C dan kelembaban 35-40% yang menunjukkan perubahan iklim mikro yang sangat jelas (Tabel 4). Hal tersebut juga telah menunjukkan bahwa terjadi peningkatan suhu 14-15 °C dan penurunan kelembaban 45-60%. Sementara itu Oktavia *et al.* (2015) melaporkan suhu pada permukaan tailing pasir putih tergolong tinggi dengan kisaran 35-40 °C. Nurtjahya *et al.* (2007 dalam Asmarhansyah 2017) mendapatkan bahwa suhu pada lahan *tailing* pasir pada kedalaman 3 cm pada jam 12.00-14.00 mencapai 45 °C. Hal ini akan menyebabkan pergerakan air melalui evaporasi semakin tinggi dan tanah lebih cepat kehilangan air.

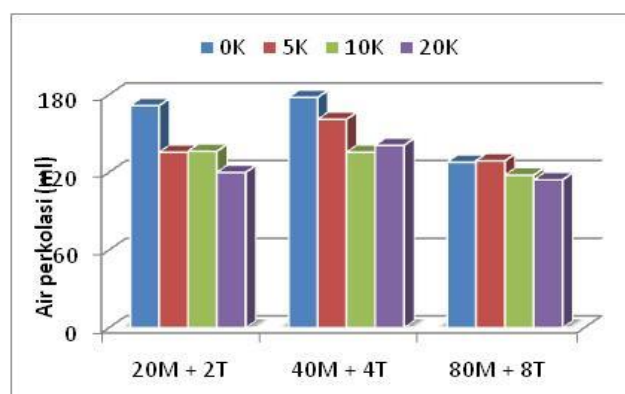
PERGERAKAN HARA DAN BIOTA TANAH

Pergerakan Hara

Dinamika dan pergerakan hara pada lahan pasir *tailing* timah sangat dipengaruhi oleh pergerakan air di dalam tanah yang salah satu indikatornya adalah kecepatan permeabilitas tanah. Dari hasil analisis sifat fisika tanah yang contohnya diambil dari 9 lokasi bekas penambangan timah, permeabilitas tanah pasir *tailing* timah berkisar antara 9-17 cm.jam⁻¹ atau dengan rata-rata >12,5 cm.jam⁻¹. Permeabilitas tersebut tergolong ke dalam kriteria cepat sampai sangat cepat. Dengan kecepatan 12,5 cm.jam⁻¹ maka air yang terdapat pada kedalaman 0-20 cm, pada bidang perakaran, mudah berpindah ke kedalaman di bawahnya yaitu hanya dalam waktu 2 jam air yang membawa hara meninggalkan daerah perakaran.

Sutono (2012) melakukan percobaan mengubah tekstur dengan menambahkan liat dan debu untuk menurunkan proporsi pasir. Pasir *tailing* timah yang semula mengandung 2,50% liat ditingkatkan menjadi 2,84%, 3,18%, dan 3,85%, debu yang semula 5,50%

fraksi debu menjadi 5,80%, 6,10%, dan 6,68% dan menurunkan fraksi pasir dari 92,00% menjadi 91,35%, 90,72%, dan 89,47%. Proporsi tekstur tersebut masih memenuhi kriteria ambang kerusakan (Puslittanak 1996). Perubahan proporsi tekstur dilakukan melalui aplikasi pembenah tanah yang dibuat menggunakan bahan tanah mineral (fraksi pasir 1%, debu 48%, dan liat 51%), kompos dan terak baja. Hasilnya menunjukkan bahwa perkolasi dapat berkurang sesuai dengan menurunnya proporsi pasir (Gambar 1) dan meningkatnya jumlah kompos yang diberikan. Makin banyak jumlah tanah mineral yang ditambahkan makin sedikit jumlah perkolasinya. Penurunan perkolasi sangat nyata ketika proporsi pasir turun menjadi <90%, liat meningkat menjadi 3,85% dan kandungan debu pun meningkat menjadi 6,68%.



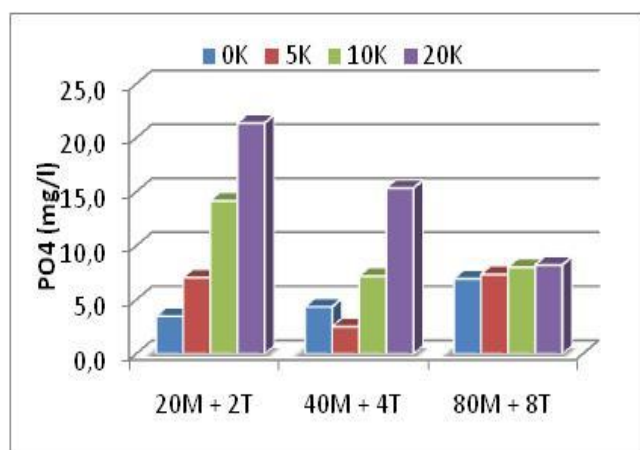
Keterangan: K = pupuk kandang; M = liat tanah mineral; T= terak baja, angka yang berada di belakang huruf tersebut adalah bobotnya dalam satuan ton.ha⁻¹

Gambar 1. Jumlah perkolasi yang terkumpul dari pot berupa kolom tanah selama 7 hari terus menerus pasca pemberian pupuk dasar (Sumber: Sutono 2012)

Figure 1. The amount of percolation collected from the pot in the form of a soil column for 7 days continuously after giving basic fertilizer (Source: Sutono 2012)

Selain itu, kompos yang diberikan pun konsisten menurunkan jumlah perkolasi, dibutuhkan sekitar 80 t.ha⁻¹ kompos untuk menurunkan perkolasi dari 180 ml menjadi <120 ml. Tanah mineral lateritik dicampur kompos merupakan perpaduan yang baik untuk menurunkan laju perkolasi pada lahan pasir *tailing* timah.

Salah satu hara yang sulit tercuci adalah fosfat (PO₄), tetapi pada lahan pasir *tailing* timah, hara tersebut masih dapat tercuci dari kedalaman 0-20 cm, berpindah dari lapisan perakaran ke lapisan di bawahnya sehingga menjadi tidak terjangkau oleh akar tanaman. Pada lahan dengan kandungan pasir >90% jumlah fosfat yang tercuci sangat bergantung kepada jumlah fosfat yang ada pada lapisan perakaran. Makin banyak fosfat makin banyak yang tercuci, dalam hal ini kompos yang diberikan mengandung P₂O₅ sebanyak 1%, sehingga dalam dosis 80 t.ha⁻¹ lebih banyak mengandung fosfat dibandingkan dengan dosis yang lebih rendah. Jika kandungan liat dinaikkan menjadi >3,8% maka jumlah fosfat yang tercuci makin kecil. Menariknya adalah fosfat yang tercuci paling sedikit pada aplikasi kompos 80 t.ha⁻¹ (Gambar 2).



Keterangan: K = pupuk kandang; M = liat tanah mineral; T= terak baja, angka yang berada di belakang huruf tersebut adalah bobotnya dalam satuan ton.ha⁻¹

Gambar 2. Jumlah hara fosfat terbawa aliran perkolasi pada lahan pasir *tailing* timah (Sumber: Sutono 2012)

Figure 2. Phosphate nutrient amount carried by percolation flow in tin tailings sand area (Source: Sutono 2012)

Pembenah tanah berupa tanah lateritik, kompos, dan terak baja dapat digunakan untuk merehabilitasi lahan pasir *tailing* timah. Namun demikian, ketika terak baja masih digolongkan kepada limbah pabrik terak

baja belum dapat menjadi bagian dari formula pembenah tanah tersebut.

Pencucian NO₃-N dapat berkurang jika ke dalam pasir *tailing* ditambahkan bahan organik (Santi 2005), pencucian tersebut sangat bervariasi tergantung dari penempatan bahan organik dalam pasir *tailing* timah. Jika ditempatkan dipermukaan *tailing*, maka akan menguntungkan bagi aktivitas mikroba dalam proses nitrifikasi dan mineralisasi. Mineralisasi N sangat bergantung kepada CN ratio dari bahan organik yang diberikan, makin tinggi CN ratio di dalam tanah makin rendah proses mineralisasi N. Amonium sebagai sumber hara N yang dibutuhkan untuk pertumbuhan padi makin sedikit tercuci jika jumlah kompos dan tanah mineral ditingkatkan menjadi masing-masing 20 t.ha⁻¹ dan 80 t.ha⁻¹.

Kehidupan Biota Tanah

Biota tanah sulit diharapkan berkembang dengan baik di permukaan lahan pasir *tailing* timah yang miskin bahan organik sebagai sumber energinya. Namun pada lahan yang telah direhabilitasi dijumpai mikro flora dan fauna yang berkembang dengan densitas memadai. Pada lahan bekas tambang nikel di Soroako, Setiadi dan Setiawan (2011) berhasil mengidentifikasi Fungi Mikorisa arbuskular (FMA) yang tumbuh dan berkembang pada lahan bertekstur lempung berpasir pasca penambangan, yaitu *Glomus*, *Acaulospora*, dan *Gigaspora*. Ketiga genus tersebut telah teruji efektif dan mampu berkembang dengan baik pada areal revegetasi. Walaupun mungkin bukan genus yang sama dengan di atas. Sitorus *et al.* (2008) mengemukakan bahwa FMA juga mempunyai pengaruh positif terhadap keragaan tanaman rehabilitasi yang digunakan untuk merehabilitasi lahan pasir *tailing* timah. Respon tanaman *L. leucocephala* > *G. maculata* > *P. falcata* > *A. auriculiformis*.

Fauna tanah yang berkembang di permukaan tanah pasir *tailing* timah masih sedikit ragamnya, Densitas populasi *Collembola* semakin meningkat dengan dugaan semakin meningkatnya bahan organik yang ditunjukkan dengan semakin lamanya umur revegetasi lahan pasca tambang timah di bawah tegakan *Acacia mangium* di Pulau Bangka (Nurtjahya *et al.* 2007). Hasil penelitian ini memperkuat dugaan bahwa populasi *Collembola* berpotensi dapat dipergunakan sebagai indikator kesuburan revegetasi *tailing* timah.

Keragaan sifat biologi tanah pada lahan bekas tambang timah dapat dilihat dari rendahnya kandungan total bakteri dan fungi yang masing-masing sebesar $7,12 \times 10^9$ CFU.g⁻¹ tanah dan $2,03 \times 10^7$ propagul g⁻¹ tanah (Asmarhansyah 2015). Peran biota tanah dalam keadaan aktif meningkatkan stabilitas agregat dan memperbaiki porositas tanah, sehingga mendukung tanaman tumbuh optimal. Aktivitas biota tanah dapat menurun karena kondisi lingkungan dalam tanah tidak mampu mendukung kehidupan biotanya seperti terjadi pada tanah lahan bekas tambang timah. Kerusakan sifat fisik seperti menurunnya agregasi dan distribusi ruang pori yang tidak seimbang menyebabkan minimnya oksigen tanah sehingga mengganggu kehidupan biota tanah. Demikian juga halnya dengan rendahnya kandungan bahan organik sebagai sumber energi tidak dapat mendukung kehidupan biota tanah. Hal tersebut menyebabkan biota tanah tidak dapat berperan aktif baik dalam memperbaiki sifat fisik, kimia maupun biologi tanah itu sendiri. Menurunnya aktivitas mikroba dalam tanah menyebabkan pemadatan dan agregasi tanah menurun (Edgerton *et al.* 1995 dalam Erfandi 2017).

PERAN FRAKSI LIAT DAN BAHAN ORGANIK DALAM REHABILITASI LAHAN BEKAS TAMBANG TIMAH

Fraksi Liat

Memperbaiki struktur tanah yang lepas dengan kemampuan memegang air yang rendah dapat dilakukan dengan menggunakan pembenah tanah yang dibuat dari bahan-bahan yang mampu menurunkan persentasi pasir dan meningkatkan kandungan bahan organik atau dengan kata lain mengubah tekstur tanah. Mokhtaruddin dan Norhayati (1995) mengemukakan bahwa penggunaan pembenah tanah organik yang mengandung besi (Fe) mampu memperbaiki struktur tanah pasir bekas tambang dan meningkatkan ketersediaan hara dan air.

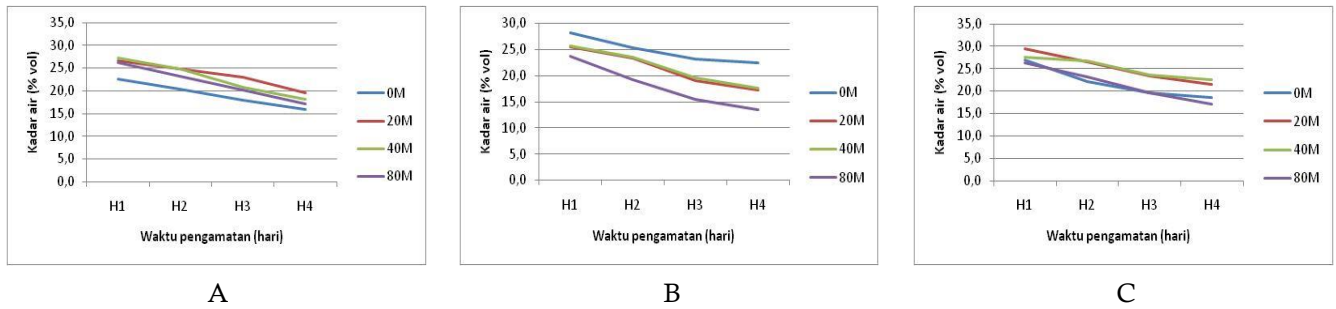
Salah satu teknik untuk menurunkan proporsi fraksi pasir adalah menambahkan pembenah tanah dengan bahan dasar liat (*clay*) ditambah bahan organik. Pembenah tanah yang dibuat hendaknya mengandung minimal 50% liat (*clay*) atau bahkan lebih tinggi lagi baik berupa tanah lateritik atau tanah lainnya untuk mempercepat terbentuknya agregat. Pembenah tanah yang diaplikasikan hendaknya mampu meningkatkan

proporsi fraksi liat, menurunkan fraksi pasir, memperbaiki struktur tanah, penurunan bobot isi tanah (Hamid *et al.* 2017, Sutono *et al.* 2012, Sitorus *et al.* 2008). Pasir sangat halus dapat membentuk agregat yang stabil apabila ditambahkan 25% liat dan bahan organik tanah, stabilitas agregat dapat meningkat sampai 7 kali lebih stabil dibandingkan tanpa penambahan liat dan bahan organik (Mokhtaruddin dan Subari 1996).

Penambahan fraksi liat pada tanah lahan bekas tambang selain dimaksudkan untuk memperbaiki tekstur tanah agar tanah tidak terlalu porous. Selain itu fraksi liat berfungsi untuk meningkatkan KTK melalui mekanisme adsorpsi kation-kation pada permukaan jerapannya. Dengan demikian unsur hara di dalam tanah dapat diretensi dan tidak mudah tercuci (*leaching*) ke lapisan tanah yang lebih dalam. Bahan organik mempunyai beberapa peranan terhadap tanah, antara lain meningkatkan kemampuan tanah menahan dan mempertahankan kelembaban tanah dan arerasi tanah serta secara perlahan meningkatkan kandungan hara atau kesuburan tanah. Bahan organik selain dapat berfungsi sebagai sumber hara, fungsinya sebagai pembenah tanah juga telah banyak dibuktikan (Suriadikarta *et al.* 2005, Rachman *et al.* 2006, Dariah dan Nurida 2011).

Tanaman akan tumbuh dan berkembang dengan baik apabila ditanam pada tanah atau media yang mampu menyediakan air atau kelembaban tanah secara terus menerus dalam jumlah yang cukup sesuai kebutuhan tanaman. Fraksi liat, debu, dan bahan organik mampu memegang air (*water holding capacity*) secara baik dan lama, sedangkan fraksi pasir kurang mampu memegang air dalam jumlah cukup dan waktu lama (Sutono 2012).

Salah satu upaya memperlambat kehilangan air dan atau meningkatkan daya pegang air pada tanah pasir adalah dengan meningkatkan kadar liat. Kadar liat yang semula 2,5% sebagai base line berturut-turut dinaikan menjadi 2,84%, 3,18%, dan 3,85% mampu memperlambat kehilangan kadar air tanah secara signifikan sesuai dengan peningkatan kadar liat pada tanah tersebut (Sutono 2012). Sejak diberikan sampai dengan hari ke 4 penurunan kadar air tanah pada pot tanpa tanaman dapat mencapai >10% volume (Gambar



Keterangan: K = pupuk kandang; M = liat tanah mineral; T= terak baja, angka yang mengikuti huruf tersebut adalah bobotnya dalam satuan ton.ha⁻¹

Gambar 3. Kadar air tanah pada perlakuan tanah mineral ditambah pupuk kandang dan terak baja (A): 5K + 2T, (B) 10K + 4T, dan (C) 20K + 8T (Sutono 2012)

Figure 3. Groundwater content in the treatment of mineral soils plus manure and steel slag (A): 5K + 2T, (B) 10K + 4T, and (C) 20K + 8T (Sutono 2012)

3A, B, C), namun kehilangan sebanyak itu tergolong tinggi.

Kehilangan air tersebut di atas memberikan petunjuk kepada kita bahwa penambahan air atau penyiraman berikutnya ke dalam pot jangan melampaui waktu 4 hari, sebab tanaman akan mengalami kekeringan. Jika ditambahkan kompos dan terak baja, penurunan kadar air dapat dihambat namun juga masih terlalu cepat.

Penggunaan bahan organik berupa mulsa sisa tanaman untuk usahatani di lahan kering telah terbukti dapat mengkonservasi kelembapan tanah melalui pengurangan penguapan dari tanah (evaporasi) karena fungsi penutupannya pada permukaan tanah (Suwardjo 1981, Gupta dan Rajput 1999, Scholes *et al.* 1997, Brata 1995a dan 1995b, Noeralam 2002, Haryati *et al.* 2006, Haryati 2010).

Bahan Organik Tanah

Bahan organik tanah pada lahan pada umumnya berasal dari sisa-sisa makhluk hidup seperti flora dan fauna yang hidup dan berkembang di dalam tanah tersebut. Pasir *tailing* timah berasal dari bahan induk tanah, yang miskin bahan organik dan hara tersedia bagi tanaman yang kandungannya <1% (Puslittanak 1996) dan tergolong rendah (Dariah *et al.* 2010; Sukarman dan Gani 2017, Hamid *et al.* 2017). Asmarhansyah (2015) melaporkan kandungan C-organik pada lahan bekas tambang, yaitu antara 0,11-0,54%, Sukarman dan Gani (2017) menunjukkan

kisaran C-organik antara 0,12-0,66 %, sedangkan Haryati *et al.* (2019) mendapatkan kisaran C-organik bervariasi 0,55-0,58%.

Bahan organik tanah mengandung C-organik yang sering dijadikan sebagai indikator tingkat kesuburan tanah. Semakin tinggi kandungan C-organik tanah, tanah semakin mampu mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman semusim atau sering disebut tanah makin subur yang ditandai dengan warna tanah yang hitam. C-organik tanah secara fisik tidak dapat dipisahkan dengan tanah karena ia terdapat di dalam butiran terkecil tanah dan dapat berada lama di dalam tanah karena telah mengalami mineralisasi. Anda *et al.* (2008) mengemukakan bahwa faktor utama yang berperan dalam mengkonservasi C-organik di dalam tanah adalah kandungan fraksi liat tanah tersebut. Total C-organik meningkat secara linear dengan peningkatan fraksi liat tetapi mineralisasi C mengalami penurunan. Setiap peningkatan liat sebanyak 15% terjadi konservasi C-organik 0,3% dalam waktu 12 bulan.

STRATEGI REHABILITASI PASCA TAMBANG TIMAH

Kontribusi sektor pertambangan terhadap kerusakan hutan dan lahan di Indonesia mencapai 10% dan kini melaju mencapai 2 juta ha tiap tahun. Kerugian yang diakibatkan oleh penambangan timah antara lain adalah kerusakan lansekap dan lingkungan yang meliputi kerusakan bentang lahan, hilangnya biodiversitas, menurunnya kesuburan fisik, kimia dan

biologi tanah (Banning *et al.* 2008, Dariah *et al.* 2010, Shrestha dan Lal 2011, dan Sutono 2012).

Memanfaatkan lahan bekas tambang berupa *tailing* pasir merupakan pilihan yang membutuhkan input tinggi, terutama untuk mengembalikan kesuburan tanah yang memerlukan waktu lama, terutama jika mengandalkan kepada proses alamiah. Salah satu cara adalah mengubah kembali tubuh tanah agar mempunyai daya dukung yang baik terhadap pertumbuhan tanaman, mengembalikan tekstur, struktur, dan bahan organik yang semula dalam kondisi jelek menjadi baik agar semua tanaman yang diusahakan menguntungkan petani serta lingkungan menjadi lebih baik lagi. Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu dilakukan reklamasi lahan bekas tambang, baik dengan revegetasi maupun penyediaan bahan organik.

Ada dua tahap penting yang harus dilakukan sebelum lahan bekas tambang dapat dijadikan lahan pertanian (Sukarman dan Husnain 2016):

- Reklamasi yang bertujuan untuk mengembalikan lahan seperti keadaan semula sebelum dilakukan usaha pertambangan. Kegiatan ini meliputi perataan permukaan tanah, pengembalian tanah pucuk (lapisan olah tanah asli) dan penanaman tanaman pioneer. Kegiatan ini menjadi kewajiban bagi perusahaan tambang.
- Rehabilitasi lahan, yaitu memperbaiki keadaan kesuburan dan sifat fisik tanah agar dapat digunakan sebagai lahan pertanian.

Ruang lingkup reklamasi lahan meliputi: 1) pemulihan lahan bekas tambang untuk memperbaiki lahan yang terganggu ekologiannya, dan 2) mempersiapkan lahan bekas tambang yang sudah diperbaiki ekologiannya untuk pemanfaatan selanjutnya (Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial Departemen Kehutanan 1997).

Revegetasi

Salah satu penentu keberhasilan reklamasi adalah dengan pemilihan tanaman yang sesuai dengan kondisi atau karakteristik lahan. Sebagai upaya berkelanjutan, rencana rehabilitasi lahan pasca tambang juga harus mengacu kepada undang-undang

yang mengatur peruntukan lahan dalam areal konsesi dan kerangka rencana penutupan lahan pasca tambang.

Dariah *et al.* (2010) menyatakan bahwa diperlukan: 1) Restorasi (mengembalikan atau memulihkan kepada keadaan seperti semula dan konservasi keanekaragaman hayati (*biodiversity*) baik flora maupun fauna pada kawasan hutan lindung, 2) evaluasi atau studi alternatif pemanfaatan lahan yang berbasis kehutanan untuk kepentingan sosial ekonomi masyarakat di masa mendatang pada areal APL (Areal Penggunaan Lain) dan hutan produksi, dan 3) evaluasi atau studi alternatif pemanfaatan lahan yang berbasis pertanian pada areal non kehutanan atau pada areal APL atau hutan produksi yang secara peraturan perundang undangan dan kesesuaian lahan memungkinkan untuk dikonversi.

Dalam hal ini untuk kegiatan revegetasi perlu memperhatikan antara jenis tanaman yang dipilih dan syarat tumbuh tanaman dengan kondisi lahan agar kriteria keberhasilan reklamasi dapat tercapai. Penelitian ini menggunakan metode analisis deskriptif, dengan cara mendeskripsikan fakta-fakta yang kemudian disusul dengan analisis dan memberikan pemahaman dan penjelasan secukupnya. Teknik pengambilan data menggunakan metode analisis komparatif dengan membandingkan berbagai jurnal maupun literatur lain.

Kriteria pemilihan jenis pohon untuk lahan bekas tambang adalah 1) Jenis lokal pioner, 2) Cepat tumbuh tetapi tidak memerlukan biaya yang tinggi, 3) Menghasilkan serasah yang banyak dan mudah terdekomposisi, 4) Sistem perakaran yang baik dan mampu bersimbiosis atau berhubungan timbal balik dengan mikroba tertentu, 5) Merangsang datangnya vector pembawa biji, 6) Mudah dan murah dalam perbanyakan, penanaman dan pemeliharaan. Keberhasilan revegetasi bergantung pada beberapa hal seperti: persiapan penanaman, pemeliharaan tanaman serta pemantauan tanaman.

Meningkatkan Bahan Organik Tanah

Untuk meningkatkan bahan organik tanah dapat dilakukan dengan menanam *legume*, baik *legume* pohon maupun *legume* menjalar, tetapi keduanya harus memenuhi syarat sebagai penghasil bahan organik berupa hijauan yang melimpah dan mudah terdegradasi menjadi bahan organik tanah.

Legume Penutup Tanah

Tanaman Benguk (*Mucuna sp.*) sangat populer di Jawa Tengah, DI Yogyakarta, dan Jawa Timur sebagai penghasil bahan makanan yang bijinya dapat dijadikan tempe (tempe benguk). Tanaman Benguk biasanya tumbuh merambat mengikuti *lanjaran* atau pohon dan dapat ditanam untuk dijadikan tanaman rehabilitasi penghasil bahan hijauan (bahan organik) golongan *legume* (Gambar 4). Benguk merupakan tanaman rehabilitasi sebelum tanaman utama ditanam pada lahan pasir *tailing* timah, dapat menghasilkan bahan hijauan atau bahan organik dengan cepat. Tanaman merambat ini pada umur 2 bulan canopi tanamannya sudah berhasil menutup permukaan tanah. Pada saat jumlah daun cukup banyak, tanaman dapat dipangkas tetapi dengan membiarkan pangkal sulur(batang) utamahidup dan tumbuh.



Gambar 4. *Mucuna sp.* merupakan penghasil bahan hijauan (bahan organik) yang mudah tumbuh dan berkembang pada lahan pasir *tailing* timah

Figure 4. *Mucuna sp* is a producer of forage material (organic material) that is easy to grow and develop in tin tailings sand

Pemangkasan tanaman Benguk dapat dilakukan pada ketinggian 20-30 cm di atas permukaan tanah dengan menyisakan bagian sulur (batang) utama dengan harapan dapat tumbuh kembali seperti semula. Pada bagian tengah bedengan dibuat lubang sepanjang bedengan untuk dijadikan tempat penimbunan bahan hijauan mukuna. Penimbunan dilakukan untuk mempercepat degradasi dari bahan segar menjadi bahan yang terdekomposisi dan menjadi bahan organik tanah. Hijauan yang telah terdekomposisi inilah yang dijadikan sumber bahan organik tanah bagi pertanaman berikutnya.

Pada bagian pinggir bedengan yang masih terdapat bagian sulur dibiarkan tidak terganggu agar mukuna dapat bertunas dan tumbuh kembali. Tumbuhnya tunas diharapkan akan lebih cepat untuk kemudian dapat dijadikan mulsa sisa tanaman. Bahan hijauan mukuna hasil pangkasan pertama cukup banyak, yaitu berkisar antara 32 sampai dengan 43 kg per bedeng atau setara dengan 27-36 t.ha⁻¹ bahan segar untuk menambah bahan organik tanah secara *in-situ*.

Legume Pohon/Semak

Teknik rehabilitasi lahan dengan menggunakan kombinasi antara pupuk kandang, inokulan cendawan mikoriza arbuskula dan tanaman *legume* lamtoro (*Leucaena leucocephala*) merupakan teknik yang terbaik dalam merehabilitasi lahan pasir *tailing* timah. Tanaman *legume* yang lain seperti serengan jantan (*Flemingia congesta*), turi (*Sesbania grandiflora*) dan gamal (*Gliricidia sepium*) merupakan tanaman *legume* pohon/semak yang biasa dimanfaatkan dalam pola *alley cropping*. Tanaman *legume* tersebut mudah tumbuh dan berkembang pada lahan marginal dan miskin hara. Pengembangan dengan pola *alley cropping* pada kegiatan rehabilitasi pasir *tailing* timah menggunakan ketiga jenis tanaman tersebut berpotensi untuk meningkatkan ketersediaan bahan hijauan yang dapat bermanfaat sebagai sumber bahan organik tanah (Gambar 5).

Turi tumbuh baik pada lahan pasir *tailing* timah di Bukit Kijang (Gambar 6), selain sebagai sumber bahan organik tanah dapat juga dimanfaatkan sebagai sumber pakan ternak dan bunga turi juga disukai orang. Tanaman turi dapat memfiksasi/menangkap nitrogen dari udara dan menimbunnya dalam akar berupa bintil akar. Karena kemampuannya menangkap nitrogen inilah, maka turi dapat dikembangkan sebagai tanaman rehabilitasi lahan pasir *tailing* timah. Mampu tumbuh cepat dan agak tahan kekeringan, penghasil hijauan pakan ternak, dan sumber bahan pupuk hijau penghasil bahan organik tanah. Tanaman turi tidak begitu tahan terhadap pangkasan, tunasnya mengalami pelambatan tumbuh dan juga digemari penggerek batang, daunnya kecil dan mudah lapuk setelah jatuh di permukaan tanah.

Tanaman gamal (Gambar 7) dapat dikembangkan dengan stek yang ditancapkan ke dalam tanah atau dari biji pada lahan pasir *tailing* timah di Bukit Kijang. Daunnya sebagai sumber pakan ternak, sumber bahan organik tanah, dan dapat bertunas dengan cepat dan lebih tahan terhadap



Gambar 5. *Flemingia congesta* dalam pola *alley cropping*

Figure 5. Flemingia congesta in the alley cropping pattern



Gambar 6. *Sesbania grandiflora* (turi, di Bukit Kijang, Bangka Tengah) mampu menangkap nitrogen udara, sebagai sumber pakan ternak dan sumber bahan organik tanah

Figure 6. Sesbania grandiflora (turi, in Bukit Kijang, Central Bangka) is able to capture air nitrogen, as a source of animal feed and a source of soil organic matter



Gambar 7. *Gliricidia sepium* (Gamal), tumbuh dan berkembang baik dan dapat digunakan sebagai tempat merambat lada pada lahan pasir *tailing* timah di Bukit Kijang, Bangka

Figure 7. Gliricidia sepium (Gamal), grows and develops well and can be used as a place to propagate pepper in tin tailings sand area in Bukit Kijang, Bangka

kekeringan. *Gliricidia* sp di tanam di Bukit Kijang untuk dijadikan tempat merambat tanaman lada sekaligus dijadikan sumber bahan hijauan yang mudah lapuk dan terdekomposisi menjadi bahan organik tanah.

Gamal dapat juga ditanam dalam pola *alley cropping* karena toleran terhadap pangkasan dan jarang yang diserang penggerek batang. Pada musim kering kadang-kadang daunnya gugur namun batangnya tidak mati dan hidup kembali ketika hujan mulai datang. Jika digunakan dalam pola *alley cropping* dapat dipangkas pada ketinggian 60 cm dari permukaan tanah.

Ang *et al.* (1999) menyatakan bahwa kehilangan air dari tubuh tanah pasir *tailing* sangat cepat dan hanya bisa tergantikan oleh curah hujan dan tanaman *A. Mangium* dan *A. auriculiformis* yang berumur 9 bulan akan tercukupi kebutuhan airnya masing-masing selama 6 dan 11 hari setelah hujan, setelah itu diperlukan penyiraman. Suhu tanah pasir *tailing* yang tidak ternaungi lebih panas daripada yang ternaungi dan tanah aslinya, sehingga penguapan lebih tinggi.

Sisa Tanaman

Sisa tanaman seperti jerami, batang, daun dan kelobot jagung, dapat dijadikan mulsa penutup tanah (Gambar 8) yang disebar merata di atas tanah disela-sela tanaman utama. Mulsa sisa tanaman dan sisa panen yang diaplikasikan pada lahan pertanian kering berlereng sangat efektif mengurangi aliran permukaan dan erosi. Sisa-sisa tanaman yang dihamparkan di atas permukaan tanah lebih efektif mengurangi aliran permukaan dan erosi dibandingkan dengan yang ditanam (Suwardjo *et al.* 1989). Pada Oxisol Citayam berlereng 14% yang ditanami tanaman pangan, erosi berkurang 80-90% bila mulsa disebar

di atas permukaan tanah (Suwardjo 1981). Sedangkan pada Ultisol Pekalongan, Lampung berlereng 3,5% yang ditanami tanaman pangan dan diberi mulsa, erosi berkurang hampir 100% (Sudirman *et al.* 1982).

Disamping dapat menghambat aliran permukaan dan laju erosi, mulsa sisa tanaman dapat memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas tanah menahan air, memperbesar pori aerasi dan infiltrasi serta mempertahankan kandungan bahan organik tanah, sehingga produktivitas tanahnya terpelihara (Suwardjo 1981). Pengaruh mulsa terhadap produktivitas tanah akan terlihat manfaatnya dalam jangka panjang. Mulsa sisa tanaman dapat mengurangi frekuensi pengolahan tanah, sehingga setelah dua tahun kondisi tanah masih gembur dan memiliki pori aerasi yang cukup untuk menunjang pertumbuhan tanaman (Suwardjo *et al.* 1989). Penggunaan 4-5 ton mulsa jerami padi.ha⁻¹ pada Ultisol Pekalongan, Lampung, mampu meningkatkan hasil jagung 5-20% dan kedelai 60% (Hafif *et al.* 1993, Suwardjo dan Abujamin 1985).

Pengurangan jumlah hara yang hilang dapat mencapai 80-95%, sehingga teknik tersebut dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk. Apabila upaya pencegahan kehilangan hara dapat dilakukan, maka pemupukan dipastikan efisien dan efektif, sehingga hasil tanaman meningkat dan berkelanjutan (Kurnia *et al.* 1997, Suganda *et al.* 1997).

Pada lahan pasir *tailing* timah, mulsa sisa tanaman mempunyai pengaruh yang baik terutama untuk menurunkan temperatur permukaan tanah dan menurunkan jumlah evaporasi. Setelah terdekomposisi sisa tanaman tersebut menjadi pemasok kebutuhan bahan organik tanah.



Gambar 8. Bahan hijau *Mucuna* sp (kiri) dan plastik dijadikan mulsa pada pertanaman cabai di lahan bekas tambang Bukit Kijang, Bangka Tengah

Figure 8. *Mucuna* sp (left) and plastic green materials are made mulch in chili plantations on the abandoned tin mining site of Bukit Kijang, Central Bangka

Pupuk Kandang

Kotoran hewan atau lebih populer disebut pupuk kandang merupakan bahan pembenah tanah yang baik untuk lahan pasir *tailing* timah. Pembenah tanah berbahan dasar pupuk kandang, selain berfungsi sebagai bahan higroskopis untuk menahan air, mudah sekali terdekomposisi dan menjadi pemasok kebutuhan hara makro dan mikro bagi tanaman yang diusahakan. Memang tidak banyak hara makro dan mikro yang dikandung oleh pupuk kandang, tetapi jika diberikan dalam jumlah banyak sangat membantu penyediaan hara.

Pupuk kandang mengandung C-organik yang dibutuhkan tanaman. Dari beberapa hasil penelitian C-organik tanah dapat ditingkatkan melalui pemberian pupuk kandang. Namun demikian hasil pengamatan C-organik pasca rehabilitasi lahan tambang masih dalam kategori sangat rendah, N-total meningkat tetapi masih dalam kategori sangat rendah, KTK meningkat meskipun masih dalam kategori rendah, P-tersedia meningkat dari sangat rendah menjadi rendah, namun belum mampu memperbaiki pH tanah yang masih tergolong sangat masam di semua lokasi penelitian (Hamid *et al.* 2017).

Hasil sampingan beternak sapi berupa pupuk kandang (Gambar 9) dapat dijadikan sumber bahan organik tanah, bahkan menjadi sumber pendapatan petani yang semula tidak diperhitungkan. Integrasi rehabilitasi lahan pasir *tailing* timah dengan ternak dapat menjadi pola peningkatan pendapat petani. Apalagi ketika usaha tani tanaman pangan sudah berkembang, maka kebutuhan pupuk kandang menjadi tinggi. Pembenah tanah berupa pupuk kandang dapat meningkatkan lingkaran batang tanaman rehabilitasi seperti lamtoro (Sitorus *et al.* 2008). Hasil pengamatan pupuk kandang yang diberikan bersamaan dengan



Gambar 9. Integrasi ternak ruminansia dalam rehabilitasi lahan pasir *tailing* timah

Figure 9. Integration of ruminants in rehabilitation of tin tailings sand land

biochar ke dalam lubang tanam cabai dapat bertahan sampai 2 musim tanam atau dua tahun.

Biochar

Biochar atau arang yang dikombinasikan dengan pupuk kandang atau kompos menjadi pembenah tanah yang efektif untuk meningkatkan hasil tanaman palawija pada lahan pasir *tailing* timah. Bahan tersebut selain sukar terdekomposisi juga dapat meningkatkan kandungan air di dalam tanah. Fellet *et al.* (2011) menyatakan bahwa biochar membantu memantapkan terbentuknya fitostabilisasi lahan bekas tambang. Karena mampu meningkatkan pH, retensi nutrisi, kapasitas pertukaran kation dan kapasitas penampung air, menurunkan ketersediaan Cd, Pb, Ti dan Zn dalam *tailing* tambang.

Terdapat dua perilaku yang baik dari pembenah tanah campuran biochar dengan pupuk kandang atau kompos yaitu saling membantu dalam mempertahankan retensi air. Pupuk kandang atau kompos akan segera terdekomposisi dan terjadi mineralisasi bahan organik sedangkan biochar sulit terdekomposisi sehingga dapat mempertahankan kandungan C tanah dalam jangka waktu relatif lama. Kedua hal tersebut sangat membantu dalam meningkatkan daya dukung tanah terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Biochar dapat dibuat dari batang atau ranting pohon akasia yang telah meranggas mati dan kering, dianjurkan untuk tidak menebang pohon tersebut apabila masih hidup. Kayu-kayu tersebut dipotong pendek-pendek untuk dijadikan bahan arang. Arang dibuat melalui proses pirolisis tidak sempurna di dalam kontiki (Gambar 10).

Kontiki yang dibuat dengan diameter antara 120-250 cm dan dalam berkisar antara 60-80 cm dapat





Gambar 10. Pembuatan dan proses pengeringan biochar dari kayu akasia dengan sistem kontiki

Figure 10. Making and drying process of acacia wood biochar with kontiki system

dimanfaatkan untuk pembuatan arang. Setelah bara membakar semua kayu, termasuk kayu yang berada di permukaan kontiki yang ditandai oleh munculnya warna putih disekeliling kayu sebagai tanda bahwa pembakaran pirolisis telah selesai dan bara api harus dimatikan. Jika api tidak mati, bara akan tetap menyala dan pembakaran tidak menghasilkan arang, tetapi menghasilkan debu. Karena itu, pada saat mematikan bara api hendaknya dilakukan penyiraman dengan air agar semua bara tidak hidup lagi. Setelah semua bara mati, arang diangkat untuk dikeringkan dan ditumbuk agar ukurannya menjadi kecil mendekati ukuran butir pupuk kandang. Ukuran butir yang hampir homogen antara arang dengan pupuk kandang atau kompos akan memudahkan dalam pencampuran dan pembuatan pembenah tanah.

Pembenah tanah yang digunakan untuk merehabilitasi tanah pasir *tailing* timah di Bukit Kijang adalah pupuk kandang dan biochar sekam serta biochar akasia, berpengaruh baik terhadap peningkatan hasil buah segar cabai rawit. Pembenah tanah tersebut dipadukan dengan penerapan pupuk anorganik dengan sistem fertigasi. Kedepan pembenah tanah ini mempunyai prospek yang baik untuk mempercepat rehabilitasi lahan pasir *tailing* timah.

KESIMPULAN

Reklamasi dan rehabilitasi lahan pasca tambang timah sebagai salah satu sumber daya lahan potensial untuk dikembangkan menjadi lahan pertanian, secara hukum merupakan kewajiban yang harus dilaksanakan oleh perusahaan tambang timah untuk memulihkan kembali lahan yang telah mengalami degradasi akibat operasional tambang.

Karakteristik tanah pada lahan bekas tambang timah di Pulau Bangka dan Belitung lebih banyak ditentukan proses rehabilitasi pasca penambangan yang dimulai dari menimbun kembali lubang dengan *tailing* pasir, di atasnya *overburden* dan paling atas adalah tanah pucuk. Proses rehabilitasi sering tidak sempurna karena volume pasir *tailing* lebih banyak dibandingkan *overburden* dan tanah pucuk sehingga tersisa hamparan pasir *tailing* dan kolong, sehingga kebanyakan lahan bekas tambang belum sepenuhnya siap untuk dimanfaatkan sebagai lahan pertanian.

Hamparan pasir *tailing* timah yang masih dalam proses revegetasi belum dapat ditanami atau dijadikan

lahan budidaya pertanian karena tergolong tanah rusak dengan kandungan fraksi pasir $\geq 80\%$, fraksi debu $\leq 10\%$, dan fraksi lempung $\leq 9\%$ serta kandungan bahan organik $\leq 1\%$. Kemampuan meretensi air lahan bekas tambang timah sangat rendah sehingga diperlukan pembenah tanah yang berperan ganda, yaitu mampu meretensi air dan meningkatkan bahan organik tanah.

Karakteristik lainnya adalah mempunyai sifat kimia yang buruk dengan pH sangat rendah (masam-sangat masam), kapasitas tukar kation (KTK) sangat rendah, kejenuhan basa (KB) sangat rendah, jumlah basa-basa (Ca, Mg, K dan Na) sangat rendah, kandungan nitrogen (N) total sangat rendah, dan kandungan fosfat (P) total maupun tersedia juga sangat rendah.

Dalam upaya rehabilitasi lahan bekas tambang timah dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain dengan penambahan tanah mineral liat dan bahan organik. Bahan organik yang dapat digunakan adalah pupuk kandang, kompos, biochar, tanaman *legume* pohon/semak dan *legume* penutup tanah. Perbaikan media tumbuh tanaman dapat mendukung tumbuh dan berkembangnya tanaman budidaya dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anda M, Suryani E, Widati S, Kurnia U. 2008. Preservation of organic matter as affected by various clay contents in an Acid Soil: beneficial impact on groundnut yield. *J. Tanah dan Iklim* No. 19. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Ang LH, Seel WE, Mullins C. 1999. Microclimate and water status of sand tailings at an ex-mining site in Peninsular Malaysia.
- Asmarhansyah, Subardja D. 2012. Perbaikan kualitas lahan bekas tambang timah Bangka Tengah melalui penggunaan tanah mineral dan pupuk organik. *Dalam Wigena et al. (Eds.): Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pemupukan dan Pemulihan Lahan Terdegradasi*. Hlm 325-336. Bogor, 29-30 Juni 2012. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Asmarhansyah. 2015. Characteristics of physical and chemical properties of former-tin mining areas for crop production in Bangka Island. *Dalam Prosiding Nasional Sistem Informasi dan Pemetaan Sumberdaya Lahan Mendukung Swasembada Pangan*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan. Bogor.
- Asmarhansyah. 2017. Inovasi Teknologi untuk Peningkatan Produktivitas Lahan Bekas Tambang Timah. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 11 (2) : 91-106.
- BBSDLP (Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian). 2016. Atlas Peta Tanah Lahan Bekas Tambang Tingkat Semi Detail Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Kementerian Pertanian. Bogor.
- Banning NC, Grant CD, Jones DL, Murphy DV. 2008. Recovery of soil organic matter, organic matter turnover and nitrogen cycling in a post-mining forest rehabilitation chronosequence. *SBB* 40, pp: 2021-2031.
- Brata KR. 1995a. Efektivitas mulsa vertikal sebagai tindakan konservasi tanah dan air pada pertanian lahan kering di Latosol Darmaga. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* 5 (1) : 13-19. Institut Pertanian Bogor.
- Brata KR. 1995b. Peningkatan efektivitas mulsa vertikal sebagai tindakan konservasi tanah dan air pada pertanian lahan kering dengan pemanfaatan bantuan cacing tanah. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 5 (2) : 69 - 75. Institut Pertanian Bogor.
- Dariah A, Abdurachman A, Subardja D. 2010. Reklamasi lahan eks-penambangan untuk perluasan areal pertanian. *Jurnal Sumberdaya Lahan* Vol. 4 No. 1 Juli 2010: 1-12.
- Dariah A, Nurida NL. 2011. Formula pembenah tanah diperkaya humat untuk meningkatkan produktivitas tanah Ultisol Taman Bogo Lampung. *Jurnal Tanah dan Iklim* No 33, Juli 2011. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial Departemen Kehutanan. 1997. Pedoman Reklamasi Lahan Bekas Tambang. Jakarta.
- Dubey K, Singh VK, Mishra CM, Kumar A. 2006. Use of biofertilizer for reclamation of silica mining area. Makalah disampaikan pada Billings Land Reclamation Symposium, 4 - 8 Juni 2006.
- Erfandi D. 2017. Pengelolaan lansekap lahan bekas tambang : pemulihan lahan dengan pemanfaatan sumberdaya lokal (*in-situ*). *Jurnal Sumberdaya Lahan* 11 (2) : 55 - 66.
- Fellet G, Marchiol L, Vedove GD, Peressotti A. 2011. Application of biochar on mine tailings: Effects and perspectives for land reclamation <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.03.053> diunduh 11-02-2019.
- Ferry Y, Towaha J, Sasmita RRKD. 2013. Pemanfaatan kompos tanaman air sebagai pembawa inokulan mikriza pada budidaya lada perdu di lahan bekas tambang timah. *J. Litri* 19 (1) : 15-22
- Gupta RK, Rajput RP. 1999. Crop- Water Relationship Studies in Dryland Agriculture. *In Singh et al. (Eds.). Fifty Years of Dryland Agricultural Research in India*. Central Research Institut for Dryland Agriculture. Santoshnagar, Hyderabad - 500 059.

- Hafif B, Suhardjo M, Erfandi D. 1993. Pengaruh mulsa jerami dan beberapa teknik konservasi tanah terhadap produksi kedelai di lahan kering Lampung. Makalah pada Pertemuan Pembahasan Penelitian Tanah dan Agroklimat. Cipayung 19-22 Februari 1993.
- Hamid I, Priatna SJ, Hermawan A. 2017. Karakteristik beberapa sifat fisika dan kimia tanah pada lahan bekas tambang timah. J. Penel. Sains Vol.19 No1 Januari 2017 JPS MIPA UNSRI 19105-23.
- Hanura. 2005. Perbaikan sifat kimia bahan tailing asal lahan pasca penambangan timah yang diberi kompos dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman kedelai. Thesis. Program Studi Ilmu Tanaman Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya.
- Haryati U, Subagyo K, Tala'ohu SH, Sutono, Adimihardja A. 2006. Aplikasi mulsa dan teknik irigasi untuk tanaman cabai lahan kering pada Typic Kanhapludults Tamanbogo, Lampung. Hlm 31-46. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor, 14 - 15 September 2006. Buku III. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.
- Haryati U. 2010. Peningkatan Efisiensi Penggunaan Air untuk Pertanian Lahan Kering Berkelanjutan Melalui Berbagai Teknik Irigasi pada Typic Kanhapludult Lampung. Desertasi. Program Studi Ilmu Tanah, Sekolah Pascasarjana, IPB. Bogor.
- Haryati U, Sutono S, Subiksa IGM. 2019. Pengaruh amelioran terhadap perbaikan sifat tanah dan produksi cabai rawit (*Capsicum frutescens*) pada lahan bekas tambang timah. Laporan Teknis (tidak dipublikasi).
- Inonu I, Budianta D, Umar M, Yakup, Wiralaga AYA. 2010. Penggunaan bahan organik lokal untuk memperbaiki sifat fisik dan kimia tailing pasir pasca tambang timah di Pulau Bangka. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Konservasi Tanah dan Air Indonesia, Jambi, 24-25 November 200. Jambi; MKTI Hal 315-328.
- Iskandar, Suwardi, Suryaningtyas DT. 2012. Reklamasi lahan-lahan bekas tambang: beberapa permasalahan terkait sifat-sifat tanah dan solusinya. Hal : 29-36. *Dalam* Wigena *et al.* (Eds.), Prosiding Seminar Teknologi Pemupukan dan Pemulihan Lahan Terdegradasi. Bogor, 29-30 Juni 2012. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.
- Kurnia U, Sinukaban N, Suratmo FG, Pawitan H, Suwardjo H. 1997. Pengaruh teknik rehabilitasi lahan terhadap produktivitas tanah dan kehilangan hara. Jurnal Tanah dan Iklim No. 15:10-18.
- Lestari T, Abdi Z, Widodo J, Yohanes. Analisis vegetasi di lahan bekas penambangan timah Desa Rebo, Kabupaten Bangka. *Enviagro*, Vol. 2 (2): 11-28
- Mokhtaruddin AM, Norhayati M. 1995. Modification of soil structure of sand tailings: i. preliminary study on the effect of organic amendment and iron on soil aggregation. J. Trop. Agric. Sci. 18(2): 83-88 (1995) ISSN: 0126-6128. © Universiti Pertanian Malaysia Press.
- Mokhtaruddin AM, Subari Z. 1996. Modification of soil structure of sand tailings: 2. effect of silt, sand and clay contents on aggregate development using organic amendments. J. Trop. Agric. Sci. 19(2/3): 137-145 (1996) ISSN: 0126-6128. © Universiti Pertanian Malaysia Press.
- Noeralam A. 2002. Teknik Pemanenan Air yang Efektif dalam Pengelolaan Lengan Tanah Pada Usahatani Lahan Kering. Desertasi Doktor. Program Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Nurcholis M, Wijayani A, Widodo A. 2013. Clay and organic matter applications on the coarse quartz tailing material and the sorghum growth on the post tin mining at Bangka Island. www.jdmlm.ub.ac.id 27. ISSN: 2339-076X, Volume 1, Number 1 (October 2013): 27-32.
- Nurtjahya E, Setiadi D, Muhadiono, Setiadi Y. 2007. Populasi *collembola* di lahan revegetasi tailing timah di Pulau Bangka. *Biodiversitas* 8 (4) : 309-313.
- Oktavia D, Setiadi Y, Hilwan I. 2015. The comparison of soil properties in heath forest and post-tin mined land: basic for ecosystem restoration. *Procedia Environmental Sciences* 28:124 - 131.
- Oldeman LR, Darwis SN, Las I. 1978. Agro-climatic Map of Sumatera, scale 1:3,000,000. Central Research Institute of Agriculture, Bogor Indonesia.
- Pratiwi, Santoso E, Turjaman M. 2012. Penentuan dosis bahan pembenah tanah (amelioran) untuk perbaikan tanah dari tailing kuarsa sebagai medium tumbuh tanaman hutan. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. Vol 9 (2):163-174.
- PT. Timah. 2016. Laporan Tahunan. PT Timah. Pangkal Pinang.
- Pujawati ED. 2009. Jenis-jenis fungi tanah pada areal revegetasi *Acacia mangium* Willd di Kecamatan Cempaka Banjarbaru. *Jurnal Hutan Tropis Borneo*. Volume 10 (28), Edisi Desember 2009.
- Pusat Penelitian Bioteknologi Hutan dan Lingkungan IPB. 2002. Effect of bio-organic on soil and plant improvement of post tin mine site at PT. Koba Tin Project Area, Bangka. Pusat Penelitian Bioteknologi IPB, Bogor.
- Puslittanak (Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat). 1996. Studi Upaya Rehabilitasi Lingkungan Penambangan Timah. Puslit Tanah dan Agroklimat.
- Rachman A, Dariah A, Santoso D. 2006. Pupuk Hijau. Hlm 41-58. *Dalam* Prosiding Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.

- Rachman A, Sutono, Irawan, Suastika IW. 2017. Indikator kualitas tanah pada lahan bekas penambangan. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 11 (1) : 1- 10.
- Rajiman, Yudono P, Sulistyaningsih E, Hanudin E. 2008. Pengaruh pembenah tanah terhadap sifat fisika dan hasil bawang merah pada lahan pasir pantai Bugel. *Jurnal Agrin*. 12 (1): 67-77.
- Santi R. 2005. Pertumbuhan Nilam (*Pogostemon cablin* Benth) pada *sandy tailing* asal lahan pasca penambangan timah yang diberi kompos dan tanah kupasan (*overburden*). Tesis, Program Studi Ilmu Tanaman Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya.
- Sari DP, Buchori I. 2015. Efektivitas program reklamasi pasca tambang timah di Kecamatan Merawang Kabupaten Bangka. *Jurnal Pembangunan Wilayah&Kota*. Volume 11 (3): 299-312 September 2015. Biro Penerbit Planologi UNDIP.
- Scholes MC, Powlson D, Tian G. 1997. Input control and organic matter dynamic. *Geoderma*. 79: 25 - 47.
- Setiadi Y, Setiawan A. 2011. Studi status fungi mikoriza arbuskula di areal rehabilitasi pasca penambangan nikel (Studi Kasus PT INCO Tbk. Sorowako, Sulawesi Selatan). *J. Silvikultur Trop* 03 (01) :88 - 95.
- Sheoran V, Sheoran AS, Poonia P. 2010. Soil reclamation of abandoned mine 1 and by revegetation : A Review, *International Jurnal of Soil Sediment and Water*: Vol. 3L Iss. 2, Article 13, 1 - 20.
- Shrestha RK, Lal R. 2011. Changes in physical and chemical properties of soil after surface mining and reclamation. p 168-176, *Geoderma* Vol 161. *Geoderma journal homepage: www.elsevier.com/locate/ geoderma*.
- Simarmata T. 2007. Revitalisasi kesehatan ekosistem lahan kritis dengan memanfaatkan pupuk biologis mikoriza dalam percepatan pengembangan pertanian ekologis di Indonesia. *VISI* (2007) 15 (3) 289 - 306).
- Sitorus SRP, Kusumastuti E, Badri LN. 2008. Karakteristik dan teknik rehabilitasi lahan pasca penambangan timah di Pulau Bangka dan Singkep. *Jurnal Tanah dan Iklim* 27, pp. 57 - 74.
- Subardja D, Kasno A, Sutono. 2012. Teknologi pencetakan sawah pada lahan bekas tambang timah di Bangka Belitung. Hlm: 111-122. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Topik Khusus "Teknologi Pemupukan dan Pemulihan Lahan". Bogor, 29-30 Juni 2012.
- Sudirman, Kadir MZ, Suwardjo H. 1982. Pengaruh pengolahan tanah dan mulsa sisa tanaman terhadap erosi dan produktivitas tanah Podsolik Pekalongan, Lampung. Hal. 203-212. *Dalam* Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah. Bogor 18-20 Juni 1987. Pusat Penelitian Tanah - Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Suganda H, Sodik M, Santoso D, Sukmana S. 1997. Pengaruh cara pengendalian erosi terhadap aliran permukaan, tanah tererosi dan produksi sayuran pada Andisol. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 15: 38-50.
- Sukarman, Agustian A. 2016. Survei, Pemetaan Lahan dan Analisis Sosial Ekonomi di Bekas Tambang. Laporan Akhir Rencana Operasional Penelitian. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian (Tidak dipublikasikan).
- Sukarman, Husnain 2016. Karakteristik lahan bekas tambang dan permasalahannya di Bangka Belitung dan Pulau Buru. *Dalam* Pasandaran *et al.* (Eds.) *Sumberdaya Lahan dan Air. Prospek Pengembangan dan Pengelolaan*. Hal :54-71. IAARD Press.
- Sukarman, Gani RA. 2017. Lahan bekas tambang timah di pulau Bangka dan Belitung dan kesesuaiannya untuk komoditas pertanian. *Jurnal Tanah dan Iklim* 41 (2) : 92 - 100.
- Suriadikarta DA, Prihatini T, Setyorini D, Hartatik W. 2005. Teknologi pengelolaan bahan organik tanah. Hal 169 - 222. *Dalam* Abdurachman A, Mappaona (Eds.) *Teknologi Pengelolaa Lahan Kering Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Sutono. 2012. Reklamasi pasir *tailing* bekas penambangan timah untuk budidaya padi gogo (*Oryza sativa* (L) *Merri*). Thesis SPS IPB
- Suwardjo, H. 1981. Peranan Sisa-sisa Tanaman dalam Konservasi Tanah dan Air pada Usahatani Tanaman Semusim. Disertasi Doktor. Fakultas Pasca Sarjana, IPB Bogor.
- Suwardjo H, Abujamin S. 1985. Crop residue mulch for conserving soil in uplands of Indonesia. P. 607-614 In El-Swaify SA, Moldenhauer WC, Andrew Lo (Eds.). *Soil Erosion and Conservation*.
- Suwardjo H, Abdurachman A, Sukmana S. 1989. The use of crop residue mulch to minimize tillage frequency. *Pember. Penelitian Tanah dan Pupuk* No. 8:31-37.
- Tanpibal V, Sahunalu P. 1989. Characteristics and management of tin mine tailing in Thailand. *Soil Technology* 2:17-26.
- Toy TJ, Black JP. 2000. Topographic reconstruction: the theory and practices. *In* Barnhisel, RI, Darmody RG, Daniels WL (Eds.). *Reclamation of Drastically Disturbed Lands*. Am. Soc. Of Agronomy Inc, Crop Science Soc.of Am. Inc, and Soil Science Soc.of Am. Inc, Madison.
- Zulfahmi AR, Zuhairi W, Raihan WY, Sahibin MT, Wan Mohn Razi, Tukimat I, Syakireen ZSN, Noorulakma A. 2012. Influence of amang (tin tailing) on geotechnical properties of clay soil. *Sains Malaysiana* 43 (3) : 303 - 312.