

Analisis Vegetasi pada Lahan Bekas Tambang Pasir di Desa Kepuharjo, Cangkringan, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

Tarisa Indriani Dewi^{*)}, Suprih Wijayani, M. Darul Falah

Program Studi Kehutanan, Fakultas Kehutanan INSTIPER Yogyakarta

^{*)}E-mail Korespondensi: tarisaindrianidewi@gmail.com

ABSTRAK

Analisis vegetasi merupakan metode penting untuk menilai struktur komunitas tumbuhan, dominansi spesies, serta dinamika suksesi pada ekosistem yang mengalami degradasi, termasuk lahan bekas tambang pasir yang intensif dieksploitasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi komposisi jenis, spesies dominan, dan tingkat keanekaragaman vegetasi di lahan bekas tambang pasir Desa Kepuharjo, Kapanewon Cangkringan. Metode systematic random sampling dengan rancangan nested plot digunakan untuk mengamati empat tingkat pertumbuhan: semai, pancang, tiang, dan pohon. Hasil penelitian menemukan 13 spesies dari 6 famili, dengan dominansi kuat oleh *Falcataria moluccana*, *Acacia mangium*, dan *Acacia decurrens* yang menunjukkan kemampuan adaptasi tinggi pada lahan berpasir miskin hara. Nilai keanekaragaman jenis (H') berada pada kategori rendah hingga sedang, sedangkan kemerataan jenis (E') tergolong sedang hingga tinggi. Temuan ini menegaskan bahwa proses regenerasi telah berlangsung dan struktur komunitas vegetasi mulai menunjukkan kestabilan awal, sehingga lahan memiliki potensi besar untuk dipulihkan melalui program revegetasi berkelanjutan.

Kata kunci: analisis vegetasi, suksesi, INP, keanekaragaman hayati, lahan bekas tambang, revegetasi.

PENDAHULUAN

Aktivitas penambangan pasir di lereng Gunung Merapi, khususnya di Desa Kepuharjo, telah menimbulkan kerusakan ekologis yang signifikan, mencakup hilangnya tutupan vegetasi, penurunan kualitas tanah, serta terganggunya fungsi ekosistem. Lahan bekas tambang yang miskin hara dan rentan terhadap erosi menyebabkan proses suksesi alami berjalan lambat dan tidak merata. Dalam konteks ini, analisis vegetasi menjadi penting untuk memahami struktur komunitas tumbuhan, mengidentifikasi spesies dominan, serta menilai tahap pemulihan ekosistem yang sedang berlangsung. Informasi tersebut dapat menjadi dasar ilmiah dalam merancang strategi revegetasi dan rehabilitasi lahan yang efektif.

Penelitian ini bertujuan untuk menginventarisasi komposisi vegetasi pada empat tingkat pertumbuhan, menentukan spesies dominan melalui perhitungan Indeks Nilai Penting (INP), serta mengevaluasi keanekaragaman dan kemerataan jenis pada lahan bekas tambang pasir di Desa Kepuharjo. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi vegetasi saat ini, sekaligus menjadi landasan bagi perencanaan rehabilitasi ekosistem yang berkelanjutan dan berbasis bukti ilmiah.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada lahan bekas tambang pasir di Desa Kepuharjo, Kapanewon Cangkringan, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, pada waktu yang telah ditentukan. Pengumpulan data dilakukan menggunakan metode *systematic sampling with random start* dengan rancangan *nested plot* untuk menggambarkan struktur vegetasi pada berbagai tingkat pertumbuhan. Seluruh jenis vegetasi yang ditemukan di lokasi dicatat menggunakan alat bantu seperti meteran, avenza, kompas, tali rafia, kalkulator, dan formulir pencatatan. Data yang diperoleh kemudian dianalisis melalui perhitungan kerapatan, frekuensi, dan dominansi sebagai dasar penentuan Indeks Nilai Penting (INP), serta dihitung indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H') dan pemerataan jenis Pielou (E') untuk mengetahui struktur dan dinamika komunitas vegetasi pada lahan bekas tambang tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Komposisi jenis

Tabel 1. Jumlah spesies yang ditemukan di bekas tambang pasir merapi

No.	Jenis	Nama Ilmiah	Famili	Tingkat			
				Semai	Pancang	Tiang	Pohon
1.	Jambu Biji*	<i>Psidium guajava</i>	<i>Myrtaceae</i>	✓	✓	-	-
2.	Sengon	<i>Falcataria moluccana</i>	<i>Fabaceae</i>	✓	✓	✓	✓
3.	Mindi	<i>Melia azedarach</i>	<i>Meliaceae</i>	-	-	-	✓
4.	Ketapang	<i>Terminalia catappa</i>	<i>Combretaceae</i>	-	✓	✓	-
5.	Mangium	<i>Acacia mangium</i>	<i>Fabaceae</i>	-	✓	✓	✓
6.	Sirsak*	<i>Annona mucirata</i>	<i>Annonaceae</i>	-	✓	-	-
7.	Leda	<i>Eucalyptus Deglupta</i>	<i>Myrtaceae</i>	-	-	-	✓
8.	Jengkol	<i>Archidendron pauchflorum</i>	<i>Fabaceae</i>	-	✓	-	-
9.	Dekuren	<i>Acacia decurrens</i>	<i>Fabaceae</i>	-	-	✓	-
10.	Salam	<i>Syzygium polyanthum</i>	<i>Myrtaceae</i>	-	✓	-	-
11.	Kopi*	<i>Coffea arabica</i>	<i>Rubiaceae</i>	✓	-	-	-
12.	Mahoni	<i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Meliaceae</i>	-	-	✓	-
13.	Gamal	<i>Gliricidia sepium</i>	<i>Fabaceae</i>	-	-	✓	✓

Berdasarkan hasil Inventarisasi pada kawasan bekas tambang pasir Kawasan Bekas Tambang Pasir Merapi di kelurahan kepuharjo (total area 7,78 ha; 20 plot) mengungkap 13 spesies vegetasi dari 6 famili, pada berbagai tingkat pertumbuhan dari semai hingga pohon menandakan bahwa regenerasi vegetasi telah berlangsung meskipun substrat tanah miskin hara dan kondisi lingkungan terdegradasi. Hasil identifikasi juga terdapat 3 jenis tanaman perdu yaitu kopi, sirsak dan jambu biji yang tidak termasuk ke dalam tanaman hutan. Tanaman perdu merupakan tanaman berkayu yang berukuran

pendek dan memiliki percabangan dari bagian bawah dekat tanah serta tidak memiliki batang utaman yang jelas, berbeda dengan pohon (Yulistyarini et al., 2019). Spesies sengon merupakan spesies yang paling mendominasi di tingkat fase pertumbuhan, dikarenakan sengon merupakan salah satu jenis spesies selain mangium yang di tanam untuk revegetasi lahan.

Famili Fabaceae mendominasi komunitas, mencakup *Falcataria moluccana*, *Acacia mangium*, *Acacia decurrens*, *Archidendron pauciflorum*, dan *Gliricidia sepium*. Dominasinya dapat dipahami dari karakter ekologis legum: toleransi terhadap tanah miskin hara dan kemampuan fiksasi nitrogen melalui simbiosis dengan bakteri akar, sehingga legum menjadi spesies pionir yang ideal untuk revegetasi lahan terdegradasi. Penggunaan pohon legum dan tumbuhan pengikat nitrogen secara konsisten direkomendasikan dalam upaya restorasi lahan agar siklus karbon dan nitrogen bisa dipulihkan pada substrat rusak. (Hu et al., 2023)

Selain itu, komunitas vegetasi juga memuat spesies dari famili toleran/sub-pionir termasuk dari famili seperti *Myrtaceae*, serta famili lain (misalnya *Meliaceae*, *Combretaceae*, *Annonaceae*, *Rubiaceae*) meskipun dengan frekuensi lebih rendah, menunjukkan bahwa komunitas telah mulai beragam. Pola komposisi seperti ini menunjukkan perpindahan bertahap dari komunitas pionir dominan pada tanaman legum menuju komunitas yang lebih heterogen dan ekologis resilient.

Dengan demikian, struktur komunitas yang muncul di lokasi menunjukkan pola pemulihan alami khas lahan bekas tambang, di mana fase awal umumnya didominasi oleh tanaman legum pionir cepat tumbuh dan pengikat nitrogen, kemudian diikuti oleh masuknya spesies toleran atau sub-pionir lainnya. Pola suksesi ini sesuai dengan pedoman pemulihan vegetasi pada lahan terdegradasi yang dijelaskan dalam *Pedoman Teknis Reklamasi Hutan* (Kehutanan, 2019). Kombinasi kedua kelompok spesies tersebut memungkinkan komunitas berkembang menuju kondisi semi-alam atau hutan sekunder dalam jangka menengah hingga panjang.

b. Indeks nilai penting (INP)

Tabel 2. Indeks Nilai Penting Semai

No.	Nama Jenis	Nama Ilmiah	Indeks Nilai Penting (INP) %			
			Semai	Pancang	Tiang	Pohon
1.	Jambu Biji *	<i>Psidium guajava</i> L	24,286	42,661	-	-
2.	Sengon	<i>Falcataria moluccana</i>	58,571	143,983	202,791	134,177
3.	Mindi	<i>Melia azedarach</i> L	-	-	-	57,786
4.	Ketapang	<i>Terminalia catappa</i> L	-	14,079	10,623	-
5.	Mangium	<i>Acacia mangium</i>	-	24,384	35,569	50,495
6.	Sirsak*	<i>Annona mucirata</i> L	-	9,253	-	-
7.	Leda	<i>Eucalyptus Deglupta</i>	-	-	-	14,760
8.	Jengkol	<i>Archidendron pauchiflorum</i>	-	9,389	-	-
9.	Dekuren	<i>Acacia decurrens</i>	-	-	14,685	-
10.	Salam	<i>Syzygium polyanthum</i>	-	14,079	-	31,149
11.	Kopi*	<i>Coffea arabica</i> L	117,143	-	-	-
12.	Mahoni	<i>Swietenia macrophylla</i>	-	-	25,648	-
13.	Gamal	<i>Gliricidia sepium</i>	-	-	10,683	11,635
			200,000	257,827	300,000	300,000

Berdasarkan Hasil perhitungan Indeks Nilai Penting (INP) pada seluruh tingkatan pertumbuhan menunjukkan bahwa struktur vegetasi di lahan bekas tambang pasir Desa Kepuharjo sangat dipengaruhi oleh dominansi spesies pionir — yaitu *Falcataria moluccana* (sengon). Fakta bahwa sengon muncul pada semua tingkatan hidup (semai, pancang, tiang, dan pohon), dan konsisten menempati nilai INP tertinggi di setiap strata (58,57% – 202,79%), mengindikasikan adaptabilitas tinggi dan keunggulan ekologis spesies ini terhadap kondisi tanah terdegradasi (berpasir, miskin hara, cenderung kering). Hal ini sesuai dengan temuan bahwa legum dan pohon cepat tumbuh sering menjadi spesies pionir dan “penyelamat” pada lahan pascatambang, karena kemampuannya memperbaiki kesuburan tanah dan menyediakan tutupan vegetatif dasar (Resende et al., 2011).

Dominansi sengon juga mendukung terbentuknya struktur tegakan awal: sebagai “spesies kunci” (*key species*), sengon tampak menentukan arah perkembangan komunitas vegetasi di lokasi penelitian, sekaligus berperan dalam stabilisasi substrat dan iklim mikro lahan. Kajian pada lahan bekas tambang menunjukkan bahwa penggunaan spesies toleran dan cepat tumbuh seperti tanaman legum atau pohon adaptif merupakan strategi restorasi yang efisien (Siregar, 2021).

Sementara itu, munculnya jenis antropik seperti *Coffea arabica* pada tingkat semai dengan INP tertinggi menggambarkan pengaruh manusia terhadap lanskap vegetasi kemungkinan besar melalui penanaman atau aktivitas budidaya penduduk lokal. Ini menunjukkan bahwa selain suksesi alami, interaksi manusia lingkungan juga ikut membentuk struktur vegetasi awal di lahan bekas tambang/pasca penggunaan.

Keberadaan spesies penyerta seperti *Psidium guajava*, selain beberapa jenis dari famili lain (misalnya penyerta pada strata pancang, tiang, pohon), meskipun dengan nilai INP sedang-rendah, memberikan indikasi bahwa regenerasi alami tetap berjalan vegetasi tidak hanya didominasi oleh satu spesies tapi mulai menunjukkan mulai beragamnya komunitas. Studi ilmiah menunjukkan bahwa seiring bertambahnya umur vegetasi maka komunitas tumbuh yang muncul akan semakin banyak dan heterogen, meskipun komposisinya tetap berbeda dengan vegetasi di hutan alam (Harsono et al., 2024).

Namun, struktur komunitas pada area bekas tambang yang masih sangat muda atau baru dalam tahap awal suksesi biasanya tidak mendekati struktur hutan alam seperti dijelaskan dalam kasus rehabilitasi tambang di Ghana, dimana meskipun tutupan dan biomassa bisa relatif cepat terbentuk, komposisi spesies dan diversitas tetap berbeda dari hutan referensi (Nero, 2021). Oleh karena itu, dominansi sengon dan sedikitnya spesies penyerta menunjukkan bahwa lokasi studi kemungkinan masih berada pada tahap suksesi awal atau tengah komunitas vegetasi belum matang, meskipun sudah ada dinamika alami.

Dari perspektif restorasi lansekap dan rehabilitasi ekologi, hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan atau keberadaan spontan spesies pionir seperti sengon sangat krusial dalam memfasilitasi pemulihan vegetasi pada lahan terdegradasi. Tetapi untuk meningkatkan keanekaragaman, kompleksitas, dan stabilitas ekosistem jangka panjang, perlu ada strategi lanjutan misalnya enrichment planting spesies lokal, pemantauan suksesi, dan pengelolaan tanah (penambahan bahan organik, perlindungan substrat, kontrol erosi). Studi literatur menyarankan bahwa kombinasi legum/pohon cepat tumbuh, penutup tanah, dan spesies penyerta adalah cara efektif memulihkan fungsi ekosistem pada area pascatambang (Siregar, 2021).

Dengan demikian, pola INP yang Anda temukan dominansi kuat spesies pionir, munculnya vegetasi penyerta, dan tingkatan hidup yang komprehensif mencerminkan bahwa lahan bekas tambang Desa Kepuharjo berada dalam fase regenerasi/suksesi yang

menjanjikan. Meski demikian, komunitas belum mencapai kondisi hutan dewasa; masih dibutuhkan intervensi manajemen dan waktu untuk menuju komunitas yang lebih kompleks dan stabil. Pada tanaman perdu jenis sirsak, jambu biji dan kopi tetap di hitung nilai INP (Indeks Nilai Penting) dengan menggunakan perhitungan fase pertumbuhan pohon.

c. Keanekaragaman jenis

Tabel 3. Keanekaragaman Jenis

Tingkat Pertumbuhan	H'
Semai	0,898
Pancang	1,455
Tiang	0,990
Pohon	1,422

Nilai keanekaragaman jenis (H') pada tiap tingkatan pertumbuhan menunjukkan bahwa vegetasi di lahan bekas tambang pasir Desa Kepuharjo tidak berkembang secara linier, melainkan melalui pola naik-turun yang khas dari ekosistem dalam fase pemulihan. Pada fase semai, nilai H' sebesar 0,898 mencerminkan komunitas awal yang masih sederhana hanya sedikit jenis tumbuhan berhasil berkecambah dan bertahan. Kondisi ini wajar mengingat substrat tanah pascatambang sering miskin hara, berstruktur longgar atau kasar, serta memiliki kondisi iklim mikro ekstrem.

Memasuki fase pancang, terjadi lonjakan keanekaragaman ($H' \approx 1,455$), menandakan bahwa sejumlah spesies baru mulai bermunculan dan memanfaatkan ruang ekologis yang tersedia. Munculnya banyak jenis pada fase ini menunjukkan bahwa lahan, meskipun terganggu, masih memiliki potensi regenerasi alami bila gangguan berkurang, dalam konteks restorasi pascatambang, kombinasi spesies pionir, penutup tanah, dan spesies penyerta memang dianjurkan untuk memperbaiki kondisi tanah dan memfasilitasi keanekaragaman jenis (Rusdiyanto et al., 2025).

Namun, saat memasuki fase tiang, keanekaragaman turun kembali ($H' \approx 0,990$). Penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh kompetisi hanya spesies dengan strategi toleran, cepat tumbuh atau adaptif yang mampu bertahan, sementara jenis lain tersisih. Fenomena ini konsisten dengan temuan bahwa restorasi lahan pascatambang umumnya menghasilkan komunitas dengan dominansi spesies pionir di fase awal, dan bahwa struktur komunitas restorasi bisa tetap berbeda dari hutan alam, terutama pada strata overstorey dan mid-storey (Nero, 2021).

Menariknya, pada fase pohon nilai H' kembali meningkat ($\approx 1,422$), menunjukkan bahwa komunitas vegetasi mulai stabil dan lebih heterogeny kemungkinan karena terbentuknya mikrohabitat baru (kanopi parsial, akumulasi serasah, perbaikan fisik dan kimia tanah), yang memungkinkan spesies penyerta atau shade-toleran ikut berkembang. Pola seperti ini yaitu keanekaragaman meningkat kembali setelah fase seleksi menunjukkan bahwa suksesi vegetasi pada lahan bekas tambang dapat berlanjut menuju komunitas yang lebih kompleks jika kondisi mendukung (substrat membaik, gangguan berkurang, dan kolonisasi alami berlangsung).

Secara ekologis, pola naik-turun H' ini menunjukkan bahwa lahan bekas tambang Kepuharjo dalam fase pemulihan aktif dan dinamis. Fase pancang menggambarkan awal yang baik, fase tiang mencerminkan fase seleksi alami, sedangkan fase pohon menunjukkan fase stabilisasi komunitas dengan struktur vegetasi yang mulai padat dan heterogeny.

Namun demikian, literatur perihal restorasi pascatambang memperingatkan bahwa meskipunutupan vegetasi dan struktur pohon bisa tumbuh lumayan cepat, keanekaragaman dan komposisi spesies sering tidak mencapai tingkat atau multi famili seperti di hutan alam terutama jika hanya mengandalkan suksesi alami atau penanaman sedikit jenis pionir atau *fast-growing* (Nero, 2021). Oleh sebab itu, untuk mencapai komunitas yang lebih stabil, beragam, dan fungsional secara ekologis, rekomendasi manajemen lanjutan diperlukan: misalnya penanaman tambahan (*enrichment planting*) dengan spesies lokal atau endemik, perbaikan substrat tanah (bahan organik, topsoil, mulsa), dan pemantauan jangka panjang terhadap keanekaragaman, struktur vegetasi, dan kondisi tanah.

Dengan pendekatan demikian, lahan bekas tambang seperti di Kepuharjo memiliki potensi untuk berkembang lebih jauh dari komunitas pionir dan tahap awal regenerasi menuju komunitas vegetasi semi-alam atau mendekati hutan sekunder.

d. Kemerataan jenis

Tabel 4. Kemerataan Jenis

Tingkat Pertumbuhan	E'
Semai	0,817
Pancang	0,700
Tiang	0,552
Pohon	0,794

Nilai kemerataan jenis (E') pada setiap tingkat pertumbuhan menunjukkan bahwa komunitas vegetasi di lahan bekas tambang Kepuharjo sedang berada pada fase suksesi yang berlangsung dinamis. Pada tingkat semai, nilai E' sebesar 0,817 mencerminkan penyebaran individu yang relatif merata dan belum munculnya dominansi spesies tertentu. Kondisi ini umum terjadi pada awal kolonisasi vegetasi di lahan terdegradasi, ketika kompetisi masih rendah dan berbagai spesies memiliki peluang tumbuh yang relatif seimbang (Wibowo et al., 2022). Memasuki tingkat pancang, nilai E' turun menjadi 0,700, mengindikasikan mulai terbentuknya tekanan kompetitif antartanaman sehingga beberapa spesies lebih menonjol dibanding spesies lainnya. Pola penurunan kemerataan ini juga dilaporkan pada kawasan pascatambang di Kalimantan dan Sulawesi, di mana tahap pertumbuhan menengah sering menjadi titik seleksi ekologis paling kuat

Penurunan tajam nilai kemerataan jenis ($E' \approx 0,552$) pada strata tiang menunjukkan fase transisi kritis dalam suksesi vegetasi pascatambang, di mana kompetisi antartanaman intens dan hanya spesies dengan toleransi dan strategi pertumbuhan unggul yang mampu bertahan — pola tipikal dalam rehabilitasi lahan terdegradasi. Penelitian pada “*mine spoils*” menunjukkan bahwa pada tahap pertumbuhan menengah sering terjadi penyaringan ekologis (*filtering*), sehingga komunitas cenderung didominasi oleh satu atau beberapa spesies adaptif. Namun ketika komunitas memasuki strata pohon, nilai E' kembali meningkat ($E' \approx 0,794$), yang menandakan mulai terjadinya pemulihan struktur komunitas: vegetasi penyerta atau sub-dominan mulai tumbuh berdampingan dengan dominan, menghasilkan distribusi individu yang lebih merata dan struktur tegakan yang lebih kompleks. Fenomena ini konsisten dengan temuan bahwa seiring waktu dan rehabilitasi, lahan bekas tambang dapat berkembang menjadi komunitas dengan diversitas dan penyebaran individu mendekati kondisi hutan sekunder, asalkan terjadi proses regenerasi alami serta perbaikan kondisi tanah (Pratiwi et al., 2021).

Dengan demikian, pemerataan dari penurunan di fase tiang ke kenaikan di fase pohon mencerminkan dinamika suksesi dari fase seleksi dan dominansi menuju fase stabilisasi. Pola ini menunjukkan bahwa meskipun lahan pernah sangat terganggu oleh aktivitas tambang, proses regenerasi ekologis tetap memiliki kapasitas untuk membentuk komunitas vegetasi yang lebih seimbang terutama jika dukungan kondisi lingkungan dan substrat memadai. Hasil ini menegaskan pentingnya memantau distribusi jenis dan strata pertumbuhan dalam evaluasi keberhasilan restorasi lahan pascatambang, bukan hanya memperhatikan jumlah spesies (*richness*) semata.

KESIMPULAN

Dari Berdasarkan hasil penelitian analisis vegetasi di areal gunung Merapi, Desa Kepuharjo, Kapanewon Cangkringan, Yogyakarta, dapat disimpulkan bahwa:

1. Vegetasi yang tumbuh pada lahan bekas tambang pasir di Desa Kepuharjo didominasi oleh spesies pionir seperti *Falcataria moluccana*, jenis spesies sengon memiliki nilai INP tertinggi dengan konsisten pada tingkat pancang (144,126), tiang (202,791) dan pohon (134,177) yang menunjukkan bahwa Sengon merupakan spesies yang mampu beradaptasi di lingkungan lahan pasca tambang. Spesies jenis lain yang turut mendominasi di tingkat tertentu yaitu jenis Kopi pada tingkat semai (117,143), Gamal pada tingkat pancang (35,479), Mangium pada tingkat tiang (35,569), dan Mindi pada tingkat pohon (57,786). Jenis ini memiliki nilai INP tertinggi pada hampir semua tingkat pertumbuhan, menunjukkan kemampuan adaptasi yang kuat terhadap kondisi tanah berpasir dan perannya dalam mempercepat proses suksesi serta pemulihan lahan pasca-erupsi dan pasca-penambangan.
2. Nilai indeks keanekaragaman ($H' = 0,898-1,455$) tergolong rendah hingga sedang, Kondisi ini mengindikasikan bahwa komunitas vegetasi telah mengalami regenerasi dengan distribusi individu yang cukup merata, menandakan bahwa ekosistem berada pada tahap pemulihan awal dan memiliki potensi untuk ditingkatkan melalui upaya rehabilitasi vegetasi dan konservasi lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Harsono, R., R. B. Suba., W. Kustiawan., M. I. Aipassa., Sukartiningsih & Y. Rayadin. (2024). Keanekaragaman Vegetasi pada Beberapa Umur Revegetasi di Lahan Reklamasi Pascatambang Batubara PT Indominco Mandiri, Kalimantan Timur. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 589–599. <https://doi.org/10.14710/jil.22.3.589-599>
- Hu, B., & H. Rennenberg. (2023). Significance of nitrogen-fixing actinorhizal symbioses for restoration of depleted, degraded, and contaminated soil. *Trends in Plant Science*, 28(7), 752–764. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2023.03.005>
- Kehutanan, K. L. H. (2019). *Pedoman Teknis Reklamasi Hutan*. KLHK.
- Nero, B. F. (2021). Structure, composition and diversity of restored forest on mine spoils. *PLOS ONE*, (online), e0252371. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252371>
- Pratiwi, B. H. N., C. A. Siregar & R. Maharani, R. (2021). Managing and Reforesting Degraded Post-Mining Landscape in Indonesia: A Review. *Land*, 10(6), 658. <https://doi.org/10.3390/land10060658>
- Resende, A. S. (2011). Use of nitrogen-fixing legume tree species to revegetate degraded lands. *Tree Physiology*, 31(2), 139–149. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq116>
- Rusdiyanto, E., A. H. P. Hamzah., Hurhasannah & A. Lubis. (2025). *Revegetasi Untuk Rehabilitasi Lahan Pasca-Tambang Wilayah Operasi PT. PERTAMINA HULU ROKAN, Riau*. 8(2), 207–218.
- Siregar, C. A. (2021). Managing and Reforesting Degraded Post-Mining Landscapes in

- Indonesia: a Review. *Land*, 10(6), 658. <https://doi.org/10.3390/land10060658>
- Wibowo, A., H. Santosa & B. Prasetyo. (2022). Dinamika regenerasi vegetasi pada lahan pasca-erupsi Gunung Merapi. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, 19(3), 215–228. <https://doi.org/10.20886/jphka.2022.19.3.215-228>
- Yulistyarini, T., E. C. Lina & S. Rahayu. (2019). *Keanekaragaman Vegetasi di Kawasan Hutan Penelitian Cibodas*. LIPI Press.