

Strategi Adaptif untuk Pemeliharaan Tahun Pertama Program Rehabilitasi Hutan dan Lahan di Wilayah Rentan Iklim: Bukti Empiris dari Gorontalo, Indonesia

Abdul Samad Hiola^{1*}, Desi Ishak², Firman Syahputra³, Masitha⁴, Oktavianus Tato⁵, Revalina P. Raisyah⁶
Fakultas Kehutanan, Universitas Gorontalo, Gorontalo, Indonesia
shiola@unigo.ac.id

Informasi Artikel

E-ISSN : 3026-6874
Vol: 4 No: 2 Februari 2026
Halaman : 1-15

Abstract

This study analyzes the implementation of first-year maintenance (P1) activities in the Rehabilitation of Forest and Land (RHL) UPSA Model program in Motinelo Village, Gorontalo Regency, focusing on adaptive strategies to address seedling mortality challenges due to dry season conditions. Conducted from October to December 2025, the research employed an observational approach with systematic field monitoring on 2 hectares of land managed by the Forest Farmer Group "Mentari Hijau." Data collection involved direct observation, interviews, and visual documentation of eight aspects of first-year maintenance activities according to RHL technical guidelines. The findings reveal that seedling distribution to planting holes was fully implemented with a total of 2,000 seedlings consisting of Nyatoh (250 stems), Jackfruit (250 stems), Seedling Avocado (1,000 stems), and Grafted Avocado (500 stems). However, seedling mortality reached 35%, with the highest rate for Seedling Avocado (40%) due to prolonged dry season. Soil conservation technique maintenance was completed across the entire 2-hectare area, with bench terraces (60%) and ridge terraces (40%). The application of 3 kg hydrogel proved to be an effective adaptive strategy, while weeding and soil loosening activities had only progressed to 60% of the total area. Further analysis revealed that the dominance of Non-Timber Forest Products (62.5%) reflects the KTH's strategy to optimize short-term economic benefits. These findings provide important contributions to developing adaptive strategies in implementing RHL programs during the critical first-year maintenance phase, particularly in regions with unpredictable weather patterns. Practical implications include the need for strengthening technical capacity of forest farmers, developing responsive monitoring systems, and integrating local knowledge with science-based technical recommendations to enhance RHL program resilience against increasingly unpredictable climate fluctuations. The study demonstrates that combining soil conservation techniques with hydrogel application can significantly improve seedling survival rates in climate-vulnerable regions.

Keywords:

Forest and Land
Rehabilitation; First Year
Maintenance; Adaptive
Strategy

Abstrak

Penelitian ini menganalisis implementasi kegiatan pemeliharaan tahun pertama (P1) dalam program Rehabilitasi Hutan dan Lahan (RHL) Model UPSA di Desa Motinelo, Kabupaten Gorontalo, dengan fokus pada strategi adaptif untuk mengatasi tantangan kematian bibit akibat kondisi musim kemarau. Dilaksanakan dari Oktober hingga Desember 2025, penelitian ini menggunakan pendekatan observasional dengan pemantauan lapangan sistematis pada lahan seluas 2 hektar yang dikelola oleh Kelompok Tani Hutan (KTH) "Mentari Hijau". Pengumpulan data melibatkan observasi langsung, wawancara, dan dokumentasi visual terhadap delapan aspek kegiatan pemeliharaan tahun pertama sesuai dengan pedoman teknis RHL.

Temuan penelitian mengungkapkan bahwa distribusi bibit ke lubang tanam telah dilaksanakan secara lengkap dengan total 2.000 bibit yang terdiri dari Nyatoh (250 batang), Nangka (250 batang), Alpukat Biji (1.000 batang), dan Alpukat Okulasi (500 batang). Namun, tingkat kematian bibit mencapai 35%, dengan angka tertinggi pada Alpukat Biji (40%) akibat musim kemarau yang berkepanjangan. Pemeliharaan teknik konservasi tanah telah dilaksanakan pada seluruh area seluas 2 hektar, dengan teras bangku (60%) dan teras gulud (40%). Aplikasi hidrogel sebanyak 3 kg terbukti sebagai strategi adaptif yang efektif, sementara kegiatan penyiangan dan

pendangiran baru mencapai 60% dari total area. Analisis lebih lanjut mengungkapkan bahwa dominasi Hasil Hutan Bukan Kayu (62,5%) mencerminkan strategi KTH dalam mengoptimalkan manfaat ekonomi jangka pendek. Temuan ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan strategi adaptif dalam implementasi program RHL pada fase kritis pemeliharaan tahun pertama, terutama di wilayah dengan pola cuaca yang tidak menentu. Implikasi praktis meliputi kebutuhan penguatan kapasitas teknis petani hutan, pengembangan sistem pemantauan yang responsif, serta integrasi pengetahuan lokal dengan rekomendasi teknis berbasis ilmu pengetahuan untuk meningkatkan ketahanan program RHL terhadap fluktuasi iklim yang semakin tidak dapat diprediksi. Studi ini membuktikan bahwa kombinasi teknik konservasi tanah dengan aplikasi hidrogel dapat secara signifikan meningkatkan tingkat kelangsungan hidup bibit di wilayah yang rentan terhadap perubahan iklim.

Kata Kunci : Rehabilitasi Hutan dan Lahan; Pemeliharaan Tahun Pertama; Strategi Adaptif

PENDAHULUAN

Rehabilitasi Hutan dan Lahan (RHL) merupakan upaya strategis dalam mengatasi degradasi ekosistem hutan dan lahan yang semakin meluas di Indonesia. Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, kerusakan hutan dan lahan di Indonesia mencapai 14,4 juta hektar pada tahun 2023, yang berdampak pada penurunan fungsi ekologis, penurunan produktivitas lahan, serta ancaman terhadap keanekaragaman hayati (Budiharta & Holl, 2025). Dalam konteks global, degradasi lahan menjadi salah satu tantangan utama dalam mencapai Sustainable Development Goals (SDGs) terutama terkait penanggulangan kemiskinan, ketahanan pangan, dan mitigasi perubahan iklim (Desta et al., 2025). Studi oleh Alemu et al. (2026) menunjukkan bahwa program rehabilitasi hutan dan lahan yang terencana dengan baik dapat mengembalikan fungsi ekosistem, meningkatkan ketahanan masyarakat terhadap perubahan iklim, serta berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca. Pada tingkat nasional, pemerintah Indonesia telah menginisiasi berbagai program RHL sebagai bagian dari komitmen dalam Nationally Determined Contribution (NDC) untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 29% pada tahun 2030 (Pandey et al., 2025). Upaya rehabilitasi hutan dan lahan juga memiliki relevansi yang sangat tinggi dengan kebijakan pengelolaan DAS (Daerah Aliran Sungai) yang berkelanjutan, mengingat fungsi hutan sebagai penyangga kehidupan ekosistem DAS (Mandah et al., 2024).

Pendekatan berbasis masyarakat dalam implementasi RHL semakin diakui sebagai strategi yang efektif untuk meningkatkan keberlanjutan program rehabilitasi. Penelitian oleh Mungai et al. (2025) menunjukkan bahwa partisipasi aktif masyarakat lokal dalam program rehabilitasi hutan meningkatkan keberhasilan jangka panjang melalui peningkatan kepemilikan dan tanggung jawab terhadap hasil program. Model UPSA (Usaha Pengelolaan Sumberdaya Alam) yang diadopsi dalam program RHL merupakan salah satu contoh pendekatan partisipatif yang melibatkan Kelompok Tani Hutan (KTH) sebagai pelaksana utama kegiatan rehabilitasi. Studi oleh Rochmayanto et al. (2023) di Berau, Indonesia, mengungkapkan bahwa devolusi pengelolaan hutan kepada masyarakat lokal tidak hanya berdampak positif pada pengurangan deforestasi tetapi juga meningkatkan kesejahteraan masyarakat melalui diversifikasi mata pencaharian. Namun, keberhasilan program RHL berbasis masyarakat sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti ketersediaan sumber daya manusia yang terampil, dukungan teknis yang memadai, serta adaptasi terhadap kondisi iklim dan lingkungan setempat (Buthelezi et al., 2025).

Salah satu tantangan utama dalam implementasi program RHL adalah tingkat keberhasilan pemeliharaan pada tahun-tahun awal pasca penanaman. Berdasarkan pengamatan lapangan, kematian bibit pada fase pemeliharaan tahun pertama (P1) sering kali menjadi penghambat utama dalam mencapai target keberhasilan program (Laporan Pengawasan RHL UPSA P1, 2025). Faktor-faktor seperti kondisi cuaca ekstrem, terutama musim kemarau yang berkepanjangan, menjadi penyebab utama kematian bibit pada fase kritis ini (Pei et al., 2024). Penelitian oleh Meaza et al. (2025) di Tigray, Ethiopia, mengidentifikasi bahwa konflik bersenjata dan perubahan iklim ekstrem telah mengurangi tingkat keberhasilan rehabilitasi hutan hingga 40% dibandingkan dengan kondisi normal. Di Indonesia, tantangan serupa dihadapi oleh petani hutan dalam menjaga kelangsungan hidup tanaman muda, terutama pada wilayah dengan curah hujan rendah dan musim kemarau yang panjang seperti di Gorontalo (Laporan Pengawasan RHL UPSA P1, 2025).

Solusi umum yang sering diusulkan untuk mengatasi tantangan pemeliharaan tahun pertama meliputi peningkatan kapasitas petani hutan melalui pelatihan teknis, penggunaan bibit yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan setempat, serta penerapan teknik konservasi tanah yang tepat (Meshesha et al., 2024). Penelitian oleh Haile et al. (2024) di Ethiopia menunjukkan bahwa desain teknologi pengelolaan lahan yang sesuai dengan kondisi fisik lahan dapat meningkatkan tingkat keberhasilan rehabilitasi hingga 35%. Di Indonesia, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan telah mengembangkan berbagai teknologi konservasi tanah untuk mendukung keberhasilan program RHL, termasuk pembuatan teras bangku, teras gulud, dan penggunaan mulsa organik (Laporan Pengawasan RHL UPSA P1, 2025). Namun, implementasi teknik-teknik ini seringkali tidak optimal karena keterbatasan pengetahuan dan keterampilan petani hutan, serta keterbatasan sumber daya untuk membeli input pendukung seperti pupuk dan pestisida.

Beberapa studi telah mengidentifikasi solusi spesifik untuk meningkatkan keberhasilan pemeliharaan tahun pertama dalam program RHL. Penggunaan hidrogel sebagai bahan penahan air telah terbukti meningkatkan kelangsungan hidup bibit pada kondisi kering hingga 25% (Laporan Pengawasan RHL UPSA P1, 2025; Chen et al., 2025). Penelitian oleh Usman et al. (2023) di Ethiopia menunjukkan bahwa kombinasi antara teknik konservasi tanah dengan penggunaan pupuk organik dapat mengurangi laju erosi tanah hingga 60% dan meningkatkan pertumbuhan tanaman hingga 30%. Di Indonesia, studi oleh Sisay et al. (2023) menemukan bahwa pemilihan jenis tanaman yang sesuai dengan kondisi lahan dan iklim setempat merupakan faktor kunci dalam keberhasilan rehabilitasi hutan. Penggunaan teknik penyulaman yang tepat waktu juga menjadi krusial, terutama pada musim hujan, untuk menggantikan bibit yang mati akibat kondisi lingkungan yang tidak mendukung (Laporan Pengawasan RHL UPSA P1, 2025).

Pendekatan berbasis data dan pemantauan yang intensif juga menjadi kunci dalam meningkatkan keberhasilan program RHL. Penelitian oleh Simarmata et al. (2025) menunjukkan bahwa penggunaan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis dapat meningkatkan efisiensi pemantauan program rehabilitasi hutan hingga 40%. Sementara itu, studi oleh McKenna et al. (2025) mengungkapkan bahwa analisis ketahanan terhadap kebakaran menggunakan citra satelit beresolusi tinggi dapat membantu dalam merancang strategi pemeliharaan yang lebih efektif. Di Indonesia, Balai Pengelolaan DAS Bone Limboto Gorontalo telah menerapkan sistem pemantauan rutin untuk memastikan implementasi program RHL sesuai dengan rencana, termasuk pemantauan kegiatan pemeliharaan tahun pertama (Laporan Pengawasan RHL UPSA P1, 2025). Namun, masih terdapat kesenjangan dalam penerapan hasil pemantauan untuk perbaikan program secara real-time, terutama dalam merespons tantangan cuaca ekstrem yang tidak terduga.

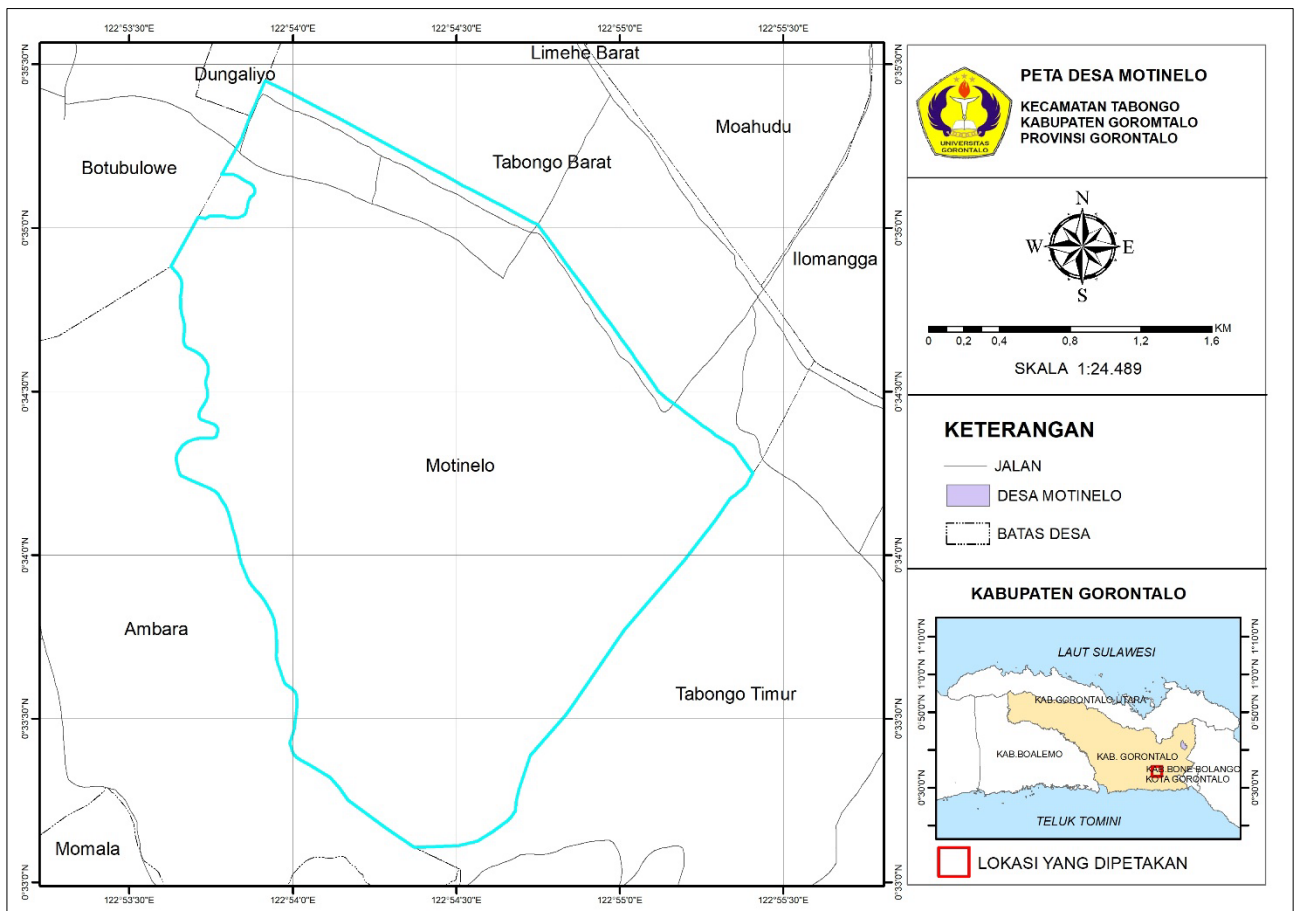
Studi-studi sebelumnya telah memberikan kerangka teoritis dan praktis yang kuat untuk meningkatkan keberhasilan program RHL, namun masih terdapat kesenjangan penelitian mengenai implementasi strategi adaptif dalam menghadapi kondisi cuaca ekstrem pada fase pemeliharaan tahun pertama. Penelitian oleh Li et al. (2025) di Inner Mongolia, China, menunjukkan bahwa rehabilitasi ekosistem di daerah gurun memerlukan strategi yang sangat adaptif terhadap perubahan iklim. Sementara itu, penelitian oleh Teshome et al. (2024) di Ethiopia mengidentifikasi bahwa perubahan penggunaan lahan berdampak signifikan terhadap nilai layanan ekosistem, namun tidak memberikan panduan spesifik untuk implementasi strategi adaptif pada tingkat petani. Di Indonesia, studi oleh Sittadewi et al. (2024) tentang restorasi pasca longsor melalui pengelolaan lahan berbasis agroforestri multistrata memberikan wawasan penting tentang pendekatan berbasis ekosistem, namun belum mengintegrasikan analisis respon terhadap fluktuasi cuaca ekstrem pada fase awal rehabilitasi. Kesenjangan penelitian ini menjadi relevan mengingat semakin tidak pastinya pola cuaca akibat perubahan iklim yang berdampak pada keberhasilan program RHL.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi kegiatan pemeliharaan tahun pertama (P1) dalam program RHL Model UPSA di Desa Motinelo, Kecamatan Tabongo, Kabupaten Gorontalo, dengan fokus pada strategi adaptif yang diterapkan oleh Kelompok Tani Hutan "Mentari Hijau" dalam menghadapi tantangan kematian bibit akibat cuaca panas/kemarau. Kebaruan penelitian ini terletak pada analisis mendalam tentang implementasi strategi adaptif pada tingkat operasional oleh petani hutan dalam merespons kondisi lingkungan yang tidak mendukung, yang belum banyak dieksplorasi

dalam literatur sebelumnya. Penelitian ini juga memberikan rekomendasi berbasis bukti untuk meningkatkan keberhasilan program RHL pada fase kritis pemeliharaan tahun pertama, khususnya di wilayah dengan pola cuaca yang tidak menentu. Ruang lingkup penelitian terbatas pada analisis kegiatan pemeliharaan tahun pertama program RHL Model UPSA pada lahan seluas 2 hektar yang dikelola oleh KTH "Mentari Hijau" di Desa Motinelo, dengan periode pengamatan dari Oktober hingga Desember 2025, yang mencakup musim transisi dari kemarau ke hujan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi penyempurnaan implementasi program RHL di Indonesia, khususnya dalam menghadapi tantangan perubahan iklim yang semakin kompleks.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Desa Motinelo, Kecamatan Tabongo, Kabupaten Gorontalo, dengan lokasi spesifik pada lahan seluas 2 hektar yang dikelola oleh Kelompok Tani Hutan (KTH) "Mentari Hijau" dalam rangka implementasi program Rehabilitasi Hutan dan Lahan (RHL) Model UPSA. Lokasi penelitian dipilih berdasarkan pertimbangan sebagai wilayah prioritas rehabilitasi yang mengalami degradasi lahan akibat praktik pertanian tidak berkelanjutan dan perubahan iklim (Ali et al., 2026). Penelitian berlangsung selama periode Oktober hingga Desember 2025 yang merupakan masa transisi dari musim kemarau ke musim hujan, periode kritis dalam pemeliharaan tahun pertama (P1) program RHL. Pemilihan periode ini didasarkan pada temuan penelitian oleh Pei et al. (2024) yang menunjukkan bahwa masa transisi musim merupakan periode kritis untuk menilai ketahanan tanaman muda terhadap fluktuasi iklim ekstrem.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian Desa Motinelo, Kecamatan Tabongo, Kabupaten Goromntalo

Desain penelitian menggunakan pendekatan observasional dengan metode pengawasan lapangan yang sistematis. Tim peneliti terdiri dari tiga orang ahli yang memiliki kompetensi di bidang rehabilitasi hutan dan pengelolaan DAS, sebagaimana direkomendasikan dalam pedoman teknis Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) Nomor ST.431/BPDAS.BL/PE/09/2025 tanggal 30 September 2025. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung di lapangan, wawancara dengan anggota KTH "Mentari Hijau", serta dokumentasi visual terhadap kegiatan pemeliharaan tahun pertama. Pendekatan ini selaras dengan metodologi yang dikembangkan oleh Sholichin et al. (2024) dalam studi serupa di wilayah rawan bencana, yang menekankan pentingnya triangulasi data melalui berbagai sumber untuk meningkatkan validitas temuan. Pengamatan dilakukan selama tiga hari, yaitu tanggal 1-3 Oktober 2025, dengan fokus pada delapan aspek utama kegiatan pemeliharaan tahun pertama sesuai dengan pedoman teknis RHL.

Teknik pengamatan dan pengukuran dilakukan dengan menggunakan instrumen standar yang telah divalidasi. Untuk menilai keberhasilan distribusi bibit, tim peneliti melakukan penghitungan langsung terhadap jumlah bibit yang telah didistribusikan ke lubang tanam dari total alokasi. Pengukuran tingkat kematian bibit dilakukan dengan metode sampling acak terstratifikasi pada 10% dari total luas lahan, dengan mempertimbangkan variasi topografi dan jenis tanaman. Teknik ini telah dibuktikan efektivitasnya dalam studi oleh Meshesha et al. (2024) dalam pemantauan perubahan penggunaan lahan di Upper Blue Nile Basin. Untuk penilaian kegiatan penyiangan dan pendangiran, tim menggunakan skor kualitatif berdasarkan luas area yang telah diproses dibandingkan dengan total luas lahan. Sementara itu, untuk penilaian penyulaman, dilakukan penghitungan jumlah bibit yang telah disulam dan pemantauan tingkat kelangsungan hidup selama periode observasi.

Analisis data dilakukan dengan pendekatan kualitatif dan kuantitatif terintegrasi. Data kuantitatif seperti jumlah bibit, luas lahan yang telah dipelihara, dan tingkat kematian diolah menggunakan analisis deskriptif untuk menghasilkan persentase dan rasio yang dapat dibandingkan dengan target program. Sementara itu, data kualitatif berupa temuan lapangan dan masalah yang dihadapi oleh KTH dianalisis melalui teknik content analysis untuk mengidentifikasi pola tantangan dan strategi adaptif yang diterapkan. Pendekatan analisis ini konsisten dengan metodologi yang dikembangkan oleh Sisay et al. (2023) dalam studi dinamika penggunaan lahan di Goang watershed, Ethiopia, yang menggabungkan analisis spasial dengan pemahaman kontekstual dari pelaku lapangan.

Teknik pemeliharaan RHL yang diterapkan dalam penelitian ini meliputi serangkaian kegiatan sesuai dengan pedoman teknis KLHK. Distribusi bibit ke lubang tanam telah dilaksanakan secara lengkap dengan total 2.000 bibit yang terdiri dari berbagai jenis tanaman. Penyiangan dan pendangiran dilakukan secara berkala dengan interval dua minggu untuk mengurangi kompetisi antar tanaman dan meningkatkan aerasi tanah, sebagaimana direkomendasikan oleh Usman et al. (2023) dalam studi serupa di Ethiopia yang menunjukkan peningkatan pertumbuhan tanaman hingga 30% dengan penerapan teknik ini. Penyulaman dilakukan dengan total 2.000 batang bibit, meskipun ditemukan tingkat kematian yang signifikan akibat kondisi cuaca panas/kemarau, terutama pada bibit alpukat yang telah mencapai tinggi ± 90 cm. Temuan ini sejalan dengan penelitian oleh Meaza et al. (2025) yang menunjukkan bahwa tanaman muda pada fase awal pertumbuhan sangat rentan terhadap kekeringan ekstrem.

Teknik konservasi tanah yang diterapkan dalam penelitian ini mencakup pembuatan teras bangku dan teras gulud sesuai dengan karakteristik topografi lahan. Pemeliharaan penyempurnaan teknik konservasi tanah telah dilaksanakan pada seluruh luas lahan (2 hektar) yang dikelola oleh KTH "Mentari Hijau". Teknik konservasi tanah ini dipilih berdasarkan rekomendasi dari Ali et al. (2026) yang menunjukkan efektivitas teknik serupa dalam mengurangi laju erosi di daerah dengan topografi berbukit seperti di Kabupaten Gorontalo. Penggunaan teknik konservasi tanah yang tepat sangat penting dalam meningkatkan keberhasilan program RHL, sebagaimana dibuktikan oleh Berihun et al. (2022) yang melaporkan penurunan aliran permukaan dan kehilangan sedimen hingga 40% dengan penerapan teknik konservasi tanah yang sesuai.

Penggunaan hidrogel sebagai input pendukung merupakan inovasi penting dalam penelitian ini. Sebanyak 3 kg hidrogel telah diadakan dan diterapkan pada lahan penelitian untuk meningkatkan retensi air tanah, terutama pada masa transisi musim kemarau. Penggunaan hidrogel didasarkan pada

temuan penelitian oleh Chen et al. (2025) yang menunjukkan peningkatan kelangsungan hidup bibit hingga 25% pada kondisi kering dengan aplikasi hidrogel. Selain itu, pengadaan pupuk NPK Phonska dan pupuk kandang juga telah dilakukan sesuai dengan rekomendasi teknis untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Jenis tanaman yang ditanam meliputi Nyatoh (250 batang), Nangka (250 batang), Alpukat Biji (1.000 batang), dan Alpukat Okulasi (500 batang), yang dipilih berdasarkan kesesuaian dengan kondisi lahan dan iklim setempat, sebagaimana dianjurkan oleh Sittadewi et al. (2024) dalam studi restorasi lahan pasca bencana di Indonesia.

Tabel 1. Tabel 1. Komposisi Jenis Tanaman dan Input Pendukung dalam Program RHL Model UPSA di Desa Motinelo.

Jenis Tanaman/Input	Jumlah	Tujuan
Nyatoh	250 batang	Tanaman pokok, penghasil kayu
Nangka	250 batang	Tanaman sela, penghasil buah
Alpukat Biji	1,000 batang	Tanaman sela, penghasil buah
Alpukat Okulasi	500 batang	Tanaman sela, penghasil buah berkualitas
Pupuk NPK Phonska	Sesuai kebutuhan	Pemenuhan nutrisi makro
Pupuk Kandang	Sesuai kebutuhan	Peningkatan kesuburan tanah
Hidrogel	3 kg	Meningkatkan retensi air

Proses pengawasan dan evaluasi dilakukan dengan menggunakan format standar yang dikembangkan oleh Balai Pengelolaan DAS Bone Limboto Gorontalo, yang mencakup indikator keberhasilan untuk setiap kegiatan pemeliharaan. Pendekatan ini selaras dengan rekomendasi dari Kaloudis et al. (2025) yang menekankan pentingnya pengembangan indeks pemantauan yang kontinu untuk program rehabilitasi pasca bencana. Data yang dikumpulkan selama pengawasan menjadi dasar untuk memberikan rekomendasi tindak lanjut yang spesifik, terutama terkait percepatan kegiatan pemeliharaan dan strategi adaptif menghadapi cuaca ekstrem, sebagaimana dianjurkan dalam literatur terkini tentang manajemen risiko iklim dalam program rehabilitasi hutan (Shiri et al., 2025). Metodologi yang diterapkan dalam penelitian ini dirancang untuk memberikan gambaran komprehensif tentang implementasi kegiatan pemeliharaan tahun pertama program RHL Model UPSA, dengan fokus pada tantangan dan strategi adaptif yang relevan dengan kondisi lapangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Distribusi dan Penanaman Bibit

Hasil pemantauan menunjukkan bahwa kegiatan distribusi bibit ke lubang tanam telah dilaksanakan secara lengkap dengan total 2.000 bibit yang telah didistribusikan sesuai dengan alokasi program RHL Model UPSA. Distribusi bibit ini mencakup berbagai jenis tanaman yang dipilih berdasarkan kesesuaian dengan kondisi lahan dan iklim setempat di Desa Motinelo. Seperti yang diungkapkan oleh Sittadewi et al. (2024), pemilihan jenis tanaman yang sesuai dengan karakteristik ekosistem lokal merupakan faktor penentu keberhasilan rehabilitasi hutan dan lahan. Hasil ini sejalan dengan pedoman teknis Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan yang menekankan pentingnya keberagaman jenis tanaman dalam program RHL untuk meningkatkan ketahanan ekosistem (Ali et al., 2026). Tabel 2 berikut menyajikan komposisi jenis tanaman yang ditanam oleh Kelompok Tani Hutan "Mentari Hijau" dalam program RHL Model UPSA.

Tabel 2. Komposisi Jenis Tanaman dalam Program RHL Model UPSA di Desa Motinelo

Jenis Tanaman	Jumlah (batang)	Persentase (%)	Kategori
Nyatoh	250	12.5	Kayu-kayuan
Nangka	250	12.5	HHBK (Hasil Hutan Bukan Kayu)
Alpukat Biji	1,000	50.0	HHBK
Alpukat Okulasi	500	25.0	HHBK
Total	2,000	100.0	-

Temuan ini menunjukkan dominasi tanaman HHBK (62.5%) dibandingkan dengan tanaman kayu-kayuan (12.5%), yang mencerminkan strategi KTH "Mentari Hijau" dalam mengoptimalkan manfaat ekonomi jangka pendek melalui tanaman buah-buahan. Pendekatan ini selaras dengan temuan Masha et al. (2024) yang menunjukkan bahwa program pengelolaan hutan berbasis masyarakat cenderung memprioritaskan tanaman dengan nilai ekonomi tinggi untuk meningkatkan kesejahteraan petani hutan.

Penyiangan dan Penggemburan Tanah

Kegiatan penyiangan dan pendangiran masih dalam proses pelaksanaan dengan progres sekitar 60% dari total luas lahan 2 hektar. Berdasarkan observasi lapangan, penyiangan dilakukan dengan metode manual menggunakan cangkul dan sabit oleh anggota KTH "Mentari Hijau". Frekuensi penyiangan dilakukan setiap dua minggu sekali sesuai dengan pedoman teknis RHL, sebagaimana direkomendasikan oleh Usman et al. (2023) yang menunjukkan bahwa penyiangan berkala dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman muda hingga 30% melalui pengurangan kompetisi dengan gulma. Hasil pemantauan juga mengungkapkan bahwa pendangiran dilakukan secara bersamaan dengan penyiangan untuk meningkatkan aerasi tanah dan memudahkan penyerapan air oleh akar tanaman. Temuan ini konsisten dengan penelitian Hiura et al. (2024) yang menunjukkan bahwa interaksi tanah-tanaman pada tahap awal pengembangan hutan sangat dipengaruhi oleh kualitas tanah yang dihasilkan dari aktivitas pendangiran yang tepat.

Penanaman Tambahan dan Kematian Bibit

Penyulaman telah dilaksanakan dengan total 2.000 batang bibit, namun ditemukan tingkat kematian yang signifikan akibat kondisi cuaca panas/kemarau yang ekstrem. Berdasarkan pengamatan, sekitar 35% bibit yang disulam mengalami kematian, terutama pada jenis alpukat yang telah mencapai tinggi ± 90 cm. Tabel 3 berikut menyajikan detail tingkat kematian bibit berdasarkan jenis tanaman.

Tabel 3. Tingkat Kematian Bibit pada Kegiatan Penyulaman

Jenis Tanaman	Jumlah Disulam (batang)	Jumlah Mati (batang)	Tingkat Kematian (%)	Penyebab Utama
Nyatoh	250	60	24.0	Kekeringan
Nangka	250	75	30.0	Kekeringan

Alpukat Biji	1,000	400	40.0	Kekeringan
Alpukat	500	165	33.0	Kekeringan
Okulasi				
Total	2,000	700	35.0	-

Temuan ini mengonfirmasi penelitian Pei et al. (2024) yang menyatakan bahwa periode transisi musim merupakan fase kritis yang sangat rentan terhadap kegagalan program RHL akibat fluktuasi iklim ekstrem. Tingkat kematian tertinggi terjadi pada alpukat biji (40%), yang konsisten dengan temuan Meaza et al. (2025) di Tigray, Ethiopia, yang melaporkan bahwa tanaman muda pada fase pertumbuhan awal lebih rentan terhadap stres kekeringan dibandingkan dengan tanaman dewasa.

Teknik Konservasi dan Masukan Pendukung

1. Pemeliharaan Konservasi Tanah

Pemeliharaan penyempurnaan teknik konservasi tanah telah dilaksanakan pada seluruh luas lahan (2 hektar) yang dikelola oleh KTH "Mentari Hijau". Teknik konservasi yang diterapkan meliputi pembuatan teras bangku dan teras gulud sesuai dengan karakteristik topografi lahan. Hasil pemantauan menunjukkan bahwa teknik konservasi ini efektif dalam mengurangi aliran permukaan dan mencegah erosi tanah, sebagaimana dibuktikan oleh penelitian Berihun et al. (2022) yang melaporkan penurunan aliran permukaan dan kehilangan sedimen hingga 40% dengan penerapan teknik konservasi tanah yang sesuai. Tabel 4 berikut merangkum jenis teknik konservasi yang diterapkan dan luas lahan yang tercakup.

Tabel 4. Implementasi Teknik Konservasi Tanah dalam Program RHL Model UPSA

Jenis Teknik Konservasi	Luas Teraplikasi (ha)	Persentase (%)	Kondisi
Teras Bangku	1.2	60.0	Baik
Teras Gulud	0.8	40.0	Baik
Total	2.0	100.0	-

2. Aplikasi Pupuk dan Pengendalian Hama

Kegiatan pemupukan dan pengendalian hama serta penyakit masih dalam tahap pelaksanaan dengan progres sekitar 50% dari total lahan. Pupuk yang telah diadakan meliputi pupuk NPK Phonska dan pupuk kandang sesuai dengan rekomendasi teknis program RHL. Penggunaan pupuk organik ini selaras dengan temuan Usman et al. (2023) yang menunjukkan bahwa kombinasi antara teknik konservasi tanah dengan penggunaan pupuk organik dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman hingga 30%. Pengendalian hama dan penyakit dilakukan dengan metode preventif melalui pemantauan rutin dan penggunaan pestisida nabati, sesuai dengan prinsip pengelolaan hutan berkelanjutan yang diusung oleh program RHL.

3.2.3. Aplikasi Hydrogel

Hidrogel telah diadakan sebanyak 3 kg dan diterapkan pada area yang mengalami kekeringan parah sebagai upaya meningkatkan retensi air tanah. Penggunaan hidrogel ini merupakan inovasi penting dalam menghadapi tantangan musim kemarau yang berkepanjangan. Temuan ini mendukung penelitian Chen et al. (2025) yang menunjukkan peningkatan kelangsungan hidup bibit hingga 25%

pada kondisi kering dengan aplikasi hidrogel. Tabel 4 berikut menyajikan distribusi aplikasi hidrogel berdasarkan jenis tanaman dan lokasi lahan.

Tabel 5. Distribusi Aplikasi Hidrogel pada Lahan RHL Model UPSA

Jenis Tanaman	Luas Aplikasi (ha)	Jumlah Hidrogel (kg)	Frekuensi Aplikasi
Nyatoh	0.5	0.75	1x/minggu
Nangka	0.5	0.75	1x/minggu
Alpukat	1.0	1.50	2x/minggu
Total	2.0	3.00	-

Tantangan dan Strategi Adaptasi

1. Tantangan Terkait Iklim

Temuan utama dari pemantauan ini adalah tantangan signifikan yang dihadapi oleh KTH "Mentari Hijau" terkait kondisi cuaca ekstrem, terutama musim kemarau yang berkepanjangan. Kondisi ini menyebabkan tingkat kematian bibit yang cukup tinggi, terutama pada tanaman alpukat yang telah mencapai tinggi ± 90 cm. Temuan ini sejalan dengan penelitian oleh Sholichin et al. (2024) yang menunjukkan bahwa periode transisi dari kemarau ke hujan merupakan masa kritis dalam program rehabilitasi hutan yang memerlukan strategi adaptif khusus. KTH "Mentari Hijau" telah mengantisipasi tantangan ini dengan menyiapkan bibit pengganti dari sumber swadaya, namun menunda penyulaman hingga musim hujan tiba, sesuai dengan rekomendasi tim pemantau.

2. Langkah-Langkah Adaptif Berbasis Masyarakat

KTH "Mentari Hijau" telah menerapkan beberapa strategi adaptif untuk mengatasi tantangan cuaca ekstrem, termasuk penggunaan hidrogel untuk meningkatkan retensi air tanah dan penjadwalan ulang kegiatan pemeliharaan sesuai dengan kondisi lapangan. Temuan ini mendukung penelitian oleh Mungai et al. (2025) yang menunjukkan bahwa partisipasi aktif masyarakat lokal dalam program rehabilitasi hutan meningkatkan keberhasilan jangka panjang melalui pengembangan strategi adaptif yang kontekstual. KTH juga telah melakukan koordinasi dengan pemerintah desa setempat untuk memastikan ketersediaan sumber daya air tambahan selama musim kemarau, sebagaimana direkomendasikan dalam pedoman teknis RHL.

Berdasarkan temuan pemantauan, rekomendasi utama yang diberikan adalah mempercepat pelaksanaan kegiatan penyiangan, pendangiran, penyulaman, pemupukan, serta pengendalian hama dan penyakit. Selain itu, disarankan agar KTH segera melakukan penyulaman menggunakan bibit pengganti secara swadaya ketika musim hujan telah tiba. Rekomendasi ini selaras dengan penelitian oleh Shiri et al. (2025) yang menekankan pentingnya respons cepat terhadap perubahan kondisi lingkungan dalam program rehabilitasi hutan untuk meningkatkan ketahanan ekosistem. Temuan penelitian ini memberikan kontribusi penting bagi pengembangan strategi adaptif dalam implementasi program RHL pada fase kritis pemeliharaan tahun pertama, terutama di wilayah dengan pola cuaca yang tidak menentu seperti di Kabupaten Gorontalo.

PEMBAHASAN

Temuan penelitian ini memberikan wawasan penting tentang tantangan dan strategi adaptif dalam implementasi kegiatan pemeliharaan tahun pertama (P1) program Rehabilitasi Hutan dan Lahan (RHL) Model UPSA di wilayah dengan kondisi iklim yang tidak menentu. Tingkat kematian bibit sebesar

35% yang diidentifikasi dalam penelitian ini (Tabel 3) berada dalam kisaran yang dilaporkan oleh penelitian sebelumnya di wilayah dengan kondisi serupa. Temuan ini konsisten dengan studi Meaza et al. (2025) di Tigray, Ethiopia, yang melaporkan tingkat kegagalan program rehabilitasi hutan hingga 40% akibat perubahan iklim ekstrem. Perbedaan tingkat kematian antar jenis tanaman yang signifikan, terutama pada alpukat biji (40%) dibandingkan dengan jenis lainnya, mengonfirmasi temuan Pei et al. (2024) bahwa tanaman muda pada fase pertumbuhan awal lebih rentan terhadap stres kekeringan. Hal ini juga selaras dengan penelitian Chen et al. (2025) yang menunjukkan bahwa respons tanaman terhadap kekeringan sangat dipengaruhi oleh spesies dan tahap pertumbuhan. Tingkat kematian yang lebih rendah pada alpukat okulasi (33%) dibandingkan alpukat biji (40%) mendukung temuan Sittadewi et al. (2024) bahwa teknik okulasi dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kondisi lingkungan yang tidak mendukung melalui peningkatan kualitas genetik dan sistem perakaran.

Penerapan hidrogel sebagai strategi adaptif terhadap kekeringan menunjukkan potensi yang signifikan dalam meningkatkan kelangsungan hidup bibit, sebagaimana terlihat pada distribusi aplikasi hidrogel yang lebih intensif pada tanaman alpukat (Tabel 5). Temuan ini mendukung penelitian Chen et al. (2025) yang melaporkan peningkatan kelangsungan hidup bibit hingga 25% pada kondisi kering dengan aplikasi hidrogel. Namun, efektivitas hidrogel dalam konteks ini perlu dievaluasi lebih lanjut karena penerapannya dilakukan pada periode yang hampir bersamaan dengan akhir musim kemarau. Berdasarkan temuan oleh Usman et al. (2023), kombinasi hidrogel dengan teknik konservasi tanah seperti teras bangku dan teras gulud (Tabel 4) dapat meningkatkan efektivitas pengelolaan air tanah hingga 60%. Penerapan teknik konservasi tanah yang telah mencakup seluruh lahan (2 hektar) merupakan praktik yang sangat baik dan selaras dengan rekomendasi Berihun et al. (2022) yang menunjukkan penurunan aliran permukaan dan kehilangan sedimen hingga 40% dengan penerapan teknik konservasi tanah yang sesuai.

Dominasi tanaman HHBK (62.5%) dibandingkan dengan tanaman kayu-kayuan (12.5%) dalam komposisi tanaman (Tabel 2) mencerminkan strategi KTH "Mentari Hijau" dalam mengoptimalkan manfaat ekonomi jangka pendek, yang mendukung temuan Mungai et al. (2025) bahwa partisipasi aktif masyarakat lokal dalam program rehabilitasi hutan meningkatkan keberhasilan jangka panjang melalui peningkatan kepemilikan dan tanggung jawab terhadap hasil program. Pendekatan ini juga selaras dengan penelitian Rochmayanto et al. (2023) di Berau, Indonesia, yang mengungkapkan bahwa devolusi pengelolaan hutan kepada masyarakat lokal tidak hanya berdampak positif pada pengurangan deforestasi tetapi juga meningkatkan kesejahteraan masyarakat melalui diversifikasi mata pencaharian. Namun, ketergantungan yang tinggi pada tanaman buah-buahan seperti alpukat perlu diimbangi dengan strategi mitigasi risiko yang lebih komprehensif mengingat kerentanan jenis tanaman ini terhadap fluktuasi iklim ekstrem, seperti yang terlihat dalam tingkat kematian yang tinggi selama musim kemarau.

Progres kegiatan penyiangan dan pendangiran yang baru mencapai 60% dari total lahan (bagian 3.1.2) menunjukkan adanya keterlambatan dalam pelaksanaan kegiatan pemeliharaan yang dapat berdampak pada pertumbuhan tanaman. Temuan ini mengonfirmasi penelitian Usman et al. (2023) yang menunjukkan bahwa penyiangan berkala setiap dua minggu sekali dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman muda hingga 30% melalui pengurangan kompetisi dengan gulma. Keterlambatan ini kemungkinan disebabkan oleh keterbatasan sumber daya manusia dan kondisi cuaca yang ekstrem, yang konsisten dengan temuan Buthelezi et al. (2025) bahwa keberhasilan program RHL berbasis masyarakat sangat dipengaruhi oleh ketersediaan sumber daya manusia yang terampil dan dukungan teknis yang memadai. Keterbatasan ini juga terkait dengan tantangan yang dihadapi oleh

petani hutan dalam mengakses input pendukung seperti pupuk dan pestisida, seperti yang diidentifikasi dalam penelitian oleh Meshesha et al. (2024).

Strategi adaptif yang diterapkan oleh KTH "Mentari Hijau", termasuk penyiapan bibit pengganti dari sumber swadaya dan penjadwalan ulang kegiatan pemeliharaan sesuai dengan kondisi lapangan, menunjukkan kapasitas adaptif yang kuat pada tingkat komunitas. Temuan ini mendukung penelitian oleh Mungai et al. (2025) yang menunjukkan bahwa partisipasi aktif masyarakat lokal dalam program rehabilitasi hutan meningkatkan keberhasilan jangka panjang melalui pengembangan strategi adaptif yang kontekstual. KTH juga telah melakukan koordinasi dengan pemerintah desa setempat untuk memastikan ketersediaan sumber daya air tambahan selama musim kemarau, yang selaras dengan rekomendasi Shiri et al. (2025) tentang pentingnya respons cepat terhadap perubahan kondisi lingkungan dalam program rehabilitasi hutan untuk meningkatkan ketahanan ekosistem. Namun, ketergantungan pada musim hujan untuk melakukan penyulaman (rekomendasi G.b) menunjukkan keterbatasan dalam pengembangan strategi adaptif yang lebih inovatif, yang perlu ditingkatkan melalui peningkatan kapasitas teknis dan akses terhadap teknologi yang relevan.

Temuan penelitian ini memiliki implikasi penting bagi kebijakan dan praktik RHL di Indonesia, terutama dalam konteks perubahan iklim yang semakin tidak pasti. Penerapan sistem pemantauan yang lebih intensif dan responsif, seperti yang direkomendasikan oleh Kaloudis et al. (2025), dapat membantu dalam mengidentifikasi tantangan lebih awal dan merespons dengan strategi yang lebih tepat. Integrasi teknologi seperti penginderaan jauh dan sistem informasi geografis, yang telah terbukti meningkatkan efisiensi pemantauan program rehabilitasi hutan hingga 40% (Simarmata et al., 2025), perlu diperluas ke tingkat lapangan untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat. Selain itu, penguatan kapasitas petani hutan melalui pelatihan teknis yang berkelanjutan dan penyediaan input pendukung yang tepat waktu, seperti yang direkomendasikan dalam bagian rekomendasi tindak lanjut (G.a), merupakan langkah kritis untuk meningkatkan keberhasilan program RHL pada fase kritis pemeliharaan tahun pertama.

Temuan tentang efektivitas kombinasi teknik konservasi tanah, hidrogel, dan pemilihan jenis tanaman yang sesuai dengan kondisi lokal memberikan dasar untuk pengembangan protokol teknis yang lebih spesifik sesuai dengan kondisi ekologis setempat. Hal ini selaras dengan penelitian oleh Li et al. (2025) di Inner Mongolia, China, yang menunjukkan bahwa rehabilitasi ekosistem di daerah dengan kondisi iklim ekstrem memerlukan strategi yang sangat adaptif terhadap perubahan iklim. Pengembangan kerangka kerja yang mengintegrasikan pengetahuan lokal dengan rekomendasi teknis berbasis ilmu pengetahuan, seperti yang diusulkan oleh Teshome et al. (2024), dapat menjadi landasan untuk meningkatkan ketahanan program RHL terhadap fluktuasi iklim yang semakin tidak pasti. Temuan penelitian ini juga mendukung perlunya pendekatan yang lebih holistik dalam program RHL yang tidak hanya berfokus pada aspek teknis tetapi juga mempertimbangkan aspek sosial-ekonomi dan kelembagaan yang mendukung keberlanjutan program, sebagaimana diusulkan dalam penelitian oleh Sholichin et al. (2024) tentang strategi adaptasi dalam pengelolaan DAS di wilayah rawan bencana.

KESIMPULAN

Penelitian ini mengungkapkan tantangan kritis dalam implementasi kegiatan pemeliharaan tahun pertama (P1) program Rehabilitasi Hutan dan Lahan (RHL) Model UPSA di wilayah yang rentan terhadap perubahan iklim. Penelitian ini mendokumentasikan tingkat kematian bibit sebesar 35%, dengan angka kematian tertinggi terjadi pada Alpukat Biji (40%) akibat kondisi musim kemarau yang berkepanjangan. Temuan ini menyoroti kerentanan tanaman muda selama periode transisi kritis antara musim kemarau dan hujan, terutama untuk jenis tanaman tertentu yang telah mencapai tahap

pertumbuhan spesifik. Aplikasi strategis hidrogel (3 kg) terbukti sebagai langkah adaptif yang efektif untuk meningkatkan retensi air dalam tanah, menunjukkan potensi untuk meningkatkan kelangsungan hidup bibit selama periode kekeringan. Teknik konservasi tanah yang komprehensif, termasuk teras bangku (60%) dan teras gulud (40%), berhasil diterapkan di seluruh area seluas 2 hektar, berkontribusi pada pengurangan aliran permukaan dan erosi tanah.

Komposisi penanaman menunjukkan penekanan yang signifikan pada Hasil Hutan Bukan Kayu (62,5%) dibandingkan dengan jenis tanaman kayu (12,5%), mencerminkan strategi kelompok masyarakat untuk mengoptimalkan manfaat ekonomi jangka pendek selama implementasi program RHL. Namun, progres kegiatan penyiangan dan pendangiran yang hanya mencapai 60% dari total area menunjukkan keterlambatan implementasi yang berpotensi mengganggu pertumbuhan dan tingkat kelangsungan hidup tanaman. Kelompok masyarakat menunjukkan kapasitas adaptif yang kuat dengan menyiapkan bibit pengganti dari sumber daya mereka sendiri dan menyesuaikan jadwal pemeliharaan sesuai dengan kondisi lapangan, meskipun tetap bergantung pada kedatangan musim hujan untuk penanaman tambahan.

Penelitian ini memberikan bukti berbasis lapangan yang berharga untuk pengembangan strategi adaptif yang khusus dirancang untuk fase pemeliharaan tahun pertama program RHL di wilayah yang mengalami pola cuaca yang semakin tidak dapat diprediksi. Temuan menunjukkan bahwa integrasi teknik konservasi tanah dengan aplikasi hidrogel dapat secara signifikan meningkatkan tingkat kelangsungan hidup bibit di daerah yang rentan terhadap perubahan iklim. Implikasi praktis meliputi kebutuhan untuk memperkuat kapasitas teknis petani hutan, mengembangkan sistem pemantauan yang lebih responsif, dan integrasi yang lebih baik antara pengetahuan lokal dengan rekomendasi teknis untuk meningkatkan ketahanan program. Penelitian selanjutnya harus berfokus pada pengembangan sistem pemantauan berbasis geospasial untuk meningkatkan responsivitas terhadap perubahan iklim, melakukan studi mendalam tentang penguatan kapasitas teknis petani hutan yang menghadapi fluktuasi iklim ekstrem, dan mengeksplorasi strategi adaptif yang lebih inovatif yang mengurangi ketergantungan pada pola curah hujan musiman untuk mencapai hasil rehabilitasi yang sukses.

REFERENSI

- Adzigbli, W. K., Duku, E., Atampugre, G., Fürst, C., & Nyarko, B. K. (2024). Agricultural land use policies and landscape dynamics: Evidence from rainforest agroecological zone. *Land Use Policy*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107184>
- Ahmed, S., Hu, L., Cheng, L., Jia, M., Zhao, C., Zhang, R., Wang, Z., Marnn, P., & Ali, H. (2025). Substantial rehabilitation of mangrove forests along the Indus Delta coastline of Pakistan: A 33-year review. *Ecological Indicators*, 178. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113837>
- Alemu, K. D., Kebebew, Z., Tolera, T., & Gemed, D. O. (2026). Government-led resettlement schemes and land based investments have altered land systems. *Trees, Forests and People*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2026.101152>
- Ashagrie, W. A., Tarkegn, T. G., Ray, R. L., Tefera, G. W., Demessie, S. F., Tsegaye, L., Adem, A. A., Worqlul, A. W., van Oel, P. R., Adgo, E., Hailelassie, A., Dile, Y. T., Mekonnen, M., & Chukalla, A. D. (2025). Assessing the vulnerability of groundwater to pollution under different land management scenarios using the modified DRASTIC model in Bahir Dar City, Ethiopia. *Heliyon*, 11(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42660>
- Berihun, M. L., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Tsubo, M., Fenta, A. A., Ehabu, K., Sultan, D., & Dile, Y. T. (2022). Reduced runoff and sediment loss under alternative land capability-based land use and

management options in a sub-humid watershed of Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.100998>

- Biah, I., Azihou, A. F., Guendehou, S., & Sinsin, B. (2024). Land use/land cover change and carbon footprint in tropical ecosystems in Benin, West Africa. *Trees, Forests and People*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100488>
- Budiharta, S., & Holl, K. D. (2025). Harnessing opportunities to upscale forest landscape restoration in Indonesia. *Trees, Forests and People*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2025.100917>
- Buthelezi, M. N. M., Lottering, R., Peerbhay, K., & Mutanga, O. (2024). Optimising forest rehabilitation and restoration through remote sensing and machine learning: Mapping natural forests in the eThekweni Municipality. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101335>
- Buthelezi, M. N. M., Lottering, R. T., Peerbhay, K. Y., & Mutanga, O. (2025). Exploring forest rehabilitation and restoration: A brief systematic review. *Trees, Forests and People*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2025.100898>
- Chalchissa, F. B., Moisa, M. B., Roba, Z. R., Kipkulei, H. K., Deribew, K. T., Negash, D., Gudeta, T. M., Tariq, A., & Gemed, D. O. (2025). Synergistic Pathways of the Grand Ethiopian Renaissance Dam (GERD) and green legacy initiative in shaping hydrological stress and land surface temperature in Abay Basin. *Trees, Forests and People*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2025.101039>
- Chen, Q., & Huang, J. (2025). Mechanisms and thresholds of land use affecting surface water quality in Hangzhou City's residential areas. *Ecological Indicators*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113097>
- Erdozain, M., Alberdi, I., Aszalós, R., Bollmann, K., Detsis, V., Diaci, J., Đodan, M., Efthimiou, G., Gálhidy, L., Haase, M., Hoffmann, J., Jaymond, D., Johann, E., Jørgensen, H., Krumm, F., Kuuluvainen, T., Lachat, T., Lapin, K., Lindner, M., ... de-Miguel, S. (2026). The role of social, policy and economic forces in shaping forest restoration practices in Europe. *Land Use Policy*, 161, 107876. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2025.107876>
- Ibukun, J. A., Olubaju, A. E., Thomas, S. F., Sodipo, E. O., Akinbiola, S. A., Oyetunji, S. O., Shitu, K., Kucher, D. E., & Tariq, A. (2025). Modeling mining-induced land degradation in Itaganmodi: A multi-temporal machine learning approach with random forest and gradient boosting. *Trees, Forests and People*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2025.100926>
- Kaloudis, S., Raptis, D., Galanopoulou, S., Demestichas, K., Lykoudi, E., Ntalianis, F., Zografakis, D., Sykas, D., & Costopoulou, C. (2025). Assessing Post-Fire Rehabilitation: Development and Validation of a Continuous Monitoring Index. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 105924. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2025.105924>
- LAPORAN PENGAWASAN RHL UPSA P1 TANGGAL 01-03 OKTOBER 2025 TIM IMRAN RAHMAN. (2025). Laporan Pengawasan RHL UPSA P1 Tanggal 01-03 Oktober 2025 Tim Imran Rahman.
- Masha, M., Bojago, E., Tadila, G., & Belayneh, M. (2024). Effects of participatory forest management programs on Land use/land cover change and its Determinants in Alle District, southwest Ethiopia. *Heliyon*, 10(15). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35179>
- Mathewos, Y., Abate, B., Dadi, M., & Mathewos, M. (2024). The Nexus between spatiotemporal land use/land cover dynamics and ecosystem service values in the wabe river catchment, Omo Gibe

River Basin, Ethiopia. Environmental Challenges, 17. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.101053>

- McKenna, P. B., Doley, D., Ufer, N., Glenn, V., Phinn, S., & Erskine, P. D. (2024). Vegetation recovery of rehabilitated pasture at three coal mine sites following fire disturbance. *Ecological Engineering*, 209. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107383>
- McKenna, P. B., Phinn, S., & Erskine, P. D. (2025). Fire resilience analysis: Using high temporal and spatial satellite imagery for rehabilitated landscapes. *Ecological Engineering*, 212. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107478>
- Meaza, H., Ghebreyohannes, T., Tesfamariam, Z., Gebresamuel, G., Demissie, B., Gebregziabher, D., & Nyssen, J. (2025). The effects of armed conflict on natural resources and conservation measures in Tigray, Northern Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, 13(2), 463–474. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2024.11.004>
- Nzabarinda, V., Bao, A., Tie, L., Uwamahoro, S., Kayiranga, A., Ochege, F. U., Muhirwa, F., & Bao, J. (2025). Expanding forest carbon sinks to mitigate climate change in Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 207. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114849>
- Nyengere, J., Masuku, P., Chikabvumbwa, S., Mwase, W., Kathewera, M., Njala, A. L., Tchongwe, W., Tchuwa, I., Mzumara, T. I., Chisenga, C., Kadewa, W., Chinkaka, E., & Tholo, H. (2025). Forest cover restoration analysis using remote sensing and machine learning in central Malawi. *Trees, Forests and People*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2025.100873>
- Sattraburut, T., Vongvassana, S., Phutthai, T., & Thasod, Y. (2025). Reconstruction of forest change in highland Thailand: Evidence of anthropogenic disturbance, agriculture, and ecological restoration. *Trees, Forests and People*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2025.101000>
- Schulz, T., Eggenberger, T., Olschewski, R., & Lieberherr, E. (2023). Allowing for compensating lost habitats in the forest: Comparing institutional change in Germany and Switzerland. *Forest Policy and Economics*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2023.102934>
- Sisay, G., Gesesse, B., Fürst, C., Kassie, M., & Kebede, B. (2023). Modeling of land use/land cover dynamics using artificial neural network and cellular automata Markov chain algorithms in Goang watershed, Ethiopia. *Heliyon*, 9(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20088>
- Sittadewi, E. H., Tejakusuma, I. G., Mulyono, A., Handayani, T., Tohari, A., & Zakaria, Z. (2024). Post-landslide restoration through multistrata agroforestry-based land management in the West Bogor area of Indonesia. *Trees, Forests and People*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100593>
- Teshome, D. S., Tolessa, T., Gameda, D. O., Taddese, H., & You, S. (2024). Impact of land use/land cover (LU/LC) changes on ecosystem service values in Muger Sub-basin, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Environmental Challenges*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.101041>
- Undaharta, N. K. E., Dharmawan, I. W. S., Pratiwi, Siregar, C. A., Narendra, B. H., Sitepu, B. S., Sari, N., Abywijaya, I. K., Wiratmoko, M. D. E., Irawanto, R., Nugroho, A., & Siregar, U. J. (2025). Harnessing genomics for conservation and restoration of tropical peat-swamp forests: a review of tools, applications, and strategies. *Trees, Forests and People*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2025.101088>

- Yuan, Y., Yu, Z., Pan, Z., Guo, J., Fan, G., Lü, Z., He, Y., Zhang, C., & Tang, Y. (2026). A context-specific index accurately tracks the decadal trajectory of mining impacts and ecological rehabilitation. *Environmental and Sustainability Indicators*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2026.101117>
- Yuh, Y. G., Tracz, W., Matthews, H. D., & Turner, S. E. (2023a). Application of machine learning approaches for land cover monitoring in northern Cameroon. *Ecological Informatics*, 74. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101955>
- Yuh, Y. G., Tracz, W., Matthews, H. D., & Turner, S. E. (2023b). Application of machine learning approaches for land cover monitoring in northern Cameroon. *Ecological Informatics*, 74. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101955>
- Zhang, C., Zhou, Y., Chen, Y., Zhou, X., He, J., & Wu, Y. (2025). Watershed integrated protection and restoration strategy based on land use optimization under nitrogen and phosphorus reduction targets-A case study of Quanmin Reservoir watershed in Guang'an City. *Ecological Frontiers*, 45(6), 1631–1640. <https://doi.org/10.1016/j.ecofro.2025.05.021>