

TEKNOLOGI REKLAMASI LAHAN BEKAS TAMBANG BAUKSIT MENGUNAKAN *SEEDBALL* TANAMAN ADAPTIF DAN KOMPOS DIPERKAYA FABA

**Aulya Putri¹, Suwardi^{1,2}, Dyah Tjahyandari Suryaningtyas^{1,2}, Putri Oktariani^{1,2}, Hermanu
Widjaja^{1,2}, Octaviana Randrikasari¹**

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

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

Email: aulyaputri@apps.ipb.ac.id

RINGKASAN

Bauksit merupakan salah satu logam mineral yang paling banyak ditambang di dunia dan berperan penting sebagai bahan baku produksi aluminium. Penerapan kebijakan hilirisasi bauksit berdampak terhadap ekspansi luas tambang bauksit dan luas lahan bekas tambang bauksit. Perluasan kegiatan pertambangan dapat menyebabkan peningkatan dampak kerusakan lingkungan, salah satunya adalah timbulnya lahan kritis di kawasan bekas tambang. Lahan bekas tambang bauksit sering kali mengalami permasalahan sifat fisik dan kimia tanah yang menyebabkan tanah tidak mampu mendukung pertumbuhan dan memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman. Alternatif yang dapat diterapkan meliputi penggunaan *seedball* tanaman adaptif dan pemanfaatan kompos diperkaya *Fly Ash-Bottom Ash* (FABA) sebagai bahan amelioran. Teknologi reklamasi lahan bekas tambang menjadi kunci tercapainya keberhasilan reklamasi sekaligus mendukung optimalisasi program hilirisasi bauksit yang berkelanjutan di Indonesia.

Kata kunci: FABA, hilirisasi, reklamasi tambang bauksit, *seedball*

RECLAMATION TECHNOLOGY FOR BAUXITE POST-MINING LAND USING ADAPTIVE PLANT SEEDBALL AND FABA ENRICHED COMPOST

ABSTRACT

Bauxite is one of the most mined minerals in the world and plays an important role as a raw material for aluminum production. The implementation of bauxite downstream policy has an impact on the expansion of bauxite mining area and bauxite post-mining land. The expansion of mining activities can cause an increase in the impact of environmental damage, one of which is the emergence of critical land in post-mining areas. Bauxite post-mining land often experiences problems with soil physical and chemical properties, which cause soil unable to support growth and fulfill plant nutrition needs. Alternatives that can be implemented is the use of adaptive plant seedball and Fly Ash-Bottom Ash (FABA) enriched compost utilization as ameliorant material. Post-mining

land reclamation technology is the key to achieve successful reclamation and support the optimization of sustainable bauxite downstream programs in Indonesia.

Keywords: *Bauxite mine reclamation, downstream, FABA, seedball*

PERNYATAAN KUNCI

Hilirisasi industri menjadi salah satu langkah penting bagi Indonesia untuk menjadi negara maju. Hilirisasi merupakan upaya pemerintah dalam meredam ekspor bahan mentah dengan mendorong industri domestik untuk mengolah bahan baku menjadi barang jadi dengan nilai jual yang lebih tinggi. Program hilirisasi bauksit mulai berlaku pada Juni 2023 berdasarkan UU Nomor 3 Tahun 2020 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara serta Permen ESDM Nomor 17 Tahun 2020 tentang Pengusahaan Pertambangan Mineral dan Batubara.

Kebijakan hilirisasi bauksit berdampak pada perluasan wilayah tambang bauksit. Terutama dengan dikeluarkannya Keputusan Menteri ESDM No.375.K/MB.01/MEM.B/2023 yang mengizinkan pemegang Izin Usaha Pertambangan (IUP) mineral logam untuk memperluas wilayah tambangnya (WIUP) hingga 25.000 ha, serta 15.000 ha untuk pemegang IUP batu bara. Perluasan kegiatan pertambangan dapat menyebabkan peningkatan dampak gangguan lingkungan salah satunya adalah timbulnya lahan kritis di kawasan bekas tambang. Permasalahan utama lahan kritis di kawasan bekas tambang bauksit meliputi

hilangnya lapisan tanah pucuk, kerusakan sifat fisik dan penurunan kesuburan tanah. Teknologi reklamasi yang tepat sangat diperlukan untuk mengatasi masalah yang timbul pada kawasan bekas tambang bauksit, sehingga target keberhasilan reklamasi dapat tercapai dan dampak kerusakan lingkungan dapat diminimalisir sebagai bentuk dukungan terhadap program hilirisasi bauksit yang berkelanjutan di Indonesia.

REKOMENDASI KEBIJAKAN

Perlu adanya kebijakan terkait pemanfaatan limbah industri tambang dan/atau limbah lain dalam lingkungan industri tambang untuk menerapkan konsep *zero waste* pada industri pertambangan. Dalam konteks ini, pemanfaatan limbah FABA dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) *smelter* tambang bauksit yang dikombinasikan dengan kompos dapat meningkatkan kesuburan tanah, mendukung pertumbuhan tanaman, dan membantu mengembalikan produktivitas lahan bekas tambang.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan sumber daya alam mineral yang melimpah dan potensi cadangan mineral yang sangat tinggi, salah satunya yaitu bauksit sebagai bahan baku produksi aluminium. Bauksit merupakan salah satu logam mineral yang

paling banyak di tambang di seluruh dunia. Berdasarkan informasi dari U.S. *Geological Survey*, pada tahun 2022 Indonesia menempati peringkat ke-5 produsen bauksit terbesar di dunia, setelah Australia, China, Guinea, dan Brazil dengan pangsa produksi mencapai 21 juta ton. Indonesia memiliki cadangan bauksit dalam negeri sekitar 1 miliar ton dari total cadangan bauksit global yang mencapai 31 miliar ton. Potensi sumber daya dan cadangan bauksit di Indonesia terdapat di Kepulauan Riau, Kepulauan Bangka Belitung, dan Pulau Kalimantan. Potensi bauksit terbesar berada di Provinsi Kalimantan Barat dengan sumber daya 74,5% dan cadangan 76,7% dari total sumber daya dan cadangan bauksit di Indonesia. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral mencatat pada tahun 2020 terdapat total 98 Izin Usaha Pertambangan (IUP) bauksit di Indonesia yang tersebar di Provinsi Kepulauan Riau, Kalimantan Tengah, dan Kalimantan Barat. Selain itu, terdapat 34 titik sumber daya bauksit di Provinsi Kepulauan Riau dan 22 titik di Provinsi Kalimantan Barat yang belum memiliki WIUP/KK (Kementerian ESDM, 2020).

Sebelum diberlakukannya program hilirisasi bauksit pada Juni 2023, sebagian besar produksi bauksit di Indonesia diekspor dalam bentuk bijih bauksit dan hanya sebagian kecil yang di proses di dalam negeri. Kebijakan hilirisasi bauksit merupakan

implementasi Undang-undang (UU) Nomor 3 Tahun 2020 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara yang mana pada Pasal 103 ayat 1 disebutkan bahwa, Pemegang Izin Usaha Pertambangan (IUP) atau Izin Usaha Pertambangan Khusus (IUPK) pada tahap kegiatan operasi produksi mineral sebagaimana dimaksud dalam Pasal 102 wajib melakukan pengolahan dan/atau pemurnian mineral hasil penambangan di dalam negeri. Kebijakan ini juga merupakan implementasi Permen ESDM Nomor 17 Tahun 2020 tentang Pengusahaan Pertambangan Mineral dan Batubara yang mana pada Pasal 46 disebutkan bahwa, pemegang IUP Operasi Produksi dapat melakukan penjualan bauksit yang telah dilakukan pencucian (*washed bauxite*) dengan kadar $Al_2O_3 > 42\%$ (lebih dari atau sama dengan empat puluh dua persen) ke luar negeri dalam jumlah tertentu dengan menggunakan Pos Tarif/HS (*Harmonized System*) sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan paling lama sampai dengan tanggal 10 Juni 2023. Kemudian berdasarkan ketentuan Permendag Nomor 18 Tahun 2021, disebutkan pula bahwa larangan ekspor bidang pertambangan termasuk bauksit mulai berlaku pada tanggal 11 Juni 2023.

Penghentian ekspor bijih bauksit dilakukan untuk meningkatkan nilai tambah di dalam negeri dengan mendorong industri domestik untuk mengolah bahan baku

menjadi barang jadi dengan nilai jual yang lebih tinggi. Kebijakan hilirisasi mineral menjadi salah satu alat fiskal (*fiscal tool*) untuk menciptakan nilai tambah mineral, meningkatkan penerimaan negara, mendorong pertumbuhan ekonomi, menciptakan lapangan kerja, serta mensejahterakan rakyat Indonesia (Ika, 2017; Maga *et al.*, 2018). Sebelum diterapkan larangan ekspor mineral mentah, ekspor bauksit Indonesia 100% ditujukan pada pasar Republik Rakyat Tiongkok (RRT) dengan tren peningkatan ekspor yang signifikan selama lima tahun terakhir. Namun di tahun 2023 nilai dan volume ekspor Indonesia mengalami pelemahan menjelang implementasi kebijakan larangan ekspor mineral logam, dimana pada bulan Januari-Maret 2023 bauksit menjadi salah satu produk yang mengalami penurunan secara signifikan dengan penurunan nilai ekspor sebesar 68,60% YoY dan penurunan volume ekspor sebesar 70,98% YoY (Ardiyanti *et al.*, 2023). Dalam jangka pendek larangan ekspor bijih bauksit akan menurunkan pendapatan ekspor negara, namun dalam jangka panjang pendapatan nasional akan meningkat seiring dengan meningkatnya nilai tambah dari hasil hilirisasi dan produk turunan bauksit.

Menurut penelitian Hendrik *et al.* (2022a) yang menggunakan integrasi metode MICMAC-ANP, faktor-faktor yang berpengaruh dalam kebijakan pengelolaan industri hilir adalah tanggung jawab sosial

perusahaan, tenaga kerja, pajak, program pengembangan dan pemberdayaan masyarakat, serta transportasi. Sedangkan aktor-aktornya adalah pengelola kawasan, perusahaan, dan Badan Usaha Milik Daerah (BUMD). Realisasi program hilirisasi bauksit perlu diiringi dengan pengawasan dan evaluasi terhadap kinerja perusahaan tambang terkait kegiatan reklamasi untuk memastikan kelangsungan kegiatan pertambangan dan menjaga kualitas lingkungan. Reklamasi harus segera dilakukan untuk menghindari kerusakan lahan yang lebih parah dan untuk efisiensi penggunaan peralatan, bahan, serta sumber daya manusia. Sesuai Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 78 Tahun 2010 Pasal 21 yang menyebutkan bahwa reklamasi wajib dilakukan paling lambat 30 (tiga puluh) hari setelah tidak ada kegiatan usaha pertambangan pada lahan terganggu. Selain itu perlu dipastikan pula bahwa perusahaan telah menyelesaikan kewajibannya dengan memenuhi tingkat keberhasilan kegiatan reklamasi dan/atau pascatambang sebagaimana yang telah di atur dalam PP Nomor 96 Tahun 2021. Guna memenuhi tingkat keberhasilan reklamasi secara cepat, perusahaan memerlukan teknologi reklamasi lahan bekas tambang yang efektif dan efisien. Teknologi reklamasi lahan bekas tambang perlu disesuaikan dengan kondisi dan tingkat kerusakan lahan bekas tambang dengan

memperhatikan aspek fisik, kimia, dan biologi.

Proses penambangan bauksit dilakukan dengan metode tambang terbuka atau *open pit mining*. Penambangan terbuka adalah salah satu metode penambangan yang paling merusak sebab menimbulkan lahan kritis, menghasilkan limbah, dan memiliki produk samping yang dapat berdampak buruk bagi lingkungan. Sebagaimana dijelaskan oleh Dibattista *et al.* (2023) bahwa dampak lingkungan utama yang disebabkan oleh pertambangan bauksit adalah pencemaran air dan degradasi lahan. Lahan kritis merupakan lahan yang mengalami degradasi atau penurunan kualitas tanah meliputi penurunan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah sehingga lahan tersebut tidak dapat berfungsi dengan baik (Sittadewi, 2016; Fachlevi *et al.*, 2016;). Berdasarkan keputusan Direktur Jenderal PDASRH tentang penetapan peta dan data lahan kritis nasional tahun 2022, diketahui bahwa luas lahan kritis nasional tahun 2022 adalah 12.744.925 ha, dengan rincian dalam kawasan hutan seluas 7.410.751 ha dan di luar kawasan hutan seluas 5.334.174 ha. Sektor pertambangan menjadi salah satu penyumbang terbesar lahan kritis di Indonesia, oleh sebab itu lahan kritis yang ditimbulkan pada kawasan bekas tambang memerlukan reklamasi yang tepat dan cepat agar lahan dapat kembali berfungsi sesuai peruntukannya.

Permasalahan utama lahan kritis di area pascatambang bauksit meliputi hilangnya lapisan tanah pucuk, tanah memiliki sifat padat dan sukar diolah, serta tanah memiliki struktur, tekstur, porositas, dan *bulk density* yang tidak mendukung perkembangan perakaran dan mengganggu pertumbuhan tanaman (Sembiring, 2008). Menurut Prematuri *et al.* (2020), kegiatan penambangan bauksit menyebabkan penurunan kesuburan tanah serta perubahan sifat kimia tanah meliputi peningkatan pH dan penurunan N-total, C-organik, P-tersedia, Ca, Mg, dan Na pada lahan bekas tambang bauksit.

Melihat permasalahan yang terjadi pada lahan bekas tambang bauksit, terdapat beberapa solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi hal tersebut, yaitu dengan menggunakan *seedball* tanaman adaptif untuk meningkatkan keberhasilan revegetasi dan pemanfaatan kompos diperkaya FABA atau Kom-FABA sebagai bahan amelioran pada lahan bekas tambang. Teknik *seedball* dapat mensuplai nutrisi bagi benih untuk bertahan pada kondisi yang tidak memungkinkan untuk berkecambah serta lebih terjaga dari serangan predator (Hakim *et al.*, 2015). FABA yang dimanfaatkan sebagai amelioran pada lahan bekas tambang mampu meningkatkan pH, C-organik, N-total, KTK, P-tersedia, kejenuhan basa, Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Cu, dan Zn, serta mereduksi Al-dd (Sriningsih *et al.*, 2022). Kompos diperkaya

FABA sebagai pembenah tanah dapat memperbaiki dan meningkatkan sifat kimia tanah dengan lebih efektif (Putri *et al.*, 2023).

Penelitian ini bertujuan memberikan rekomendasi teknologi reklamasi yang efektif dan komprehensif untuk mengoptimalkan reklamasi lahan bekas tambang bauksit. Pengembangan solusi yang efisien dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi dan tingkat kerusakan lahan bekas tambang bauksit serta dengan memperhatikan aspek fisik, kimia, dan biologi. Dengan harapan solusi yang diberikan dapat mempercepat tercapainya keberhasilan reklamasi sekaligus mendukung suksesnya program hilirisasi bauksit yang berkelanjutan.

SITUASI TERKINI

Menurut USGS (2023), pada tahun 2022 Indonesia menempati peringkat ke-5 produsen bauksit terbesar di dunia, setelah Australia, China, Guinea, dan Brazil dengan pangsa produksi mencapai 21 juta ton (Tabel 1). Indonesia memiliki cadangan bauksit dalam negeri sekitar 1 miliar ton dari total cadangan bauksit global yang mencapai 31 miliar ton. Diperkirakan umur cadangan bijih bauksit di Indonesia adalah 92 tahun (tahun 2112) dengan catatan jika tidak ada penambahan *smelter* dan tidak ada lagi ekspor bijih bauksit (Kementerian ESDM, 2020).

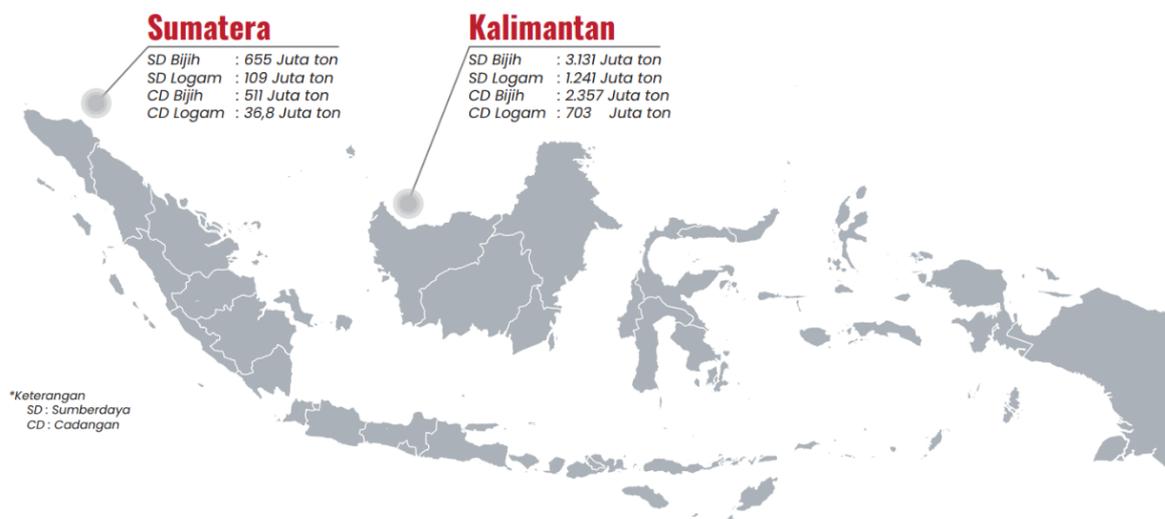
Potensi sumber daya dan cadangan bauksit di Indonesia terdapat di Kepulauan Riau, Kepulauan Bangka Belitung, dan Pulau Kalimantan. Secara keseluruhan Pulau

Sumatera memiliki sumber daya bijih bauksit sebanyak 655 juta ton dengan cadangan bijih 511 juta ton, dan Pulau Kalimantan memiliki sumber daya bijih bauksit sebanyak 3.131 juta ton dengan cadangan bijih 2.357 juta ton (Gambar 1). Potensi bauksit terbesar berada di Provinsi Kalimantan Barat dengan sumber daya 74,5% dan cadangan 76,7% dari total sumber daya dan cadangan bauksit di Indonesia (Wardianingsih dan Riyono, 2023). Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral mencatat bahwa pada tahun 2020 terdapat total 98 IUP bauksit di Indonesia yang tersebar di Provinsi Kepulauan Riau, Kalimantan Tengah, dan Kalimantan Barat (Kementerian ESDM, 2020).

Tabel 1. Produksi dan Cadangan Tambang Bauksit di Dunia

Negara	Produksi bauksit (ribu ton)	Cadangan bauksit (ribu ton)
	2022	
Australia	100.000	5.100.000
China	90.000	710.000
Guinea	86.000	7.400.000
Brazil	33.000	2.700.000
Indonesia	21.000	1.000.000
India	17.000	660.000
Jamaica	3.900	2.000.000
Russia	5.000	500.000
Saudi Arabia	4.800	180.000
Kazakhstan	4.400	160.000
Vietnam	3.800	5.800.000
Negara lain	8.900	5.100.000
Total	380.000	31.000.000

Sumber: USGS (2023)



Gambar 1. Peta sumber daya dan cadangan bauksit Indonesia (Kementerian ESDM, 2020)

Ekspor bauksit Indonesia 100% ditujukan pada pasar Republik Rakyat Tiongkok (RRT) sebelum diterapkan larangan ekspor mineral mentah. Ekspor bauksit Indonesia ke RRT menunjukkan tren peningkatan ekspor yang signifikan selama lima tahun terakhir sebesar 22,35% per tahun (Tabel 2), namun di tahun 2023 nilai dan volume ekspor Indonesia mengalami pelemahan menjelang implementasi kebijakan larangan ekspor mineral logam, dimana pada bulan Januari-Maret 2023 bauksit mengalami penurunan secara signifikan dengan penurunan nilai ekspor sebesar 68,60% YoY dan penurunan volume ekspor sebesar 70,98% YoY (Ardiyanti *et al.*, 2023). Dalam jangka pendek larangan ekspor bijih bauksit akan menurunkan pendapatan ekspor negara, namun dalam jangka panjang pendapatan nasional akan meningkat seiring dengan meningkatnya nilai tambah dari hasil hilirisasi dan produk turunan bauksit.

Tabel 2. Nilai dan volume ekspor washed bauxite Indonesia Periode 2018-2023 (Januari-Maret)

Tahun	Nilai (USD Juta)	Volume (ribu MT)
2018	263,60	8.650,18
2019	466,86	15.500,12
2020	555,50	19.422,18
2021	628,18	19.914,48
2022	623,00	17.845,19
Jan-Mar 2022	216,96	6.621,60
Jan-Mar 2023	68,12	1.921,43

Sumber: Ardiyanti *et al.* (2023)

Peningkatan nilai tambah bauksit yang optimal memerlukan fasilitas yang memadai, salah satunya adalah pabrik pemurnian atau *smelter*. Hasil studi (Hendrik *et al.*, 2022b) menggunakan *Data Envelopment Analysis* (DEA) kualitatif menunjukkan bahwa pabrik penyulingan alumina berkontribusi pada pengembangan kota pertambangan jangka panjang. Kementerian ESDM (2020)

mencatat pada tahun 2019 dari total produksi bijih bauksit Indonesia sebesar 16,6 juta ton, hanya 2,9 juta ton bijih bauksit yang disuplai ke dalam negeri untuk produksi alumina. Hal tersebut berdampak pada ketergantungan Indonesia terhadap impor alumina dan aluminium guna memenuhi kebutuhan aluminium Indonesia. Kementerian ESDM mengungkapkan baru terdapat 4 dari 12 *smelter* bauksit yang aktif beroperasi di Indonesia yaitu PT. Indonesia Chemical Alumina, PT. Well Harvest Winning Alumina Refinery, *smelter* ekspansi dari PT. Well Harvest Winning Alumina Refinery, dan PT. Bintang Alumina Indonesia. Sementara itu terdapat 8 *smelter* lain yang masih dalam tahap pembangunan. Total tambahan kapasitas *input* bijih bauksit diperkirakan dapat mencapai 31,44 juta ton/tahun saat seluruh pembangunan *smelter* bauksit telah rampung (Siombo, 2023).

Data terkini menunjukkan bahwa sektor bauksit menjadi salah satu sektor

penting dalam perekonomian Indonesia. Namun reklamasi tambang bauksit belum berjalan dengan optimal akibat adanya berbagai permasalahan sifat fisik dan kimia tanah yang belum teratasi dengan baik. Tabel 3 menunjukkan hasil analisis sifat fisik dan kimia tanah pada lahan bekas tambang bauksit di Pulau Kas, Karimun, Kepulauan Riau. Berdasarkan penelitian Wasis *et al.* (2018) diketahui bahwa lahan bekas tambang bauksit mengalami peningkatan *bulk density* akibat proses penambangan yang melibatkan penggunaan alat-alat berat sehingga terjadi proses pemadatan pada tanah. Selain itu lahan bekas tambang bauksit juga mengalami perubahan sifat kimia tanah meliputi peningkatan pH, Ca, Mg dan K dan penurunan kandungan C-organik, N, P, dan Na. Berdasarkan kriteria BPSI Tanah dan Pupuk (2023), pH tanah masih tergolong masam, C-organik sangat rendah, N-total sangat rendah, P rendah, Ca sedang, Mg tinggi, K sedang, dan Na rendah.

Tabel 3. Analisis sifat fisik dan kimia tanah lahan bekas tambang bauksit di Pulau Kas, Karimun, Kepulauan Riau

Sifat Fisik							
<i>Bulk density</i>	Porositas	Pori drainase	Air tersedia	Permeabilitas			
g/cm ³		%		cm/jam			
1,27	51,72	5,88	11,11	4,10			
Sifat Kimia							
pH	C-organik	N-total	P	Ca	Mg	K	Na
	%		ppm		me/100 g		
5,30	0,78	0,08	4,90	6,56	2,40	0,58	0,24

Sumber: Wasis *et al.* (2018)

Tabel 4. Analisis sifat kimia tanah lahan bekas tambang bauksit di Ngabang, Kalimantan Barat dan Kijang, Bintan Timur, Kepulauan Riau

Parameter analisis	Satuan	Hasil	
		Ngabang, Kalimantan Barat	Kijang, Kepulauan Riau
pH	-	5,67	5,28
C-Organik	%	1,10	1,00
N	%	0,25	0,09
P	ppm	1,08	2,45
K	me/100 g	0,11	0,20
Na	me/100 g	0,11	0,45
Ca	me/100 g	0,14	0,72
Mg	me/100 g	0,12	0,31
Al-dd	me/100 g	0,30	0,10
H-dd	me/100 g	1,50	-
Kapasitas Tukar Kation (KTK)	me/100 g	6,24	3,93
Kejenuhan Basa (KB)	%	7,69	-

Sumber: Aprillia *et al.* (2021); Sembiring (2008)

Tabel 4 menggambarkan kondisi sifat kimia tanah pada lahan bekas tambang bauksit di Ngabang, Kalimantan Barat dan Kijang, Kepulauan Riau. Berdasarkan kriteria BPSI Tanah dan Pupuk (2023), tanah di dua lahan bekas tambang berbeda memiliki pH agak masam dan masam, C-organik rendah, N-total sedang dan sangat rendah, P sangat rendah, K rendah, Na rendah dan sedang, Ca sangat rendah, Mg sangat rendah, serta KTK rendah dan sangat rendah. Data kimia tanah pada lahan bekas tambang bauksit secara keseluruhan menggambarkan bahwa kondisi lahan kurang mendukung pertumbuhan tanaman sebab memiliki tingkat kesuburan yang rendah.

METODOLOGI

Penelitian ini bersifat deskriptif analitis, dengan mendeskripsikan dan memberikan gambaran terkait kondisi serta fakta hilirisasi bauksit dan teknologi reklamasi lahan bekas tambang bauksit guna mendukung suksesnya program hilirisasi bauksit di Indonesia. Metodologi yang digunakan mencakup pengumpulan data dari berbagai sumber, analisis kebijakan, dan studi literatur.

Sumber Data

Sumber data yang digunakan merupakan data yang diperoleh dari literatur ilmiah serta dokumen kebijakan pemerintah dan kementerian yang terkait dengan regulasi sumber daya mineral. Dalam konteks ini,

data perundang-undangan didapatkan melalui penelusuran pada situs resmi pemerintah <https://peraturan.bpk.go.id/>, <https://www.esdm.go.id/> serta riset-riset terdahulu yang menjadi bagian dari sumber data.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran peraturan dan undang-undang yang berkaitan dengan tambang bauksit, dengan fokus pada UU Nomor 3 Tahun 2020 dan Permen ESDM Nomor 17 Tahun 2020. Penelitian juga mencakup aturan-aturan terkait reklamasi lahan bekas tambang, seperti PP Nomor 78 Tahun 2010 dan Nomor 96 Tahun 2021. Selain itu, data ekonomi yang relevan dengan industri tambang bauksit juga diakses melalui situs resmi termasuk publikasi dari USGS, Badan Pusat Statistik, Kementerian ESDM, dan Kementerian Perindustrian. Data tersebut memberikan landasan kuat dalam memahami dinamika ekonomi terkait kegiatan produksi, ekspor, dan kontribusi industri tambang bauksit terhadap perekonomian nasional. Penggunaan data sekunder mendukung analisis mengenai regulasi dan kondisi ekonomi yang mempengaruhi proses reklamasi dan produksi bauksit. Data karakteristik tanah diperoleh melalui studi literatur dan data penelitian sebelumnya oleh Wasis *et al.* (2018), Aprillia *et al.* (2021), dan Sembiring (2008) yang diinterpretasikan untuk

memahami kondisi tanah pada lahan bekas tambang bauksit. Dengan fokus utama menggali informasi terkait sifat kimia tanah dan sifat fisik tanah, serta aspek lainnya yang relevan. Analisis sifat kimia dan sifat fisik tanah menjadi poin yang sangat penting dalam merancang strategi reklamasi tambang untuk mengatasi masalah yang terjadi pada lahan bekas tambang bauksit. Data penelitian sebelumnya, artikel ilmiah, serta dokumen terkait diperoleh melalui penelusuran *Google Scholar* dan *ScienceDirect*. Analisis data dilakukan untuk memperoleh informasi relevan guna menyusun pemahaman komprehensif terkait reklamasi lahan bekas tambang bauksit.

ANALISIS DAN ALTERNATIF SOLUSI

Reklamasi lahan bekas tambang bauksit memiliki tantangan tersendiri sehingga memerlukan perencanaan yang matang. Keberhasilan reklamasi bergantung pada pemilihan metode dan teknologi reklamasi yang tepat. Maka dari itu, pada tahap analisis dan penanganan, akan dibahas lebih lanjut mengenai berbagai alternatif solusi untuk memastikan bahwa reklamasi lahan bekas tambang bauksit dapat berjalan efektif dan efisien. Alternatif solusi tersebut meliputi penggunaan *seedball* tanaman adaptif dan pemanfaatan Kom-FABA sebagai amelioran dalam upaya mempercepat reklamasi lahan bekas tambang bauksit.

Penggunaan *Seedball* Tanaman Adaptif untuk Revegetasi Lahan Bekas Tambang Bauksit

Revegetasi merupakan salah satu kegiatan reklamasi tambang dimana lahan bekas tambang ditanami kembali dengan tanaman adaptif yang bertujuan untuk memperbaiki lahan bekas tambang, baik dari perbaikan vegetasi maupun perbaikan sifat tanah (Sunardi et al., 2020; Lestari et al., 2022). Revegetasi memiliki peran penting dalam proses awal pembentukan tanah dengan meningkatkan sifat kimia dan sifat fisik tanah (Iskandar et al., 2022). Menurut Iskandar dan Suwardi (2009), keberhasilan revegetasi lahan bekas tambang sangat ditentukan oleh (1) aspek penataan lansekap, (2) kesuburan media tanam, dan (3) penanaman dan perawatan tanaman. Pemilihan tanaman yang adaptif, cocok, dan sesuai dengan karakteristik lahan bekas tambang, serta teknik penanaman yang tepat merupakan salah satu kunci keberhasilan revegetasi. Revegetasi dapat dilakukan dengan menggunakan tanaman asli lokal, tanaman kehutanan introduksi, atau tanaman lain yang dinilai bermanfaat untuk mempercepat dan meningkatkan keberhasilan reklamasi. Menurut Setyowati et al. (2017), kriteria pemilihan jenis pohon untuk lahan bekas tambang dapat dilihat dari: (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.

Guna mengatasi kondisi iklim mikro yang belum sesuai, reklamasi diawali dengan menanam tanaman pioner cepat tumbuh yang mampu beradaptasi dengan cepat, seperti Sengon (*Paraserianthes falcataria*), Akasia (*Acacia mangium*), Lamtoro (*Leucaena glauca*), Turi (*Sesbania grandiflora*), Gamal (*Gliricidia sepium*), Jabon (*Anthocephalus cadamba*) dan lain-lain. Kegiatan revegetasi umumnya diiringi dengan penanaman tanaman penutup tanah atau *Legume Cover Crop* (LCC) yang cepat berkembang seperti, *Mucuna bracteata* (MB), *Centrosema pubescens* (CP), *Calopogonium mucunoides* (CM), *Pueraria javanica* (PJ), dan *Calopogonium caeruleum* (CC) agar tanah terlindungi dari bahaya erosi, meningkatkan kadar bahan organik tanah secara merata serta membantu memperbaiki sifat kimia dan sifat fisik tanah. Saat tanaman pioner sudah cukup tinggi dengan tajuk yang cukup rapat, maka kawasan reklamasi sudah dapat ditanami tanaman lokal seperti sungkai, ulin, meranti, dan gaharu (Iskandar et al., 2012; Mosyafitiani et al., 2018; Suwardi dan Randrikasari, 2023;).

Dalam kegiatan revegetasi lahan bekas tambang terdapat beberapa metode penanaman, salah satunya adalah penanaman

benih secara langsung atau *direct seeding*. Teknik *direct seeding* dilakukan dengan cara penanaman langsung benih di lapangan tanpa melalui tahap persemaian sehingga relatif murah, mudah, dan sederhana, namun terdapat kekurangan dimana benih rawan dimakan oleh serangga dan burung (Hartoyo *et al.*, 2023). Metode alternatif penanaman lain yang dapat menjadi opsi dalam revegetasi lahan bekas tambang adalah *Seedball*. *Seedball* atau bola benih merupakan bulatan kecil yang berisi tanah pucuk, pupuk kompos, dan benih tanaman. Benih pada *seedball* dapat memperoleh nutrisi untuk bertahan pada kondisi yang tidak memungkinkan untuk berkecambah serta lebih terjaga dari serangan predator (Hakim *et al.*, 2015).

Media yang digunakan dalam pembuatan *seedball* yaitu, tanah liat, *top soil*, kompos, benih tanaman, dan air. Media *seedball* diaduk perlahan hingga tercampur merata yang selanjutnya dibentuk bulat dan dimasukkan benih ke dalamnya. Diameter *seedball* disesuaikan dengan ukuran benih yang digunakan, dibuat dengan diameter yang tidak terlalu tebal dan tidak terlalu padat. Menurut Hakim *et al.* (2015), *seedball* dengan diameter 2 cm diasumsikan lebih baik untuk kegiatan rehabilitasi, sebab *seedball* berdiameter besar akan memberikan tekanan yang lebih besar pada benih sehingga menyulitkan benih untuk berkecambah. *Seedball* yang telah jadi kemudian akan

dikeringkan selama 24-48 jam sebelum kemudian disimpan (Kannan *et al.*, 2021).

Pemanfaatan Kom-FABA dalam pemulihan Lahan Bekas Tambang Bauksit

Permasalahan utama lahan kritis di area pascatambang bauksit meliputi hilangnya lapisan tanah pucuk, tanah memiliki sifat padat dan sukar diolah, serta tanah memiliki struktur, tekstur, porositas, dan *bulk density* yang tidak mendukung perkembangan perakaran dan pertumbuhan tanaman (Sembiring, 2008). Menurut Prematuri *et al.* (2020), kegiatan penambangan bauksit menyebabkan penurunan kesuburan tanah serta perubahan sifat kimia tanah meliputi peningkatan pH dan penurunan N-total, C, P tersedia, Ca, Mg, dan Na pada lahan bekas tambang bauksit. Wasis *et al.* (2018) juga menjelaskan bahwa kegiatan penambangan bauksit menyebabkan terjadinya perubahan sifat kimia tanah meliputi peningkatan pH, Ca, Mg dan K dan penurunan kandungan C-organik, N-total, P, dan Na. Kerusakan yang terjadi pada lahan bekas tambang bauksit memerlukan reklamasi sesegera mungkin agar lahan dapat kembali berfungsi sesuai peruntukannya. Pemanfaatan FABA sebagai bahan amelioran dapat menjadi opsi dalam melaksanakan reklamasi lahan bekas tambang (Oklima *et al.*, 2015).

Dalam lingkungan tambang, FABA merupakan bahan yang mudah ditemukan

sebab penggunaan PLTU *captive* masih menjadi pilihan industri *smelter* tambang sampai sekarang. PLTU batubara dianggap mampu memenuhi kebutuhan *base load/* beban listrik dasar *smelter* untuk beroperasi dengan layak secara ekonomi. Pemanfaatan FABA belum banyak dilakukan terutama sebagai bahan amelioran dalam reklamasi pertambangan sebab sebelumnya FABA dikategorikan sebagai limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) yang kemudian berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021 tidak lagi dikategorikan sebagai limbah B3.

FABA atau *Fly Ash-Bottom Ash* merupakan abu hasil pembakaran batubara yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan amelioran atau pembenah tanah pada reklamasi lahan bekas tambang bauksit sebab mampu membantu memperbaiki sifat kimia tanah dan meningkatkan kesuburan tanah. Faoziah *et al.* (2022) menjelaskan bahwa FABA memiliki sifat alkalin yang mampu menurunkan tingkat kemasaman tanah, serta mengandung unsur hara makro (K, Na, Ca, Mg) dan hara mikro (Fe, Cu, Zn, Mn) yang diperlukan dalam pertumbuhan tanaman. Pemberian FABA sebagai bahan pembenah tanah mampu meningkatkan kation-kation basa seperti K, Na, Ca, dan Mg (Iskandar *et al.*, 2008). Menurut Sriningsih *et al.* (2022) FABA yang dimanfaatkan sebagai amelioran pada lahan bekas tambang mampu meningkatkan pH, C-organik, N-total, KTK, P-tersedia, kejenuhan basa, Ca, Mg, K, Na,

Fe, Mn, Cu, dan Zn, serta mereduksi Al-dd. Penambahan bahan organik juga diperlukan untuk memperbaiki sifat fisik tanah yang rusak pada lahan bekas tambang bauksit. Pemberian kompos dapat meningkatkan stabilitas agregat, meningkatkan pori tanah, dan menurunkan berat isi tanah (Widodo dan Kusuma, 2018). Maka dari itu pemanfaatan kompos yang diperkaya dengan FABA atau yang juga dikenal dengan Kom-FABA dapat menjadi pilihan teknologi dalam reklamasi lahan bekas tambang bauksit. Kompos diperkaya FABA sebagai pembenah tanah dapat memperbaiki dan meningkatkan sifat kimia tanah dengan lebih efektif (Putri *et al.*, 2023).

Upaya pemanfaatan FABA sebagai bahan amelioran yang dikombinasikan dengan kompos dalam reklamasi lahan bekas tambang bauksit dapat menjadi solusi atas 2 masalah sekaligus yaitu optimalisasi reklamasi lahan bekas tambang dan pemanfaatan limbah PLTU *captive* milik *smelter*. Dengan demikian diharapkan dengan dibuatnya kebijakan terkait pemanfaatan limbah industri tambang dan/atau limbah lainnya dalam lingkungan industri tambang, kelak industri pertambangan di Indonesia mampu menerapkan konsep *zero waste* yang ramah lingkungan seiring dengan berjalannya program hilirisasi tambang.

DAFTAR PUSTAKA

Aprillia, R., Mukhtar, W., Setiawati, S., Asbanu, G. C. 2021. Karakteristik

- tanah bekas tambang bauksit dan tailing di Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat. *Jurnal Pendidikan Informatika Dan Sains*, 10(2), 208–217. <https://doi.org/10.31571/saintek.v10i2.3500>.
- Ardiyanti, S. T., Amaliah, S., Pratiwi, R. A., Gunadi, D. 2023. Potensi dampak kebijakan larangan ekspor mineral logam. *Trade Policy Journal*, 2(1), 53–64.
- [BPSI] Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk. 2023. *Petunjuk Teknis: Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. (3rd ed.). Bogor: Balai Penelitian Tanah.
- Dibattista, I., Camara, A. R., Molderez, I., Benassai, E. M., Palozza, F. 2023. Socio-environmental impact of mining activities in Guinea: The case of bauxite extraction in the region of Boké. *Journal of Cleaner Production*, 387, 135720. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135720>.
- Fachlevi, T.A., Putri, E.I.K., Simanjuntak, S.M. 2016. Dampak dan evaluasi kebijakan pertambangan batubara di Kecamatan Mereubo. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan Rumusan Kajian Strategis Bidang Pertanian dan Lingkungan*, 2(2), 170-179. <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jkebijakan/article/view/10989>.
- Faoziah, N., Iskandar, Djajakirana, G. 2022. Pengaruh penambahan kompos kotoran sapi dan FABA terhadap karakteristik kimia pada tanah berpasir dan pertumbuhan tanaman tomat: *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 24(1), 1-5. <https://doi.org/10.29244/jjtl.24.1.1-5>.
- Hakim, S. S., Santosa, P. B., Alimah, D. 2015. Perbandingan sifat fisis *seedball aroseedling* dari beberapa formula pembentuk serta ketebalan *seedball*. *Galam*, 1(2), 31–36.
- Hartoyo, A. P. P., Rahmadhani, K., Syahira, T. N., Kusuma, R. A., Astuti, N. J., Maulana, D., Muhammad, D. N. 2023. Aplikasi *seedballs* untuk pertumbuhan benih Nangka (*Artocarpus heterophyllus*), Bisbul (*Diospyros blancoi*), dan Merbau (*Intsia bijuga*). *Journal of Tropical Silviculture*, 14(2), 106-113. <https://doi.org/10.29244/j-siltrop.14.02.106-113>.
- Hendrik, Fauzi, A., Widiatmaka, Suryaningtyas, D. T., Firdiyono, F. 2022a. Determine alternatives environmental sustainability of bauxite downstream industry management through integration MICMAC - ANP method: A case study of Ketapang Industrial Area, Ketapang Regency, West Kalimantan Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1109(1), 012037. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1109/1/012037>.

- Hendrik, Fauzi, A., Widiatmaka, Suryaningtyas, D. T., Firdiyono, F. 2022b. Qualitative data envelopment assessment of different alumina refinery plants: The case of bauxite mining in West Kalimantan Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 950(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/950/1/012018>.
- Ika, S. 2017. Kebijakan hilirisasi mineral: Policy reform untuk meningkatkan penerimaan negara. *Kajian Ekonomi dan Keuangan*, 1(1), 41-67. <https://doi.org/10.31685/kek.v1i1.259>.
- Iskandar, I., Suryaningtyas, D. T., Baskoro, D. P. T., Budi, S. W., Gozali, I., Suryanto, A., Kirmi, H., Dultz, S. 2022. Revegetation as a driver of chemical and physical soil property changes in a post-mining landscape of East Kalimantan: A chronosequence study. *CATENA*, 215, 106355. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106355>.
- Iskandar, Suwardi. 2009. Meningkatkan keberhasilan reklamasi lahan bekas tambang. *Prosiding, Seminar Nasional Pengelolaan Lingkungan Pertambangan yang diselenggarakan oleh Lembaga Penelitian Universitas Srinwijaya tanggal 21-22 Oktober 2009*. Palembang: Universitas Srinwijaya.
- Iskandar, Suwardi, Ramadina, E. F. R. 2008. Pemanfaatan bahan amelioran abu terbang pada lingkungan tanah gambut: Pelepasan hara makro. *Jurnal Tanah Indonesia*, 1 (1), 1–6.
- Iskandar, Suwardi, Suryaningtyas, D. T. 2012. Reklamasi lahan-lahan bekas tambang: Beberapa permasalahan terkait sifat-sifat tanah dan solusinya. *Prosiding, Seminar Nasional Topik Khusus: Teknologi Pemupukan dan Pemulihan Lahan Terdegradasi yang diselenggarakan oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian tanggal 29-30 Juni 2012*. Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Kannan, R., Dhivya, V., Janani, T. S. K. 2021. Future perspective of seed ball technology for creating new ecosystem. *International Journal of Plant and Environment*, 7(4), 293-296. <https://doi.org/10.18811/ijpen.v7i04.9>.
- Kementerian ESDM. 2020. *Peluang Investasi Bauksit Indonesia*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- 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>.

- Maga, L., Ismail, A., Falatehan, A.F.F. 2018. Merumuskan kebijakan dalam mengatasi kerusakan lingkungan akibat aktivitas tambang nikel di Kecamatan Tinanggea Kabupaten Konawe Selatan. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan Rumusan Kajian Strategis Bidang Pertanian dan Lingkungan*, 4(2), 125-142. <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jkebijakan/article/view/22031>.
- Mosyaftiani, A., Kaswanto, R.L., Arifin, H.S. 2018. Potensi tumbuhan liar di sempadan terbangun Sungai Ciliwung di Kota Bogor sebagai Upaya Restorasi Ekosistem Sungai. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan Rumusan Kajian Strategis Bidang Pertanian dan Lingkungan*, 5(1), 1-13. <https://doi.org/10.29244/jkebijakan.v5i1.29781>.
- Oklima, A. M., Sudarsono, Iskandar, Suryaningtyas, D. T. 2015. Utilizing coal ash and humic substances as soil ameliorant on reclaimed post-mining land. *Journal of Tropical Soils*, 19(3), 161-169. <https://doi.org/10.5400/jts.2014.v19i3.161-169>.
- Prematuri, R., Turjaman, M., Sato, T., Tawaraya, K. 2020. Post bauxite mining land soil characteristics and its effects on the growth of *Falcataria moluccana* (Miq.) Barneby & J. W. Grimes and *Albizia saman* (Jacq.) Merr. *Applied and Environmental Soil Science*, 2020, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2020/6764380>.
- 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>.
- Sembiring, S. 2008. Sifat kimia dan fisik tanah pada areal bekas tambang bauksit di Pulau Bintan, Riau. *Info Hutan*, 5(2), 123–134.
- Setyowati, R. D. N., Amala, N. A., Aini, N. N. U. 2017. Studi pemilihan tanaman revegetasi untuk keberhasilan reklamasi lahan bekas tambang. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(1), 14-20. <https://doi.org/10.29080/alard.v3i1.256>.
- Siombo, M. R. 2023. Kajian hukum hilirisasi dan penghentian ekspor mineral logam. *JISIP (Jurnal Ilmu Sosial dan Pendidikan)*, 7(2), 1384-1391. <https://doi.org/10.58258/jisip.v7i2.4915>.
- Sittadewi, E. H. 2016. Mitigasi lahan terdegradasi akibat penambangan melalui revegetasi. *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*, 11(2), 50-60. <https://doi.org/10.29122/jstmb.v11i2.3690>.

- Sriningsih, W., Iskandar, Suryaningtyas, D. T. 2022. Utilizing fine coal waste as a topsoil substitute on mine reclamation. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 9(4), 3595–3603. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2022.094.3595>.
- Sunardi, Kaswanto, R.L., Sjaf, S. 2020. Relationship between plant biodiversity and carbon stock in rural area of Cisadane Watershed. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(3), 610-616.
- Suwardi, Randrikasari, O. 2023. Teknologi reklamasi lahan bekas tambang nikel untuk mempercepat keberhasilan reklamasi. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan Rumusan Kajian Strategis Bidang Pertanian dan Lingkungan*, 10(3), 145-164. <https://doi.org/10.29244/jkebijakan.v10i3.50866>.
- [USGS] U.S. Geological Survey. 2023. *Mineral Commodity Summaries | Bauxite and Alumina Statistics and Information*. United States of America: U.S. Geological Survey.
- Wardianingsih, R., Riyono, T. 2023. *Pelarangan Ekspor Bauxit Tahun 2023: Mampukah Pemerintah Hilirisasi Bauxit?. (4th ed.)*. Jakarta: Pusat Kajian Anggaran - Badan Keahlian Setjen DPR RI.
- Wasis, B., Arifin, Winata, B. 2018. Impact of bauxite mine to natural forest biomass and soil properties in Kas Island, Riau Island Province in Indonesia. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 3(3), 264–269. <https://doi.org/10.26832/24566632.2018.030309>.
- Widodo, K. H., Kusuma, Z. 2018. Pengaruh kompos terhadap sifat fisik tanah dan pertumbuhan tanaman jagung di Inceptisol. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 5(2), 959-967.