

PENGARUH REVEGETASI TERHADAP SIFAT-SIFAT TANAH PADA LAHAN BEKAS TAMBANG TEMBAGA DI NUSA TENGGARA BARAT

The Effect of Revegetation on Soil Properties of Copper Post-Mining Land in West Nusa Tenggara

Hermanu Widjaja^{1,2*}, Dyah Tjahyandari Suryaningtyas^{1,2}

¹Pusat Studi Reklamasi Tambang, IPB University, Kampus IPB Baranangsiang, Bogor 16143

²Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB University, Dramaga, Bogor 16680

*Korespondensi: hermanuwi@apps.ipb.ac.id

Received 21 Maret 2024, Revised 06 Juni 2024; Accepted 13 Juni 2024

Abstract

Copper mining activities using open-pit mining techniques operate more frequently than underground mining techniques. Open-pit mining activities in copper mines cause various detrimental impacts on the environment, one of which is overburden waste in waste dump areas. Overburden rock piles have the potential to generate acid mine drainage (AMD) which can cause a decrease in soil pH and an increase in heavy metal toxicity. Waste dump area is one of the focus areas that require reclamation to restore land degradation that has occurred. Reclamation efforts that can be carried out include revegetation using pioneer plants and cover crops. The aim of this research is to analyze soil physical and chemical properties improvement after revegetation on copper post-mining land as an evaluation and to provide recommendations in future reclamation. The research was carried out by analyzing and interpreting laboratory data from soil observations in revegetation areas for the 2016, 2018, 2019 and 2020 planting years, as well as natural forests belonging to PT. Amman Mineral Nusa Tenggara. Revegetation of copper post-mining land does not show a significant improvement in soil physical properties because improving physical properties takes quite a long time, especially in post-mining areas with heavy structural damage. Soil chemical properties analysis shows that revegetation can increase base saturation (BS), cation exchange capacity (CEC), exch-Ca, exch-Mg, and reduce soil Al saturation. In contrast, soil pH, organic-C, total-N, and soil available-P in the revegetation area did not increase as the revegetation age increased. The effect of revegetation appears to be more significant at the age of 2 to 3 years. However, based on the Tukey test, the age of revegetation mostly does not have a significant effect on enhancing soil chemical properties.

Keywords: land reclamation, post-mining soil, revegetation



PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan potensi bahan tambang yang melimpah. Pertambangan terbuka atau *open pit mining* merupakan metode penambangan yang banyak dilakukan di Indonesia sebab sumberdaya mineral sebagian besar berada pada lapisan bumi yang dekat dengan permukaan tanah. Kegiatan penambangan tembaga dengan teknik tambang terbuka lebih banyak beroperasi dibandingkan dengan teknik tambang bawah tanah. Aktivitas pertambangan terbuka pada tambang tembaga menimbulkan berbagai dampak yang merugikan bagi lingkungan, salah satunya limbah timbunan batuan penutup (*overburden*) yang disimpan dalam *waste dump area*. Timbunan batuan penutup berpotensi menimbulkan air asam tambang (AAT) atau *acid mine drainage* (AMD). Air asam tambang dapat menyebabkan pH tanah menjadi sangat masam, yang kemudian menyebabkan kandungan logam-logam berat dalam *overburden* dan tanah menjadi lebih mudah terlarut (Pranata, 2023). Menurut Aanisa *et al.*, (2023) kelarutan logam berat lebih tinggi pada pH rendah yang kemudian menyebabkan toksisitas logam berat semakin besar. Area penimbunan atau *waste dump area* menjadi salah satu fokus kawasan yang memerlukan tindakan reklamasi guna mengatasi kerusakan lahan yang terjadi.

Salah satu upaya reklamasi yang dapat dilakukan adalah revegetasi dengan menggunakan tanaman pionir dan tanaman penutup tanah. Revegetasi merupakan kegiatan penanaman kembali lahan bekas tambang menggunakan tanaman adaptif yang bertujuan untuk memperbaiki lahan bekas tambang, baik dari perbaikan vegetasi maupun perbaikan sifat tanah (Lestari *et al.*, 2022). Pada awal masa revegetasi, lahan bekas tambang umumnya ditanami dengan tanaman pionir cepat tumbuh dan tanaman penutup tanah. Seiring dengan pertumbuhan tanaman, dilakukan kegiatan pengkayaan tanaman menggunakan tanaman-tanaman lokal sehingga keberagaman komponen biotik serta kualitas komponen abiotik semakin meningkat. Setelah tahap revegetasi, selanjutnya dilakukan kegiatan pemantauan lingkungan, meliputi komponen kesuburan tanah, iklim mikro, potensi laju erosi, dan keanekaragaman flora pada lahan bekas tambang. Kegiatan pemantauan dilakukan dalam kurun waktu tertentu dengan tujuan untuk menilai kesuksesan kegiatan revegetasi. Menurut Iskandar & Suwardi (2009), keberhasilan revegetasi lahan bekas tambang sangat ditentukan oleh: (1) aspek penataan lansekap, (2) kesuburan media tanam, dan (3) penanaman dan perawatan tanaman. Komponen kesuburan tanah sangat berpengaruh terhadap kondisi iklim mikro serta pertumbuhan flora dan kehadiran fauna pada lokasi reklamasi. Kondisi kesuburan tanah pada lahan bekas tambang umumnya masih tergolong sangat rendah, baik secara kimia, fisik, maupun biologi. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis perkembangan sifat fisik dan sifat kimia tanah pasca revegetasi pada lahan bekas tambang tembaga sebagai bentuk evaluasi serta guna pemberian rekomendasi reklamasi di masa mendatang.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari sampai dengan Februari 2024 meliputi analisis dan interpretasi data serta studi pustaka. Adapun bahan yang digunakan merupakan data laboratorium hasil pengamatan tanah kawasan revegetasi tahun tanam 2016, 2018, 2019, dan 2020 serta hutan alami milik PT. Amman Mineral Nusa Tenggara (PT. AMNT) yang dianalisis di Laboratorium Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan IPB. Parameter sifat fisik tanah yang diamati meliputi bobot isi, porositas, pori drainase, dan permeabilitas, serta parameter sifat kimia tanah meliputi pH, C-organik, N-total, P-total, P-tersedia, kapasitas tukar kation (KTK), K-dd, Na-dd, Ca-dd, Mg-dd, kejenuhan basa (KB), kejenuhan Al, dan Al-dd pada tanah lapisan atas (0-30 cm) dan lapisan bawah (30-60 cm). Analisis pengaruh umur revegetasi terhadap sifat kimia tanah dilakukan secara statistik dengan ANOVA (*Analysis of Variance*) dan uji lanjut Tukey pada taraf 5%. Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel 2021 dan Minitab 18.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran umum kawasan revegetasi

Kawasan revegetasi berada dalam area reklamasi Batu Hijau, PT Amman Mineral Nusa Tenggara yang terletak di Kecamatan Jereweh dan Kecamatan Sekongkang, Kabupaten Sumbawa Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Reklamasi lahan bekas tambang Batu Hijau sebagian besar dilakukan pada *waste dump area* yang didominasi bentuk relief/morfologi berbukit hingga bergunung dengan kelas kelereng homogen berkisar antara 25-40% (Gambar 1). Dalam proses reklamasi dilakukan pengembalian timbunan batuan penutup (*overburden*) dan penataan lahan pada *waste dump area* sebelum revegetasi, yaitu dengan melakukan penyebaran *subsoil* setebal 2,25 m dan *topsoil* 0,5 m sebagai media tumbuh tanaman (Gambar 2).



Gambar 1 Kondisi relief area reklamasi Batu Hijau

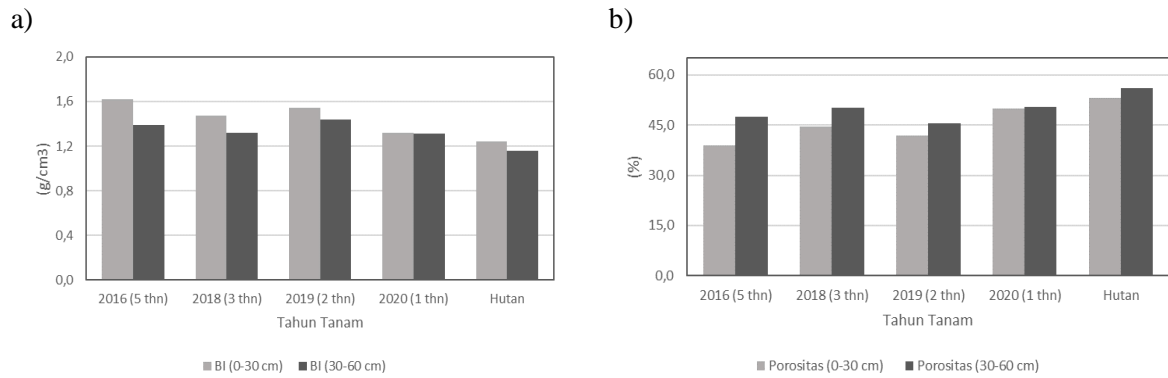


Gambar 2 Penataan lahan pada area reklamasi

Hasil analisis sifat fisik tanah pada lahan bekas tambang

Bobot isi dan porositas tanah

Bobot isi tanah (*bulk density*) merupakan indikator kepadatan tanah, dimana semakin padat suatu tanah maka semakin tinggi bobot isinya. Tanah dengan bobot isi tinggi dapat menghambat sirkulasi air dan udara serta menghambat perkembangan akar tanaman. Hasil analisis sifat fisik tanah pada kawasan revegetasi dan hutan alami PT AMNT menunjukkan bahwa tanah memiliki nilai bobot isi lapisan atas dengan rentang 1,24 hingga 1,62 g/cm³ dan lapisan bawah dengan rentang 1,16 hingga 1,44 g/cm³, secara keseluruhan nilai bobot isi tanah tergolong tinggi (Gambar 3a). Nilai bobot isi tanah pada kawasan revegetasi lebih tinggi dibandingkan pada kawasan hutan alami. Bobot isi tanah yang tinggi pada kawasan reklamasi disebabkan oleh terjadinya pemadatan tanah akibat penggunaan alat berat (Sofyan *et al.*, 2017). Selain itu kegiatan deforestasi pada kawasan tambang menyebabkan hilangnya sumber bahan organik yang berdampak pada pemadatan tanah dan peningkatan bobot isi tanah.

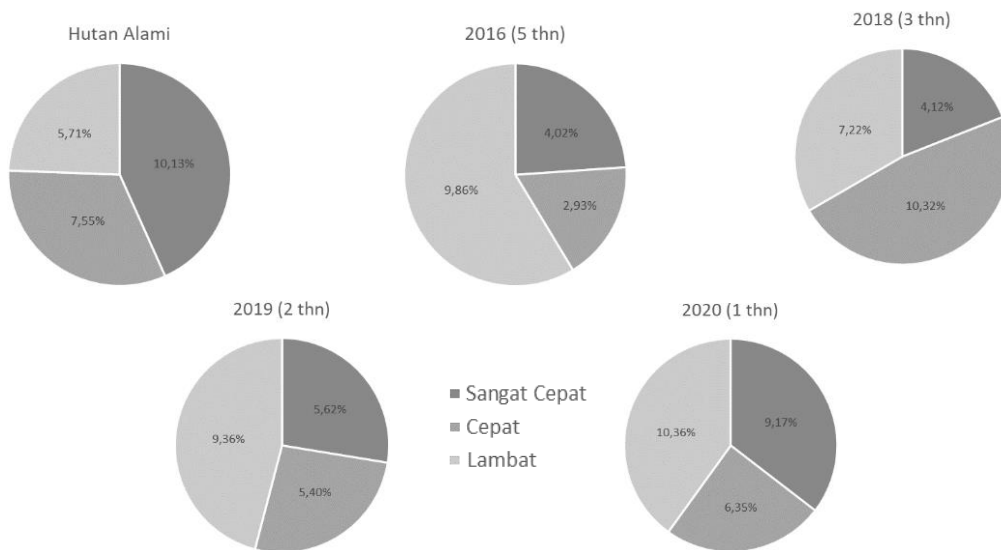


Gambar 3 Nilai bobot isi (a) dan porositas tanah (b) pada kawasan revegetasi dan hutan alami

Porositas tanah merupakan ruang pori tanah yang tidak terisi bahan padatan, melainkan air dan udara. Porositas tanah berbanding terbalik dengan bobot isi tanah, semakin tinggi nilai porositas tanah maka semakin rendah nilai bobot isi tanah. Hasil analisis sifat fisik menunjukkan bahwa tanah memiliki nilai porositas lapisan atas dengan rentang 38,94% hingga 53,10% dan lapisan bawah dengan rentang 45,49% hingga 56,09%, secara keseluruhan nilai porositas tanah tergolong kurang baik (Gambar 3b). Nilai porositas tanah pada kawasan hutan alami lebih tinggi dibandingkan pada kawasan revegetasi. Tanah hutan alami memiliki nilai porositas tinggi sebab tidak adanya kerusakan struktur tanah serta sumber bahan organik yang masih terjaga. Berdasarkan peningkatan umur revegetasi mulai tahun tanam 2016, 2018, 2019, dan 2020, baik nilai bobot isi maupun porositas tanah tidak menunjukkan perubahan yang signifikan sebab perbaikan sifat fisik tanah memerlukan waktu yang cukup lama terutama pada kawasan bekas tambang dengan kerusakan struktur berat.

Pori drainase

Pori drainase merupakan pori tanah berukuran makro yang tidak mampu menahan air akibat gravitasi, sehingga air dialirkan ke bawah sebagai air drainase. Pori drainase terdiri atas pori drainase sangat cepat, pori drainase cepat, dan pori drainase lambat (Rachman *et al.*, 2019). Hasil analisis tanah pada kawasan revegetasi dan hutan alami PT AMNT menunjukkan bahwa tanah lapisan atas memiliki pori drainase sangat cepat dengan rentang 4,02% hingga 10,13%, pori drainase cepat dengan rentang 2,93% hingga 10,32%, dan pori drainase lambat dengan rentang 5,71% hingga 10,36% (Gambar 4).

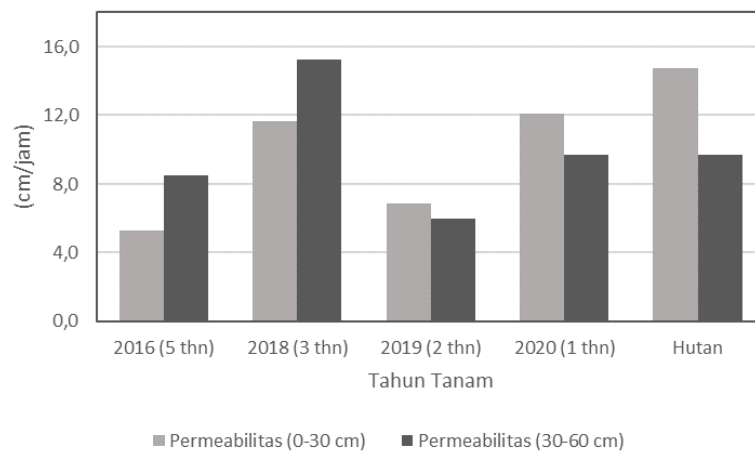


Gambar 4 Nilai pori drainase lapisan atas pada kawasan revegetasi dan hutan alami

Berdasarkan kriteria kemampuan pori-pori tanah memegang air menurut Arsyad (2010), pori drainase kawasan revegetasi dominan tergolong sangat rendah hingga rendah, sedangkan pori drainase hutan alami PT AMNT tergolong rendah hingga sedang pada lapisan atas. Rendahnya pori drainase tanah mencerminkan kondisi sifat fisik tanah dimana tanah pada kawasan revegetasi dan hutan alami PT AMNT memiliki bobot isi tinggi dan porositas tanah yang rendah.

Permeabilitas

Permeabilitas merupakan kemampuan tanah dalam meloloskan air. Laju permeabilitas tanah dipengaruhi oleh nilai porositas tanah, semakin besar porositas tanah maka semakin cepat permeabilitas tanah (Bintoro *et al.*, 2017). Selain dipengaruhi oleh nilai porositas, permeabilitas juga dipengaruhi oleh tekstur tanah. Tanah pada kawasan revegetasi dan hutan alami PT AMNT dominan memiliki tekstur dengan kandungan pasir yang lebih tinggi serta adanya campuran batuan. Menurut Jama *et al.*, (2016), tanah yang didominasi oleh fraksi pasir memiliki pori makro dan bersifat porous sehingga memiliki laju permeabilitas tinggi.



Gambar 5 Nilai permeabilitas tanah pada kawasan revegetasi dan hutan alami

Hasil analisis sifat fisik tanah pada kawasan revegetasi dan hutan alami PT AMNT menunjukkan bahwa tanah memiliki laju permeabilitas lapisan atas dengan rentang 5,27 hingga 14,77 cm/jam dan lapisan bawah dengan rentang 5,97 hingga 15,22 cm/jam (Gambar 5). Berdasarkan klasifikasi permeabilitas tanah menurut Umland dan O'Neil dalam LPT (1979), laju permeabilitas pada kawasan revegetasi dan hutan alami PT AMNT tergolong sedang hingga cepat. Laju permeabilitas tanah pada penelitian ini tidak sejalan dengan bobot isi dan porositas tanah. Peningkatan umur revegetasi tidak dapat mencerminkan peningkatan permeabilitas tanah.

Hasil analisis sifat kimia tanah pada lahan bekas tambang

pH dan kejenuhan basa

Hasil analisis sifat kimia tanah pada kawasan revegetasi dan hutan alami PT AMNT menunjukkan bahwa tanah memiliki pH lapisan atas dengan rentang 4,72 hingga 5,26 dan lapisan bawah dengan rentang 4,97 hingga 5,41. Kejenuhan basa tanah kawasan revegetasi dan hutan alami PT AMNT memiliki rentang 65,18% hingga 94,85% pada lapisan atas dan rentang 79,21% hingga 85,45% pada lapisan bawah. Berdasarkan kriteria BPSI Tanah dan Pupuk (2023), pH tanah pada kawasan revegetasi dan hutan alami PT AMNT tergolong masam dengan pH lapisan atas tertinggi pada tanah kawasan hutan alami, sedangkan kejenuhan basa tanah pada kawasan revegetasi dan hutan alami PT AMNT tergolong

tinggi hingga sangat tinggi. Tidak terdapat peningkatan pH tanah yang signifikan pada kawasan revegetasi jika dibandingkan dengan tanah hutan alami (Tabel 1).

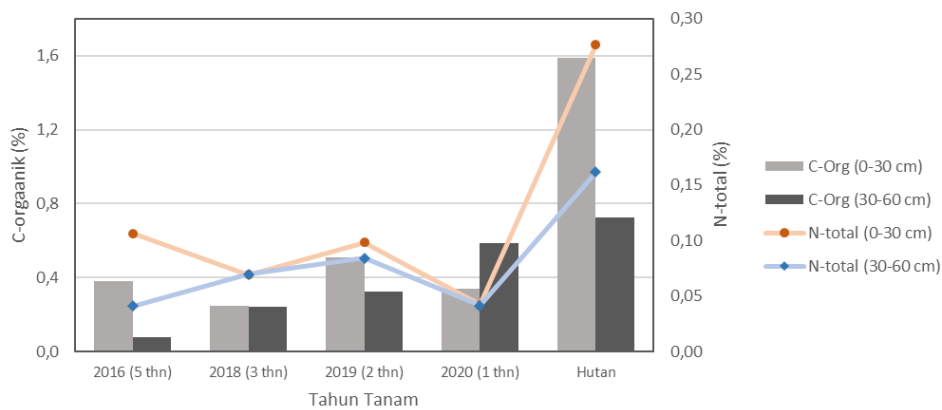
Tabel 1 Nilai pH dan KB pada kawasan revegetasi dan hutan alami

Tahun	pH		KB (%)	
	(0-30 cm)	(30-60 cm)	(0-30 cm)	(30-60 cm)
2016 (5 thn)	4,86	5,05	88,88	79,21
2018 (3 thn)	5,08	4,97	94,85	85,45
2019 (2 thn)	5,14	5,41	86,57	84,71
2020 (1 thn)	4,72	5,24	65,18	84,80
Hutan Alami	5,26	5,38	80,30	82,44

Kejenuhan basa (KB) merupakan persentase jumlah kation-kation basa (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan Na^+) terhadap jumlah seluruh kation (kation asam dan kation basa) dalam kompleks jerapan tanah yang dapat dipertukarkan (KTK efektif) (Sembiring *et al.*, 2016). Kejenuhan basa tanah berkaitan erat dan berhubungan linier dengan pH tanah. Saat kejenuhan basa rendah maka kation-kation basa berkurang dan digantikan oleh kation asam (H^+ dan Al^{3+}) yang menyebabkan penurunan pH tanah (Wilson *et al.*, 2015). Pada penelitian ini, peningkatan umur revegetasi mencerminkan peningkatan KB namun tidak dapat mencerminkan peningkatan pH tanah.

C-organik dan N-total

Hasil analisis sifat kimia tanah pada kawasan revegetasi dan hutan alami PT AMNT menunjukkan bahwa tanah memiliki C-organik lapisan atas dengan rentang 0,25% hingga 1,59% dan lapisan bawah dengan rentang 0,08% hingga 0,73%, serta memiliki N-total lapisan atas dengan rentang 0,04% hingga 0,28% dan lapisan bawah dengan rentang 0,04% hingga 0,16%. Gambar 6 memperlihatkan tidak adanya kecenderungan peningkatan kadar C-organik dan N-total di kawasan revegetasi seiring dengan meningkatnya umur tanaman.



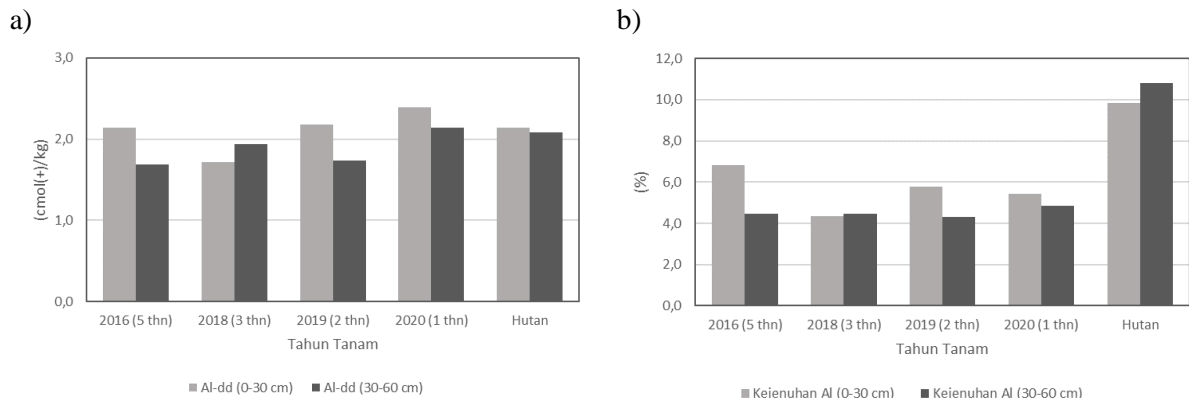
Gambar 6 Kadar C-organik dan N-total pada kawasan revegetasi dan hutan alami

Berdasarkan kriteria BPSI Tanah dan Pupuk (2023), baik C-organik maupun N-total pada tanah kawasan revegetasi tergolong dalam kategori sangat rendah hingga rendah, sedangkan pada tanah kawasan hutan alami C-organik dan N-total tergolong dalam kategori sangat rendah hingga sedang. Rendahnya kadar C-organik pada kawasan revegetasi diduga terjadi akibat pemadatan tanah yang menghambat pertumbuhan vegetasi penghasil bahan organik. Selain itu menurut Putri *et al.*, (2023), rendahnya kadar C-organik tanah dapat dipengaruhi oleh lingkungan atau tingkat mineralisasi bahan

organik. Rendahnya kadar N-total disebabkan oleh unsur N yang bersifat sangat mobil di dalam tanah sehingga mudah hilang melalui proses nitrifikasi, volatilisasi, serta tercuci dan terbawa oleh aliran air.

Al-dd dan kejenuhan Al

Hasil analisis sifat kimia tanah pada kawasan revegetasi dan hutan alami PT AMNT menunjukkan bahwa tanah memiliki Al-dd lapisan atas dengan rentang 1,71 hingga 2,39 cmol(+)/kg dan lapisan bawah dengan rentang 1,69 hingga 2,14 cmol(+)/kg (Gambar 7a). Kandungan Al-dd di dalam tanah berkaitan dengan tingkat kemasaman tanah. Pada penelitian ini, peningkatan umur revegetasi tidak dapat mencerminkan penurunan Al-dd pada tanah.



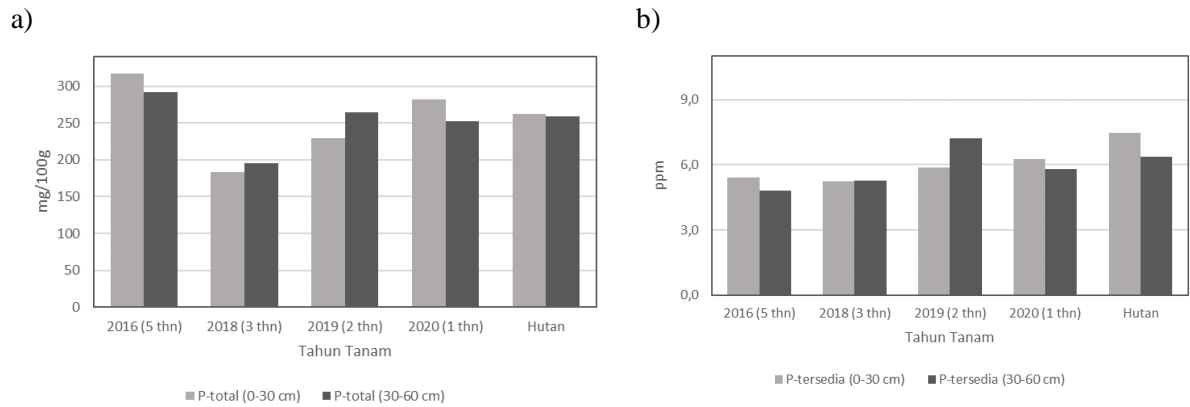
Gambar 7 Nilai Al-dd (a) dan kejenuhan Al (b) pada kawasan revegetasi dan hutan alami

Selain itu hasil analisis juga menunjukkan bahwa tanah memiliki kejenuhan Al lapisan atas dengan rentang 4,34% hingga 9,83% dan lapisan bawah dengan rentang 4,30% hingga 10,83%. Berdasarkan kriteria BPSI Tanah dan Pupuk (2023), kejenuhan Al tanah pada kawasan revegetasi dan hutan alami PT AMNT tergolong sangat rendah hingga rendah. Tanah pada kawasan hutan alami memiliki nilai kejenuhan Al tertinggi baik pada lapisan atas maupun bawah, hal tersebut menunjukkan bahwa kegiatan revegetasi efektif dalam menurunkan kejenuhan Al tanah (Gambar 7c). Kawasan revegetasi dan hutan alami PT AMNT memiliki reaksi tanah masam namun tidak diikuti dengan aktivitas aluminium yang tinggi sehingga relatif tidak menghambat pertumbuhan akar tanaman.

P-total dan P-tersedia

Hasil analisis sifat kimia tanah pada kawasan revegetasi dan hutan alami PT AMNT menunjukkan bahwa tanah memiliki P-total lapisan atas dengan rentang 183,06 hingga 316,9 mg/100g dan lapisan bawah dengan rentang 195,06 hingga 291,5 mg/100g (Gambar 8a), serta memiliki P-tersedia lapisan atas dengan rentang 5,23 hingga 7,47 ppm dan lapisan bawah dengan rentang 4,79 hingga 7,21 ppm (Gambar 8b).

Berdasarkan kriteria BPSI Tanah dan Pupuk (2023), P-total pada tanah kawasan revegetasi dan kawasan hutan alami tergolong dalam kategori sangat tinggi, sedangkan P-tersedia tergolong dalam kategori rendah. Tanah revegetasi tahun tanam 2016 memiliki kadar P-total tertinggi namun memiliki kadar P-tersedia yang rendah. Ketersediaan P di dalam tanah sangat dipengaruhi oleh tingkat kemasaman tanah. Pada tanah masam sebagian besar P tanah dijerap oleh Al dan Fe, sehingga P menjadi tidak tersedia bagi tanaman (Putri *et al.*, 2023). Pada penelitian ini, secara keseluruhan peningkatan umur revegetasi tidak dapat mencerminkan peningkatan P-tersedia tanah.



Gambar 8 Kadar P-total (a) dan P-tersedia (b) pada kawasan revegetasi dan hutan alami

Kation-kation dapat dipertukarkan dan kapasitas tukar kation

Kation-kation dapat dipertukarkan (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan Na^+) memiliki hubungan linear dengan KB tanah. Hasil analisis kation-kation dapat dipertukarkan tanah lapisan atas pada kawasan revegetasi dan hutan alami PT AMNT disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan kriteria BPSI Tanah dan Pupuk (2023), tanah pada kawasan revegetasi dan hutan alami memiliki K-dd dan Na-dd yang tergolong dalam kategori rendah hingga sedang, kemudian Ca-dd dan Mg-dd pada kawasan revegetasi tergolong dalam kategori tinggi hingga sangat tinggi, sedangkan pada kawasan hutan alami Ca-dd tergolong sedang dan Mg-dd tergolong tinggi. Revegetasi dapat meningkatkan Ca-dd dan Mg-dd tanah, namun kurang memberikan peningkatan nilai K-dd dan Na-dd tanah.

Tabel 2 Nilai kation-kation dapat dipertukarkan dan KTK tanah lapisan atas kawasan revegetasi dan hutan alami

Tahun	Ca-dd	Mg-dd	K-dd	Na-dd	KTK
cmol(+)/kg					
2016 (5 thn)	14,60	12,97	0,12	0,17	31,35
2018 (3 thn)	24,81	12,14	0,25	0,21	39,44
2019 (2 thn)	21,35	10,28	0,47	0,47	37,63
2020 (1 thn)	17,21	11,03	0,17	0,32	44,08
Hutan Alami	10,71	6,16	0,41	0,19	21,75

Kapasitas tukar kation (KTK) memiliki hubungan linier dengan kesuburan tanah dan ketersediaan hara bagi tanaman. Semakin tinggi KTK yang dimiliki suatu tanah, maka semakin besar pula kemampuan tanah dalam menyerap atau memegang dan mempertukarkan hara yang dimilikinya. Hasil analisis KTK tanah lapisan atas pada kawasan revegetasi dan hutan alami PT AMNT disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan kriteria BPSI Tanah dan Pupuk (2023), tanah pada kawasan revegetasi memiliki KTK yang tergolong dalam kategori tinggi hingga sangat tinggi, sedangkan tanah pada kawasan hutan alami tergolong dalam kategori sedang. Hal ini menunjukkan bahwa revegetasi efektif dalam meningkatkan nilai KTK tanah sebab revegetasi dapat meningkatkan kadar bahan organik tanah yang berasal dari serasah. Menurut Paz Ferreira *et al.*, (2016), KTK berhubungan linear dengan bahan organik, dimana peningkatan kadar bahan organik pada tanah dapat meningkatkan KTK dan kesuburan tanah.

Peningkatan sifat kimia tanah berdasarkan umur revegetasi

Hasil analisis secara keseluruhan menunjukkan bahwa terdapat peningkatan maupun penurunan nilai sifat-sifat kimia tanah lapisan atas pada kawasan revegetasi PT AMNT. Jenis dan umur tanaman

revegetasi menentukan keberhasilan revegetasi dan besarnya pengaruh revegetasi terhadap kualitas tanah. Berdasarkan hasil analisis ragam dan uji lanjut Tukey pada taraf 5% menunjukkan bahwa umur revegetasi dominan tidak berpengaruh nyata terhadap nilai sifat-sifat kimia tanah sebagaimana disajikan pada dan Tabel 4.

Tabel 3 Pengaruh umur revegetasi terhadap nilai kation-kation dapat dipertukarkan dan KTK tanah

Umur	Ca-dd	Mg-dd	K-dd	Na-dd	KTK
	cmol(+) kg ⁻¹				
1 Tahun	14,36 a	13,38 a	0,11 a	0,30 a	26,24 a
2 Tahun	19,84 a	10,43 a	0,21 a	0,31 a	22,36 a
3 Tahun	16,90 a	10,34 a	0,17 a	0,16 a	22,95 a
4 Tahun	12,75 a	10,16 a	0,19 a	0,11 a	20,80 a
5 Tahun	12,38 a	11,10 a	0,12 a	0,11 a	22,43 a

Tabel dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut Tukey pada $\alpha=5\%$

Tabel 4 Pengaruh umur revegetasi terhadap sifat kimia tanah

Umur	pH	Kejenuhan Al	Kejenuhan Basa	C-Organik	N-total	P total	P-tersedia
		(%)			(mg/100g)	(ppm)	
1 Tahun	5,24 a	2,76 a	92,57 a	0,28 a	0,03 b	155,67 a	9,77 a
2 Tahun	5,35 a	2,06 a	94,87 a	0,48 a	0,07 ab	118,00 a	7,83 ab
3 Tahun	5,46 a	1,45 a	98,30 a	0,52 a	0,06 ab	95,33 a	5,43 ab
4 Tahun	5,21 a	3,29 a	97,30 a	0,61 a	0,09 a	161,00 a	5,33 ab
5 Tahun	5,22 a	2,76 a	95,30 a	0,41 a	0,07 ab	139,00 a	4,30 b

Tabel dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut Tukey pada $\alpha=5\%$

Hasil analisis menunjukkan bahwa umur revegetasi hanya berpengaruh nyata terhadap nilai N-total dan P-tersedia tanah. Nilai N-total tertinggi terdapat pada tanah dengan umur revegetasi 4 tahun, sedangkan nilai P-tersedia tertinggi terdapat pada tanah dengan umur revegetasi 1 tahun. Tercapainya keberhasilan revegetasi pada kawasan bekas tambang dipengaruhi oleh berbagai faktor serta memerlukan waktu yang tidak sebentar, terutama pada lahan yang mengalami kerusakan berat. Maka dari itu upaya peningkatan kualitas sifat kimia tanah melalui kegiatan revegetasi perlu diiringi dengan penambahan bahan amelioran dan pemilihan vegetasi yang tepat.

KESIMPULAN

Revegetasi lahan bekas tambang tembaga pada tahun tanam 2016, 2018, 2019, dan 2020, tidak menunjukkan peningkatan sifat fisik tanah yang signifikan sebab perbaikan sifat fisik memerlukan waktu yang cukup lama terutama pada kawasan bekas tambang dengan kerusakan struktur berat. Analisis sifat kimia tanah menunjukkan bahwa revegetasi dapat meningkatkan KB, KTK, Ca-dd, dan Mg-dd, serta menurunkan kejenuhan Al tanah. Sedangkan pH tanah, C-organik, N-total, dan P-tersedia tanah pada kawasan revegetasi tidak mengalami peningkatan seiring dengan penambahan umur revegetasi. Pengaruh revegetasi terlihat lebih signifikan pada umur 2 hingga 3 tahun, namun berdasarkan uji Tukey umur revegetasi dominan tidak berpengaruh nyata terhadap peningkatan sifat-sifat kimia tanah. Hal ini menjadi bahan evaluasi bahwa kegiatan revegetasi belum mampu meningkatkan sifat fisik, kimia, serta kesuburan tanah bekas tambang secara keseluruhan. Penambahan bahan amelioran

diperlukan dalam kegiatan revegetasi guna mengoptimalkan perbaikan sifat fisik dan kimia tanah pada lahan bekas tambang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada PT Amman Mineral Nusa Tenggara selaku mitra dalam penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Aanisa, N. A. I., Rahmawati, R., Tasiman, B. H. A., & Astuti, Y. (2023). Analisis Kualitas dan Tingkat Pencemaran Limbah B3 Terlarut di Aliran Sungai Cideng. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(1), 215–227.
- Arsyad, S. (2010). *Konservasi Tanah & Air*. IPB Press. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/42667>.
- Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk. (2023). *Petunjuk Teknis: Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk* (3rd ed.). Balai Penelitian Tanah.
- Bintoro, A., Widjajanto, D., & Isrun, I. (2017). Karakteristik Fisik Tanah Pada Beberapa Penggunaan Lahan Di Desa Beka Kecamatan Marawola Kabupaten Sigi. *AGROTEKBIS : JURNAL ILMU PERTANIAN (e-Journal)*, 5(4), Article 4.
- Iskandar, & Suwardi. (2009, 22 Oktober). Meningkatkan Keberhasilan Reklamasi Lahan Bekas Tambang. *Seminar Nasional Pengelolaan Lingkungan Pertambangan, Lembaga Penelitian Universitas Sriwijaya*. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/62634>.
- Jama, N. A., Monde, A., & A.rajamuddin, U. (2016). Karakteristik Fisik Tanah Daerah Aliran Sungai (DAS) Wuno Bagian Hulukabupaten Sigi. *Agrotekbis*, 4(3), 248333. <https://www.neliti.com/publications/248333/>.
- Lestari, K. G., Budi, S. W., & Suryaningtyas, D. T. (2022). The impact of revegetation activities in various post-mining lands in Indonesia (study of literature). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 959(1), 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/959/1/012038>.
- [LPT] Lembaga Penelitian Tanah. (1979). *Penuntun Analisa Fisika Tanah*. Lembaga Penelitian Tanah. Badan Litbang Pertanian. Balai Penelitian Tanah.
- Paz Ferreira, J., Pereira De Almeida, V., Cristina Alves, M., Aparecida De Abreu, C., Vieira, S. R., & Vidal Vázquez, E. (2016). Spatial Variability of Soil Organic Matter and Cation Exchange Capacity in an Oxisol under Different Land Uses. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(sup1), 75–89. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1232099>.
- Pranata, Z. S. (2023). *Keterkaitan Revegetasi dengan Karakteristik Sifat Tanah pada Lahan Pascatambang Tembaga di Nusa Tenggara Barat*. Bogor: Institut Pertanian Bogor. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/122554>.
- Putri, A., Iskandar, I., Oktariani, P., & Limin, A. (2023). Effect of Coal Ash Enriched Compost on Soil Chemical Properties of Ultisols. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1266(1), 012076. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1266/1/012076>.
- Rachman, L. M., Baskoro, D. P. T., Wahjunie, E. D., Nurmilah, A., Astriani, T., & Dewi, N. M. (2019). Evaluasi Sifat Fisik Tanah Pengendali Kemampuan Tanah Memegang Air dan Memasok Air Bagi Tanaman serta Kaitannya Dengan Manajemen Pertanian pada Lahan Sub Optimal. *Seminar Nasional Lahan Suboptimal*, 1, Article 1.
- Sembiring, I. S., Wawan, & Khoiri, M. A. (2016). Sifat kimia tanah dystropepts dan pertumbuhan akar tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) yang diaplikasi mulsa organik *Mucuna bracteata*. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Pertanian*, 2(2), 1-11.

- Sofyan, R. H., Wahjunie, E. D., & Hidayat, Y. (2017). Karakterisasi Fisik Dan Kelembaban Tanah Pada Berbagai Umur Reklamasi Lahan Bekas Tambang. *Buletin Tanah Dan Lahan*, 1(1), Article 1.
- Wilson, W., Supriadi, S., & Guchi, H. (2015). Evaluasi Sifat Kimia Tanah Pada Lahan Kopi Di Kabupaten Mandailing Natal. *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, 3(2), 104299. <https://doi.org/10.32734/jaet.v3i2.10345>.