

Inovasi Teknologi untuk Peningkatan Produktivitas Lahan Bekas Tambang Timah

Innovation Technology for Enhancing Land Productivity of Abandoned Tin-Mining Lands

Asmarhansyah

Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Kepulauan Riau, Jl. Sungai Jang No. 38, Tanjungpinang 29124. E-mail: asmarhansyah@gmail.com

Diterima 19 Mei 2017, Direview 29 Mei 2017, Disetujui dimuat 24 Oktober 2017

Abstrak. Kegiatan penambangan timah telah secara nyata mengakibatkan kerusakan lingkungan biofisik lahan dan status ekonomi dan sosial negara dan masyarakat sekitar tambang. Perubahan biofisik akibat pertambangan timah adalah terbentuknya lanskap yang tidak beraturan, kolong, menurunnya keragaman hayati dan mikroba tanah, perubahan iklim mikro, dan penurunan produktivitas lahan. Dampak tersebut menyebabkan lahan bekas tambang timah bukan merupakan media ideal untuk pertumbuhan dan hasil tanaman karena karakteristik lahan bekas tambang timah tergolong buruk yang ditandai dominasi fraksi pasir, rendahnya kandungan C-organik, kapasitas tukar kation, unsur hara makro esensial, dan basa-basa tertukar. Penanganan dan perbaikan kualitas lahan bekas tambang timah harus dilakukan sebelum lahan tersebut dimanfaatkan untuk kegiatan pertanian. Teknologi peningkatan produktivitas lahan dan tanaman sangat diperlukan, melalui inovasi teknologi pertanian. Teknologi perbaikan sumberdaya lahan dapat dilakukan melalui aplikasi pupuk organik dan anorganik, pengapuran, dan pembenah tanah. Pengelolaan sumberdaya tanaman melalui pemilihan komoditas dan pola tanam, baik tanaman pangan, perkebunan, hortikultura, maupun hijauan pakan ternak. Pengelolaan sumberdaya ternak dilakukan melalui penyediaan hijauan pakan ternak dan inovasi produksi pupuk organik. Pengelolaan sumberdaya air untuk menjaga kualitas air kolong bekas tambang timah dapat dilakukan melalui aplikasi bahan penetrat dan *passive treatment systems*, penanaman tanaman penguat di sekitar kolong dan mengurangi kehadiran petambang ilegal. Implementasi sistem pertanian terintegrasi diyakini mampu meningkatkan produktivitas lahan bekas timbang timah untuk pertanian produktif secara komprehensif dan berkelanjutan mengingat terdapat hubungan erat antara tanaman dan ternak. Biomass dari komoditas tanaman utama yang diusahakan dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak dan kotoran ternak yang dihasilkan dapat digunakan untuk memperbaiki kualitas dan meningkatkan produktivitas lahan bekas tambang timah.

Kata kunci : Bekas Tambang Timah / Teknologi Inovasi / Produktivitas Tanah / Pertanian Terintegrasi

Abstract. Tin mining activities have significantly caused damages in biophysical environmental and the economic and social status of the country and communities. The biophysical changes in the environment due to tin mining are irregular landscapes, tin-pond, biodiversity and soil microbes, micro-climate, and land productivity. Those impacts cause former tin-mining areas are not an ideal medium for growth and crop yields due to poor characteristics of former tin-mining lands indicated by sand fraction, low organic-C content, cation exchange capacity, essential macro nutrients, and exchangeable-bases. Enhancing the quality of tin-mining land must be done before the land utilized as productive agricultural activities. Technological improvement of land and plant productivity are needed, through agricultural technological innovation. Technological improvement of land resources can be done through the application of organic and inorganic fertilizers, liming, and soil conditioner. Management of plant resources through the selection of commodities and cropping patterns, for food crops, plantations, horticulures, and forages for livestock. The management of livestock resources is done through the provision of forage feed and innovation of organic fertilizer production. The management of water resources to maintain the quality of tin-pond can be done through the application of neutralizing materials and passive treatment systems, planting conserved plants and avoiding the presence of illegal miners. Implementation of integrated farming system will be able to enhance the productivity of the former-tin mining land as integrated and sustainable agriculture since there are a close relationship between crops and livestock. The biomass of the cultivated crops can be used as animal feed and the livestock manure can be used to enhance the quality of productivity of former tin-mining lands.

Keywords : Former Tin Mining Land / Innovation Technology / Land Productivity / Integrated Agriculture

PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia termasuk salah satu dalam lintasan *Southeast Asia Tin Belt* (Sujitno 2007, Cobbing 2005, Van

Bemmelen 1970) yang memanjang dari daratan China, Burma, Thailand, dan Malaysia hingga ke Indonesia (Sainsbury 1959). Di Indonesia sabuk timah tersebut melintasi Kepulauan Riau dan Kepulauan Bangka Belitung (Gambar 1). Jenis penambangan timah di



Sumber: Sainsbury (1959)

Gambar 1. Sebaran timah di Asia Tenggara

Figure 1. Southeast Asia tin belt

Kepulauan Riau berupa tambang laut, sementara di Kepulauan Bangka Belitung berupa tambang darat dan tambang laut (PT Timah 2015). Penemuan sabuk timah tersebut dijadikan sebagai referensi dalam kegiatan penambangan timah.

Sebelum melakukan penambangan timah, perusahaan timah selaku operator tambang timah diwajibkan mendapatkan izin usaha penambangan (IUP) dari pemerintah. Operator utama tambang timah adalah PT Timah, PT Kobatin, dan perusahaan kecil lainnya. PT Timah dengan wilayah penambangan darat dan laut di Kepulauan Bangka Belitung dan Kepulauan Riau masih terus beroperasi, sementara itu PT Kobatin dengan wilayah operasi Bangka Tengah dan Bangka Selatan tidak beroperasi lagi sejak tahun 2013 yang lalu.

Sebagai ilustrasi, luas IUP pertambangan timah wilayah darat dan laut masing-masing seluas 236.390,33 ha dan 183.837,03 ha (Tabel 1). Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian (2016) melaporkan di Kepulauan Bangka Belitung terdapat

seluas 124.838 ha bekas penambangan timah, yang terdiri atas 79.163 ha di Pulau Bangka dan 45.675 ha di Pulau Belitung. Implikasi dari luasan tersebut adalah diperlukan upaya perbaikan kualitas lahan untuk dijadikan sebagai alternatif lahan pertanian.

Pemanfaatan lahan bekas tambang timah untuk pertanian merupakan salah satu pilihan yang strategis dalam rangka memenuhi kebutuhan pangan dan mengimbangi pencutan lahan produktif yang beralihfungi menjadi kegiatan non-pertanian. Berkaitan dengan hal tersebut, pemerintah telah memberikan perhatian cukup besar terhadap pemanfaatan lahan-lahan sub optimal, seperti lahan bekas tambang timah. Pemanfaatan lahan bekas tambang timah menjadi lahan pertanian produktif harus diawali dengan perbaikan produktivitas lahan itu sendiri. Upaya perbaikan tersebut diyakini mampu mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal (Balai Penelitian Tanah 2012).

Upaya perbaikan produktivitas lahan bekas penambangan timah perlu dilakukan secara komprehensif dan berkelanjutan, serta disesuaikan dengan kondisi lahan bekas tambang timah. Inovasi teknologi pertanian dan hasil-hasil penelitian/pengkajian yang telah dilaksanakan selama ini dapat dijadikan sebagai acuan dalam upaya perbaikan produktivitas lahan bekas tambang timah. Upaya perbaikan lahan meliputi aspek fisika, kimia, dan biologi tanah, dan revitalisasi air kolong (Asmarhansyah 2016). Berdasarkan hasil penelitian dan pengalaman dalam pengelolaan lahan-lahan sub-optimal selama ini, implementasi konsep sistem pertanian terintegrasi merupakan jawaban pemanfaatan lahan bekas tambang timah secara keberlanjutan. Makalah reviu ini bertujuan untuk mempelajari dukungan inovasi teknologi pertanian mendukung peningkatan produktivitas lahan bekas tambang timah.

DAMPAK PENAMBANGAN TIMAH

Perubahan Lanskap

Aktivitas penambangan timah secara nyata telah mengubah lanskap (Sheoran *et al.* 2010) menjadi tidak beraturan, berupa tumpukan tailing pasir dan kolong air. Lanskap yang terbentuk memiliki ukuran bervariasi dan tidak beraturan (Asmarhansyah 2016a). Tinggi gundukan tailing mencapai 3-8 m dari permukaan tanah (Putri 2016). Perubahan topografi yang luar biasa tersebut terjadi akibat eksploitasi penambangan timah

Tabel 1. Luas wilayah izin usaha penambangan (IUP) timah di darat dan laut

Table 1. Total areas of mining business licence of tin in land and ocean

Wilayah	Luas wilayah IUP				
	Kawasan hutan konservasi	Kawasan hutan lindung	Kawasan hutan produksi	Kawasan areal penggunaan lain (APL)	Laut
.....ha.....					
Bangka, Kep. Babel	572	4.709	19.972	43.246	19,756.00
Bangka Barat, Kep. Babel	893,14	8.576,18	24.508,30	67.810,00	41,108.69
Bangka Selatan, Kep. Babel	1.039,36	2.529,89	8.383,46	15.118,47	5,039.17
Bangka Tengah, Kep. Babel	163,68	1.307,69	5.992,65	18.472,98	14,357.97
Belitung, Kep. Babel	-	2.093	3.914	9.856	-
Belitung Timur, Kep. Babel	-	1.093,79	5.207,50	26.632,45	30,075.00
Bangka Belitung, Lintas Kabupaten	101.48	7.198,19	30.724,60	55.254,43	28.491,00
Karimun Kundur	-	-	-	-	18.875,00
Kepulauan Riau	-	-	-	-	6.540,00
Riau dan Riau Kepulauan, Lintas Provinsi	-	-	-	-	19.594,20
Total	2.605,98	27.507,74	98.702,51	236.390,33	183.837,03

Sumber: PT Timah (2016)

yang telah mengupas tanah (*top soil*) secara meluas (Dariah *et al.* 2010), telah menggundulkan hutan mengingat sebelum penambangan, terlebih dilakukan pengupasan lapisan atas tanah dan vegetasi di atasnya (PT Timah 2015).

Kegiatan penambangan timah menyebabkan perubahan lanskap, kehilangan biodiversiti, kehilangan *top soil*, dan status kesuburan tanah yang rendah yang ditandai oleh tingginya kadar fraksi pasir pada lahan bekas tambang timah (Asmarhansyah 2015), selain secara nyata berpengaruh terhadap ekonomi dan sosial bagi negara dan masyarakat sekitar areal penambangan (Onwuka *et al.* 2013), Nurtjahaya *et al.* (2017) melaporkan bahwa aktivitas penambangan meningkatkan kesejahteraan masyarakat, tetapi juga meningkatkan konflik sosial antar masyarakat.

Kolong

Kolong adalah kolam bekas penampungan air yang digunakan dalam pencucian mineral timah dan memiliki kedalaman bervariasi, mulai 15 m (Putri 2016) hingga 40 m (Pratiwi *et al.* 2012). Pada saat reklamasi lahan, kolong yang berukuran kecil umumnya ditutup (*backfill*) menggunakan tailing pasir hasil kegiatan penambangan. Kolong tersebut dapat digunakan sebagai sumber air utama untuk kegiatan pertanian perikanan di lahan bekas tambang timah, bahkan di

beberapa lokasi digunakan sebagai sumber air minum, utamanya pada kolong berumur tua. Sudiyani *et al.* (2011) melaporkan sumber airbaku PDAM sebaiknya diambil dari kolong tua (berusia di atas 40 tahun) mengingat kondisi pH airnya yang lebih netral. Hasil pengukuran logam arsen dan merkuri dalam air kolong yang memenuhi baku mutu air, dapat menjadi salah satu dasar dalam pemilihan lokasi PDAM sebagai sumber air baku air minum.

Keragaman Hayati

Kegiatan penambangan timah dengan sistem penambangan terbuka (*open mining*) diawali dengan menebang vegetasi/pohon, menggali tanah di bawahnya, dan dilanjutkan dengan pengolahan mineral timah (PT Timah 2009). Kegiatan tersebut secara nyata menurunkan keragaman hayati di wilayah penambangan. Dampak lingkungan negatif akibat kegiatan pertambangan timah antara lain terjadinya penurunan kualitas tanah dan jumlah jenis vegetasi alami (Sitorus *et al.* 2008). Pertambangan berpotensi membawa dampak bagi keanekaragaman hayati selama berlangsungnya siklus hidup proyek (ICMM 2006).

Lestari *et al.* (2008) dalam penelitiannya mengenai jenis tumbuhan pioneer di lahan bekas tambang timah dan di hutan, Kabupaten Bangka melaporkan bahwa total individu tumbuhan (pada

stadium semai, sapihan, tihang, dan pohon) yang ditemukan pada lahan bekas tambang adalah sebanyak 205, sementara di lahan hutan sebanyak 294, dan berdasarkan jenis dan famili spesies vegetasi yang ditemukan di lahan bekas tambang adalah 15 jenis dan 4 famili, sedangkan di lahan hutan ditemukan sebanyak 29 jenis dan 15 famili (Tabel 2).

Tabel 2. Jumlah individu tanaman, jumlah jenis dan famili vegetasi di lahan bekas penambangan timah dan hutan Desa Rebo, Pulau Bangka

Table 2. Number of individual plant, number of kind and family of vegetation in former tin-mining areas and forest in Rebo Village, Bangka Island

Lokasi	Individu				Jenis	Famili
	Semai	Sapihan	Tihang	Pohon		
Lahan TI	195	10	0	0	205	15
Hutan	252	35	5	2	294	15

Sumber: Lestari *et al.* (2008)

Hasil penelitian Lestari *et al.* (2008) juga melaporkan bahwa jenis tumbuhan yang ditemukan pada lahan hutan asli adalah pelempang putih (*Gordonia excela* Blume), uber (*Syzygium* sp.), pandan (*Pandanus* sp.), mengkrai (*Trema orientalis*), keramunting (*Melastoma polyanthum*), leban (*Vitex pinnata* L.), mensala (*Eurya acuminate* DC), mentenuk (*Comersonia* sp.), mentangor (*Calophyllum langerum* Miq), ubak (*Syzygium* sp.), kedemang (*Decaspermum fruticosum* Forst.), pelangas (*Aporosa* sp.), kedebik (*Melastoma malabathricum* L.), asem–asem (*Garcinia parvifolia*), dan kabel (*Lithocarpus* sp.), sedangkan jenis tumbuhan yang ditemukan di lahan bekas tambang adalah mentenuk, mengkrai, kedebik, dan leban. Hal ini membuktikan bahwa kegiatan penambangan timah telah secara nyata menurunkan keragaman hayati di wilayah sekitar tambang.

Hal yang sama juga dilaporkan oleh Nurtjahya *et al.* (2009) bahwa kegiatan penambangan timah secara nyata mengubah struktur dan komposisi vegetasi. Di lahan hutan, ditemukan sebanyak 7.295 individu per hektar, termasuk dalam 85 spesies dan 44 famili, sementara itu di lahan bekas tambang timah yang telah mengalami suksesi alami selama 38 tahun, ditemukan 2.180 individu per hektar, termasuk dalam 16 spesies and 13 famili; dan di lahan bekas tambang timah yang telah mengalami suksesi alami selama tujuh tahun, ditemukan sebanyak 890 individu per hektar, termasuk dalam enam spesies dan empat famili.

Perubahan Iklim Mikro

Kegiatan penambangan timah berdampak secara nyata terhadap iklim mikro. Hasil penelitian Lestari *et al.* (2008) menemukan adanya peningkatan suhu rata-rata sebesar 14-15°C dan kelembaban 5-7%, yaitu di lokasi hutan asli suhu rata-rata 27-31°C dan kelembaban 79-100%, sedangkan di lokasi lahan bekas penambangan timah suhu rata-rata 42-45°C dan kelembaban 35-40%. Sementara itu, Oktavia *et al.* (2015) melaporkan bahwa pada musim kemarau, suhu pada permukaan tailing pasir putih tergolong tinggi, yaitu 35,5-40,0°C. Nurtjahya *et al.* (2007a) menyebutkan lahan tailing pasir pada kedalaman tiga cm pada jam 12.00-14.00 memiliki suhu mencapai 45°C. Nurtjahya (2010) dalam Nurtjahya *et al.* (2017) melaporkan bahwa laju evaporasi mencapai $4 \text{ L m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$ atau dua kali lebih besar daripada tanah tidak terganggu sebesar $2 \text{ L m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$. Implikasi peningkatan suhu tersebut adalah tingginya tingkat kehilangan air tanah.

Produktivitas Lahan

Tanah-tanah di Kepulauan Bangka Belitung tergolong rusak parah akibat penambangan timah yang tidak terkendali. Kondisi tersebut menyebabkan produktivitas lahan bekas tambang timah tergolong sangat rendah (Aspinall 2001). Rendahnya produktivitas lahan tersebut disebabkan oleh buruknya sifat fisik, kimiawi, dan biologi tanah. Hal tersebut dapat dilihat dari dominasi fraksi pasir, rendahnya kandungan C organik tanah, kapasitas tukar kation, unsur hara makro dan mikro esensial, dan kandungan basa-basa tertukar. Selain itu, kandungan mikroba tanah juga tergolong rendah. Nurtjahya *et al.* (2007b) melaporkan bahwa konsentrasi Ca, Mg, K, Na, KTK dan total basa-basa (KB) lahan bekas tambang timah sangat rendah dibandingkan lahan hutan dan lahan pertanian yang diberakan.

KARAKTERISTIK LAHAN BEKAS TAMBANG TIMAH

Tipologi Lahan

Lahan pasca kegiatan penambangan timah memperlihatkan dua bentuk permukaan, yaitu: (1) tailing, merupakan bagian sisa pencucian mineral timah, dan (2) kolong, merupakan danau kecil di lahan

bekas penambangan timah. Madjid *et al.*(1994), membagi tailing menjadi dua bagian, yakni: tailing pasir (80-90%) dan tailing *slime* (10-20%). Terbentuknya dua tailing tersebut berasal dari lapisan tanah yang mengandung timah disemprot dengan air bertekanan tinggi. Larutan air dan tanah hasil penyemprotan dihisap oleh pompa tanah dan ditampung ke dalam palong (*sluice box*) untuk pencucian. Setelah melalui proses pencucian, larutan (*tailing*) dialirkan ke areal pembuangan *tailing* (PT Timah 2009).

Sifat Fisik Tanah

Lahan bekas tambang timah yang didominasi oleh tailing pasir memiliki fraksi pasir mencapai 80-95% (Asmarhansyah 2015, Nurcholiset *et al.* 2013, Inonu *et al.* 2010), dengan kelas tekstur pasir (Asmarhansyah 2016b, Oktavia *et al.* 2015). Tailing pasir tersebut memiliki permeabilitas agak cepat sampai cepat dengan konsistensi lepas (Zulfahmi *et al.* 2012), dan kemampuan retensi hara dan air sangat rendah (Rajimanet *et al.* 2008). Pada lahan bekas tambang timah yang demikian, kemampuan menahan dan memasok unsur hara dan air sangat minim, sehingga pertumbuhan dan hasil tanaman tidak optimal. Sementara itu, tailing *slime* adalah bahan bertekstur halus (*silt* dan *clay*) dan memiliki struktur kompak (PT Timah 2009, Ashrafet *et al.* 2013).

Sifat Kimia Tanah

Dominasi fraksi pasir pada lahan bekas tambang timah secara langsung akan mempengaruhi sifat kimia tanah. Lahan bekas tambang timah memiliki kandungan fraksi liat dan bahan organik sangat rendah, sehingga KTK tanah yang dihasilkan sangat rendah (Pratiwi *et al.* 2012). Kandungan C organik dan KTK yang sangat rendah pada lahan bekas tambang timah merupakan indikasi buruknya sifat kimia tanah bekas tambang timah (Asmarhansyah 2015, Santi 2005, Subardja *et al.* 2012). Selain itu, nilai pH tanah dan kandungan unsur hara makro esensial juga tergolong sangat rendah. Asmarhansyah (2015) melaporkan bahwa pH tailing pasir umumnya lebih rendah dibanding pH tailing *slime*, dengan kandungan bahan organik sangat rendah, total N, P₂O₅, K₂O, dan basabasa dapat ditukar (Ca, Mg, K, dan Na) termasuk sangat rendah sampai rendah (Tabel 3).

Sifat Biologi Tanah

Keragaan sifat biologi tanah pada lahan bekas tambang timah dapat dilihat dari rendahnya kandungan total bakteri dan fungsi. Hal ini disebabkan lahan bekas tambang timah didominasi oleh fraksi pasir dengan kandungan C-organik sangat rendah, sementara itu aktivitas biologi tanah sangat membutuhkan C-organik sebagai sumber energi. Asmarhansyah (2016b)

Tabel 3. Sifat kimia tailing pasir, tailing slime, dan tanah non-tambang di Bangka, Bangka Tengah, dan Bangka Selatan

Table 3. Soil chemical properties of sand, slime tailing, and unmined soils in Bangka, Central Bangka, and South Bangka

Lokasi	Tanah	Kedalaman	pH H ₂ O	C	N	P ₂ O ₅ Bray 1	K ₂ O Morgan	Ca	Mg	K	Na
		cm % ppm cmol(+) kg ⁻¹					
Cambai, Bangka	Tailing Pasir	0-20	4,8	0,12	0,01	10,5	13	0,07	0,10	0,02	0,01
Tengah		20-40	4,7	0,24	0,02	11,1	17	0,13	0,13	0,03	0,01
Ruai, Bangka	Tailing Pasir	0-20	4,9	0,13	0,01	6,6	16	4,19	0,18	0,03	0,04
		20-40	4,7	0,11	0,01	3,9	41	0,15	0,26	0,08	0,26
Pompong, Bangka Selatan	Tailing Pasir	0-20	4,6	0,18	0,02	8,9	24	0,12	0,15	0,04	0,02
		20-40	4,8	0,09	0,01	6,6	17	0,22	0,22	0,03	0,02
Ruai, Bangka	Tailing Slime		5,1	0,54	0,05	7,5	16	2,95	0,16	0,03	0,03
Cambai, Bangka	Non- Tambang	0-20	4,3	2,36	0,19	7,2	43	0,18	0,27	0,09	0,05
Tengah		20-40	4,3	1,53	0,13	4,5	31	0,20	0,23	0,06	0,06

Sumber: Asmarhansyah (2015)

melaporkan bahwa populasi bakteri total dan fungi total dari lahan bekas penambangan timah Desa Cambai, Bangka Tengah masing-masing sebesar $7,12 \times 10^9$ CFU g⁻¹ tanah dan $2,03 \times 10^7$ propagul g⁻¹ tanah.

Umur revegetasi lahan pasca tambang timah juga mempengaruhi populasi fauna tanah. Nurtjahya *et al.* (2007c) dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa 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 (2007c) melaporkan bahwa densitas populasi *Collembolas* pp. tertinggi pada umur revegetasi 13 tahun (4816 ind. m⁻²) lebih dari dua belas kali lebih besar dibandingkan dengan hasil penelitian revegetasi tailing timah dengan sepuluh jenis pohon lokal berumur satu tahun di Pulau Bangka (375 ind. m⁻²) dan sedikit lebih besar dibandingkan dengan di lahan tidak terganggu di bawah tegakan sepuluh jenis pohon lokal yang sama berumur satu tahun yakni 4519 ind. m⁻².

Logam Berat

Logam berat merupakan salah satu isu utama di kegiatan penambangan, termasuk pada kegiatan penambangan timah. Berbeda dengan sistem penambangan lainnya, proses kegiatan penambangan timah menggunakan sistem semprot (*hydraulic system*) (PT Timah 2009). Pada sistem ini, pemisahan mineral timah dilakukan menggunakan tenaga air, sehingga tidak menggunakan *external input*, layaknya penambangan emas yang menggunakan air raksa untuk menggumpalkan emas. Dengan demikian, sumber utama logam berat pada penambangan timah adalah batuan *in situ*. Asmarhansyah (2015) melaporkan bahwa kandungan logam berat Pb dan Hg dari tailing di Pulau Bangka, yaitu Pb berkisar daerah 1,8-9,1 ppm dan untuk Hg berkisar dari 0,002-0,135 ppm. Kandungan logam berat lahan bekas tambang timah tersebut tergolong rendah dan masih berada di bawah ambang toleransi yang diizinkan.

Kualitas Air Kolong

Sebagai salah satu sumber air baku dan untuk budidaya tanaman, kualitas air kolong harus mendapatkan perhatian. Henny dan Susanti (2009) melaporkan bahwa kolong mempunyai kisaran pH (2,8-7,3), oksigen terlarut (DO) (3,46-8,74 mg l⁻¹), dan

konduktivitas (0,01-6,38 mS cm⁻¹). Nilai pH air kolong yang tergolong masam juga dilaporkan Henny (2011) yang menyatakan bahwa kolong timah dengan nilai pH > 5 dapat ditemukan di Bangka Tengah dan pH < 5 dapat ditemukan di Bangka Barat. Dengan demikian, diperlukan pengelolaan air kolong agar aman untuk dipakai dalam kegiatan pertanian maupun sebagai sumber baku air minum.

BUDIDAYA TANAMAN EKSISTING

Setelah kegiatan penambangan timah dinyatakan selesai, perusahaan tambang timah diwajibkan melakukan reklamasi lahan, melalui penanaman tanaman kehutanan, seperti akasia, sengon, gelam, dan lainnya. Selain ditanami tanaman hutan, lahan bekas tambang timah eksisting juga telah dimanfaatkan oleh penduduk sekitar melalui budidaya tanaman pangan, perkebunan, hortikultura, dan peternakan, sedangkan kolong bekas tambang timah dijadikan sebagai sumber air dan usaha perikanan. Namun demikian, budidaya yang dilakukan belum sepenuhnya menerapkan teknik budidaya tanaman yang baik, sehingga hasil yang diperoleh pun masih tergolong rendah. Asmarhansyah (2016c) menyatakan bahwa lahan bekas tambang timah berpotensi sebagai lahan pertanian produktif manakala telah dilakukan penataan lahan dan perbaikan kualitas lahan.

Tanaman Pangan

Tanaman pangan yang diusahakan di lahan bekas tambang timah adalah padi sawah dan palawija. Pada lahan yang telah dikonversi menjadi lahan sawah dapat dilakukan penanaman tanaman padi. Lahan non-sawah pada umumnya ditanami tanaman palawija, seperti jagung dan kacang tanah. Sebelum dilakukan penanaman, pada umumnya dilakukan aplikasi amelioran seperti pupuk organik, kapur, dan pupuk anorganik. Asmarhansyah *et al.* (2011a) melaporkan bahwa penanaman pertama padi di lahan bekas tambang timah Perleng, Bangka Tengah dengan input yang diberikan adalah 10 t ha⁻¹ pupuk organik, 2,2 t ha⁻¹ kapur, 300 kg ha⁻¹ urea, 200 kg ha⁻¹ SP-36, dan 350 kg ha⁻¹ KCl memberikan hasil masing-masing sebesar 3,71 t ha⁻¹ untuk varietas Banyuasin, 3,13 t ha⁻¹ untuk varietas Inpara 1, dan 2,48 t ha⁻¹ untuk varietas Inpara 2.

Asmarhansyah *et. al* (2012) melaporkan aplikasi 300 kg urea ha⁻¹, 200 kg SP-36 ha⁻¹, dan 150 kg KCl ha⁻¹

pada tanaman jagung di lahan bekas tambang timah Perleng, Bangka Tengah memberikan hasil sebesar 4.43 t ha^{-1} , sedangkan hasil penelitian Muzammil *et al.* (2012) menunjukkan penanaman kedelai di lahan bekas tambang timah Perleng, Bangka Tengah yang disawahkan dengan aplikasi dosis kapur 2 t ha^{-1} dan bahan organic 4 t ha^{-1} . Pemupukan $100 \text{ kg urea ha}^{-1}$, $150 \text{ kg SP-36 ha}^{-1}$, dan $100 \text{ kg KCl ha}^{-1}$ memberikan hasil kedelai sebesar $0,85 \text{ t ha}^{-1}$.

Tanaman Hortikultura

Tanaman hortikultura yang dominan diusahakan adalah tanaman buah-buahan dan sayur-sayuran. Pola penanaman tanaman buah-buahan (rambutan, manga, buah naga) yang dilakukan adalah melalui perbaikan kualitas lahan secara terbatas, yaitu pada lubang tanam (sistem pot). Lubang tanaman yang digunakan umumnya berukuran $50 \times 50 \times 50 \text{ cm}$ dan pada lubang tanaman tersebut diaplikasikan *top soil*, pupuk organik, dan kapur. Sementara itu, tanaman sayur-sayuran yang dibudidayakan adalah mentimun, kacang panjang, sawi, kangkung, terong, dan cabai. Pola penanaman tanaman sayur-sayuran umumnya adalah sistem bedengan atau petak-petak kecil yang berukuran $5 \times 10 \text{ m}$. Pada sistem bedengan tersebut, terlebih dahulu dilakukan perbaikan kualitas lahan melalui pemberian *top soil*, pupuk organik, kapur, dan pupuk kimiawi.

Hasil penelitian Herwan *et al.* (2006) di lahan bekas tambang timah Desa Merawang, Bangka, dengan aplikasi pupuk organik 4 t ha^{-1} , kapur 1 t ha^{-1} , 250 kg ha^{-1} NPK, 100 kg ha^{-1} urea, 100 kg ha^{-1} SP-36, dan 50 kg ha^{-1} KCl diperoleh hasil mentimun sebanyak $741,5 \text{ kg ha}^{-1}$, kacang panjang produksi sebanyak $90,7 \text{ kg ha}^{-1}$, sawi produksi sebanyak 121 kg ha^{-1} , dan kangkung sebanyak 710 kg ha^{-1} .

Tanaman Perkebunan

Tanaman perkebunan yang dominan diusahakan di lahan bekas tambang timah adalah kelapa sawit. Pola penanaman yang dilakukan adalah melalui perbaikan kualitas lahan secara terbatas, yaitu pada lubang tanam (sistem pot). Lubang tanaman yang digunakan biasanya berukuran $50 \times 50 \times 50 \text{ cm}$ dan dilakukan pemberian *top soil*, kompos, dan kapur. Sistem pot sangat dianjurkan mengingat tingginya biaya reklamasi lahan. Nurtjahja *et al.* (2008) melaporkan bahwa untuk tanaman keras dengan jarak tanam standar $4 \times 4 \text{ m}$ atau $625 \text{ batang ha}^{-1}$, biaya

reklamasi per hektar tailing timah berbentuk pasir diperkirakan sebesar Rp 40.995.000,-

Hasil pengamatan di Pemali, Bangka menunjukkan bahwa alam usaha menurunkan suhu mikro sekitar tanaman, umumnya dilakukan penanaman *Legum cover crops* (LCC) yang juga bermanfaat sebagai sumber pupuk organik bagi tanaman sawit yang diusahakan. Selain tanaman sawit, pada beberapa lokasi juga dilakukan penanaman tanaman karet dan lada, namun masih dalam jumlah terbatas.

Budidaya Peternakan

Usaha peternakan sapi, kambing, dan bebek memiliki potensi yang baik di lahan bekas tambang timah. Lahan bekas tambang timah di Lubuk Besar, Bangka Tengah telah dimanfaatkan untuk usaha peternakan melalui program ternak sapi tepat (Dinas Pertanian dan Peternakan Bangka Tengah 2015). Pada lokasi tersebut dilakukan penanaman hijauan pakan ternak berupa rumput gajah sebagai sumber pakan ternak. Sementara itu, hasil pengamatan di Air Nyatoh, Bangka sumber pakan ternak berasal dari limbah daun kelapa sawit yang dibudidayakan di lahan bekas tambang timah. Dalam jangka panjang, hal tersebut sangat menguntungkan bagi perbaikan kualitas lahan bekas tambang timah karena kotoran ternak yang dihasilkan dapat dikembalikan ke lahan bekas tambang timah sebagai upaya perbaikan kualitas lahan.

Budidaya Perikanan

Pada beberapa lokasi, selain dijadikan sebagai objek wisata, kolong bekas tambang timah dijadikan untuk kegiatan budidaya perikanan dengan pola keramba jaring apung. Jenis ikan yang dibudidayakan adalah ikan lele, nila, dan patin. Hasil penelitian Tjakrawidjaja (2001) melaporkan budidaya ikan nila di keramba jaring apung pada kolong Tangsi Rasep, Pulau Singkep, Kepulauan Riau diperoleh hasil pertumbuhan sebesar 300-400% dari bobot awal ikan nila yang dibudidayakan selama tiga bulan.

INOVASI TEKNOLOGI PENINGKATAN PRODUKTIVITAS LAHAN

Perbaikan Kualitas Tanah

Lahan bekas tambang timah dengan dominasi fraksi pasir memiliki kemampuan menahan dan memasok air dan hara sangat rendah. Hal ini tercermin

dari rendahnya pH tanah, kandungan C-organik, KTK, dan unsur hara esensial lainnya (Asmarhansyah 2015, Sukarman *et al.* 2017). Oleh karena itu, perbaikan kualitas lahan bekas tambang timah mutlak dilakukan melalui peningkatan kandungan C-organik tanah yang bersumber daribahan organik (kotoran hewan, sisa tanaman/jerami, pupuk hijau/legum, sampah kota, limbah industri, dan kompos) dan bahan pembenah tanah dan pupuk organik lainnya. Aplikasi bahan organik tersebut diyakini mampu memperbaiki kemampuan menahan air, kapasitas tukar kation, pH tanah, daya sangga tanah dan terhadap keharaan tanah dimana pada saat proses mineraliasi akan dilepas mineral-mineral hara tanaman. Selain itu, penambahan bahan organik dalam tanah akan menyebabkan aktivitas dan populasi mikrobiologi dalam tanah meningkat.

Asmarhansyah (2016b) melaporkan bahwa aplikasi bahan organik di lahan bekas tambang timah mampu memperbaiki status kesuburan tanah karena terjadi kenaikan pH tanah dan ketersediaan unsur hara, utamanya P-tersedia, K-tersedia, dan basa-basa tertukar. Penelitian Inonu *et al.* (2011) menunjukkan bahwa ameliorasi tailing pasir dengan *top soil* dan bahan organik dapat memperbaiki karakteristik tailing pasir untuk meningkatkan keberhasilan tumbuh tanaman. Pratiwi *et al.* (2012) menyatakan bahwa media tanaman dengan perbandingan 20% bahan organik: 20% *top soil*: 5% kapur, 1% NPK dan 54% tailing bekas tambang

timah (pasir kuarsa) memberikan pertumbuhan cukup bagus terhadap tanaman karet. Kastono (2007) menyatakan bahwa penggunaan lempung, pupuk kandang di tanah pasir pantai dapat memperbaiki jumlah pori mikro, agregasi dan struktur tanah. Sementara itu, hasil penelitian Syukur dan Harsono (2008) di lahan pasir pantai menunjukkan bahwa peningkatan pemupukan pupuk kandang sapi sampai dosis 30 t ha⁻¹ secara nyata meningkatkan kadar N-total dari 376,67 ppm menjadi 474,00 ppm dan N-tersedia tanah dari 10,65 ppm menjadi 11,14 ppm.

Mengingat pentingnya peranan bahan organik di lahan bekas tambang timah, maka penanaman sumber bahan organik seperti *legume cover crops* (LCC) di lahan bekas tambang timah mutlak dilakukan. Selain memperbaiki status kesuburan tanah, legume tersebut dapat memperbaiki iklim mikro di lahan bekas tambang timah. Nurtjahja (2008) menyatakan bahwa kombinasi kepadatan tanam dan kacang-kacangan yang lebih tinggi dan kombinasi antara kepadatan tanam, kacang-kacangan dan tanah yang lebih tinggi meningkatkan bahan organik, dan memperbaiki iklim mikro dengan cara menutupi lahan terbuka lebih cepat. Budianta *et al.* (2013) melaporkan bahwa aplikasi kompos secara nyata memperbaiki pertumbuhan tanaman penutup tanah dibandingkan aplikasi tanah mineral dan perlakuan kontrol (tailing pasir) (Tabel 4). Aplikasi kompos memberikan total berat kering tertinggi, enam kali lebih tinggi pada *C. pubescens* dan tiga kali lebih tinggi pada *P. javanica* dibandingkan kontrol (tailing pasir).

Tabel 4. Rerata biomass tanaman penutup tanah *Centrosema pubescens* dan *Pueraria javanica* pada tailing pasir umur 10 tahun

Table 4. Means of cover crop biomass of *Centrocema pubescens* and *Pueraria javanica* in sand tailing aged 10 years

Perlakuan	Berat biomass			
	Basah		Kering	
	Tajuk	Akar	Tajuk	Akar
..... %				
<i>Centrosema pubescens</i>				
100% Tailing pasir	1,46a	0,41a	0,73a	0,28a
60% Tailing pasir + 40% tanah mineral	1,91a	0,54a	0,75a	0,24a
95% Tailing pasir + 5% kompos	14,55b	2,06b	6,07b	1,07b
<i>Pueraria javanica</i>				
100% Tailing pasir	2,41a	0,95a	0,72a	0,27a
60% Tailing pasir + 40% tanah mineral	1,52a	0,26a	0,54a	0,16a
95% Tailing pasir + 5% kompos	9,62b	1,42b	2,7b	0,47b

Sumber: Budianta *et al.* (2013)

Angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda secara nyata pada taraf 5% uji Duncan; a 100% tailing digunakan sebagai kontrol

Bahan lain yang dapat digunakan dalam memperbaiki kualitas lahan bekas tambang timah adalah penggunaan amelioran, seperti biochar dan zeolit. Sukartono dan Utomo (2012) dalam studi penggunaan biochar asal tempurung kelapa, kotoran sapi, dan pupuk kandang di tanah lempung berpasir melaporkan bahwa selain meningkatkan kadar C-organik tanah, aplikasi biochar juga memperbaiki pH, kandungan N dan P, KTK, dan basa-basa dapat ditukar (Tabel 5). Selain itu, Sukartono dan Utomo (2012) juga melaporkan bahwa aplikasi biochar tempurung kelapa dapat meningkatkan hasil tanaman, serapan hara, dan juga efisiensi penggunaan N dan air. Serapan N pada petak *biochar* tempurung kelapa di media tanam jagung dapat bertahan hingga musim tanam ketiga, sedangkan pada petak pupuk kandang hanya bertahan selama satu musim tanam.

Ditinjau dari sifat fisik tanah berupa kandungan fraksi pasir, karakteristik lahan bekas tambang timah menyerupai lahan pasir pantai, sehingga pemanfaatan bahan pemberih tanah di lahan berpasir seperti lahan bekas tambang timah dan lahan pasir pantai diyakini mampu memberikan hasil tanaman yang lebih baik. Sunarminto *et al.* (2014) dalam penelitian pemanfaatan bahan pemberih tanah berupa tanah lempung, pupuk kandang, dan zeolit di lahan pasir pantai melaporkan bahwa pemanfaatan bahan pemberih tanah mampu memberikan hasil bawang merah, sawi, dan selada lebih tinggi daripada tanpa pemberih tanah (Tabel 6). Semakin lengkap pemberih tanah yang diberikan, semakin tinggi produksi bawang merah, sawi, dan selada keriting karena pemberih tanah mampu meningkatkan kemampuan menambat lengas oleh lapisan olah (Sunarminto *et al.* 2014).

Tabel 5. Perubahan sifat kimia tanah setelah diaplikasi biochar dan pupuk kandang pada sistem pertanaman jagung pada tanah lempung berpasir Lombok Utara

Table 5. *Changes of soil chemical properties after application of biochar and manure on maize planted in sandy loam soil, North Lombok*

Perlakuan	pH	N %	P mg kg ⁻¹	KTK	K cmol(+) kg ⁻¹	Ca	Mg
Musim Tanam-1 (MT-1)							
BTK	6,49a	0,12b	26,48a	15,04a	0,75b	2,44a	1,42b
BKS	6,45a	0,16a	26,24a	15,10a	0,89a	2,60b	1,50a
PkA	6,39b	0,14ab	25,66a	15,02a	0,76b	2,38a	1,40b
PkB	-	-	-	-	-	-	-
Kontrol	6,29c	0,11b	23,59b	13,34b	0,70c	2,22c	1,37b
Musim Tanam-2 (MT-2)							
BTK	6,46a	0,14ab	22,39ab	15,15a	0,78a	2,54ab	1,54b
BKS	6,46a	0,15ab	21,67ab	15,14a	0,78a	2,78b	1,53b
PkA	6,36b	0,13b	20,95b	14,67a	0,71b	2,15a	1,45b
PkB	6,40ab	0,16a	25,11a	15,21a	0,78a	2,91b	1,83a
Kontrol	6,32b	0,13b	14,44c	13,40b	0,70b	2,08a	1,32c
Musim Tanam-3 (MT-3)							
BTK	6,49a	0,17a	21,42a	15,19a	0,84a	2,59a	1,62a
BKS	6,47a	0,17a	21,28a	15,15a	0,86a	2,83ab	1,65a
PkA	6,39bc	0,13b	20,48a	14,61b	0,69b	2,18c	1,51b
PkB	6,43ab	0,19a	25,92b	15,24a	0,89a	2,97b	1,94c
Kontrol	6,36bc	0,12b	14,28c	13,46b	0,67b	2,02c	1,29d

Sumber: Sukartono dan Utomo (2012)

Angka yang diikuti superscript yang sama dalam kolom sama setiap musim tanam tidak berbeda nyata ($p = 0,05$). BTK = Biochar tempurung kelapa, BKS = Biochar kotoran sapi, PkA = Pupuk kandang A (diaplikasikan hanya sekali), PkB = Pupuk kandang B (diaplikasikan setiap musim tanam 1, musim tanam 2, dan musim tanam 3)

Tabel 6. Kinerja tanaman bawang merah, sawi (caisim), dan selada kriting dengan perlakuan berbagai pembenah tanah

Table 6. Performance of onion, mustard, and curly lettuce treated with various soil conditioners

Perlakuan	Hasil umbi bawang merah	Berat ekonomis sawi	Berat ekonomis selada kering
..... t ha ⁻¹			
L ₀ P ₀	22,90	29,61	27,08
L ₀ P ₁	24,81	28,51	27,55
L ₀ P ₂	26,48	31,66	30,32
L ₁ P ₀	24,63	40,37	23,84
L ₁ P ₁	27,54	34,70	21,54
L ₁ P ₂	29,26	36,17	27,78
L ₂ P ₀	25	28,44	20,60
L ₂ P ₁	25,56	33,45	25,69
L ₂ P ₂	25,74	33,52	35,88

Sumber: Sunarminto *et al.* (2014)

Keterangan: L₀ = tanpa lapisan kedap, L₁ = lapisan kedap pada kedalaman 20 cm, L₂ = lapisan kedap pada kedalaman 40 cm, P₀ = tanpa pembenah, P₁ = dengan pembenah tanah campuran tanah lempung dan pupuk kandang, P₂ = dengan pembenah tanah campuran lempung, pupuk kandang, dan zeolit

Pengelolaan Sumberdaya Tanaman

Pengelolaan sumberdaya tanaman harus mempertimbangkan karakteristik lahan bekas tambang timah yang didominasi fraksi pasir dengan status kesuburan tanah yang rendah. Oleh karena itu, pemilihan komoditas dan penataan tanaman merupakan dua hal yang patut diperhatikan. Pemilihan komoditas dalam hal ini adalah komposisi komoditas tanaman yang akan diusahakan di lahan bekas tambang timah, seperti komoditas tanaman padi, palawija, hortikultura, perkebunan, dan HPT.

Penataan tanaman adalah terkait dengan pola tanam. Pilihan pola tanam pada lahan bekas tambang timah yang dimanfaatkan sebagai lahan sawah adalah padi-palawija-palawija atau padi-palawija-bera. Pola tanam pada lahan bekas tambang timah non-sawah adalah palawija-sayuran-sayuran, palawija-palawija-sayuran, dan palawija-sayuran-bera.

Pemanfaatan varietas adaptif hasil penelitian dan pengkajian sangat dianjurkan untuk mengantisipasi kerugian usahatani. Pemilihan tanaman harus juga mempertimbangkan aspek pemasaran, sehingga komoditas yang bernilai ekonomi tinggi harus menjadi pilihan atau prioritas.

Pengelolaan Sumberdaya Ternak

Di lahan bekas tambang timah, sangat dimungkinkan untuk dilakukan usaha peternakan sapi dan kambing, sepanjang tersedia hijauan pakan ternak (HPT). Selain biomass asal tanaman utama, keberhasilan penanaman HPT di lahan bekas tambang timah akan menjamin ketersediaan biomass bagi pakan ternak sapid dan kambing. Prawiradiputra *et al.* (2012) menyatakan bahwa jenis tanaman penutup tanah yang digunakan di lokasi bekas tambang adalah rumput signal (*Brachiaria decumbens* Stapf), selain itu juga rumput brachiaria (*Brachiaria humidicola*) yang merupakan rumput pakan utama sapi. Rumput brachiaria bersama kalopo (*Calopogonium mucunoides*) yang banyak mengandung protein, merupakan tanaman pakan yang dapat tumbuh cepat menutupi lahan terbuka bekas galian tambang batu bara (Prawiradiputra *et al.* 2012).

Hasil penelitian Zikril *et al.* (2013) menunjukkan bahwa penanaman hijauan pakan ternak rumput gajah di lahan bekas tambang timah Merawang, Bangka memberikan produksi segar dan produksi protein kasar tertinggi dibandingkan produksi segar dan produksi protein kasar rumput setaria dan rumput signal. Rumput gajah memberikan produksi segar sebesar 67,05 t ha⁻¹ dan produksi protein kasar 0,86 t ha⁻¹; sementara rumput setaria dan signal memberikan produksi segar sebesar 34,10 t ha⁻¹ dan 17,51 t ha⁻¹, dengan produksi protein kasar sebesar 0,44 t ha⁻¹ dan 0,35 t ha⁻¹.

Dinas Pertanian dan Peternakan Bangka Tengah (2015) melaporkan bahwa pengembangan ternak sapi di lahan bekas tambang timah memiliki prospek yang baik. Melalui implementasi inovasi teknologi, lahan tambang timah dapat dijadikan sebagai alternatif lahan untuk budidaya hijauan pakan ternak. Kotoran ternak yang dihasilkan dapat dijadikan sebagai sumber pupuk organik untuk budidaya tanaman pertanian lainnya.

Pengelolaan Sumberdaya Air

Air kolong dapat dijadikan sebagai sumber air utama untuk kegiatan pertanian di lahan bekas tambang timah mengingat pada musim kemarau air kolong tersebut tidak pernah mengalami kekeringan. Pemanfaatan air kolong tersebut dapat dilakukan melalui pompanisasi. Selain digunakan untuk pertanian, air kolong bekas tambang timah juga

dimanfaatkan untuk usaha perikanan, melalui pola keramba jaring apung.

Kualitas Air kolong bekas tambang timah sangat tergantung pada umur tambang dan mineral-mineral dominan pada meteerial geologi area tambang (Chyntia 2011). Kolong berumur <10 tahun masih dikategorikan kolong muda dengan lahan di sekeliling kolong belum direklamasi (Heri dan Sulistiono 1998). Berdasarkan hasil analisis di lapangan terhadap parameter kimia dan fisika, diperoleh bahwa nilai pH berkisar 3,07-8,4. Nilai pH air pada kolong tua berada pada pH netral, sedangkan pH pada kolong muda berada pada pH asam. Pengukuran parameter terhadap air tambang aktif menunjukkan pH asam 3,6- 5,62 (Sudiyani 2011).

Hasil penelitian Chyntia (2011) menunjukkan kolong baru/muda yang pada batuan/material geologinya didominasi dari mineral kaolin umumnya mempunyai kisaran pH 4,5-6,0 sedangkan kolong baru/muda yang pada batuan/material geologinya didominasi oleh mineral pirit mempunyai kisaran pH 2,5-3,5. Kolong tua yang berumur >10 tahun mempunyai pH < 5 seperti pada kolong-kolong dengan mineral dasar pembentuk kolong yang didominasi oleh pirit (Tabel 7).

Menurut Chyntia (2011) konduktivitas pada umumnya berkisar 0,002-0,7 mS cm⁻¹, walaupun ada beberapa kolong dengan konduktivitas airnya mencapai 7 mS cm⁻¹, yaitu pada kolong muda yang pH-nya <3 dengan mineral basin didominasi oleh mineral yang kaya akan besi (pirit). Konduktivitas air kolong

umumnya masih bagus. Turbiditas air kolong juga pada umumnya di bawah 10 NTU. Beberapa kolong yang turbiditasnya melebihi 10 NTU, apalagi mencapai 100 NTU, merupakan kolong yang menerima air buangan tambang atau dimanfaatkan untuk tambang timah semprot. Suprapto (2006) menyebutkan bahwa penanganan air asam dapat dilakukan dengan bahan penetral, umumnya menggunakan batugamping, yaitu air asam dialirkan melewati bahan penetral untuk menurunkan tingkat keasaman.

Studi mengenai proses aliran asam tambang (AMD, *acid mine drainage*) menggunakan *Passive Treatment System* (PTS) dilakukan oleh Henny *et al.* (2010). PTS yang merupakan gabungan sistem kapur (ALD, *anoxic limestone drain*) dan rawa buatan (CW, *constructed wetland*) secara efektif dan efisien dalam meningkatkan pH dan menurunkan kandungan padatan tersuspensi, logam dansulfat air asam tambang dari aliran buangan tambang timah di Pulau Bangka (Gambar 2). Air AMD setelah melewati kolam penampungan, ALD dan CW aerobik mempunyai kualitas air yang memenuhi standar mutu air bersih golongan B.

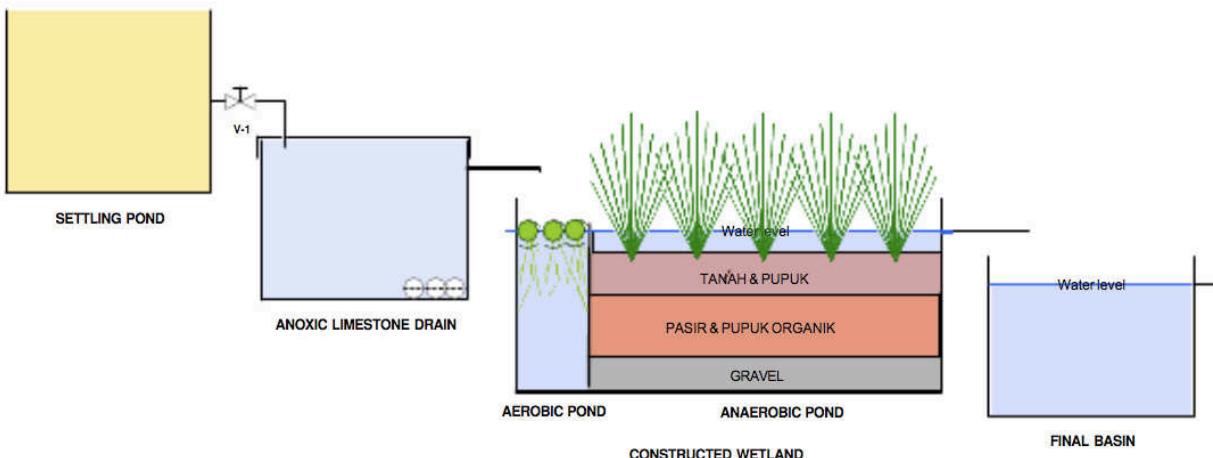
Kualitas air kolong dapat berubah apabila petambang ilegal (inkonvensional) memanfaatkan air kolong untuk kegiatan penambangan. Selain kehadiran petambang illegal, kolong tambang timah juga terkadang terjadi longsor akibat curah hujan yang tinggi. Oleh karena itu, revitalisasi air kolong sangat diperlukan dalam menjaga kualitasnya. Revitalisasi

Tabel 7. Konduktivitas, pH, suhu, turbiditas, dan oksigen terlarut (DO) air kolong

Table 7. Conductivity, pH, temperature, turbidity, and dissolved oxygen of former tin-mining water pond

No.	Lokasi	pH	Suhu	Konduktivitas	Turbiditas	Oksigen terlarut
			°C	mS cm ⁻¹	NTU	mg l ⁻¹
1.	Pangkalpinang					
	pH < 5	4,28-4,82	26,1-28,5	0,05-0,1	3-5	4,8-5,46
	pH > 5	5,64-6,61	27,5-30,1	0,02-0,27	8-300	0,72-6,71
2.	Bangka					
	pH < 5	2,53-4,95	27,7-32,3	0,06-5,35	1-5	3,6-5,6
	pH > 5	5,01-7,3	27,5-31,6	0,01-0,36	3-19	0,8-7,18
3.	Bangka Barat					
	pH < 5	2,8-4,85	28,4-31,2	0,051-7,2	1-13	4-5
	pH > 5	5,65-6,13	29,4-30,7	0,01-0,71	2-6	6,2-6,6
4.	Bangka Tengah					
	pH < 5	4,39-4,75	29,1-31,5	0,007-0,014	3-5	4,8
	pH > 5	5,02-7,2	29,4-32,1	0,01	3-100	5,3-6,4

Sumber: Chyntia (2011)



Sumber: Henny (2010)

Gambar 2. Skema Sistem *Passive Treatment*

Figure 2. Schematic of *Passive Treatment System*

dapat dilakukan dengan penanaman tanaman penguat di sekitar kolong tambang timah, sedangkan penurun kualitas akibat petambang ilegal harus diatasi melalui penegakan hukum.

SISTEM PERTANIAN TERINTEGRASI

Lahan bekas tambang timah memiliki sifat fisika, kimia, dan biologi tanah yang kurang menguntungkan bagi pertumbuhan dan produksi tanaman. Upaya perbaikan kualitas lahan bekas tambang timah sangat membutuhkan input yang tergolong besar karena diperlukan bahan organik dan hara dalam jumlah besar. Pemanfaatan bahan organik asal HPT, limbah pertanian, dan peternakan diyakini mampu menurunkan biaya perbaikan kualitas lahan bekas tambang timah. Hal tersebut dapat diwujudkan melalui implementasi sistem pertanian terintegrasi (SPT).

Pengertian

SPT merupakan pola integrasi antara tanaman dan ternak. Sistem ini kerap juga disebut pertanian terpadu karena memadukan kegiatan pertanian dan peternakan, bahkan juga kegiatan perikanan. SPT didefinisikan sebagai praktik penghematan sumber daya yang bertujuan untuk mencapai keuntungan yang dapat diterima dan tingkat produksi yang tinggi dan berkelanjutan, dan meminimalkan dampak negatif dari pertanian intensif, serta melestarikan lingkungan (Lal dan Miller 1990, Gupta 2012).

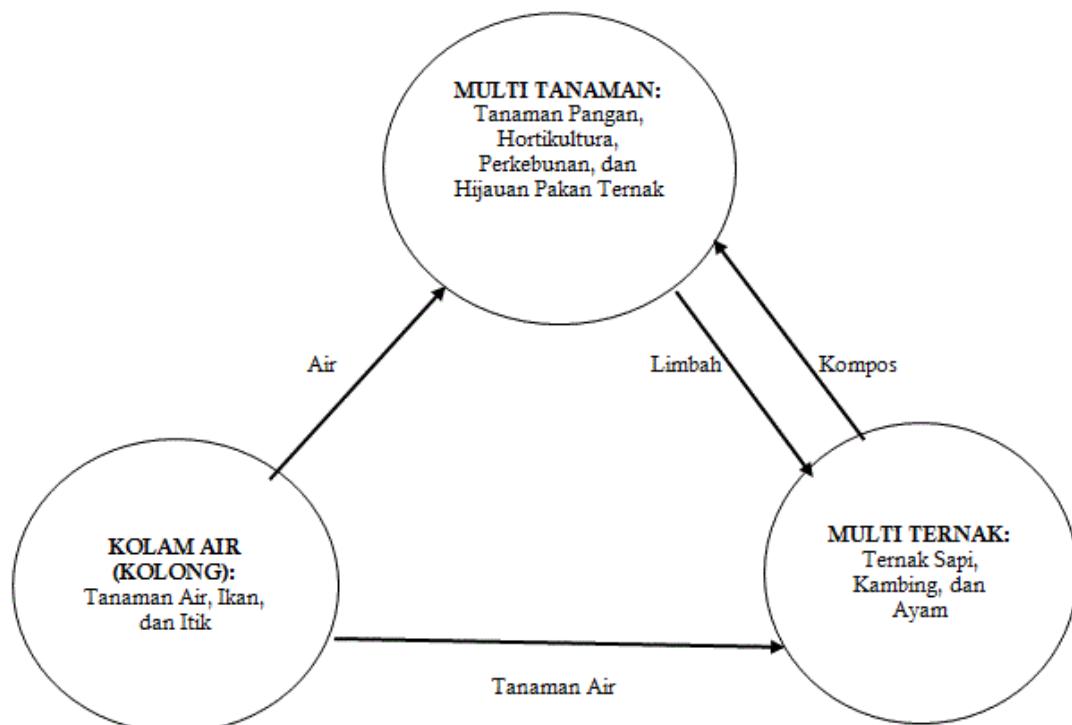
Kelebihan dan Kekurangan

Implementasi SPT di lahan bekas tambang timah memberikan keuntungan: (a) membantu memperbaiki dan melestarikan kapasitas produktif lahan bekas tambang timah, melalui pemulihan sifat fisika, kimia dan biologi tanah, (b) meningkatkan kapasitas penyimpanan air tanah yang lebih besar, terutama karena terdapat peningkatan kadar bahan organik, dan (c) membantu meningkatkan keuntungan dengan mengurangi biaya produksi. Namun demikian, SPT memiliki kekurangan, utamanya nilai gizi residu tanaman pada umumnya rendah, sehingga input berupa pupuk anorganik dan pemberantasan tanah lainnya sangat diperlukan.

Komponen Sistem Pertanian Terintegrasi

Upaya implementasi SPT di lahan bekas tambang timah patut mempertimbangkan sumberdaya yang tersedia, yakni sumber daya lahan, tanaman, ternak, dan air (Gambar 3). Usaha peternakan merupakan persyaratan utama berlangsungnya implementasi SPT di lahan bekas tambang timah mengingat terdapat hubungan erat antara tanaman dan ternak.

Pada sistem ini diharapkan biomass dari komoditas tanaman utama yang diusahakan dapat digunakan sebagai pakan ternak dan kotoran ternak yang dihasilkan dapat digunakan untuk memperbaiki kualitas lahan bekas tambang timah. Air pada kolong



Gambar 3. Konsep sistem pertanian terintegrasi di lahan bekas tambang timah

Figure 3. Concept of integrated farming systems in former tin-mining areas

dapat digunakan sebagai sumber air untuk kegiatan pertanian, sedangkan tanaman air yang dihasilkan dari kolong timah dapat dijadikan sebagai sumber pupuk organik.

Tahapan dan Strategi Implementasi

Tahapan pemanfaatan lahan bekas tambang timah melalui SPT dapat dilakukan melalui tiga langkah, yaitu (1) persiapan lahan, meliputi perataan dan penataan lahan, konstruksi kolam timah, dan instalasi sistem pengairan (irigasi), (2) penataan tanaman, meliputi penanaman dan perawatan tanaman, budidaya ternak, dan budidaya ikan dan tanaman air, dan (3) pasar, kesejahteraan petani, dan keberlanjutan SPT.

Kegiatan persiapan lahan menyangkut perataan lahan bekas tambang timah yang memiliki lanskap yang tidak beraturan, penutupan kolong berukuran kecil, dan pembuatan saluran drainase dan irigasi. Kegiatan-kegiatan tersebut memerlukan peralatan berat, sehingga keterlibatan perusahaan tambang dan instansi terkait sangat dibutuhkan. Penataan tanaman menyangkut pola tanam yang akan diaplikasikan. Tahap penanaman meliputi penanaman tanaman pertanian (pangan, palawija, sayuran, dan HPT),

budidaya ternak, dan penataan kolam untuk budidaya perikanan. Pola tanam yang akan diterapkan harus mempertimbangkan permintaan pasar terhadap komoditas yang diusahakan dalam rangka menjamin kesejahteraan petani dan keberlanjutan SPT di lahan bekas tambang timah. Keberlanjutan SPT di lahan bekas tambang timah sangat membutuhkan introduksi dan pengawalan inovasi teknologi pertanian dari instansi terkait.

Strategi implementasi SPT di lahan bekas tambang timah dapat dilakukan: (1) melakukan penyamaan persepsi implementasi SPT di lahan bekas tambang timah terhadap para pelaku dan *stakeholder* (2) melakukan sosialisasi SPT di lahan bekas tambang timah sangat diperlukan mengingat rendahnya status kesuburan lahan bekas tambang timah, (3) mendiseminasi ketersediaan inovasi teknologi pertanian untuk lahan bekas tambang timah yang tergolong marginal, dan (4) menginisiasi kemitraan dengan *stakeholder* terkait seperti akademisi, peneliti, penyuluh, pemerintah, dan pihak swasta.

Rekomendasi Penelitian

Dalam rangka mendukung implementasi SPT di lahan bekas tambang timah, maka diperlukan rekomendasi penelitian terkait inovasi teknologi

pertanian, yaitu (1) Inovasi teknologi pembuatan pupuk organik di lahan bekas tambang timah, (2) Inovasi teknologi dan manajemen usahatani tanaman-ternak-ikan, dan (3) Inovasi teknologi pengolahan/pengawetan hijauan pakan ternak dan limbah biomass pertanian sebagai pakan ternak. Melalui implementasi SPT tersebut, maka peningkatan produktivitas lahan bekas timbang timah untuk pertanian produktif dapat berlangsung secara lestari dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Selain memberikan keuntungan ekonomi dan sosial bagi negara dan masyarakat sekitar, kegiatan penambangan timah secara nyata berdampak terhadap perubahan terhadap lanskap, kolong, keragaman hayati, mikroba tanah, iklim mikro, dan produktivitas lahan. Dampak terhadap lingkungan tersebut menyebabkan lahan bekas tambang timah bukan merupakan media ideal untuk pertumbuhan dan hasil tanaman karena karakteristik lahan bekas tambang timah tergolong buruk yang ditandai dengan dominasi fraksi pasir, rendahnya kandungan C-organik, kapasitas tukar kation, unsur hara makro esensial, dan basa-basa tertukar.

Tersedianya inovasi teknologi dan budidaya tanaman eksisting di lahan bekas tambang timah merupakan indikasi bahwa lahan bekas tambang timah dapat dijadikan sebagai alternatif lahan pertanian. Teknologi perbaikan sumberdaya lahan dapat dilakukan melalui aplikasi pupuk organik dan anorganik, pengapuran, dan pembenah tanah. Pengelolaan sumberdaya tanaman dilakukan melalui pemilihan komoditas dan pola tanam, baik tanaman pangan, perkebunan, hortikultura, maupun hijauan akan ternak. Pengelolaan sumberdaya ternak dilakukan melalui penyediaan hijauan pakan ternak dan inovasi produksi pupuk organik (kompos). Pengelolaan sumberdaya air untuk menjaga kualitas air kolong bekas tambang timah dapat dilakukan melalui aplikasi bahan penetral dan *Passive Treatment Systems*. Penanaman tanaman penguat di sekitar kolong dan mengurangi kehadiran petambang illegal juga patut dilakukan, sehingga kualitas air kolong selalu terjaga.

Dalam rangka memperbaiki produktivitas lahan bekas tambang timah secara komprehensif dan berkelanjutan, maka implementasi SPT merupakan pilihan yang sangat bijak. Usaha peternakan merupakan persyaratan utama berlangsungnya implementasi SPT di lahan bekas tambang timah

mengingat terdapat hubungan erat antara tanaman dan ternak. Biomass dari komoditas tanaman utama yang diusahakan dapat digunakan sebagai pakan ternak dan kotoran ternak yang dihasilkan dapat digunakan untuk memperbaiki kualitas lahan bekas tambang timah, sedangkan air pada kolong dapat digunakan sebagai sumber air untuk kegiatan pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashraf, M.A., M. J. Maah, and I. Yusoff. 2013. Evaluation of natural phytoremediation process occurring at ex-tin mining catchment. *Chiang Mai J. Sci.* 40(2): 198-213.
- Asmarhansyah, D. Rusmawan, and Muzammil. 2012. Soil chemistry and yield of maize as influenced by different levels of fertilizer in ex-tin land Central Bangka, Kepulauan Bangka Belitung. *Proceeding International Seminar on Agribusiness of Maize-Livestock Integration. International Maize Conference. Gorontalo. Indonesia. November 21-23 2012.*
- Asmarhansyah, M.D. Pertiwi, Issukindarsyah, D. Rusmawan, Muzammil. 2011a. Keragaan beberapa varietas padi di lahan sawah bekas tambang timah, Kepulauan Bangka Belitung. *Prosiding Seminar Nasional Strategi Reduksi dan Adaptasi Perubahan Iklim di Bidang Pertanian. 29 Oktober 2011. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.*
- Asmarhansyah. 2015. Characteristics of Physical and Chemical Properties of Former-Tin Mining Areas for Crop Production in Bangka Island. *Prosiding Nasional Sistem Informasi dan Pemetaan Sumberdaya Lahan Mendukung Swasembada Pangan. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.*
- Asmarhansyah. 2016a. Lahan bekas tambang timah berpotensi untuk pertanian. *Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian.* 38(5): 6-8.
- Asmarhansyah. 2016b. Improving soil properties and yield of corn (*zea mays* L.) by application of organic amendment on abandoned tin-mining areas in Bangka Island. *J. Trop Soils.* Vol 21 (3): 141-151.
- Asmarhansyah. 2016c. Karakteristik dan strategi pengelolaan lahan bekas tambang timah di Kepulauan Bangka Belitung. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Pertanian Spesifik Lokasi "Inovasi Pertanian Spesifik Lokasi Mendukung Kedaulatan Pangan Berkelanjutan. Banjarbaru. Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian. 20 Juli 2016.*
- Aspinall, C. 2001. Small-Scale Mining in Indonesia. International Institute for Environment and Development (IIED). World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Retrieved on 02 Mei 2017.
- 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.

- Balai Penelitian Tanah. 2012. Laporan Tahunan. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.
- Budianta, D., N. Gofar and G.A. Andika. 2013. Improvement of sand tailing fertility derived from post tin mining using leguminous crop applied by compost and mineral soil. *J. Trop Soils*. Vol. (18)3: 217-223.
- Cobbing, E.J. 2005. Granite. in Barber, A.J., Crow, M.J. and Milsom, J.S. (ed.) Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution. Geological Society Memoir, No. 31.
- Dariah, A., A. Abdurachman, and D. Subardja. 2010. Reklamasi lahan eks penambangan timah untuk perluasan areal pertanian. *J. Sumberdaya Lahan*. (4): 1-12.
- Dinas Pertanian dan Peternakan Bangka Tengah. 2015. Laporan Tahunan. Dinas Pertanian dan Peternakan Bangka Tengah. Koba. Bangka Tengah.
- Gupta, V., Rai, P.K. and Risam, K.S. (2012). Integrated Crop-Livestock Farming Systems: A Strategy for Resource Conservation and Environmental Sustainability. Indian Research Journal of Extension Education, Special Issue, 2: 49-54.
- Henny C. 2011. Kolong bekas tambang timah di Pulau Bangka: permasalahan kualitas air dan alternatif solusi untuk pemanfaatannya. *Oseanologi dan Limnologi Indonesia*. Vol. 37(1): 119-138.
- Henny, C. dan E. Susanti. 2009. Karakteristik limnologi kolong bekas tambang timah di Pulau Bangka. *Limnotek*. Vol XVI (2): 119-131.
- Henny, C., G. S. Ajie dan E. Susanti. 2010. Pengolahan Air Asam Tambang Menggunakan Sistem "Passive Treatment". Prosiding Seminar Nasional Limnologi V Tahun 2010.
- Heri, R. dan A. Sulistiono. 1998. Penyelidikan potensi air kolong di Kabupaten Bangka, Propinsi Sumatera Selatan. Kantor Wilayah Departemen Pertambangan dan Energi Propinsi Sumatera Selatan. 25 Hal.
- Herwan, Issukindasyah, Suwardih, dan Sutiman. 2006. Pengkajian Sistem Usaha Tani Berbasis Tanaman Pangan dan Sayuran pada Lahan Bekas Galian Timah di Bangka Belitung. BPTP Kepulauan Bangka Belitung. Pangkalpinang.
- ICMM (International Council on Mining and Metals). 2006. *Good practice guidance for mining and biodiversity*, ICMM, London, <http://www.icmm.com/page/1182/good-practice-guidance-for-mining-and-biodiversity>.
- Inonu I, Budianta D, Umar M, Yakup, Wiralaga AYA 2011. Ameliorasi bahan organik pada media tailing pasir pasca tambang timah untuk pertumbuhan bibit karet. *J. Agrotropika* 16(1): 45-51.
- 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. Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Konservasi Tanah dan Air Indonesia; Jambi, 24 -25 November 2010. Jambi: MKTI. hal:3 - 15-328.
- Kastono, D. 2007. Aplikasi model rekayasa lahan terpadu guna meningkatkan produksi hortikultura secara berkelanjutan di lahan pasir pantai. *J. Ilmu-ilmu Pertanian*. 3 (2): 112-123.
- Lal, R. and Miller, F.P. (1990). Sustainable farming for tropics. In: Singh, R.P. (Ed.) Sustainable agriculture: Issues and Prospective. Vol.1 , pp. 69-89, Indian Society of Agronomy, IARI, New Delhi.
- Lestari, T., Z. Abdi, J. Widodo, dan Yohanes. 2008. Analisis vegetasi di lahan bekas penambangan timah Desa Rebo, Kabupaten Bangka. *Enviagro*, Vol. 2 (2): 11-28.
- Madjid, N.M. A. Hashim, and A. Abdol. 1994. Rehabilitation of ex-tin mining land by agroforestry practice. *J. Trop Forest Sci*. 7(1): 113-127.
- Muzammil, D. Rusmawan, dan Asmarhansyah. 2012. Pengaruh dosis nitrogen terhadap pertumbuhan dan produksi kedelai di lahan bekas tambang timah Bangka Tengah, kepulauan Bangka Belitung. *Prosiding*. Inovasi Hasil Penelitian dan Pengkajian Teknologi Pertanian. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Lampung. Desember 2012.
- Nurcholis, M., Wijayani, A. dan Widodo, A. 2013. Clay and organic matter application on the coarse quartz tailing material and the sorghum growth on the post tin mining at Bangka Island. *J of Degraded and Mining Lands Management*. Vol.1(1):27-32.
- Nurtjahya E. 2008. Revegetation on tin-mined land using local tree species in Bangka Island. *Thesis*. Bogor: Bogor Agricultural University.
- Nurtjahya E, Setiadi D, Guhardja E, Muhamdiono, Setiadi Y. 2007a. Sabut kelapa sebagai mulsa pada revegetasi tailing timah di pulau Bangka. *Eugenia*. 13: 366–382.
- Nurtjahya E, Setiadi D, Guhardja E, Muhamdiono, Setiadi Y. 2009. Succession on tin-mined land in Bangka Island. *Blumea*: Vol. 54(1-3): 131-138.
- Nurtjahya E., Setiadi D., Guhardja E., Muhamdiono, Setiadi Y. 2007b. Succession on Tin-mined Land in Bangka Island. The Seventh International Flora Malesiana Symposium, Leiden 17–22 June 2007, the Netherlands.
- Nurtjahya, E. J. Franklin, Umroh, and F. Agustina. 2017. The impact of tin mining in Bangka Belitung and its reclamation studies. *SICEST 2016*. MATEC Web of Conferences 101, 04010 (2017) DOI: 10.1051/matecconf/201710104010 .
- Nurtjahya, E., D. Setiadi, E. Guhardja, Muhamdiono, dan Y. Setiadi. 2007c. Populasi *Collembola* di lahan revegetasi tailing timah di Pulau Bangka. *Biodiversitas*. Vol. 8 (4): 309-313.
- Oktavia, D., Y. Setiadi, and I. Hilwan. 2015. The comparison of soil properties in heath forest and post-tin mined land: basic for ecosystem restoration. *Procedia Environmental Sciences* 28:124 – 131.
- Onwuka, S.U., Duluora, J.O. and Okoye C.O. 2013. Socio-economic impacts of tin mining in Jos, Plateau State, Nigeria. *International Journal of Engineering Science Invention* 2: 30-34.

- Pratiwi, Santoso, E. dan Turjaman, M. 2012. Penentuan dosis bahan pemberah tanah (ameliorant) untuk perbaikan tanah dari tailing kuarsa sebagai Medium tumbuh tanaman hutan. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. Vol 9 (2):163-174.
- Prawiradiputra, B.R., E. Sutedi, Sajimin, dan A. Fanindi. 2012. Hijauan pakan ternak untuk lahan sub-optimal. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian. 63 Hal.
- PT. Timah. 2009. Laporan Tahunan. PT Timah. Pangkalpinang.
- PT. Timah. 2013. Laporan Tahunan. PT Timah. Pangkalpinang.
- PT. Timah. 2015. Laporan Tahunan. PT Timah. Pangkalpinang.
- PT. Timah. 2016. Laporan Tahunan. PT Timah. Pangkalpinang.
- Putri, D.S. 2016. Penataan lanskap reklamasi pascatambang timah di PT Timah tambang air mawas Kabupaten Bangka Selatan. Skripsi. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 69 Hal.
- Rajiman, Yudono, P., Sulistyaningsih, E. dan Hanudin, E., 2008. Pengaruh pemberah tanah terhadap sifat fisika dan hasil bawang merah pada lahan pasir pantai Bugel. *Jurnal Agrin*. 12 (1): 67-77.
- Sainsbury, C.L. 1959. Tin Resources of the world. Geology Survey Buletin 1301. <https://pubs.usgs.gov/bul/1301/report.pdf>. Retrieved on November 12, 2016.
- Santi, R. 2005. Pertumbuhan Nilam (*Pogostemon cablin* Benth) pada sandy tailing asal lahan pasca penambangan timah yang diberi kompos dan tanah kupasan (overburden). *Thesis*. Program Studi Ilmu Tanaman Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya
- Sheoran, V., Sheoran, A.S. and Poonia, P. 2010. Soil reclamation of abandoned mine land by revegetation: a review. International Journal of Soil, Sediment and Water 3 (2), Article 13. available at: <http://scholarworks.umass.edu/intlssw/vol3/iss2/13>.
- Sitorus, S.R.P., E. Kusumastuti, L.N. Badri. 2008. Karakteristik dan Teknik Rehabilitasi Lahan Pasca Penambangan Timah di Pulau Bangka dan Singkep. *J. Tanah dan Iklim*. 27:57-74.
- Subardja, A. Kasno, dan Sutono. 2012. Teknologi Pencetakan Sawah pada Lahan Bekas Tambang Timah di Bangka Belitung. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pemupukan dan Pemulihan Lahan Terdegradasi*. Hal. 111-122. Penyunting: Wigena et al. Bogor, 29-30 Juni 2012. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian. 2012.
- Sudiyani, Y., Ardeniswan, dan D. Rahayuningwulan. 2011. Determinasi Arsen (As) dan Merkuri (Hg) dalam Air dan Sedimen Di Kolam Bekas Tambang Timah (Air Kolong) Di Propinsi Bangka-Belitung, Indonesia. Ecolab Vol. 5 No. 2 Juli 2011: 55-67.
- Sujitno, S. 2007. Dampak Kehadiran Timah Indonesia Sepanjang Sejarah, Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Sukarmen dan R.A. Gani. 2017. Lahan Bekas Tambang Timah di Pulau Bangka dan Belitung, Indonesia dan Kesesuaianya untuk Komoditas Pertanian. *Jurnal Tanah dan Iklim* Vol. 41 No. 2 Desember 2017:21-33.
- Sukartono dan W.H. Utomo. 2012. Pemanfaatan biochar sebagai pemberah tanah pada pertanaman jagung (*Zea mays*) di lahan lempung berpasir (*sandy loam*) semiarid tropis Lombok Utara. *Buana Sains* 12:91-98.
- Sunarminto, B.H., M. Nurudin, Sulakhudin, dan C. Wulandari. 2014. Peran geologi dan mineralogy tanah untuk mendukung teknologi tepat guna dalam pengelolaan tanah tropika. Gajah Mada University Press. 227 Hal.
- Suprapto, S.J., 2006. Pemanfaatan dan permasalahan endapan mineral sulfida pada kegiatan pertambangan. *Buletin Sumber Daya Geologi*. Vol. 1 No. 2.
- Syukur A, Harsono ES. 2008. Pengaruh pemberian pupuk kandang dan NPK terhadap beberapa sifat kimia dan fisika tanah pasir pantai samas Bantul. *J.Ilmu Tanah dan Lingkungan*. 8(2):138-145.
- Tjakrawidjaja, A. 2001. Uji Coba Budidaya Ikan Nila Merah dengan Pola Jaring Terapung di Lahan Bekas Galian Tambang Timah Pulau Singkep. Laporan Teknik Puslit Biologi LIPI.
- Van Bemmelen, R.W. 1970. The Geology of Indonesia (second edition). Government Printing Office, The Hague, Netherlands.
- Zulfahmi, A.R., Wan Zuhairi, W.Y., Raihan, M.T., Sahibin, A.R., Wan Mohn Razi, I., Tukimat, L., Syakireen Z.S.N. and Noorulakma, A. 2012. Influence of Amang (Tin Tailing) on Geotechnical Properties of Clay Soil. *Sains Malaysiana*, Vol. 41 (3), pg. 303-312.