

Degradasi lingkungan dan dampaknya terhadap kegiatan usaha tani di sekitar lokasi pertambangan nikel di Kabupaten Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara

Environmental degradation and its impact on agricultural activities around nickel mining sites in South Konawe Regency, Southeast Sulawesi

La Maga^{1*}, Salahuddin², Nurhayu Malik³, Dominggus Marei⁴

¹Jurusan Ilmu Ekonomi, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Cenderawasih, Jayapura, Papua, Indonesia

²Jurusan Penyuluhan Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Halu Oleo, Kendari, Sulawesi Tenggara, Indonesia

³Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Halu Oleo, Kendari, Sulawesi Tenggara, Indonesia

⁴Jurusan Ilmu Ekonomi, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Cenderawasih, Jayapura, Papua, Indonesia

*Penulis korespondensi. E-mail: agamlamaga@gmail.com

Diterima: 21 Juni 2024; Disetujui terbit: 11 Agustus 2025

Abstract

Nickel mining activities in Tinanggea Subdistrict, South Konawe Regency, Southeast Sulawesi Province, managed by PT X, have caused negative impacts. This condition occurs due to land conversion and mining waste that pollute the irrigation water sources of rice fields. The purpose of this study is to analyze the impact of environmental degradation on rice farming activities around the nickel mining site. Data collection and analysis were conducted from March to August 2017 using quantitative descriptive analysis methods. Primary data was obtained through interviews with rice field farmers in locations affected by PT X's nickel mining activities in four villages and unaffected locations in two villages, as a comparison. Based on the study's results, environmental degradation from nickel mining affects productivity and increases production costs in rice farming. The total loss due to nickel mining is estimated at IDR 498 million per year. To overcome this problem, PT X is recommended to routinely monitor environmental quality outside the nickel mining area, particularly in rice fields, as part of its nickel mining activities. It is recommended that the local government increase supervision and monitoring of mining activities to prevent or minimize adverse impacts on the environment and farming activities.

Keywords: economic valuation, environmental degradation, nickel mining, Southeast Sulawesi

Abstrak

Aktivitas penambangan nikel yang dikelola oleh PT X di Kecamatan Tinanggea, Kabupaten Konawe Selatan, Provinsi Sulawesi Tenggara, telah menimbulkan dampak negatif. Hal tersebut terjadi akibat konversi lahan dan limbah tambang yang mencemari sumber air irigasi lahan persawahan. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis dampak degradasi lingkungan terhadap kegiatan usaha tani padi sawah di sekitar lokasi pertambangan nikel. Pengumpulan data dan analisis dilakukan bulan Maret–Agustus 2017 menggunakan metode analisis deskriptif kuantitatif. Data primer diperoleh melalui wawancara dengan petani padi sawah pada lokasi terdampak aktivitas pertambangan nikel PT X di empat desa dan pada lokasi tidak terdampak di dua desa sebagai perbandingan. Berdasarkan hasil penelitian, degradasi lingkungan akibat penambangan nikel berdampak pada menurunnya produktivitas dan peningkatan biaya produksi dalam usaha tani padi sawah. Total nilai kerugian akibat pertambangan nikel diestimasi sebesar Rp498 juta per tahun. Untuk mengatasi masalah tersebut disarankan kepada pihak PT X, dalam aktivitas tambang nikel sebaiknya secara rutin melakukan pemantauan kualitas lingkungan di luar areal lokasi penambangan nikel, utamanya pada lahan persawahan. Untuk pihak pemerintah daerah setempat, disarankan meningkatkan pengawasan dan monitoring atas aktivitas pertambangan agar dampak negatif terhadap lingkungan dan usaha pertanian dapat dicegah atau diminimalkan.

Kata kunci: degradasi lingkungan, pertambangan nikel, Sulawesi Tenggara, valuasi ekonomi

1. Pendahuluan

Provinsi Sulawesi Tenggara merupakan salah satu daerah di Indonesia yang memiliki potensi tambang nikel. Berdasarkan data Kementerian ESDM (2015), dari total 528 izin usaha pertambangan (IUP) yang diterbitkan, sebanyak 350 atau 66% di antaranya adalah IUP tambang nikel, dengan luas sebaran endapan nikel diperkirakan mencapai 480.032,13 hektare. Berdasarkan batuan pembawanya (batuan ultrabasa), endapan nikel di Sulawesi Tenggara memiliki sebaran yang meliputi beberapa kabupaten/kota.

Salah satu daerah penghasil nikel di Provinsi Sulawesi Tenggara adalah Kabupaten Konawe Selatan. Hingga tahun 2017, terdapat 25 IUP (operasi produksi) di Kabupaten Konawe Selatan, di mana 17 di antaranya adalah IUP pertambangan nikel. Potensi nikel tersebar beberapa kecamatan, termasuk Kecamatan Tinanggea. Di kecamatan ini, potensi nikel dikelola oleh dua perusahaan, salah satunya adalah PT X. Berdasarkan IUP yang dimilikinya, PT X mengelola lahan tambang nikel seluas 800 hektare. Dalam pengolahan dan pemurnian bijih nikel, PT X bekerja sama dengan PT Bintang Smelter Indonesia, di mana PT X sebagai pemasok *ore* dari hasil penambangan *raw material*.

Tingginya permintaan nikel memberikan dampak positif terhadap pertumbuhan ekonomi nasional maupun daerah. Namun demikian, aktivitas pertambangan nikel juga menimbulkan berbagai dampak negatif, terutama kerusakan dan pencemaran lingkungan. Berdasarkan keterdapatannya mineralnya, karakteristik lokasi pertambangan di Indonesia umumnya tergolong ke dalam kategori *shallow deposit* (KLH 2011), sehingga metode penambangan yang digunakan umumnya adalah tambang terbuka. Metode tersebut menimbulkan banyak gangguan di permukaan, seperti kerusakan terhadap hutan, gangguan terhadap tata air, dan dampak sosial terhadap penduduk sekitar lokasi pertambangan. Penelitian Peribadi et al. (2020) menunjukkan bahwa industri pertambangan nikel di Kecamatan Palangga dan Palangga Selatan, Kabupaten Konawe Selatan, telah menimbulkan dampak negatif terhadap kondisi sosial ekonomi masyarakat. Dampak tersebut mencakup matinya tanaman pertanian akibat kekurangan air dan hilangnya sumber pendapatan masyarakat.

Secara umum, aktivitas pertambangan nikel termasuk kegiatan pertambangan yang bersifat terbuka, dilakukan di permukaan tanah. Berdasarkan Pasal 1 Permen LH No. 9 Tahun 2006 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Bijih Nikel, penambangan bijih nikel adalah pengambilan bijih nikel yang meliputi kegiatan penggalian, pengangkutan, dan penimbunan, baik pada tambang terbuka maupun tambang bawah tanah. Sebagaimana kegiatan pertambangan lainnya, aktivitas tambang nikel yang ada di Kecamatan Tinanggea, Kabupaten Konawe Selatan, yang dikelola oleh PT X telah menimbulkan dampak positif maupun dampak negatif. Dampak positif terutama terlihat pada aspek sosial ekonomi berupa penyerapan tenaga kerja dan sebagai sumber penerimaan daerah (Syarifuddin 2022). Sebagai perbandingan, industri pertambangan nikel di Kabupaten Morowali memberikan kontribusi terbesar terhadap pertumbuhan ekonomi (Nuraeni 2018) dan pabrik pengolahan dan pemurnian nikel di Provinsi Sulawesi Tenggara mampu menyerap tenaga kerja sebanyak 8.104 jiwa pada tahun 2015 (Ambarwati et al. 2020).

Namun, kegiatan penambangan nikel yang dilakukan oleh PT X juga menimbulkan dampak negatif berupa gangguan terhadap keanekaragaman hayati (biodiversitas), penurunan kesuburan tanah, sedimentasi di Bendungan Lapoa, pencemaran air, rumah penduduk berdebu, sejumlah lahan persawahan yang tidak dapat diolah akibat endapan lumpur, hingga penyakit batuk akibat debu nikel. Syarifuddin (2022) menyatakan bahwa tambang nikel, seperti aktivitas ekstraktif lainnya, telah menurunkan daya dukung lingkungan. Pada kasus lain, uji kualitas tanah bekas penambangan nikel oleh Jafar et al. (2022) mendapatkan nilai pH tanah antara 6,2 hingga 6,8, yang menunjukkan pH agak asam. Tanah dengan pH asam biasanya sangat sulit untuk ditumbuhi tanaman karena mengandung unsur mikro yang dapat meracuni tanaman sehingga membuat tanaman tidak subur.

Kerusakan lingkungan akibat kegiatan penambangan nikel di Kecamatan Tinanggea juga sangat berdampak terhadap kondisi sosial ekonomi masyarakat setempat. Hal tersebut terjadi akibat limbah tambang yang mencemari sumber air untuk irigasi lahan persawahan. Tailing, yaitu lumpur yang tersisa saat mineral tambang diekstrak dari bijih tambang, mengandung batu, bahan kimia, dan elemen yang secara natural menjadi beracun saat terekspos air atau udara (Syarifuddin 2022). Berdasarkan Permen LH No. 9 Tahun 2006, air limbah usaha dan/atau kegiatan pertambangan bijih nikel adalah air yang berasal dari kegiatan penambangan bijih nikel dan/atau sisa dari kegiatan pengolahan bijih nikel yang berwujud cair. Menurut Darmono dan Sriwibawa (2008), sumber emisi logam arsen (As), kadmium (Cd), timbal (Pb), dan merkuri (Hg) dapat terjadi pada pemrosesan primer, yaitu pemrosesan pada areal pertambangan. Aktivitas penambangan nikel yang dilakukan oleh PT X mengakibatkan air menjadi

keruh karena telah bercampur dengan material tanah dari lokasi tambang nikel. Oleh karena itu, PT X seharusnya melakukan tindakan untuk mengatasi kerusakan lingkungan akibat pencemaran, sebagaimana diatur dalam UU No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Pasal 53 ayat (1): "*Setiap orang yang melakukan pencemaran dan/atau perusakan lingkungan hidup wajib melakukan penanggulangan pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup.*"

Selain itu, operasi penambangan menyebabkan rusaknya vegetasi yang merupakan habitat alami hewan dan tumbuh-tumbuhan, serta memicu erosi tanah akibat konversi lahan menjadi kegiatan penambangan. Endapan lumpur akibat erosi juga menyebabkan sedimentasi di Bendungan Lapoa, sehingga mengganggu fungsi bendungan sebagai penampung air irigasi. Lahan sawah dan kebun sagu pun tidak dapat diolah akibat endapans lumpur. Menurut Prandono (2022) dan Wiranto et al. (2024), proses sedimentasi yang terjadi pada bendungan memiliki dampak signifikan terhadap keberlanjutan operasional bendungan tersebut. Demikian pula halnya di Kecamatan Tinanggea, sedimentasi menyebabkan terganggunya fungsi Bendungan Lapoa untuk menampung air irigasi, berkurangnya kesuburan tanah, dan beberapa hektare lahan sawah tidak dapat diolah akibat endapan lumpur.

Peningkatan pertumbuhan ekonomi merupakan hal penting dalam proses pembangunan, namun kelestarian lingkungan juga patut untuk dijaga. Kerusakan lingkungan yang terjadi di Kecamatan Tinanggea, Kabupaten Konawe Selatan, akibat aktivitas tambang nikel menjadi permasalahan yang sangat penting untuk dianalisis secara ilmiah terkait pemanfaatan sumber daya alam dan lingkungan (SDAL). Berdasarkan Permen LH No. 7 Tahun 2014 tentang Kerugian Lingkungan Hidup Akibat Pencemaran dan/atau Kerusakan Lingkungan Hidup, kerusakan lingkungan hidup adalah perubahan langsung dan/atau tidak langsung terhadap sifat fisik, kimia, dan/atau hayati lingkungan hidup yang melampaui kriteria baku kerusakan lingkungan hidup. Kerusakan lingkungan di sekitar lokasi tambang nikel telah menimbulkan dampak negatif bagi masyarakat maupun lingkungan itu sendiri.

Hingga saat ini, kajian ilmiah yang dilakukan di Kecamatan Tinanggea maupun wilayah Kabupaten Konawe Selatan umumnya belum menggunakan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis dampak negatif pertambangan nikel, khususnya terhadap kegiatan usaha tani. Padahal, aspek ini penting untuk dianalisis secara ilmiah, mengingat aktivitas pertambangan berpotensi mengganggu keberlanjutan pemanfaatan sumber daya alam dan lingkungan (SDAL). Beberapa penelitian sebelumnya, baik di Kecamatan Tinanggea atau lingkup Kabupaten Konawe Selatan (Nuraeni 2018; Suriyani-BB 2019; Ambarwati et al. 2020; Peribadi et al. 2020; Nurhayat et al. 2023), belum melakukan kajian dampak negatif pertambangan nikel dengan menggunakan pendekatan kuantitatif, khususnya dampak negatif terhadap kegiatan usaha tani.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi nilai kerugian yang dialami oleh petani akibat degradasi lingkungan yang disebabkan oleh aktivitas pertambangan nikel. Pendekatan valuasi ekonomi yang digunakan dalam penelitian ini sebagai pendekatan kuantitatif yang masih jarang diterapkan dalam penelitian sebelumnya untuk melakukan estimasi nilai kerugian yang dialami oleh petani akibat degradasi lingkungan dalam aktivitas pertambangan nikel. Kajian ilmiah terkait nilai degradasi lingkungan ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pemerintah maupun pihak perusahaan tambang nikel dalam upaya pengelolaan SDAL yang berkelanjutan.

2. Metodologi

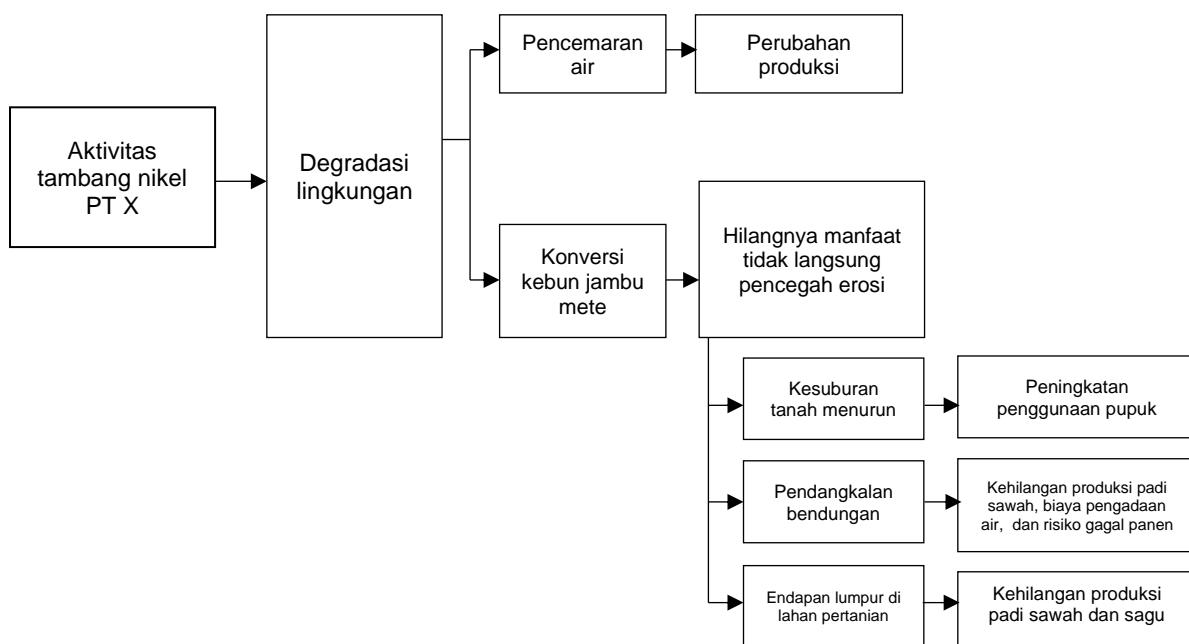
2.1. Kerangka Pemikiran

Sulawesi Tenggara merupakan salah satu provinsi yang memiliki sumber daya nikel cukup besar, yang tersebar di beberapa kabupaten, salah satunya adalah Kabupaten Konawe Selatan. Di Kabupaten ini, sebaran potensi nikel mencakup beberapa kecamatan, termasuk Kecamatan Tinanggea. Potensi nikel di Kecamatan Tinanggea dikelola oleh dua perusahaan, salah satunya adalah PT X. Luas lahan berdasarkan IUP milik PT X meliputi 800 hektare. Pemanfaatan sumber daya alam tambang nikel diharapkan dapat meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Namun, di sisi lain, pemanfaatan tersebut juga berpotensi menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan dan masyarakat sekitar. Aktivitas pertambangan nikel yang dilakukan oleh PT X di Kecamatan Tinanggea merupakan salah satu kasus yang menimbulkan berbagai dampak negatif terhadap lingkungan dan masyarakat.

Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak-pihak terkait dan masyarakat, diketahui bahwa vegetasi utama di lokasi tambang nikel PT X sebelumnya merupakan kebun jambu mete. Kegiatan

penambangan yang dilakukan mengakibatkan konversi lahan sehingga kebun jambu mete tersebut berubah fungsi menjadi area tambang. Konversi ini telah menimbulkan sejumlah dampak negatif, antara lain terjadinya pencemaran air irigasi akibat material lumpur yang berasal dari lokasi penambangan nikel, menurunnya debit air akibat sedimentasi di Bendungan Lapoa, dan menurunnya kesuburan tanah akibat endapan lumpur di lahan persawahan. Akibatnya, produksi padi sawah menurun, bahkan beberapa lahan persawahan tidak dapat lagi diolah akibat endapan lumpur. Selain itu, material lumpur dari lokasi tambang juga mengendap di kebun sagu milik masyarakat, menyebabkan tanaman sagu tidak dapat diolah dan menimbulkan kerugian bagi pemiliknya.

Berbagai dampak negatif dari aktivitas pertambangan nikel tersebut secara langsung dirasakan oleh petani, khususnya petani padi sawah (Gambar 1). Dampak negatif tersebut di antaranya adalah terjadi peningkatan penggunaan pupuk akibat menurunnya tingkat kesuburan tanah, menurunnya tingkat produksi padi sawah, petani harus membuat sumur bor untuk mencukupi kebutuhan air irigasi lahan sawah, hilangnya produksi padi sawah dan tepung sagu akibat tertimbun lumpur, serta potensi gagal panen akibat debit air irigasi yang mengalami penurunan. Berbagai dampak tersebut berpengaruh langsung terhadap tingkat pendapatan petani. Penurunan hasil produksi dan meningkatnya biaya usaha tani, khususnya untuk pembelian pupuk, berkontribusi terhadap penurunan pendapatan petani padi sawah. Menurunnya tingkat pendapatan padi sawah akan memberikan dampak jangka panjang. Ketika biaya produksi dalam kegiatan usaha tani padi sawah mengalami peningkatan, maka hal ini akan mengurangi minat petani untuk mengembangkan usaha tani padi sawah. Ketika petani tidak tertarik untuk mengembangkan usaha tani padi sawah, maka hal ini akan menimbulkan dampak lanjutan, yaitu akan terjadi penurunan cadangan bahan pangan beras.



Gambar 1. Kerangka analisis dalam penelitian

2.2. Lingkup bahasan

Penelitian ini difokuskan pada upaya valuasi ekonomi terhadap dampak degradasi lingkungan akibat aktivitas pertambangan nikel terhadap kegiatan usaha tani di sekitar lokasi tambang nikel. Metode valuasi ekonomi yang digunakan mencakup beberapa pendekatan, di antaranya biaya pupuk dalam usaha tani padi sawah, penurunan produktivitas padi sawah, biaya pengadaan air irigasi padi sawah, dan nilai kehilangan produksi padi sawah dan tepung sagu. Jenis usaha tani yang dikembangkan oleh masyarakat setempat adalah usaha tani padi sawah. Selain usaha tani padi sawah, penelitian ini juga membahas komoditas lain yang mengalami dampak akibat kerusakan lingkungan, yaitu tanaman sagu. Ruang lingkup bahasan dalam penelitian ini meliputi peningkatan biaya pupuk akibat menurunnya kesuburan tanah, kehilangan produksi akibat kurangnya musim tanam, biaya pengadaan air untuk irigasi lahan persawahan, risiko gagal panen padi sawah, kehilangan produksi padi sawah akibat

endapan lumpur, kehilangan produksi tepung sagu akibat endapan lumpur, dan penurunan produksi padi sawah akibat degradasi kualitas air.

2.3. Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret hingga Agustus 2017 di dua kecamatan di Kabupaten Konawe Selatan, Provinsi Sulawesi Tenggara, yaitu Kecamatan Tinanggea sebagai lokasi terdampak dan Kecamatan Lalembuu sebagai lokasi tidak terdampak.

Pemilihan Kecamatan Tinanggea dilakukan secara sengaja (*purposive sampling*) dengan pertimbangan bahwa wilayah ini merupakan lokasi kegiatan penambangan nikel PT X yang masih aktif berproduksi. Sebagian besar masyarakat di desa-desa tersebut bekerja sebagai petani padi sawah dan mengalami dampak kerusakan lingkungan akibat aktivitas pertambangan nikel. Lokasi penelitian di Kecamatan Tinanggea meliputi Desa Lapoa, Bomba-bomba, Asingi, dan Roraya. Lahan persawahan di Desa Lapoa dan Bomba-bomba menggunakan Bendungan Lapoa sebagai sumber irigasi, sedangkan di Desa Asingi dan Roraya tidak memanfaatkan bendungan tersebut sebagai sumber air.

Kecamatan Lalembuu digunakan sebagai pembanding untuk mengetahui perbedaan tingkat penggunaan pupuk dan produktivitas padi sawah, mencakup Desa Lambandia dan Sumber Jaya. Kecamatan Lalembuu merupakan lokasi yang tidak menerima dampak negatif berupa degradasi lingkungan akibat aktivitas tambang nikel yang dikelola oleh PT X. Jarak antara Kecamatan Tinanggea dengan Kecamatan Lalembuu ± 20 km dan di sekitar areal persawahan tidak ada aktivitas yang dapat menimbulkan pencemaran atau kerusakan lingkungan, utamanya aktivitas penambangan nikel seperti yang terjadi di Kecamatan Tinanggea. Selain itu, lahan persawahan yang dimiliki responden di Kecamatan Tinanggea dan Kecamatan Lalembuu berada dalam satu hamparan, sehingga kondisi agroekosistemnya relatif sebanding.

2.4. Jenis dan cara pengumpulan data

Penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui wawancara langsung menggunakan kuesioner maupun wawancara mendalam. Responden utama penelitian adalah petani padi sawah yang dipilih dengan metode *purposive sampling*, masing-masing sebanyak 45 orang di lokasi terdampak, yaitu Desa Lapoa dan Bomba-bomba, Kecamatan Tinanggea, serta di lokasi tidak terdampak, yaitu Desa Lambandia dan Sumber Jaya, Kecamatan Lalembuu. Selain itu, data primer dari lokasi terdampak lainnya, yaitu Desa Asingi dan Roraya, Kecamatan Tinanggea, dikumpulkan melalui wawancara mendalam dengan tiga ketua kelompok tani sebagai informan kunci.

Responden penelitian juga mencakup perwakilan dari lembaga terkait, antara lain beberapa dinas teknis, Kelompok Pengelola Hutan Produksi (KPHP) Gularaya, Kepala Bappeda, dan anggota DPRD. Data dari responden lembaga ini digunakan untuk analisis alternatif kebijakan dalam konteks pembangunan berkelanjutan. Setelah pengumpulan data primer dari petani dan lembaga terkait, dilakukan pendalaman informasi mengenai dampak kerusakan lingkungan. Informasi tambahan ini diperoleh dari pengelola Bendungan Lapoa serta Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Konawe Selatan, dengan tujuan mendukung dan memperkuat temuan penelitian.

Data sekunder diperoleh dari berbagai sumber resmi, seperti Badan Pusat Statistik (BPS) dan Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Provinsi Sulawesi Tenggara, yang meliputi data produksi nikel per tahun, rencana dan realisasi biaya pengelolaan lingkungan, pembayaran pajak, serta program tanggung jawab sosial perusahaan (CSR). Sumber lainnya mencakup Rencana Kerja dan Anggaran Biaya (RKAB) PT X, Kantor Kecamatan Tinanggea, serta hasil penelitian terdahulu dan publikasi ilmiah.

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini meliputi wawancara, baik terstruktur maupun mendalam, pencatatan data dari dokumen resmi dan laporan instansi terkait, serta observasi langsung di lokasi penelitian untuk memperoleh gambaran faktual kondisi lapangan.

2.5. Analisis data

Analisis dampak degradasi lingkungan akibat aktivitas tambang nikel yang dilakukan oleh PT X di Kecamatan Tinanggea dilakukan dengan menggunakan beberapa metode atau pendekatan. Adapun metode atau pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini diuraikan sebagai berikut.

a. Penurunan kesuburan tanah akibat endapan lumpur di lahan persawahan

Hulu sungai sebagai sumber air di Bendungan Lapoa berada di sekitar lokasi penambangan nikel. Kegiatan pertambangan nikel diawali dengan pembukaan lahan dan menyebabkan terjadinya erosi tanah. Material tanah yang terbawa akibat erosi disebut sebagai sedimen dan akan mengendap di sungai, waduk maupun lahan pertanian (Munzir et al. 2019). Akibatnya, sumber air irigasi telah bercampur dengan material lumpur yang berasal dari lokasi penambangan nikel. Material lumpur tersebut memiliki tingkat kesuburan yang rendah sehingga material tanah yang bercampur dengan air irigasi lahan persawahan menurun tingkat kesuburannya.

Sutrisno (2012) mengestimasi nilai kehilangan unsur hara akibat erosi tanah dengan pendekatan biaya pengganti, yaitu melalui perhitungan biaya pembelian pupuk. Mengacu pada pendekatan tersebut, dalam penelitian ini penurunan kesuburan tanah dianalisis menggunakan pendekatan berbasis biaya (*cost-based approach*), dengan mengestimasi peningkatan biaya penggunaan pupuk yang dilakukan petani untuk mempertahankan produktivitas lahan. Estimasi nilai kerugian dilakukan dengan membandingkan jumlah penggunaan pupuk pada lahan terdampak aktivitas pertambangan di Kecamatan Tinanggea dengan lahan tidak terdampak yang berada di Kecamatan Lalembuu. Pendekatan ini digunakan untuk menghindari kekeliruan estimasi nilai kerugian akibat degradasi kesuburan tanah secara lebih akurat dan kontekstual.

b. Sedimentasi atau pendangkalan di Bendungan Lapoa

Erosi tanah menimbulkan sedimentasi atau pendangkalan di Bendungan Lapoa, mengakibatkan menurunnya debit air di bendungan dan berkurangnya musim tanam padi sawah. Adanya sedimentasi pada bendung dapat mengurangi daya tampung atau volume tampung air pada bendungan (Rosita dan Kurniati 2022). Dampak berkurangnya musim tanam diestimasi setara produksi per musim tanam setelah terjadi pendangkalan Bendungan Lapoa. Dalam analisis ini, metode valuasi ekonomi dilakukan dengan menggunakan pendekatan kehilangan pendapatan dalam usaha tani padi sawah (*opportunity loss approach*). Nilai kehilangan pendapatan diasumsikan petani menjual hasil panen dalam bentuk gabah kering panen (GKP), yaitu Rp3.000/kg, namun harga tersebut belum dikurangi biaya produksi.

Nilai kerugian diestimasi berdasarkan keuntungan yang diperoleh atas GKP (Rp/kg) dengan persamaan sebagaimana digunakan oleh Dlamini (2012) dalam mengestimasi nilai hasil hutan bukan kayu (NTFPs) yang diperoleh dari $Q (P-C)$. Notasi Q adalah hasil hutan bukan kayu, P adalah *forest/farm gate price*, dan C adalah biaya ekstraksi. Menurut Tarigan (2005), *gate price* adalah harga produk di tempat produsen dan bukan harga pasar tempat barang dijual. Biaya produksi dalam penelitian ini menggunakan biaya rata-rata, yaitu total biaya dibagi total produksi GKP (Rp/kg), yang diestimasi dari rata-rata biaya produksi dalam usaha tani padi sawah di Kecamatan Tinanggea sebesar Rp2.074/kg. Dengan demikian, keuntungan yang diperoleh petani dalam usaha tani padi sawah adalah sebesar Rp926/kg. Metode dalam penelitian ini berbeda dengan penelitian Dian-WP et al. (2012), yaitu dampak sedimentasi di Bendungan Panglima Besar Soedirman terhadap perubahan produksi dengan cara membandingkan tingkat produksi perikanan dan pertanian sebelum dan setelah terjadinya sedimentasi. Estimasi nilai kerugian akibat sedimentasi di Bendungan Lapoa dilakukan dengan menggunakan nilai kehilangan produksi padi sawah dalam satu musim tanam.

Sebelum terjadinya pendangkalan di Bendungan Lapoa, petani di Desa Lapoa dan Bomba-bomba menanam padi sawah dalam tiga musim tanam per tahun. Karena debit air di Bendungan Lapoa berkurang akibat sedimentasi, jumlah musim tanam padi sawah berkurang menjadi hanya dua musim tanam per tahun. Dengan demikian, berkurangnya musim tanam padi sawah dianggap sebagai nilai kerugian yang dialami oleh petani di Desa Lapoa dan Bomba-bomba. Nilai kerugian diestimasi setara dengan jumlah produksi padi sawah dalam satu musim tanam setelah terjadi pendangkalan di Bendungan Lapoa.

c. Biaya pengadaan air irigasi akibat sedimentasi di Bendungan Lapoa

Selain mengurangi musim tanam, berkurangnya debit air telah menimbulkan tambahan biaya bagi petani padi sawah berupa biaya pengadaan sumur bor, mesin alkon, dan sewa mesin alkon. Sofiana et al. (2016) dan Sandro et al. (2017) melakukan estimasi nilai ekonomi waduk dengan pendekatan manfaat langsung dan manfaat tidak langsung. Estimasi nilai kerugian akibat berkurangnya debit air di Bendungan Lapoa menggunakan pendekatan biaya penyusutan sumur bor dan mesin alkon serta biaya sewa mesin alkon. Biaya penyusutan diestimasi masing-masing komponen sumur bor dan mesin alkon yang terdiri dari mesin, pipa, dan selang.

d. Risiko gagal panen akibat berkurangnya debit air di Bendungan Lapoa

Selain menimbulkan penurunan kesuburan tanah, material lumpur yang berasal dari lokasi penambangan nikel berdampak pada menurunnya debit air di Bendungan Lapoa akibat sedimentasi. Berkurangnya debit air di Bendungan Lapoa mengakibatkan beberapa petani padi sawah di Desa Lapoa dan Bomba-bomba mengalami gagal panen, sehingga petani mengalami kerugian berupa kehilangan pendapatan. Valuasi ekonomi nilai kehilangan pendapatan diestimasi berdasarkan selisih antara jumlah produksi jika tidak mengalami gagal panen dengan jumlah produksi pada saat mengalami gagal panen. Selisih produksi tersebut dianggap sebagai jumlah kehilangan produksi akibat gagal panen (*production loss approach*).

e. Kehilangan produksi padi sawah dan tepung sagu akibat endapan lumpur

Endapan lumpur di lahan persawahan tidak hanya mengurangi kesuburan tanah, namun berdampak pada beberapa hektare lahan sawah tidak dapat diolah dan tanaman sagu menjadi layu. Lahan sawah yang tertimbun lumpur tepatnya berada di Desa Asingi dan Roraya, sedangkan tanaman sagu yang tertimbun lumpur berada di Desa Asingi. Pemilik lahan sawah dan tanaman sagu mengalami kerugian akibat kehilangan produksi padi dan tepung sagu. Valuasi ekonomi nilai kehilangan produksi tepung sagu dilakukan dengan metode *production loss approach*. Nilai kehilangan produksi sagu diestimasi dengan cara jumlah pokok tanaman sagu x produksi tepung sagu per pokok (kg) x harga jual sagu (Rp/kg).

Nilai kehilangan produksi padi sawah diestimasi berdasarkan jumlah produksi padi sawah dalam satu tahun atau dua musim tanam (kg/tahun). Harga GKP diestimasi dengan menggunakan persamaan yang digunakan oleh Dlamini (2012). Diasumsikan petani menjual hasil panen dalam bentuk GKP dengan harga Rp3.000/kg. Dengan rata-rata biaya produksi dalam usaha tani padi sawah di Kecamatan Tinanggea sebesar Rp2.074/kg, maka keuntungan yang diperoleh petani dalam usaha tani padi sawah diestimasi sebesar Rp926kg.

f. Dampak degradasi kualitas air terhadap perubahan produksi padi sawah

Kegiatan pertambangan telah menimbulkan pencemaran air irigasi yang diakibatkan oleh material tanah serta unsur lain yang berasal dari lokasi tambang nikel PT X. Darmono dan Sriwibawa (2008) mengungkapkan bahwa banyak logam berat yang bersifat toksik maupun esensial terlarut dalam air dan mencemari air tawar maupun air laut yang berasal dari pertambangan, peleburan logam, dan jenis industri lainnya. Selain menyebabkan penurunan kesuburan tanah dan peningkatan penggunaan pupuk, dampak lain akibat degradasi kualitas air adalah menurunnya tingkat produksi padi sawah sebagai akibat menurunnya kesuburan tanah akibat endapan lumpur di lahan persawahan. Estimasi nilai degradasi kualitas air terhadap perubahan produksi padi sawah diestimasi dengan membandingkan tingkat produksi pada lokasi tidak terdampak. Penurunan produksi padi diestimasi dengan rumus berikut (Sumarwoto 1989; Kristanto 2013).

Keterangan:

- Δ = perubahan produksi (kg/tahun)
 P_{gkp} = produktivitas gabah kering panen (kg/ha)
 PL_{td} = produksi pada lokasi terdampak (kg/tahun)
 PL_{tt} = produksi pada lokasi tidak terdampak (kg/tahun)
 L_s = luas lahan sawah (ha)
 \sum = jumlah

3. Hasil dan pembahasan

Pengelolaan tambang nikel di Kecamatan Tinanggea telah memberikan dampak positif bagi pemerintah Kabupaten Konawe Selatan maupun masyarakat. Beberapa manfaat tersebut antara lain penyerapan tenaga kerja, program pengembangan masyarakat, dan kontribusi terhadap pendapatan daerah dan negara. Pada tahun 2015 dan 2016, aktivitas pertambangan telah menyerap tenaga kerja masing-masing sebesar 56 orang dan 88 orang, yang sebagian besar berasal dari masyarakat lokal. PT X

melaksanakan program tanggung jawab sosial (CSR) berupa pengembangan infrastruktur di area sekitar tambang, antara lain berupa pembuatan jalan usaha tani, penggalian empang masyarakat, dan pembangunan sarana ibadah. Selain itu, di sektor pendidikan, PT X juga memberikan bantuan pendidikan melalui kerja sama dengan perguruan tinggi, yaitu Universitas Halu Oleo (UHO). Tambang nikel memberikan kontribusi terhadap penerimaan pajak daerah, seperti pajak bumi dan bangunan (PBB) serta PPh Pasal 21 dan PPh Pasal 25 dengan total penerimaan sebesar Rp2.223.723.864 pada tahun 2015 dan 2016. Penerimaan negara bukan pajak (PNBP) berupa royalti dan iuran tetap (*landrent*) juga signifikan. Total penerimaan berupa royalti pada tahun 2015 dan 2016 masing-masing sebesar sebesar Rp2.275.879.232 dan Rp4.097.406.377, sedangkan penerimaan berupa iuran tetap/*landrent* pada kedua tahun tersebut masing-masing sebesar Rp26.624.000.

Namun demikian, aktivitas pertambangan nikel juga menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan, terutama terkait dengan degradasi lahan dan penurunan kualitas ekosistem di wilayah sekitarnya. Keberadaan vegetasi sebagai penutup lahan memiliki peran penting dalam menjaga kualitas lingkungan. Kerusakan atau hilangnya vegetasi akibat pembukaan lahan untuk pertambangan menyebabkan terganggunya ekosistem alami karena vegetasi penutup lahan memiliki fungsi ekologi sebagai pencegah terjadinya erosi tanah, utamanya ketika hujan tiba. Perubahan tutupan lahan berpengaruh besar terhadap erosi di hulu sungai Ranoyapo (Siahaan et al. 2020). Lebih lanjut, hasil penelitian Yusuf et al. (2020) menunjukkan bahwa daerah yang didominasi tutupan hutan diikuti oleh jenis tutupan lahan kebun campuran memiliki tingkat erosi sangat rendah.

Konversi lahan pertanian dan kawasan berhutan menjadi lokasi penambangan nikel oleh PT X telah menimbulkan dampak lingkungan dan menimbulkan kerugian bagi petani padi sawah. Meskipun pihak Pemerintah Provinsi Sulawesi Tenggara, yakni Dinas Energi dan Sumberdaya Mineral (ESDM) dan Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Konawe Selatan, telah melakukan pengawasan terhadap semua aktivitas pertambangan nikel di Kabupaten Konawe Selatan, tidak terkecuali di PT X, dampak negatif dari erosi tanah dan sedimentasi tanah tetap terjadi. Dampak lingkungan tersebut, khususnya yang terkait dengan erosi tanah dan penurunan kesuburan lahan, diuraikan secara lebih rinci pada bagian berikut.

3.1. Penurunan kesuburan tanah akibat endapan lumpur

Konversi lahan menjadi area pertambangan nikel oleh PT X menimbulkan erosi tanah dan endapan lumpur pada lahan persawahan di daerah hilir, yang pada akhirnya mengakibatkan penurunan kesuburan tanah. Hal ini sejalan dengan temuan Pratama et al. (2022) yang menyatakan bahwa erosi tidak hanya mengakibatkan hilangnya lapisan tanah, namun juga dapat mengurangi kesuburan tanah. Menurunnya kesuburan tanah pada lahan sawah milik masyarakat diakibatkan oleh endapan tanah dari lokasi penambangan nikel yang terbawa oleh aliran sungai, utamanya ketika hujan. Hal ini terjadi karena lokasi penambangan nikel PT X berada di hulu atau di sekitar Sungai Lapoa. Tidak ada aktivitas lain di kawasan tersebut yang berpotensi menimbulkan pencemaran selain dari kegiatan penambangan nikel oleh PT X.

Endapan lumpur yang berasal dari lokasi penambangan nikel terbawa oleh aliran sungai ke hilir. Hulu sungai yang menjadi sumber air di Bendungan Lapoa berada di sekitar lokasi penambangan nikel. Akibatnya, air irigasi lahan persawahan telah mengandung material tanah dan dalam jangka panjang material tanah mengendap di lahan persawahan. Sesuai UU No. 32 Tahun 2009, khususnya Pasal 54 ayat (1), PT X memiliki kewajiban untuk melakukan pemulihan terhadap fungsi lingkungan yang terdampak.

Material tanah yang berasal dari lokasi penambangan nikel merupakan tanah dengan kandungan bahan organik yang rendah serta menutup lapisan tanah atas (*top soil*) pada lahan sawah. Jafar et al. (2022) menunjukkan bahwa nilai pH tanah pada enam sampel di lokasi penambangan nikel tergolong pH agak asam. Makin asam pH dari suatu tanah maka makin besar pula unsur mikro yang terdapat pada tanah tersebut. Unsur mikro itu sendiri dapat meracuni tanaman sehingga membuat tanaman menjadi tidak subur. Selain menutupi lapisan tanah atas, material tanah tersebut membuat tekstur tanah menjadi keras dan mengurangi kesuburan tanah. Hal ini didukung hasil analisis Lusia et al. (2023), yang menunjukkan bahwa tanah di semua lokasi pengamatan pascatambang nikel memiliki kriteria kandungan C-organik yang rendah.

Mustafa et al. (2022) menunjukkan perubahan signifikan pada sifat fisik tanah di lokasi pascatambang nikel: kandungan pasir menurun (dari 37% menjadi 7%), kandungan liat tanah meningkat (dari 19% menjadi 37%), dan kandungan debu meningkat (29 sampai 73%). Perubahan ini

menunjukkan porositas dan permeabilitas tanah yang menjadi kurang baik. Perubahan ini selanjutnya berpengaruh pada sifat kesuburan dan daya produktivitas tanah.

Untuk meningkatkan kesuburan tanah, solusi yang dilakukan oleh petani adalah meningkatkan penggunaan pupuk. Lahan persawahan yang menggunakan Bendungan Lapoa sebagai sumber irigasi dalam penelitian ini hanya terdiri dari dua desa, yaitu Desa Lapoa dan Bomba-bomba. Sebaliknya, lahan persawahan di dua desa lainnya, yaitu Desa Asingi dan Roraya, tidak menggunakan Bendungan Lapoa sebagai sumber air irigasi dan karenanya tidak dimasukkan dalam estimasi peningkatan biaya penggunaan pupuk. Di sisi lain, yang perlu diperhatikan adalah penggunaan pupuk kimia yang berlebihan dapat merusak lingkungan. Sutrisno dan Kuntayastuti (2015) melaporkan bahwa penggunaan pupuk kimia intensif meningkatkan kandungan logam berat seperti kadmium (Cd) di dalam tanah, yang dapat merusak ekosistem pertanian secara lebih luas.

Alternatif lain yang dilakukan oleh petani untuk meningkatkan kesuburan tanah yaitu meningkatkan penggunaan pupuk anorganik. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Yulies et al. (2022) menunjukkan bahwa perlakuan imbangannya pupuk organik dan anorganik mampu meningkatkan kesuburan tanah. Namun, peningkatan penggunaan pupuk menimbulkan peningkatan biaya dalam usaha tani padi sawah. Peningkatan biaya pengadaan pupuk diasumsikan sebagai nilai kerugian akibat menurunnya kesuburan tanah. Estimasi peningkatan penggunaan pupuk dilakukan dengan membandingkan tingkat penggunaan pupuk pada lokasi tidak terdampak, seperti diuraikan pada Tabel 1.

Estimasi peningkatan penggunaan pupuk dalam penelitian ini hanya dianalisis untuk petani di Desa Lapoa dan Bomba-bomba dengan membandingkan tingkat penggunaan pupuk pada lokasi tidak terdampak, yaitu di Kecamatan Lalembuu. Luas lahan relatif sama, yaitu pada lokasi terdampak 49,30 hektare, sedangkan lokasi tidak terdampak 49,00 hektare. Musim tanam padi sawah di Desa Lapoa dan Bomba-bomba setelah ada aktivitas pertambangan nikel hanya mencapai dua musim tanam per tahun. Berdasarkan penelitian Sutrisno (2012), estimasi nilai kehilangan unsur hara akibat erosi tanah dengan menggunakan biaya pembelian pupuk untuk mengembalikan kesuburan tanah sebesar Rp2.400.000/ha.

Tabel 1. Estimasi peningkatan biaya penggunaan pupuk per tahun akibat erosi tanah di lokasi terdampak dan tidak terdampak di Kabupaten Konawe Selatan, 2017*

Lokasi	Luas lahan (ha)	Jumlah penggunaan pupuk (kg/musim)	Peningkatan penggunaan pupuk (kg/musim)	Jumlah biaya pupuk (Rp/musim)	Peningkatan biaya pupuk (Rp/musim)
					a
Terdampak	49,30	27.215	11.900	59.227.000	16.504.000
Tidak terdampak	49,00	15.315		42.723.000	
Total peningkatan penggunaan pupuk = c x 2 musim tanam (kg/tahun)					23.800
Total peningkatan biaya pupuk = f x 2 musim tanam (Rp/tahun)					33.008.000

Keterangan: *lokasi terdampak: Desa Lapoa dan Bomba-bomba, Kecamatan Tinanggea; lokasi tidak terdampak: Desa Lambadia dan Sumber Jaya, Kecamatan Lalembuu

Berdasarkan data yang diuraikan pada Tabel 1, penggunaan pupuk jika dibandingkan pada lokasi tidak terdampak meningkat sebanyak 11.900 kg dengan rata-rata 241,38 kg/ha/musim tanam. Estimasi nilai peningkatan biaya pupuk dalam usaha tani padi sawah per musim tanam adalah sebesar Rp16.504.000 atau sebesar 38,63%, dengan asumsi bahwa jumlah penggunaan pupuk dan biaya pupuk pada musim tanam pertama dan kedua tetap sama. Dengan kata lain, biaya peningkatan penggunaan pupuk tersebut merupakan nilai kerugian atau biaya yang harus ditanggung oleh petani padi sawah sebagai akibat terjadinya degradasi lingkungan akibat konversi lahan menjadi kegiatan penambangan nikel PT X. Jika mengacu pada peraturan dalam UU No. 32 Tahun 2009, pihak PT X seharusnya menginternalisasikan biaya lingkungan hidup yang ditanggung oleh petani. Hal ini dilakukan agar pihak PT X dapat bertanggung jawab atas kerusakan yang ditimbulkan oleh pengelolaan tambang nikel.

Biaya peningkatan penggunaan pupuk merupakan biaya internal bagi petani padi sawah (biaya sosial) dan biaya eksternal bagi PT X. Sebagaimana dikemukakan oleh Putri dan Maresfin (2015), biaya eksternal merupakan biaya yang harus ditanggung oleh masyarakat, tetapi tidak ditanggung oleh pihak perusahaan. Jenis biaya eksternal yang paling populer adalah biaya yang dibebankan kepada

masyarakat akibat kerusakan lingkungan. Menurunnya kesuburan tanah akibat endapan lumpur telah dirasakan sejak tahun 2014, sehingga nilai kerugian akibat kerusakan lingkungan sudah cukup besar. Potensi timbulnya kerugian yang lebih besar tetap akan terjadi jika tidak ada tindakan penanggulangan atau pemulihian lingkungan. Hal ini tentu akan berdampak buruk terhadap pembangunan pertanian dalam jangka panjang karena petani tidak akan tertarik untuk melanjutkan usaha tani padi sawah jika mengalami kerugian akibat peningkatan penggunaan biaya pupuk.

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, jenis pupuk yang digunakan di Kecamatan Tinanggea adalah pupuk kimia/anorganik. Penggunaan pupuk kimia yang berlebihan dapat menimbulkan degradasi lingkungan. Hal tersebut didukung oleh penelitian Sutrisno dan Kuntyastuti (2015), yang menunjukkan peningkatan konsentrasi kadmium (Cd) dalam tanah akibat kegiatan pertanian yang dilakukan secara intensif di beberapa daerah di Jawa Barat dan Jawa Tengah, dengan peningkatan frekuensi dan volume penggunaan pupuk dan pestisida kimia. Jika kondisi ini terus berlanjut, maka degradasi atau kerusakan lingkungan akan dihadapkan pada dua faktor berikut sebagai penyebabnya: (1) kerusakan atau degradasi lingkungan akibat aktivitas penambangan nikel PT X; dan (2) kerusakan lingkungan akibat peningkatan penggunaan pupuk kimia merupakan dampak lanjutan akibat endapan lumpur di lahan sawah yang ditimbulkan dalam aktivitas penambangan nikel dan mengurangi kesuburan tanah.

Hasil penelitian Sittadewi (2016) dan Jafar et al. (2022) menunjukkan kualitas tanah bekas tambang nikel menunjukkan pH agak asam, tanah yang memiliki pH asam mengandung unsur mikro yang dapat meracuni tanaman sehingga membuat tanaman tidak subur. Kedua faktor tersebut merupakan sumber kerusakan lingkungan akibat aktivitas manusia dalam kegiatan produksi. Selain itu, kedua aspek tersebut bertentangan dengan aspek penting dalam konsep pembangunan berkelanjutan, yakni menjaga kelestarian lingkungan. Dengan demikian, pihak nikel PT X sebagai penyebab kerusakan atau pencemaran lingkungan harus melakukan evaluasi dan perubahan pola penambangan yang lebih ramah lingkungan atau melakukan tindakan konservasi lahan untuk mencegah terjadinya erosi tanah, agar degradasi lingkungan berupa endapan lumpur di lahan persawahan dapat dicegah.

3.2. Pendangkalan di Bendungan Lapoa akibat sedimentasi

Aktivitas penambangan nikel merupakan kegiatan pertambangan dilakukan di permukaan tanah (*open pit*) yang menimbulkan perubahan tutupan lahan. Sejalan dengan penelitian Devy (2016) dan Zam dan Putrawan (2020), kegiatan penambangan nikel yang dilakukan dengan metode *open pit* akan menyebabkan tutupan lahan menjadi terbuka. Konversi lahan yang dilakukan oleh pihak PT X menjadi penambangan nikel telah menimbulkan dampak negatif, salah satunya adalah terjadi pendangkalan atau sedimentasi di Bendungan Lapoa akibat erosi tanah. Sejalan dengan temuan tersebut, Trianto (2016) juga menunjukkan bahwa perubahan tata guna lahan dapat berdampak pada peningkatan rata-rata volume sedimen *inflow* pada Bendung Lakitan.

Dampak serupa kini terjadi di Bendungan Lapoa, yang dikelola oleh Pemerintah Daerah Kabupaten Konawe Selatan dan berfungsi mengairi sekitar 645 hektare lahan sawah di Desa Lapoa, Bombabomba, dan Telutu Jaya. Meskipun demikian, Dinas Pekerjaan Umum (PU) Kabupaten Konawe Selatan belum pernah melakukan pengukuran tingkat sedimentasi di Bendungan Lapoa. Berdasarkan informasi dari pengamat air Kecamatan Tinanggea, sampai dengan tahun 2017, ketebalan endapan lumpur di Bendungan Lapoa diperkirakan mencapai 2 meter. Dampak erosi tanah akibat konversi lahan juga didukung oleh penelitian Aisyah et al. (2020), Rustanto (2019), dan Hartono (2024), yaitu erosi dan tanah longsor sebagai akibat dari alih fungsi kawasan hutan menjadi penggunaan lain. Menurut Munzir et al. (2019), lahan yang terdegradasi secara kasat mata ditandai dengan tingginya tingkat erosi dan sedimentasi.

Sedimentasi atau pendangkalan di Bendungan Lapoa berdampak pada ketersediaan air yang sangat terbatas dan secara langsung mengurangi musim tanam padi sawah. Menurut Anshori et al. (2020) dan Nardi et al. (2021), peran embung atau bendungan tidak hanya memengaruhi produktivitas padi sawah, tetapi juga sangat menentukan indeks pertanaman. Sebelum terjadi pendangkalan, petani di daerah irigasi Bendungan Lapoa dapat melakukan tiga musim tanam per tahun, tetapi setelah terjadi pendangkalan hanya mencapai dua musim. Terkadang musim tanam kedua gagal panen dan petani harus melakukan pergantian penggunaan air irigasi, sehingga petani padi sawah mengalami kerugian akibat berkurangnya satu musim tanam. Hal ini tidak terlepas dari adanya pendangkalan bendungan akibat endapan lumpur yang berasal dari lokasi penambangan nikel yang dikelola oleh PT X. Fuadi et al. (2016) menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan produksi hasil tanaman sangat ditentukan oleh

pengelolaan air. Menurut Zainuddin (2021), sumber daya lahan beririgasi menjadi semakin penting bagi petani, tidak hanya terkait peningkatan indeks tanam, tetapi juga lebih memungkinkan memperbaiki produktivitas hasil.

Estimasi kerugian akibat pendangkalan Bendungan Lapoa dihitung berdasarkan hilangnya satu musim produksi padi sawah setelah terjadinya pendangkalan Bendungan Lapoa. Nilai kehilangan produksi padi sawah diestimasi hanya untuk petani di Desa Lapoa dan Bomba-bomba, sebagaimana diuraikan pada Tabel 2, karena hanya kedua desa contoh tersebut yang menggunakan Bendungan Lapoa sebagai sumber irigasi. Desa Asingi dan Roraya, meskipun termasuk lokasi penelitian, tidak menggunakan bendungan tersebut dan secara historis hanya mampu menanam padi dua musim per tahun, bahkan sebelum aktivitas tambang dimulai. Hal ini dapat dijelaskan lebih lanjut bahwa Bendungan Lapoa hanya mengairi lahan persawahan di tiga desa, di antaranya adalah Desa Lapoa, Bomba-bomba, dan Telutu Jaya. Namun, desa yang digunakan dalam penelitian ini hanya mencakup dua desa, yaitu Desa Lapoa dan Bomba-bomba. Dengan demikian Desa Asingi dan Roraya tidak mengalami kerugian akibat pendangkalan Bendungan Lapoa.

Tabel 2 menjelaskan bahwa berdasarkan total luas lahan sawah yang dimiliki petani sebagai responden dalam penelitian ini, dapat diestimasi jumlah kehilangan produksi per tahun akibat ketersediaan air yang terbatas mencapai 162.890 kg/tahun atau Rp150.864.444/tahun. Nilai kehilangan produksi tersebut diasumsikan sama dengan tingkat produksi per musim tanam setelah adanya aktivitas tambang nikel, dan diasumsikan sebagai jumlah produksi padi sawah yang hilang akibat pendangkalan Bendungan Lapoa. Sebagaimana dikemukakan oleh Fauzi (2014), setiap komponen dalam ekosistem memiliki peran vital dalam menunjang kehidupan dan perekonomian masyarakat, termasuk keberadaan bendungan sebagai infrastruktur pengairan utama.

Nilai kerugian diasumsikan sebagai harga jual gabah kering panen (GKP) di tingkat petani setempat, yaitu sebesar Rp3.000/kg. Namun, harga tersebut merupakan harga kotor karena belum dikurangi oleh biaya produksi atau biaya usaha tani. Nilai bersih produksi GKP diestimasi dengan pendekatan seperti yang digunakan oleh Dlamini (2012), yaitu harga GKP Rp3.000 dikurangi biaya rata-rata dalam usaha tani padi sawah. Biaya rata-rata diperoleh dari total biaya produksi Rp337.805.556/musim tanam dibagi total produksi sebesar 162.890 kg/musim tanam. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya *double counting*, sebab dengan menggunakan harga GKP Rp3.000/kg belum dikurangi biaya usaha tani, khususnya biaya pengadaan pupuk. Di sisi lain, penelitian ini juga menganalisis nilai kerugian petani padi sawah akibat peningkatan penggunaan pupuk.

Tabel 2. Estimasi nilai kehilangan produksi padi sawah akibat pendangkalan Bendungan Lapoa di Desa Lapoa dan Bomba-bomba, Kecamatan Tinanggea, Kabupaten Konawe Selatan, 2017

Luas lahan (ha)	Total produksi (kg)	Total biaya (Rp)	Biaya rata-rata (Rp/kg)	Harga GKP (Rp/kg)	Keuntungan (Rp/kg)
a	b	c	d (c/b)	e	f (e-d)
49,30	162.890	337.805.556	2.074	3.000	926
Nilai kehilangan produksi = b x f (Rp/tahun)				150.864.444	

Dengan estimasi rata-rata biaya produksi sebesar Rp2.074/kg, maka keuntungan atau harga yang sebenarnya diterima oleh petani atas GKP yang dijual, yaitu sebesar Rp3.000–Rp2.074 = Rp926/kg. Dengan demikian, harga yang diterima petani sebesar Rp926/kg dianggap sebagai nilai kehilangan pendapatan petani padi sawah atas gabah yang dijual akibat degradasi lingkungan, karena telah dikurangi dengan biaya tetap dan biaya tidak tetap. Biaya tetap menggunakan biaya penyusutan alat yang digunakan dalam usaha tani padi sawah (Soekartawi et al. 1986). Dengan demikian, nilai kerugian akibat berkurangnya satu musim tanam mencapai $162.890 \text{ kg} \times \text{Rp}926/\text{kg} = \text{Rp}150.864.444$ dan rata-rata nilai kehilangan produksi sebesar Rp3.060.131/tahun. Nilai tersebut diasumsikan sebagai pendapatan yang seharusnya diterima oleh petani padi sawah jika tidak kehilangan produksi GKP dalam satu musim tanam. Nilai tersebut sama dengan total pendapatan dalam satu musim tanam setelah adanya aktivitas penambangan nikel yang dilakukan oleh PT X di Kecamatan Tinanggea.

Perbaikan fungsi ekologi di hulu sungai sebagai sumber air irigasi lahan sawah mutlak harus dilakukan oleh pihak PT X selain dilakukan rehabilitasi Bendungan Lapoa agar Bendungan Lapoa kembali berfungsi dengan baik. Hal tersebut mengingat bahwa pendangkalan Bendungan Lapoa tidak

hanya berdampak pada berkurangnya satu musim tanam, namun dalam jangka panjang, terbatasnya sumber air irigasi lahan persawahan akan berdampak pada menurunnya ketersediaan bahan pangan atau krisis pangan. Lebih lanjut, jika ketersediaan bahan pangan yang terbatas khususnya beras, secara langsung akan menyebabkan peningkatan harga beras. Meskipun di Kecamatan Tinanggea memiliki potensi untuk pengembangan tanaman pangan lain selain beras, karena sudah terbiasa mengonsumsi beras sebagai bahan pangan pokok, masyarakat akan cenderung sulit untuk mengonsumsi bahan pangan lain sebagai pengganti beras.

3.3. Penurunan debit air di Bendungan Lapoa akibat sedimentasi

Selain mengurangi musim tanam dalam usaha tani padi sawah, pendangkalan Bendungan Lapoa mengakibatkan tambahan biaya bagi petani padi sawah berupa biaya pengadaan air irigasi. Keterbatasan air irigasi tidak hanya dialami oleh petani di Desa Lapoa dan Bomba-bomba, termasuk pula petani padi sawah di Desa Asingi. Sumber irigasi lahan sawah di Desa Asingi menggunakan air aliran sungai kecil. Namun, konversi lahan menjadi kegiatan penambangan nikel menyebabkan debit sungai berkurang. Oleh karena itu, dalam analisis ini dampak yang dialami oleh petani padi sawah di Desa Asingi hanya berupa menurunnya debit air akibat konversi lahan di hulu sungai. Hal ini sejalan dengan penelitian Trianto (2016) yang menunjukkan bahwa perubahan lahan di DAS Bendung Lakitan membawa risiko berkurangnya penyediaan air irigasi *intake* Bendung Lakitan, terutama saat musim kering. Di sisi lain, hasil penelitian Susetyaningsih dan Permana (2016) menunjukkan bahwa sedimentasi di bendungan akan berdampak pada menurunnya debit air.

Akibat ketersediaan air yang sangat terbatas, beberapa petani yang ada di Desa Lapoa dan Bomba-bomba melakukan berbagai upaya atau alternatif, seperti menyedot air sungai dengan menggunakan mesin penyedot air (alkon) atau membuat sumur bor dengan biaya yang berbeda-beda. Khusus di Desa Asingi, biaya pengadaan air hanya berupa biaya pengadaan sumur bor. Nasir dan Hambali (2016) mengemukakan alternatif untuk mengatasi keterbatasan air irigasi lahan persawahan yaitu dengan menggunakan pola tanam padi-cabai-cabai. Namun demikian, alternatif tersebut tidak mengatasi dampak negatif keterbatasan air irigasi terhadap usaha tani padi sawah.

Upaya pengadaan air yang dilakukan oleh petani di Desa Lapoa dan Bomba-bomba memiliki perbedaan. Pertama, petani yang menggunakan mesin penyedot air (alkon) biasanya adalah petani yang memiliki lahan sawah yang berdekatan dengan sungai. Kedua, petani yang memiliki lahan sawah jauh dari sungai akan membuat sumur bor. Namun tidak semua petani padi sawah melakukan upaya yang sama untuk mencukupi kebutuhan air irigasi. Apabila petani tidak memiliki mesin alkon atau tidak mampu secara finansial untuk membuat sumur bor, maka petani tersebut menyewa mesin atau menunggu hingga hujan tiba untuk mencukupi kebutuhan air irigasi, sebagaimana diuraikan pada Tabel 3. Bahkan, ada petani yang menanam padi hanya separuh dari lahan yang ada akibat tebatasnya air irigasi.

Jumlah sumur bor atau mesin untuk pengadaan air sebanyak 36 unit, yang dalam hal ini meskipun petani hanya menyewa mesin penyedot air, namun tetap dihitung menjadi satu unit sarana (alat). Penambahan biaya usaha tani padi sawah berupa pengadaan mesin alkon dan sumur bor berpengaruh pada tingkat pendapatan petani yang mengalami dampak kerusakan lingkungan akibat aktivitas tambang nikel di Kecamatan Tinanggea. Biaya pengadaan air untuk irigasi dalam penelitian ini tidak dimasukkan dalam estimasi pendapatan petani padi sawah karena tidak semua petani harus mengeluarkan biaya tambahan untuk pengadaan air irigasi. Selain itu, sumur bor dan mesin alkon tidak digunakan secara rutin sejak persiapan lahan sampai panen.

Tabel 3. Estimasi nilai kerugian berupa pengadaan air irigasi lahan persawahan di Desa Lapoa dan Bomba-bomba, Kecamatan Tinanggea, Kabupaten Konawe Selatan, 2017

Jenis sarana	Jumlah (unit)	Biaya pengadaan (Rp)	Biaya penyusutan (Rp/tahun)
Sumur bor	26	72.157.333	23.892.333
Mesin alkon	5	9.633.000	1.217.800
Sewa mesin alkon	5	22.940.000	-
Total	36	104.730.333	25.110.133
Nilai kerugian (Rp/tahun)*			48.050.133

Keterangan: *Nilai kerugian = biaya sewa mesin alkon + biaya penyusutan

Tabel 3 menguraikan jumlah biaya yang dialokasikan untuk pengadaan air irigasi sebagai akibat pendangkalan Bendungan Lapoa. Biaya pengadaan air tersebut terbagi menjadi tiga macam, yaitu sewa mesin alkon, pengadaan mesin alkon, dan pembuatan sumur bor. Biaya sewa mesin alkon diasumsikan sebagai nilai kerugian akibat ketersediaan air yang terbatas setelah terjadi pendangkalan Bendungan Lapoa. Biaya pengadaan mesin alkon dan sumur bor, nilai kerugian diestimasi dengan menggunakan biaya penyusutan per tahun (Rp/tahun), diestimasi dengan menggunakan metode garis lurus. Biaya penyusutan diestimasi untuk setiap komponen dari mesin alkon dan sumur bor yang terdiri dari mesin, pipa, dan selang.

Nilai kerugian akibat pendangkalan Bendungan Lapoa untuk pengadaan air irigasi sebagai akibat degradasi lingkungan dapat diestimasi sebesar Rp48.050.133/tahun. Nilai ini diperoleh melalui penjumlahan dari biaya sewa mesin alkon dengan biaya penyusutan mesin alkon dan sumur bor. Nilai tersebut merupakan biaya eksternal bagi PT X, sedangkan bagi petani padi sawah biaya internal. Berdasarkan hal tersebut, seharusnya pihak PT X memberikan kompensasi atau ganti rugi kepada petani yang menerima dampak menurunnya debit sungai akibat sedimentasi. Hal tersebut dilakukan agar produktivitas padi sawah dapat meningkat, karena ketersediaan air irigasi berpengaruh langsung terhadap tingkat produksi padi sawah. Selain itu, biaya pengadaan air irigasi menjadi indikasi bahwa biaya usaha tani padi sawah di Kecamatan Tinanggea akan lebih tinggi jika dibanding di daerah lain.

3.4. Risiko gagal panen akibat berkurangnya debit air di Bendungan Lapoa

Risiko gagal panen dapat disebabkan oleh kurangnya ketersediaan air untuk irigasi. Berkurangnya air irigasi merupakan dampak pendangkalan di Bendungan Lapoa akibat erosi tanah secara langsung berdampak negatif dalam usaha tani padi sawah. Menurut Sari (2019), sumber daya air yang dapat dimanfaatkan untuk tanaman padi sawah dapat berasal dari saluran induk bendungan dan air hujan. Sejalan dengan hal itu, Susilo (2019) mengemukakan bahwa sedimentasi yang disebabkan oleh kerusakan daerah aliran sungai berpengaruh pada menurunnya kemampuan waduk untuk mengairi lahan persawahan, demikian juga produktivitas padi sawah juga mengalami penurunan.

Hal tersebut menunjukkan dampak lingkungan yang kompleks dengan berbagai permasalahan yang timbul akibat konversi lahan menjadi lokasi penambangan nikel. Konversi lahan menimbulkan erosi tanah dan menimbulkan endapan atau sedimentasi di Bendungan Lapoa. Kondisi ini jika tidak mendapat perhatian dari pihak PT X dan pemerintah, risiko gagal panen akibat berkurangnya debit air di Bendungan Lapoa akan tetap terjadi. Analisis risiko gagal panen hanya mencakup lahan sawah yang dimiliki oleh petani di Desa Lapoa dan Bomba-bomba, namun pada saat kegiatan penelitian dilaksanakan hanya beberapa petani yang mengalami gagal panen. Artinya, kerugian akibat gagal panen tidak dialami oleh semua responden dalam penelitian ini dan diasumsikan risiko gagal panen tersebut merupakan dampak dari berkurangnya debit air akibat pendangkalan Bendungan Lapoa.

Tabel 4. Estimasi nilai kerugian akibat gagal panen di Desa Lapoa dan Bomba-bomba, Kecamatan Tinanggea, Kabupaten Konawe Selatan, 2017

Luas lahan (ha)	Jumlah kehilangan produksi (kg/tahun)	Keuntungan (Rp/kg)*	Nilai kehilangan produksi GKP (Rp/tahun)
a	c	d	e (c x d)
8,85	27.463	926	25.430.738
Total nilai kerugian akibat gagal panen (Rp/tahun)			25.430.738

Keterangan: *keuntungan per kg GKP diperoleh dari harga GKP (Rp3.000/kg) dikurangi rata-rata biaya produksi atau biaya usaha tani (Rp2.074/kg)

Estimasi nilai kerugian akibat gagal panen diuraikan pada Tabel 4. Nilai kehilangan produksi akibat risiko gagal panen diestimasi dengan menggunakan pendekatan harga atau keuntungan yang sebenarnya dapat diperoleh petani, yaitu sebesar Rp926/kg GKP, seperti yang digunakan pada analisis kehilangan produksi akibat berkurangnya satu musim tanam. Jumlah produksi yang hilang diestimasi berdasarkan selisih antara produksi jika tidak mengalami gagal panen dengan produksi pada saat gagal panen. Hal ini dilakukan untuk setiap petani yang mengalami gagal panen. Dengan demikian, nilai kerugian akibat gagal panen diestimasi sebesar Rp25.430.738/tahun atau rata-rata sebesar Rp2.873.530/ha/tahun. Nilai kerugian tersebut seharusnya menjadi tanggung jawab pihak PT X sebagai pihak yang menimbulkan kerusakan lingkungan melalui mekanisme internalisasi biaya sosial. Hal

tersebut dilakukan agar petani padi sawah di Desa Lapoa dan Bomba-bomba tetap optimis mengembangkan usaha taninya. Jika petani tidak memperoleh ganti rugi atau kompensasi atas kerugian yang dialami, dikhawatirkan petani tidak akan melanjutkan usaha tani padi sawah. Hal ini dalam jangka panjang akan berdampak pada menurunnya tingkat pendapatan petani dan ketersediaan bahan pangan yang berkelanjutan.

3.5. Kehilangan produksi padi sawah dan tepung sagu akibat endapan lumpur

Erosi tanah yang terjadi akibat aktivitas pertambangan nikel selain mengurangi kesuburan tanah dan menyebabkan pendangkalan Bendungan Lapoa, material tanah tersebut juga mengendap pada lahan sawah dan kebun sagu. Akibatnya lahan sawah tidak dapat diolah dan tanaman sagu menjadi layu serta lambat laun tanaman sagu tersebut akan mati. Analisis nilai kerugian akibat endapan lumpur di lahan sawah dan kebun diuraikan sebagai berikut.

3.5.1. Lahan persawahan

Lahan sawah yang tertimbun lumpur tepatnya berada di Desa Asingi dan Roraya, Kecamatan Tinanggea. Lahan persawahan tersebut tidak dapat diolah sudah berjalan 2–3 tahun atau 4–6 musim tanam. Dengan demikian, petani mengalami kehilangan pendapatan (*lost of earning*) selama kurun waktu tersebut. Meskipun lahan yang tertimbun lumpur tetap diolah, proses pertumbuhan tanaman padi sawah tidak normal dan gagal panen sebab endapan lumpur yang berasal dari lokasi penambangan nikel PT X tersebut memiliki kandungan bahan organik yang rendah. Tanah dengan kandungan organik yang rendah menimbulkan tanah yang kurang subur dan memengaruhi pertumbuhan tanaman padi sawah. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Lusia et al. (2023), yang menunjukkan bahwa kandungan C-Organik tanah pada lahan revegetasi pascatambang nikel tergolong kategori rendah.

Sebelum ada kegiatan pertambangan nikel, usaha tani padi sawah di Desa Asingi dan Roraya hanya bisa dilakukan selama dua musim tanam per tahun. Namun, saat penelitian berlangsung, lahan sawah yang tertimbun lumpur di Desa Asingi dan Roraya tidak dapat ditanami, utamanya padi sawah. Hal ini berbeda dengan yang terjadi di Desa Lapoa dan Bomba-bomba, di mana lahan sawah tetap dapat diusahakan untuk usaha tani padi sawah, walaupun hanya dua musim tanam per tahun, karena ketersediaan air yang terbatas.

Tinggi endapan lumpur pada lahan sawah yang tertimbun diperkirakan mencapai 15–30 cm, yang berpengaruh besar terhadap kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman padi sawah. Jumlah kehilangan produksi seperti diuraikan pada Tabel 5 merupakan total kehilangan produksi dari semua lahan sawah yang tertimbun lumpur. Estimasi nilai kehilangan produksi akibat lahan sawah yang tertimbun lumpur diestimasi pada lahan sawah di Desa Asingi dan Roraya, dalam analisis ini tidak termasuk total lahan sawah yang dimiliki responden dalam analisis tingkat pendapatan, peningkatan penggunaan pupuk dan perubahan produktivitas.

Tabel 5. Estimasi nilai kerugian akibat lahan persawahan tertimbun lumpur di Desa Asingi dan Roraya, Kecamatan Tinanggea, Kabupaten Konawe Selatan, 2017

Desa	Luas lahan (ha)	Produktivitas (kg/ha)	Jumlah musim tanam	Keuntungan (Rp/kg)*	Jumlah kehilangan produksi	
					Per musim tanam (kg)	Per tahun (kg)
a	b	c	d	e (a x b)	f (a x b x c)	
Asingi	2,00	3.500	2	926	7.000	14.000
Roraya	10,30	3.500	2	926	36.050	72.100
Total	12,30	-	-	-	43.050	86.100
Total nilai kehilangan produksi (Rp)					39.864.300	79.728.600

Keterangan: *keuntungan per kg GKP diperoleh dari harga GKP (Rp3.000) dikurangi rata-rata biaya produksi atau biaya usaha tani (Rp2.074/kg)

Produktivitas padi pada lahan sawah yang tertimbun lumpur diperkirakan sebesar 3.500 kg/ha. Nilai kehilangan produksi akibat lahan sawah tertimbun lumpur diestimasi dalam satu tahun atau dua musim tanam dengan menggunakan pendekatan harga atau keuntungan yang diperoleh petani atas GKP,

seperti digunakan pada analisis kehilangan produksi akibat berkurangnya satu musim tanam di Desa Lapoa dan Bomba-bomba. Diasumsikan petani menjual hasil panen dalam bentuk GKP dengan harga Rp3.000/kg, rata-rata biaya produksi sebesar Rp2.074/kg. Dengan demikian, estimasi keuntungan yang diperoleh atas GKP adalah sebesar $Rp3.000/kg - Rp2.074/kg = Rp926/kg$. Dengan demikian, estimasi nilai kehilangan produksi akibat lahan sawah yang tertimbun lumpur adalah sebesar Rp79.728.600/tahun.

Saat ini, upaya yang dilakukan petani padi sawah, baik di Desa Lapoa, Bomba-bomba, Asingi, dan Roraya adalah dengan meningkatkan penggunaan pupuk untuk meningkatkan kesuburan tanah, namun upaya tersebut belum tentu efisien. Selain membutuhkan biaya yang cukup besar, tingkat produksi yang dicapai juga sangat rendah jika dibandingkan pada lokasi tidak terdampak. Jika tidak ada upaya dari pihak PT X untuk melakukan pola penambangan yang ramah lingkungan dan rehabilitasi lahan sawah yang tertimbun lumpur, risiko akan tertimbunnya lahan sawah ke depannya akan tetap terjadi. Dengan demikian, risiko kehilangan produksi padi sawah akan semakin besar, padahal usaha tani padi sawah berperan penting sebagai sumber pendapatan utama petani di Kecamatan Tinanggea dan dalam menjaga ketahanan pangan.

Kasus lain menunjukkan berkurangnya lahan sawah adalah akibat dikonversi untuk penggunaan lain, baik menjadi kawasan pemukiman atau kawasan industri. Adipka et al. (2018) melaporkan tingginya laju konversi lahan sawah untuk penggunaan lain sebagai akibat semakin intensifnya pembangunan pemukiman dan infrastruktur. Beberapa motif ekonomi sebagai penyebab alih fungsi lahan persawahan di Subak Kerdung, Kecamatan Denpasar Selatan, di antaranya adalah rendahnya pendapatan di sektor pertanian dan harga jual lahan yang tinggi (Dewi dan Sarjana 2015). Salah satu dampak konversi lahan adalah mengurangi kapasitas produksi pangan terutama padi. Namun, berbeda dengan kasus yang terjadi di Kecamatan Tinanggea, berkurangnya luas tanam atau luas panen padi sawah akibat tertimbun lumpur bukan karena alih fungsi lahan atau konversi lahan sawah untuk penggunaan lain. Status lahan tetap sebagai lahan persawahan, tetapi tidak dapat diolah untuk usaha tani padi sawah maupun komoditas lainnya. Dengan demikian, lahan persawahan yang tertimbun lumpur tidak hanya berdampak menurunnya jumlah produksi pangan, namun dalam jangka panjang petani sebagai pemilik lahan yang tertimbun lumpur dapat kehilangan sumber pendapatan dari sawahnya.

3.5.2. Kebun sagu

Selain mengendap di lahan persawahan, material lumpur yang berasal dari lokasi penambangan nikel PT X juga mengendap di kebun sagu milik warga sekitar lokasi tambang, tepatnya di Desa Asingi. Sagu merupakan jenis tanaman umbi batang, dalam proses pengolahannya pohon sagu harus ditebang terlebih dahulu untuk diambil sari tepung pada batang. Pohon sagu hanya dapat dilakukan satu kali panen. Berdasarkan penelitian Haryanto et. al. (2015), produksi sagu di Kabupaten Sorong diestimasi sebesar 9,7 ton per hektare.

Sagu merupakan bahan makanan pokok warga lokal, khususnya yang ada di Kecamatan Tinanggea. Berdasarkan informasi dari salah satu ketua kelompok tani di Desa Asingi, kondisi tanaman sagu sudah mulai layu akibat endapan lumpur. Selain menjadi bahan makanan utama dalam keluarga, sagu juga memiliki harga jual yang cukup tinggi. Dengan demikian, warga pemilik pohon sagu tersebut terancam kehilangan sumber pangan dan pendapatan. Estimasi nilai kerugian akibat tanaman sagu yang tertimbun lumpur diuraikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Estimasi nilai kerugian akibat kebun sagu tertimbun lumpur di Desa Asingi, Kecamatan Tinanggea, Kabupaten Konawe Selatan, 2017

Luas lahan (ha)	Jumlah pohon (pokok)	Produktivitas (kg/pokok)	Jumlah kehilangan produksi (kg)	Harga tepung sagu (Rp/kg)*
a	b	c	d (b x c)	e
4,00	400	440	176.000	6.364
Total nilai kehilangan produksi tepung sagu= d x e (Rp)				1.120.064.000
Nilai kehilangan produksi tepung sagu per tahun (Rp/tahun)*				62.225.778

Keterangan: *total nilai/masa berlaku IUP PT X yakni 18 tahun

Jumlah keseluruan pohon sagu yang tertimbun lumpur sebanyak 400 pohon (pokok) dengan asumsi seluruh pohon sagu tersebut sudah siap untuk ditanam dan dilakukan proses pengolahan dan siap untuk dikonsumsi atau dijual. Satu pohon dapat menghasilkan tepung sagu sebanyak 40 karung (berat per karung \pm 11 kg). Diestimasi total nilai kehilangan produksi sagu sebanyak 400 pohon \times 40 karung \times 11 kg = 176.000 kg. Umumnya masyarakat menjual sagu dalam kemasan karung, harga per karung Rp 70.000, diestimasi harga sagu per kilogram adalah sebesar Rp70.000/11 kg = Rp6.364/kg. Total nilai kerugian akibat tanaman sagu yang tertimbun lumpur dapat diestimasi sebesar 176.000 kg \times Rp6.364/kg = Rp1.120.064.000, sedangkan nilai kehilangan produksi sagu per tahun sebesar Rp62.225.778. Nilai ini diperoleh dari Rp1.120.064.000/18 tahun, yakni masa berlaku IUP operasi produksi PT X.

Nilai kerugian pada tanaman sagu yang tertimbun lumpur belum dikurangi dengan biaya produksi atau pengolahan batang sagu menjadi tepung sagu, dengan kata lain nilai dalam satuan moneter tiap pohon merupakan penerimaan kotor yang seharusnya diterima pemilik pohon sagu jika dapat diolah. Total nilai degradasi lingkungan akibat endapan lumpur pada lahan persawahan dan kebun sagu diestimasi sebesar Rp1.199.792.600/tahun. Nilai ini diperoleh dari penjumlahan antara nilai kerugian akibat lahan sawah dan kebun sagu yang tertimbun lumpur.

Berdasarkan kondisi tersebut seharusnya pihak PT X memberikan ganti rugi kepada pemilik lahan persawahan dan tanaman sagu. Hal ini mengingat bahwa pemilik lahan tidak hanya mengalami kerugian akibat hilangnya produksi padi sawah dan sagu, namun juga kerugian berupa kehilangan sumber pendapatan. Selain itu, khususnya tanaman sagu membutuhkan waktu yang cukup panjang dalam proses pertumbuhan hingga mencapai usia yang siap untuk diolah untuk mendapatkan pati dari pohon sagu tersebut. Dengan demikian, dalam jangka panjang bagi masyarakat setempat yang menggunakan sagu sebagai makanan pokok mengalami kehilangan potensi sumber pangan di masa yang akan datang.

3.6. Dampak degradasi kualitas air terhadap produksi padi sawah

Usaha tani padi sawah merupakan kegiatan pertanian yang tidak dapat dilakukan tanpa ketersediaan air, baik secara kualitas dan kuantitas. Khususnya untuk kualitas air yang digunakan, pertumbuhan maupun tingkat produktivitas tanaman padi sawah sangat penting untuk diperhatikan. Ezzard et. al. (2018), frekuensi pengairan memberikan pengaruh yang nyata terhadap tinggi tanaman dan berat gabah kering. Salah satu persoalan penting yang dihadapi oleh petani padi sawah di sekitar lokasi tambang nikel adalah tercemarnya air yang digunakan untuk irigasi. Hasil pemantauan lingkungan lahan reklamasi bekas tambang nikel di Desa Mohoni, Kecamatan Petasia Timur, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah menunjukkan bahwa kualitas air permukaan berada dalam kondisi tercemar sedang atau termasuk kelas C (Laksono et al. 2020). Air irigasi telah bercampur dengan material lumpur dan unsur lain yang berasal dari lokasi penambangan nikel PT X. Putri dan Maresfin (2015) mengemukakan bahwa dalam perspektif biofisik, pencemaran diartikan sebagai masuknya aliran residual (*residual flow*) yang diakibatkan oleh perilaku manusia ke dalam sistem lingkungan. Darmono (2001), menyatakan bahwa logam kadmium dan arsen juga banyak ditemukan dalam pertambangan tembaga dan nikel. Logam kadmium dapat menurunkan produksi tanaman pangan.

Selain telah bercampur lumpur, air yang digunakan juga mengandung minyak yang berasal dari lokasi tambang nikel. Diduga minyak tersebut merupakan sisa dari kegiatan pertambangan nikel yang terbawa oleh aliran sungai utamanya pada saat hujan. Sebab, lokasi penambangan nikel berada di hulu Sungai Lapoa sebagai sumber irigasi lahan persawahan baik yang ada di Desa Lapoa, Bombabomba, dan Asingi. Lebih lanjut, di sekitar atau di hulu Sungai Lapoa tidak ada aktivitas lain yang dapat menimbulkan pencemaran maupun kerusakan lingkungan selain aktivitas pertambangan nikel yang dilakukan oleh PT X. Dengan demikian, pihak PT X seharusnya melakukan pemantauan kualitas air yang digunakan oleh petani sebagai sumber irigasi lahan persawahan. Hasil pemantauan tersebut selanjutnya akan digunakan oleh pihak PT X bersama instansi terkait untuk melakukan pemulihan maupun pemberian kompensasi bagi masyarakat yang terdampak.

Dampak pencemaran air menimbulkan penurunan produksi tanaman padi sawah. Berdasarkan hasil penelitian Gunawan et al. (2015), konsentrasi timbal (Pb) di sekitar tambang dan di luar tambang nikel, air yang dikonsumsi ternak melebihi batas maksimum toleransi. Hal ini karena air yang dikonsumsi oleh ternak di sekitar tambang nikel adalah air yang mengalir dan sudah tercemar oleh logam berat akibat dari aktivitas pertambangan. Perubahan produksi diestimasi dengan membandingkan total produksi

GKP pada lokasi yang tidak mengalami dampak kerusakan lingkungan akibat aktivitas tambang nikel, tepatnya di Desa Sumber Jaya dan Lambandia, Kecamatan Lalembuu, Kabupaten Konawe Selatan. Estimasi penurunan produksi padi sawah per tahun diuraikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Estimasi penurunan produksi padi sawah akibat degradasi kualitas air pada lokasi terdampak dan tidak terdampak, Kabupaten Konawe Selatan, 2017*

Lokasi	Luas lahan (ha)	Produktivitas (kg/ha)	Jumlah musim tanam	Jumlah produksi (kg/tahun)	Penurunan produksi (kg/tahun)
	a	b	c	d (a x b x c)	e
Terdampak	49,30	3.304	2	325.774	
Tidak terdampak	49,00	4.417	2	432.866	107.092
Total penurunan pendapatan = e x Rp 926 (Rp/tahun)**					99.167.192

Keterangan: *lokasi terdampak: Desa Lapoa dan Bomba-bomba, Kecamatan Tinanggea; lokasi tidak terdampak: Desa Lambadia dan Sumber Jaya, Kecamatan Lalembuu; **keuntungan per kg GKP diperoleh dari harga GKP (Rp3.000/kg) dikurangi rata-rata biaya produksi atau biaya usaha tani (Rp2.074/kg)

Estimasi penurunan produksi padi sawah akibat degradasi kualitas air hanya dilakukan di Desa Lapoa dan Bomba-bomba, karena dua desa tersebut menggunakan Bendungan Lapoa sebagai sumber air irigasi lahan persawahan, sedangkan Desa Asingi tidak menggunakan Bendungan Lapoa sebagai sumber air irigasi. Berdasarkan hasil penelitian, estimasi total penurunan produksi adalah sebesar 107.092 kg/tahun. Penurunan produksi tersebut diperoleh dari jumlah produksi pada lokasi tidak terdampak dikurangi jumlah produksi pada lokasi terdampak. Produktivitas pada lokasi terdampak masih relatif rendah dibanding hasil penelitian Azwir dan Ridwan (2009), di mana tingkat penggunaan pupuk oleh petani mencakup Urea 150 kg/ha dan SP 36 sebanyak 50 kg/ha, dengan produktivitas padi sawah mencapai 3,87 ton/ha. Hal ini memperkuat hasil penelitian ini bahwa degradasi lingkungan akibat aktivitas pertambangan nikel PT X berpengaruh besar terhadap penurunan produktivitas padi sawah di Kecamatan Tinanggea.

Nilai penurunan produksi per tahun diestimasi dengan menggunakan keuntungan atau harga yang sebenarnya diperoleh petani, yaitu sebesar Rp926/kg. Nilai penurunan produksi tersebut dapat dikatakan sebagai nilai kehilangan pendapatan (*lost of earning*) akibat degradasi kualitas air, yang diestimasi sebesar Rp99.167.192/tahun. Nilai kehilangan pendapatan per tahun diestimasi untuk dua musim tanam sebab setelah ada aktivitas pertambangan nikel musim tanam padi sawah di Kecamatan Tinanggea, khususnya di Desa Lapoa dan Bomba-bomba hanya mencapai dua musim tanam per tahun.

Tinggi atau rendahnya pendapatan yang diterima oleh petani akan menentukan keberlanjutan dalam usaha tani padi sawah. Pada dasarnya petani merupakan produsen, dan sebagai produsen tentunya petani menginginkan tingkat penerimaan atau pendapatan yang tinggi. Jika usaha tani padi sawah tidak memberikan pendapatan yang tinggi atau relatif rendah, dikhawatirkan petani padi sawah akan beralih ke komoditas nonpadi sawah atau mencari sumber pendapatan di luar sektor pertanian. Di sisi lain, karena pada umumnya tingkat pendidikan petani termasuk dalam kategori rendah, jika petani meninggalkan usaha tani dan mencari pekerjaan di luar sektor pertanian, maka petani akan mengalami kesulitan untuk mendapatkan pekerjaan baru. Hal ini akan berakibat pada peningkatan pengangguran di perdesaan. Meskipun di Kecamatan Tinanggea terdapat perusahaan tambang nikel, belum tentu pihak perusahaan akan menerima tenaga kerja dengan kategori usia tua dan tingkat pendidikan yang rendah.

Berdasarkan uraian sebelumnya, dapat diestimasi total kerugian pada sektor pertanian akibat degradasi lingkungan dalam aktivitas pertambangan nikel PT X sebesar Rp498.474.885/tahun, seperti disajikan pada Tabel 8. Jika mengacu pada UU No. 32 Tahun 2009, nilai tersebut seharusnya ditanggung oleh pihak PT X melalui mekanisme internalisasi biaya lingkungan hidup. Selain itu, tindakan tegas dari pihak pemerintah merupakan unsur utama agar hak masyarakat yang terkena dampak negatif dapat terpenuhi. Hal ini dilakukan agar tidak menimbulkan pandangan dari masyarakat bahwa pemerintah tidak berpihak pada masyarakat sehingga aspek sosial dalam paradigma pembangunan berkelanjutan dapat dipenuhi. Pada aspek ekologi, tindakan tegas dari pihak pemerintah akan menjadi dorongan bagi pihak PT X untuk tetap menjaga kelestarian lingkungan. Pihak PT X tidak hanya berupaya untuk memaksimalkan keuntungan perusahaan. Namun, hal yang paling penting adalah

kerusakan lingkungan akibat penambangan nikel tidak menimbulkan kerugian bagi masyarakat sekitar, khususnya petani padi sawah.

Tabel 8. Estimasi total kerugian dalam usaha tani akibat degradasi lingkungan di Desa Lapoa dan Bomba-bomba, Kecamatan Tinanggea, Kabupaten Konawe Selatan, 2017

Jenis kerugian	Nilai (Rp/tahun)
Peningkatan biaya penggunaan pupuk per tahun akibat erosi tanah	33.008.000
Kehilangan produksi padi sawah akibat pendangkalan Bendungan Lapoa	150.864.444
Kerugian berupa pengadaan air irigasi lahan persawahan	48.050.133
Kerugian akibat gagal panen	25.430.738
Kerugian akibat lahan persawahan tertimbun lumpur	79.728.600
Kerugian akibat kebun sagu tertimbun lumpur	62.225.778
Penurunan produksi padi sawah akibat degradasi kualitas air	99.167.192
Total (Rp)	498.474.885

4. Kesimpulan dan implikasi kebijakan

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, akibat konversi lahan menjadi kegiatan pertambangan nikel telah menimbulkan dampak negatif, khususnya bagi petani padi sawah di Desa Lapoa, Bomba-bomba dan Asingi. Bentuk kerugian yang dialami petani akibat degradasi lingkungan di antaranya menurunnya kesuburan tanah dan tingkat produksi akibat endapan lumpur, menurunnya debit air sungai, sedimentasi di Bendungan Lapoa, gagal panen, penurunan produksi padi sawah akibat degradasi kualitas air, serta lahan persawahan dan tanaman sagu yang tidak dapat diolah akibat endapan lumpur yang berasal dari lokasi pertambangan nikel. Selain menimbulkan peningkatan biaya dalam usaha tani padi sawah, kerusakan lingkungan akibat penambangan nikel juga menyebabkan penurunan produksi padi sawah dan sagu. Dalam jangka panjang, hal tersebut berpotensi menimbulkan kelangkaan bahan pangan utama bagi masyarakat, seperti beras dan sagu. Ketika terjadi kelangkaan pangan, dampak berikutnya adalah harga beras di masyarakat akan mengalami peningkatan. Total kerugian pada sektor pertanian akibat degradasi lingkungan dalam aktivitas pertambangan nikel PT X diestimasi sebesar Rp498.474.885/tahun.

4.2. Implikasi Kebijakan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, beberapa rekomendasi yang diajukan yaitu sebagai berikut: (i) Pihak PT X perlu melakukan rehabilitasi lahan persawahan yang terdampak akibat aktivitas pertambangan nikel, utamanya di Desa Lapoa, Bomba-bomba, Asingi, dan Roraya. Pola rehabilitasi lahan yang dapat dilakukan misalnya pola pertanian agroforestri. Hal ini dilakukan untuk menekan tingkat kerusakan lingkungan dan kerugian yang dialami oleh petani padi sawah. (ii) Sebagai upaya mitigasi, pihak PT X sebaiknya membangun saluran kontrol sedimen atau penyediaan sumur dangkal kolektif. Limbah tambang perlu melalui proses pengelolaan lebih lanjut sehingga ketika dibuang ke lingkungan tidak menimbulkan dampak negatif. (iii) Pemerintah daerah setempat diharapkan dapat meningkatkan anggaran untuk menunjang pengawasan yang dilakukan oleh pihak terkait sehingga pengawasan dapat dilakukan secara rutin untuk mencegah terjadinya pencemaran dan kerusakan lingkungan di luar lokasi penambangan nikel. (iv) Pemerintah pusat maupun pemerintah daerah perlu melakukan evaluasi terhadap kebijakan pertambangan yang sudah berlaku, melakukan mitigasi terhadap dampak negatif yang timbul akibat aktivitas pertambangan nikel, dan melakukan rehabilitasi lingkungan yang terdampak dalam kegiatan pertambangan nikel. (v) Petani di sekitar lokasi pertambangan nikel PT X diharapkan dapat melakukan inovasi untuk mengatasi dampak yang terjadi, tidak hanya menerima bantuan dari pihak pemerintah maupun pihak PT X. Inovasi yang dapat dilakukan oleh petani antara lain penggunaan varietas padi yang toleran terhadap kondisi air yang telah tercemar, penerapan pola penanaman dengan sistem gogo-ranrah, atau diversifikasi usaha tani untuk mengantisipasi terjadinya gagal panen dalam usaha tani padi sawah.

Ucapan terima kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada masyarakat dan para petani di Kecamatan Tianggea, khususnya di Desa Lapoa, Bomba-bomba, dan Asingi, atas kesediaan mereka dalam memberikan berbagai data dan informasi yang diperlukan untuk penelitian. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada rekan-rekan yang telah membantu dalam pengumpulan data, serta kepada Dinas ESDM Sulawesi Tenggara, KPH Gularaya, Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Konawe Selatan, dan berbagai instansi terkait lainnya atas waktu dan kesempatan yang telah diberikan selama proses pengumpulan data.

Daftar pustaka

- Adipka A, Sugiyanta IG, Nugraheni IL. 2018. Analisis perubahan penggunaan lahan persawahan di Kota Metro antara tahun 2000–2015. *J Penelit Geografi*. 6(4):1–10..
- Ambarwati N, Suwitaningsih DA, Ridho-H-S LM, Haisoo CV, Pramujaningtyas-N-P Y, Fikri MH, Edrian, Thomas-W-B K, Enus MM. 2020. Dampak usaha pertambangan nikel PT. Vale Akibat pembangunan smelter di Provinsi Sulawesi. Prosiding Seminar Teknologi Kebumian dan Kelautan (SEMITAN II); 2020 Jul 12; Surabaya, Indonesia. Surabaya: Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. 2(1):517–520.
- Aisyah BN, Baskoro DPT, Murtilaksono K. 2022. pendugaan erosi tanah dan perencanaan tutupan lahan hulu DAS Jeneberang Sulawesi Selatan. *J Ilmu Pertan Indones*. 27(2):302–310.
- Anshori A, Riyanto D, Suradal S. 2020. Peningkatan indeks pertanaman padi pada musim tanam ke dua di Kecamatan Ngawen, Kabupaten Gunungkidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *AgriHealth*. 1(2):55–61.
- Azwir, Ridwan. 2009. Peningkatan produktivitas padi sawah dengan perbaikan teknologi budidaya. *Akta Agrosia*, 2(2):212–218.
- Darmono, Sriwibawa S, editors. 2008. Lingkungan hidup dan pencemaran: hubungannya dengan toksikologi senyawa logam. Jakarta Pusat: UI Press.
- Devy SD. 2016. Permodelan airtanah dan neraca airtanah dampak penambangan batubara open pit pada lipatan sinklin di daerah Muara Lawa, Kabupaten Kutai Barat, Provinsi Kalimantan Timur. *J Teknol Mineral FT Unmul*. 4(1):39–46. <https://core.ac.uk/download/pdf/268075164.pdf>
- Dewi LAI, Sarjana IM, 2015. Faktor-faktor pendorong alihfungsi lahan sawah menjadi lahan non-pertanian (kasus: Subak Kerdung, Kecamatan Denpasar Selatan). *J Manaj Agribisnis*. 3(2):163-171.
- Dian-WP S, Setiawan AB, Karsinah. 2012. Dampak sedimentasi Bendungan Soedirman terhadap kehidupan ekonomi masyarakat. *JEJAK J Econ Policy* 5(2):117–229.
- Dillon JL, Hardaker J; Soekartawi, Soeharjo A, penerjemah. 1986. Ilmu usahatani dan penelitian untuk perkembangan petani kecil. Jakarta Pusat: UI Press.
- Dlamini CS. 2012. Types of values and valuation methods for environmental resources: highlights of key aspects, concepts and approaches in the economic valuation of forest goods and services. *J Hortic For*. 4(12):181–189. <https://doi.org/10.5897/JHF12.011>
- Ezward C, Efendi S & Makmun J. 2018. Pengaruh frekuensi irigasi terhadap pertumbuhan dan hasil padi (*Oryza sativa* L.). *Jagur Jurnal Agroteknologi*. 2(1):17-24.
- Fauzi A. 2014. *Valuasi ekonomi dan penilaian kerusakan sumberdaya alam dan lingkungan*. Bogor: IPB Press.
- Fuadi NA, Purwanto MYJ, Tarigan SD. 2016. Kajian kebutuhan air dan produktivitas air padi sawah dengan sistem pemberian air secara SRI dan konvensional menggunakan irigasi pipa. *J Irig*, 11(1):23–32. <https://doi.org/10.31028/ji.v11.i1.23-32>
- Gunawan, Priyanto R, Salundik. 2015. Analisis lingkungan sekitar tambang nikel terhadap kualitas ternak sapi pedaging di Kabupaten Halmahera Timur. *J Ilmu Prod Teknol Has Peternak*. 3(1):59–64.
- Hartono R. 2024. Identifikasi bentuk erosi tanah melalui interpretasi citra Google Earth di wilayah Sumber Brantas Kota Batu. *J Pendidik Geografi*. 21(1):30–43. <https://citeus.um.ac.id/jpg/vol21/iss1/4/>.
- Haryanto, B, Mubekti, Putranto AT. 2015. Potensi dan pemanfaatan pati sagu dalam mendukung ketahanan pangan di Kabupaten Sorong Selatan Papua Barat. *J Pangan*. 24(2):97–106.
- Jafar N, Thamsi AB, Aprilia RD, Aswadi M. 2022. Analisis kualitas tanah pada lahan bekas tambang nikel di Desa Ussu Kecamatan Malili Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan. *J Geosapta*, 8(2):85–90. <https://doi.org/10.20527/jg.v8i2.11652>
- Kementerian ESDM 2015. Dampak pembangunan smelter di Kawasan Ekonomi Khusus Provinsi Sulawesi Tenggara. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Pusat Data dan Teknologi Informasi.

- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2011. Panduan valuasi ekonomi kegiatan pertambangan. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Kristanto P. 2013. Ekologi industri. Ed ke-2. Sleman: Andi Publisher.
- Laksono FAT, Permanajati I, Mualim R. 2020. Analisis kualitas air di lahan reklamasi pertambangan nikel Desa Mohoni, Petasia Timur, Morowali Utara. *J Sains Teknol Ling*, 6(1):96–104. <https://doi.org/10.29303/jstl.v6i1.142>
- Lusia M, Astuti DT, Sofian A. 2023. Maria Lusia, Dessy Tri Astuti, Ahmad Sofian. Kajian pemanfaatan lahan reklamasi pasca tambang sebagai lahan pertanian. *Klorofil J Penelit Ilmu-Ilmu Pertan*. 18(1):30–32.
- Munzir T, Akbar H, Rafli M. 2019. Kajian erosi tanah dan teknik konservasi tanah di sub DAS Krueng Pirak Kabupaten Aceh Utara. *J Agrium* [Internet]. [accessed 2025 Jul 25]; 16(2):126–134. <https://ojs.unimal.ac.id/index.php/agrium/article/view/1941>
- Mustafa M, Maulana A, Irfan UR, Tonggiroh A. 2022. Evaluasi kesuburan tanah pada lahan pasca tambang nikel laterit Sulawesi Tenggara. *Ilmu Alam Lingkung*. 13(1):52–56.
- Nardi N, Nugraha AT, Aminudin I. 2021. Peran embung terhadap indeks pertanaman padi dan faktor yang mempengaruhi produksi padi (Studi kasus lokasi embung Kabupaten Bogor, Jawa Barat). *Buana Sains*. 21(1):39–50.
- Nasir DA, Hambali R. 2016. Studi optimasi pola tanam jaringan irigasi Desa Rias dengan program linear. *J Forum Prof Tek Sipil*. 4(1):1–14.
- Nuraeni Y. 2018. Dampak perkembangan industri pertambangan nikel terhadap kondisi sosial, ekonomi dan budaya masyarakat. Seminar Nasional Edusainstek FMIPA Unimus 2018: Pelajaran Kolaborasi Berbasis ICT menuju Era Revolusi Industri 4.0; 2018 Okt 6; Semarang, Indonesia. Semarang: Universitas Muhammadiyah Semarang. p. 12–22.
- Nurhayat, Igo-BD A, Nia M, Syata WN. 2023. Dampak pertambangan nikel terhadap ekonomi masyarakat. *J Online Program Stud Pendidik Ekon*. 8(3):404–416. <https://doi.org/10.36709/jopspe.v8i3.152>
- Peribadi P, Kasim SS, Juhaepa J, Sarmadan S, Samsul S, Montasir LO. 2020. Pertambangan nikel dan problematikanya (studi fenomenologi di Kabupaten Konawe Selatan). *Etnoreflika J Sos Bud*. 9(3):299–312.
- Prandoni T. 2022. Efektifitas Bendungan Gesing Kerjo dalam Penanggulangan Dampak Timbunan Lumpur Akibat Muatan Transport Sedimen. *Surakarta Civil Eng Rev*. 2(2):9–20.
- Pratama ZW, Syarif M, Junedi H. 2022. Dampak erosi terhadap kehilangan hara makro pada lahan agroforestry kopi dan kayu manis di Kecamatan Siulak Kabupaten Kerinci. *J Agroecotania*. 5(2):14–22.
- Putri EIK, Maresfin N. 2015. Ekonomi lingkungan: tinjauan teoritis dan kajian praktis. Bogor: IPB Press.
- Rosita R, Kurniati E. 2022. Analisis pengaruh sedimentasi terhadap sistem kebutuhan petani pada Bendung di Desa Kalabeso Kecamatan Buer, Kabupaten Sumbawa. *J Kacapuri J Keilmuan Tek Sipil*. 5(1):318. <https://doi.org/10.31602/jk.v5i1.7561>
- Rustanto A. 2019. Dinamika erosi tanah dan krisis ekonomi-era reformasi di Daerah Aliran Sungai Serayu Hulu. *J Geog Lingkung Trop*. 3(1):41–47.
- Sandro Y, Saputra SW, Wijayanto D. 2018. Valuasi ekonomi manfaat langsung dan tidak langsung kawasan Waduk Cengklik, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah. *Manag Aquatic Res*.. 6(3):326–332.
- Sari AK. 2019. Analisis kebutuhan air irigasi untuk lahan persawahan Dusun To'Pongo Desa Awo Gading Kecamatan Lamasi. *Pena Teknik J Ilm Ilmu-Ilmu Teknik*. 4(1):47-51.
- Siahaan R, Ai NS, dan Rengkung FR. 2020. Peranan vegetasi riparian dalam mencegah erosi Tebing Suangi Ranoyapo bagian hulu, Kabupaten Minahasa Selatan, Provinsi Sulawesi Utara. *J Lentera Penelit Pengab Masyarakat*. 1(1):10-12.
- Sittadewi EH. 2016. Mitigasi lahan terdegradasi akibat penambangan melalui revegetasi. *J Sains Teknol Mitigasi Bencana*. 11(2):50–60.
- Sofiana S, Solichin A, Wijayanto D. 2016. Valuasi ekonomi manfaat langsung dan tidak langsung kawasan Waduk Malahayu, Kabupaten Brebes. *Manag Aquatic Res* J. 5(3):119–126.
- Sumarwoto O. 1989. Analisis dampak lingkungan. Yogyakarta: Gadjah Mada Univesity Press.
- Suriyani-BB. 2019. Dampak positif aktivitas pertambangan nikel terhadap kondisi sosial ekonomi masyarakat di Kecamatan Tinanggea Kabupaten Konawe Selatan. *J Publicuho*. 2(1):58–64. <http://dx.doi.org/10.35817/jpu.v2i1.6210>
- Susetyaningsih A, Permana S. 2016. Pengaruh sedimentasi terhadap penyaluran debit pada daerah irigasi Cimanuk. *J Konstruk*. 14(1):149-153.

- Susilo GE. 2019. Pengaruh rehabilitasi jaringan irigasi dan kapasitas tampung waduk terhadap kenaikan produktivitas tanam di daerah irigasi. *Rekayasa Sipil*. 13(1):9–15.
- Sutrisno J. 2012. Valuasi ekonomi erosi lahan pertanian di sub Daerah Aliran Sungai Keduang Kabupaten Wonogiri. *SEPA J Sos Ekon Pertan Agribisnis*. 8(2):51–182.
- Sutrisno, Kuntyastuti H. 2015. Pengelolaan cemaran kadmium pada lahan pertanian di Indonesia. *Bul Palawija*. 13(1):83–91.
- Syarifuddin N. 2022. Pengaruh industri pertambangan nikel terhadap kondisi lingkungan maritim di Kabupaten Morowali. *J Ris Teknol Terap Kemaritiman*. 1(2):19–23. <https://doi.org/10.25042/jrt2k.122022.03>
- Tarigan R. 2005. Ekonomi regional teori dan aplikasi. Jakarta Timur: PT Bumi Aksara.
- Trianto. 2016. Analisis laju sedimentasi terhadap ketersediaan air irigasi dan arahan konservasi pada Bendung Lakitan. *J Tek Pengair*. 7(1):95–106.
- Wiranto H, Noerhayati E, Rachmawati A. 2024. Analisis sedimentasi pada Bendungan Pandanduri, Lombok Nusa Tenggara Barat. *J Rekayasa Sipil*. 14(2):1–10.
- Yulies US, Hazriani R, Maulidi M. 2022. Uji kombinasi dosis biochar tankos dan kotoran ayam untuk perbaikan kesuburan tanah sawah. *Pedontropika J Ilmu Tanah Sumber Daya Lahan*. 8(2):50–60. <https://doi.org/10.26418/pedontropika.v8i2.59150>
- Yusuf SM, Murtilaksono K, Laraswati DM. 2020. Pemetaan sebaran erosi tanah prediksi melalui integrasi model USLE ke dalam Sistem Informasi Geografi. *J Pengelolaan Sumberd Alam Lingkung*. 10(4): 594–606. <https://doi.org/10.29244/jpsl.10.4.594-606>
- Zam ZZ, Putrawan IM. 2020. Evaluasi kebijakan pengelolaan lingkungan pertambangan di Pulau Obi Provinsi Maluku Utara. *J Pendidik Lingkung Pembang Berkelanjutan*. 21(02):58–68. <https://doi.org/10.21009/PLPB.212.05>
- Zainuddin Z. 2021. Dampak dana alokasi khusus pertanian dan irigasi terhadap produksi padi sawah dan ketahanan pangan kabupaten/kota di Provinsi Jambi. *J MeA (Media Agribisnis)*. 6(2):73–85. <https://doi.org/10.33087/mea.v6i2.98>