

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pertambangan Batubara

Menurut Fadelan, (2017), sektor pertambangan merupakan salah satu sektor unggulan sebagai penunjang ekonomi di Kabupaten Berau. Kabupaten Berau yang sebagian besar wilayah nya merupakan area pertambangan, mendapatkan julukan emas hitam karena melimpahnya sumber daya alam, khususnya batubara. Salah satu perusahaan utama yang berkontribusi dalam eksploitasi sumber daya ini adalah PT. Berau Coal, yang telah beroperasi sejak tahun 1983 (PT. Berau Coal Energy Tbk, 2023). Sebagai perusahaan terbesar di wilayah tersebut, PT. Berau Coal memainkan peran penting dalam perekonomian daerah dengan menyediakan lapangan pekerjaan, menaikkan pendapatan daerah melalui pajak dan royalti, serta pengadaan infrastruktur pendukung seperti jalan, jembatan, dll. Namun, keberadaannya juga menimbulkan tantangan dalam menjaga keseimbangan antara keuntungan ekonomi dan kelestarian lingkungan.

Walaupun menjadi penunjang pada sektor ekonomi, aktivitas pertambangan batubara seperti yang dilakukan oleh PT. Berau Coal telah berkontribusi pada peningkatan kerusakan di permukaan bumi akibat dari penggaliann tanah dalam skala besar (Wijaya dan Putra, 2024). Penggalian ini sering kali menyebabkan kerusakan ekosistem di sekitarnya, termasuk aliran sungai yang terganggu karena sedimentasi dan pengalihan alur air. PT. Berau Coal telah berusaha menerapkan penambangan berkelanjutan dengan melakukan reklamasi pada lahan bekas tambang (PT. Berau Coal Energy Tbk, 2023). Namun, tantangan tetap ada, terutama dalam memastikan bahwa kerusakan terhadap ekosistem, seperti hilangnya flora dan fauna, dapat diminimalkan dan dipulihkan dengan cepat.

Aktivitas pertambangan yang terus-menerus dilakukan oleh perusahaan seperti PT. Berau Coal, terdapat dampak nyata berupa rusaknya kualitas dan kuantitas lahan hijau. Wilayah yang dulunya berupa hutan atau vegetasi alami kini berubah menjadi lahan terbuka (*open pit mining*), yang mengurangi kualitas dan kuantitas lahan hijau. Selain itu limbah dari kegiatan pertambangan yang dihasilkan dapat mencemari air, tanah, dan udara karena mengandung arsenik, merkuri, berilium, timbal, dan sebagainya (Rahma, N.D. dkk., 2022). Upaya seperti pengolahan limbah sebelum dibuang dan monitoring kualitas lingkungan sudah dilakukan oleh PT. Berau Coal, akan tetapi efektivitasnya sering dipertanyakan oleh masyarakat lokal (PT. Berau Coal Energy Tbk, 2023).

Kegiatan pertambangan batubara, seperti yang dilakukan oleh PT. Berau Coal, menimbulkan dampak yang serius pada lingkungan termasuk perubahan bentang lahan, penurunan kualitas perairan. Selain itu, aktivitas pertambangan sering kali mengancam keanekaragaman hayati karena hilangnya habitat alami akibat pembukaan lahan tambang (Raden. dkk., 2010; Fitriyani, (2016) ;Marlina dan Furqan, 2024). Sebagai bagian dari tanggung jawabnya, PT. Berau Coal telah menjalankan program reklamasi lahan, penghijauan, dan konservasi untuk meminimalkan dampak negatif tersebut (PT. Berau Coal Energy Tbk, 2023). Meskipun demikian, implementasi dan hasil dari program-program ini memerlukan pengawasan lebih lanjut untuk memastikan keberlanjutannya.

2.2 Pentingnya Revegetasi Pada Lahan Pasca Tambang

Menurut (Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral, 2020). kegiatan pertambangan batubara berpotensi menyebabkan penurunan kualitas lingkungan, sehingga diperlukan penerapan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan. Di Indonesia, konsep pembangunan berkelanjutan dilakukan secara sadar dan terencana dengan memadukan aspek lingkungan hidup, termasuk sumber daya alam, untuk menjamin keberlanjutan kemampuan lahan, kesejahteraan, dan mutu hidup generasi saat ini maupun generasi mendatang. Sebagai bentuk penerapan, konsep ini, pemerintah menegaskan kewajiban setiap perusahaan tambang untuk melaksanakan reklamasi sebagai upaya pemulihan lahan agar dapat dimanfaatkan kembali secara berkelanjutan. Keberlanjutan hidup generasi mendatang sangat dipengaruhi oleh kualitas dan kuantitas sumber daya lahan, yang memiliki peranan penting dalam mendukung pembangunan suatu negara. Untuk menjaga kualitas dan kuantitas lahan tersebut, pemerintah mengupayakan program konservasi tanah dan air agar lahan tidak mengalami degradasi yang dapat memberikan dampak negatif di masa depan (Mamuko, F. dkk., 2016)

Sebagai bagian dari kewajiban reklamasi, PT. Berau Coal melaksanakan proses revegetasi pada lahan pascatambang yang dikelolanya. Proses ini merupakan upaya penting dalam perbaikan kawasan, terutama lahan bekas tambang yang rusak. Menurut Sarita (2017), revegetasi adalah kegiatan penghijauan atau penanaman kembali untuk memulihkan fungsi ekologis lahan. Melalui revegetasi, fungsi lahan dapat dikembalikan seperti semula dengan berbagai manfaat, termasuk mengurangi erosi, meningkatkan kualitas tanah, serta memperkaya keanekaragaman hayati (Riyo. dkk., 2024). Dalam praktiknya, revegetasi melibatkan pembangunan tanaman untuk menutup kembali lahan terbuka dengan jenis tanaman tertentu yang sesuai dengan kondisi lingkungan lokal (Noor, A.H. dkk., 2021). Langkah-langkah ini dilakukan oleh PT. Berau Coal sebagai bagian dari tanggung jawabnya dalam reklamasi. Dengan demikian, reklamasi dan revegetasi yang dilakukan perusahaan tidak hanya memulihkan kondisi lahan

pascatambang tetapi juga mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan yang berfokus pada keseimbangan ekologi, sosial, dan ekonomi.

2.3 Penginderaan Jauh Untuk Pemantauan Revegetasi

Penginderaan jauh, sebagai teknologi yang memungkinkan pengambilan informasi tentang Kondisi fisik suatu wilayah tanpa kontak langsung (Yurianda, R.B. dkk., 2022), penginderaan jauh memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung kegiatan revegetasi lahan pasca tambang. Dalam konteks Kegiatan yang dilakukan oleh PT. Berau Coal, teknologi ini dimanfaatkan untuk memantau perkembangan lahan pasca tambang yang direhabilitasi dengan kombinasi tanaman pokok dan tanaman sisipan. Sesuai dengan konsep yang diungkapkan oleh (Karyati, 2018), revegetasi melibatkan berbagai tahap, mulai dari pembibitan, penataan lahan, penanaman, hingga pemeliharaan tanaman, di mana masing-masing tahap memerlukan pemantauan yang cermat untuk memastikan keberhasilan rehabilitas.

Penginderaan jauh memberikan kemampuan untuk memetakan area yang membutuhkan rehabilitasi, memantau kondisi lahan, dan mengevaluasi keberhasilan revegetasi secara efisien dan akurat. Menurut (Kartika. dkk., 2020), dengan penginderaan jauh ini memungkinkan *monitoring* terhadap aktivitas di lahan pasca tambang. Khususnya dalam mengidentifikasi tingkat kerapatan vegetasi melalui analisis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Kelas NDVI terbagi dalam :

Tabel 1 Klasifikasi Kesehatan Tanaman

Kelas NDVI	Kisaran Nilai NDVI
Non Vegetasi	0 s.d 0.11
Tanaman Tidak Sehat	0.11 s.d 0.22
Tanaman Normal	0.22 s.d 0.42
Tanaman Sehat	0.42 sd 0.92

Sumber: (Rahaldi dkk, 2013)

PT. Berau Coal dapat memanfaatkan penginderaan jauh untuk melakukan *monitoring* kondisi vegetasi pada lahan pascatambang yang direhabilitasi. Melalui analisis NDVI, perusahaan dapat mengevaluasi tingkat kesehatan vegetasi dan mengidentifikasi area yang memerlukan tindakan perbaikan lebih lanjut. Dengan memanfaatkan penginderaan jauh, PT. Berau Coal tidak hanya dapat meningkatkan efisiensi dalam pemantauan dan pengelolaan lahan pascatambang, tetapi juga memastikan keberhasilan program revegetasi yang bertujuan untuk mengembalikan fungsi ekologis lahan

2.4 Pengaruh Kesuburan Tanah, NDVI, Dan Curah Hujan Terhadap Kesehatan Tanaman

Kesuburan tanah merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi pertumbuhan tanaman, karena kemampuan tanah menyediakan unsur hara yang cukup sangat diperlukan untuk mendukung proses fisiologis tanaman. Berdasarkan pernyataan (Nganji dan Sudarma 2023) keberagaman kandungan unsur hara di tanah pertanian dapat memengaruhi kualitas pertumbuhan tanaman. Selain itu, seperti yang disampaikan oleh (Azurianti. dkk., 2022)., tingkat produksi tanaman sangat dipengaruhi oleh kualitas tanah dan ketersediaan unsur hara. Dalam konteks revegetasi lahan pasca-tambang PT. Berau Coal, penilaian kesuburan tanah menjadi langkah penting untuk mengkaji kesehatan tanaman, karena revegetasi bergantung pada kemampuan tanah yang telah terdegradasi untuk mendukung pertumbuhan tanaman.

Kerapatan vegetasi merupakan tingkat kepadatan atau Jumlah tumbuhan yang ada pada suatu area. Kerapatan vegetasi akan memberikan informasi bagaimana keadaan dari ekosistem dan Kesehatan lingkungan tersebut. Semakin tinggi kerapatan vegetasi semakin banyak tumbuhan yang tumbuh pada area tersebut. Adanya kerapatan vegetasi yang tinggi seringkali dikaitkan dengan lingkungan yang subur dan sehat. (Latue. dkk., 2023). Untuk mengukur kerapatan vegetasi, dalam (Brillyansyah. dkk., 2024), disebutkan bahwa perhitungannya digunakan metode NDVI menggunakan data citra landsat 9. Penggunaan citra ini dinilai sangat efektif untuk analisis kondisi vegetasi karena mengukur perbedaan reflektansi dari cahaya merah dan infrared pada area pemantauan.

Iklim merupakan salah satu faktor dalam pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Iklim menjadi salah satu faktor penting karena semakin besarnya tanaman dan semakin banyaknya jumlah rumpun tanaman dipengaruhi oleh unsur iklim salah satunya adalah curah hujan (Mananohas. dkk., 2019). Intensitas curah hujan biasanya dikaitkan dengan keragaman hasil tanaman yang dicerminkan dalam bentuk produksi atau produktivitasnya (Suciantini, 2015).

Berdasarkan klasifikasi Schmidt-Ferguson, kelas klasifikasi tipe iklim dibagi menjadi :

Tabel 2 Klasifikasi iklim menurut Schmidt-Ferguson

Tipe Iklim	Nilai Q	Kriteria
A	$0 < Q < 0,143$	Sangat Basah
B	$0,143 < Q < 0,333$	Basah
C	$0,333 < Q < 0,600$	Agak Basah
D	$0,600 < Q < 1000$	Sedang
E	$100 < Q < 1670$	Agak Kering
F	$1670 < Q < 3000$	Kering
G	$3000 < Q < 7000$	Sangat Kering
H	$7000 - Q$	Luar Biasa Kering

Sumber: (Lakitan, 2002)

Data CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data*) telah banyak digunakan dalam analisis curah hujan di Indonesia. Dengan mengombinasikan data citra satelit dan pengamatan cuaca dari stasiun lokal, CHIRPS mampu menyediakan estimasi curah hujan yang akurat dengan resolusi spasial yang tinggi. Informasi ini membantu peneliti dalam memantau tren curah hujan jangka panjang, mengidentifikasi anomali, serta mengembangkan model prediksi yang mendukung perencanaan pengelolaan sumber daya air dan sektor pertanian di tengah tantangan perubahan iklim. Berbagai penelitian telah memanfaatkan analisis berbasis data CHIRPS untuk merumuskan strategi adaptasi yang lebih efektif, yang diharapkan dapat meningkatkan ketahanan produksi pertanian di Indonesia (Suryanto & Ramadhan, 2016; Handayani dkk., 2018).

2.5 Regresi Linear Berganda untuk Analisis Kesehatan Tanaman

Analisis regresi adalah metode statistik yang digunakan untuk menjelaskan hubungan antara dua variabel, yaitu variabel terikat (Y) dan variabel bebas (X). Terdapat dua jenis regresi yang umum digunakan, yaitu analisis regresi linear sederhana dan analisis regresi linear berganda. Regresi linear sederhana adalah teknik analisis yang fokus pada hubungan antara satu variabel terikat dan satu variabel bebas. Di sisi lain, analisis regresi linear berganda adalah model regresi yang melibatkan lebih dari satu variabel bebas, memungkinkan untuk menganalisis pengaruh beberapa faktor terhadap variabel terikat secara simultan (Helma dan Prasetyo, 2022). Metode regresi linear berganda digunakan karena kesehatan tanaman (Y) dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan (X) yang saling berkaitan. Parameter NDVI dapat merepresentasikan kondisi vegetasi secara kuantitatif melalui citra satelit, curah hujan menjadi faktor iklim utama yang

menentukan ketersediaan air bagi pertumbuhan tanaman, sedangkan kesuburan tanah mencerminkan ketersediaan unsur hara yang menunjang produktivitas vegetasi. Dengan menggabungkan ketiga variabel bebas tersebut ke dalam model regresi linear berganda, dapat diperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai seberapa besar pengaruh faktor biofisik terhadap kesehatan tanaman, sekaligus mengidentifikasi variabel mana yang paling dominan mempengaruhi perubahan kondisi vegetasi di area penelitian.

2.6 Penelitian Sebelumnya

Pada sub bab ini membahas penelitian terdahulu yang relevan dengan topik yang dikaji:

Table 1 Penelitian Sebelumnya

Judul Penelitian, Nama Peneliti, Tahun Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
Analisis Kualitas Hidup Dan Kesehatan Tanaman Pokok Di Desa Rantau Bakula Oleh Pd. Baramarta Kabupaten Banjar Kalimantan Selatan, (Arief Eddy Suprpto, Gusti Syeransyah Rudy, dan Setia Budi Peran), 2022	Observasi Lapangan	Pada penelitian nya dikatakan bahwa suatu perusahaan wajib untuk melakukan reboisasi lahan dan melakukan penanaman dalam rangka reklamasi dari area operasional yang sudah digunakannya. Pelaksanaan reklamasi memerlukan serangkaian tindakan-tindakan agar kegiatan reklamasi nya, untuk mengetahui tingkat keberhasilan reklamasi diperlukan tingkat evaluasi kesehatan tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesehatan tanaman yang ada pada area reklamasi.
Metode Klasifikasi Normalized Difference Vegetation Index Berbasis Citra Landsat 8I untuk Identifikasi Sebaran Kondisi Kesehatan Tanaman Kelapa Sawit di PT. Andira Agro, Sumatera Selatan, (Rosa Bela Yurianda, Dwi	Penginderaan Jauh Klasifikasi NDVI	Kesehatan tanaman adalah hal yang penting karena mempengaruhi produktivitas tanaman dan keberlanjutan produksi tanaman tersebut. Pengamatan kesehatan tanaman dapat dilakukan dengan menggunakan metode NDVI berbasis citra untuk menganalisis tingkat kehijauan daun.

Setyawan, Warsito), 2022		
Analisis Kerapatan Vegetasi Berbasis Data Citra Satelit Landsat Menggunakan Teknik NDVI di Kota Bandung Tahun 1990 dan 2017, (Rika Hernawati dan Soni Darmawan), 2018	Penginderaan Jauh Klasifikasi NDVI	Keberadaan vegetasi dapat diidentifikasi dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh dan memanfaatkan metode NDVI untuk menganalisis tingkat kerapatan dan perubahan vegetasi menggunakan citra satelit Landsat. Hasil dari penelitian ini adalah ada 5 kelas NDVI yaitu kelas non vegetasi, kelas tingkat kehijauan sangat rendah, kelas tingkat kehijauan rendah, kelas tingkat kehijauan sedang, dan kelas tingkat kehijauan tinggi.
Estimasi Tingkat Produktivitas Padi Berdasarkan Algoritma Ndvi, Evi Dan Savi Menggunakan Citra Sentinel-2 Multitemporal, (Dita Ariani, Yudo Prasetyo, Bandi Sasmito), 2020	Penginderaan Jauh Klasifikasi NDVI Klasifikasi EVI Klasifikasi SAVI	Penginderaan Jauh Adalah Teknologi Yang Unggul Karena Terkait Dengan Pemrosesan Data Dan Informasi Yang Cepat Dan Akurat. Pada Penelitian Ini Digunakan Citra Satelit Sentinel-2a Untuk Menerapkan Algoritma NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Untuk Mengetahui Nilai Indeks Vegetasi Dan Pembuatan Model Nilai Indeks Vegetasi Yang Didasarkan Pada Analisis Regresi Untuk Mendeskripsikan Nilai Produktivitas Padi
Evaluasi Kondisi Kebun Kelapa Sawit Menggunakan Indeks NDVI dari Citra Satelit Sentinel 2, (Betti Yuniasih, Alief Rizky Purnama Adji), 2022	Penginderaan Jauh Klasifikasi NDVI	Digunakan citra satelit Sentinel 2 yang merupakan citra satelit beresolusi sedang yang dapat dimanfaatkan untuk pemantauan kondisi kebun kelapa sawit menggunakan analisis NDVI yang menghitung nilai reflektansi pada band merah dan inframerah dekat dari pelepah daun kelapa sawit. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk analisis kondisi kerapatan dan kesehatan tanaman kelapa sawit. Dengan pemanfaatan citra satelit

		ini dapat menjadi alternatif untuk proses evaluasi kebun kelapa sawit secara cepat dan efisien
Suhu Dan Kelembaban Tanah Pada Lahan Revegetasi Pasca Tambang Di Pt Adimitra Baratama Nusantara, Provinsi Kalimantan Timur, (Karyati, Rani Octaviani Putri, dan Muhammad Syafrudin), 2018	Observasi Lapangan Pengukuran Suhu Dan Kelembapan Tanah	Dikatakan bahwa upaya revegetasi pada lahan pasca tambang diharapkan akan memperbaiki sifat-sifat tanah, pemulihan kesuburan tanah, serta perbaikan iklim mikro tanah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk analisis karakteristik suhu dan kelembaban tanah pada lahan revegetasi berbeda umur.
Pemetaan Tingkat Kerapatan Vegetasi di Kota Palu Menggunakan Citra Sentinel 2A, (Muhammad Adam Suni, Ramad Arya Fitra, Busranuddin Daeng Masserang, Birgitta Karlina Pritta	Observasi Lapangan Klasifikasi NDVI	Dilakukan pemantauan luas area bervegetasi dan tingkat kerapatan vegetasi dengan menggunakan penginderaan jauh dengan metode Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) yang memanfaatkan citra Sentinel-2A dan survei langsung dilapangan. Hasil penelitian adalah 4 kelas tingkat kerapatan vegetasi.
Analisis Dampak Lingkungan Terhadap Industri Batu Bara, (Eka Dewi Fithrotunnisa, Oka Barokallah, Dewi Robiatun Muharomah, Maya Rahayu), 2024	Studi Kepustakaan	Pada penelitian nya disebutkan bahwa keberadaan pertambangan batubara menyebabkan perubahan bentang alam, menurun nya kesuburan tanah, adanya ancaman terhadap keanekaragaman hayati, menurun nya kualitas air, menurun nya kualitas udara, dan terjadinya pencemaran lingkungan. Adanya aktivitas pertambangan meninggalkan lubang tambang dan air asam tambang, yang akan berpotensi menimbulkan dampak lingkungan terkait kualitas air dan kualitas udara.

2.6.1 Penelitian Yang Dilakukan

Penelitian ini berfokus pada analisis kesehatan vegetasi di area revegetasi PT. Berau Coal menggunakan metode *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) berbasis penginderaan jauh. NDVI digunakan sebagai indikator utama untuk menilai kondisi vegetasi pasca tambang. Selain itu, penelitian ini juga mengidentifikasi faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap kondisi vegetasi, khususnya curah hujan dan kesuburan tanah. Curah hujan memengaruhi ketersediaan air bagi tanaman, sementara kesuburan tanah menentukan kandungan unsur hara yang mendukung pertumbuhan vegetasi. Analisis korelasi dilakukan untuk mengetahui sejauh mana kedua faktor tersebut berkontribusi terhadap tingkat kesehatan vegetasi di area reklamasi. Dengan pendekatan ini, penelitian bertujuan untuk mengevaluasi keberhasilan upaya reklamasi yang telah dilakukan serta memberikan pemahaman mengenai faktor lingkungan yang paling berpengaruh terhadap perkembangan vegetasi di lahan pascatambang.