SUCOFINDO

2026 TRANSFORMASI

LAHAN PASCATAMBANG TERINTEGRASI MELALUI KONSERVASI DAN KEMITRAAN STRATEGIS







Radhitya Prass Marhaindra,
Alwi Andani,
Uus Uswatun Hasanah,
Andini Cahya Alifiany

SUCOFINDO

2026 TRANSFORMASI

LAHAN PASCATAMBANG TERINTEGRASI MELALUI KONSERVASI DAN KEMITRAAN STRATEGIS







Radhitya Prass Marhaindra,
Alwi Andani,
Uus Uswatun Hasanah,
Andini Cahya Alifiany

TRANSFORMASI LAHAN PASCATAMBANG TERINTEGRASI MELALUI KONSERVASI DAN KEMITRAAN STRATEGIS

Penulis:
Radhitya Prass Marhaindra, Alwi Andani, Uus Uswatun Hasanah, Andini Cahya Alifiany

ISBN: 978-634-7455-51-2

Editor:
Andini Cahya Alifiany

Desain Sampul dan Tata Letak:
Andini Cahya Alifiany

Penerbit:
PT SUCOFINDO (PERSERO)
Jl. Pemuda No. 171, Sekayu, Kec. Semarang Tengah, Kota Semarang
Cetakan Pertama, Tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-undang.
Dilarang memperbanyak dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit
Buku ini diterbitkan oleh PT SUCOFINDO (PERSERO) bekerjasama dengan PT ADIMITRA BARATAMA NUSANTARA.

SUCOFINDO

HAK CIPTA

Ketentuan pidana dalam **Pasal 113 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta** antara lain menyebutkan:

1. Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000,00 (seratus juta rupiah).
2. Setiap orang yang tanpa hak dan/atau tanpa izin pencipta atau pemegang hak cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap orang yang tanpa hak dan/atau tanpa izin pencipta atau pemegang hak cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1)

huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).

5. Setiap orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga buku ini dapat tersusun. Buku ini hadir sebagai dokumentasi sekaligus refleksi atas empat program pengelolaan keanekaragaman hayati dan pemulihan ekosistem pascatambang yang dijalankan oleh PT Adimitra Baratama Nusantara (ABN), yaitu Konservasi Arboretum KHMF Bukit Kayu Arang, ABN Resilient Nursery, Beyond Reclamation, dan Gen Matrix Ecosystem.

Penyusunan buku ini tidak semata-mata bertujuan merekam capaian teknis. Buku ini juga dimaksudkan untuk menuturkan alasan di balik setiap keputusan, pelajaran yang dipetik di lapangan, kesulitan yang dihadapi, serta harapan jangka panjang yang menyertai upaya pemulihan. Berada pada tuntutan perlindungan lingkungan yang kian tinggi, ABN memandang bahwa reklamasi tidak berhenti pada kewajiban administratif untuk menutup bukaan tambang dengan tanaman. Reklamasi adalah komitmen untuk mengembalikan fungsi ekologis lahan: tanah yang kembali hidup, habitat

yang kembali dihuni satwa, dan jenis-jenis tumbuhan lokal yang tetap lestari.

Keempat program dirancang agar saling menopang. Arboretum menjaga koleksi tumbuhan hidup sekaligus menjadi kawasan rujukan, persemaian menyediakan bibit dan menyelamatkan plasma nutfah, penanaman jenis pionir lokal membangun kembali tutupan vegetasi di lahan pascatambang, sedangkan kerangka Gen Matrix Ecosystem mengikat semuanya melalui kepastian legalitas kawasan, pemantauan berkala, dan kemitraan multipihak.

Besar harapan penulis agar buku ini bermanfaat bagi praktisi pertambangan dan lingkungan, akademisi, mahasiswa, peneliti, serta pemangku kepentingan yang ingin memahami praktik pemulihan ekosistem pascatambang yang terukur dan berkelanjutan.

Akhir kata, penulis menyampaikan apresiasi setinggi-tingginya kepada seluruh pihak yang terlibat dari perencanaan hingga pelaksanaan program: tim lingkungan, tim persemaian, jajaran manajemen, kontraktor, masyarakat sekitar, perguruan tinggi, dan mitra pendukung lainnya. Semoga buku ini

menginspirasi upaya serupa di masa mendatang dan menjadi pengingat bahwa kehidupan baru dapat tumbuh dari tanah yang dirawat dengan ilmu, kepedulian, dan ketekunan bersama.

Kutai Kartanegara, 5 April 2026

Kepala Teknik Tambang
Djoko Budi Susilo

DAFTAR ISI

HAK CIPTA ii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vii
PROFIL PERUSAHAAN 8
BAB I PENGANTAR 14
BAB II DINAMIKA PERUBAHAN 20
BAB III SINERGI KONSERVASI DAN EKOLOGI 30
BAB IV TRANSFORMASI NYATA DI LAPANGAN 41
BAB V DAMPAK DAN KEBERMANFAATAN 49
BAB VI KUANTIFIKASI KEHATI 53
BAB VII PENUTUP 68
DAFTAR PUSTAKA 71

PROFIL PERUSAHAAN
PT ADIMITRA BARATAMA NUSANTARA

Profil Perusahaan

PT Adimitra Baratama Nusantara (ABN) merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan batubara di Provinsi Kalimantan Timur. PT ABN memiliki Izin Usaha Pertambangan dengan Operasi Produksi dengan Nomor 540/1691/IUP-OP/MB-{BAT/XII/2009 tanggal 1 Desember 2009. PT ABN memiliki luas konsesi sekitar 3.000 hektare yang berlokasi di Kabupaten Kutai Kartanegara. ABN mulai berproduksi pada Desember 2008 dan sejak itu terus mengembangkan kegiatan penambangannya.

PT ABN merupakan anak perusahaan dari PT Toba Bara Sejahtera Tbk yang beralamat di Treasury Tower, Level 33 Office District 8, SCBD Lot 28 Jl. Jend Sudirman Kav. 52-53, Jakarta. Penanggung jawab rencana atau kegiatan adalah Hamid Awaluddin, yang menjabat sebagai Presiden Direktur. ABN merupakan anak perusahaan PT TBS Energi Utama Tbk (TBS), yang sebelumnya dikenal sebagai PT Toba Bara Sejahtra Tbk. TBS menjalankan kegiatan usaha melalui investasi di bidang pertambangan batubara dan, sebagai bagian dari kelompok usaha tersebut, ABN beroperasi

berdampingan dengan tambang lain seperti PT Indomining.

Pada tahun-tahun awal operasi, ABN bekerja sama dengan kontraktor jasa penambangan, antara lain PT Petrosea Tbk yang pada tahun 2009 memperoleh kontrak senilai sekitar US$200 juta, serta kontraktor lokal PT Bangun Karya Pratama Lestari. Batubara ABN diangkut menggunakan tongkang menuju area labuh di Muara Jawa. Produknya berupa batubara termal dengan nilai kalori sekitar 5.800 dan 5.200 kkal/kg (GAR).

Karena berada di wilayah yang berdekatan dengan sungai, permukiman, dan kawasan bervegetasi, pengelolaan lingkungan menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari operasi ABN. Berdasarkan konteks ini, PT ABN menjalankan empat program pengelolaan keanekaragaman hayati dan pemulihan ekosistem pascatambang yang menjadi pokok bahasan buku ini.

PT Adimitra Baratama Nusantara selaku perusahaan penanaman modal dalam negeri yang mendapatkan perizinan sebagai berikut:

1. Keputusan Bupati Kutai Kartanegara Nomor: 540/1691/IUP-OP/MB-PBAT/XII/2009 pada tanggal 1 Desember 2009 dengan masa berlaku sampai dengan 1 Desember 2029 tentang Persetujuan Izin

Usaha Pertambangan Operasi Produksi Kepada PT Adimitra Baratama Nusantara dengan luas 2.990 ha. Masa berlaku adalah 1 Desember 2029.

2. Surat Persetujuan Studi Kelayakan SK FS No T-268/MB.05/MEM.B/2023, Tanggal 17 maret 2023.
3. Surat Persetujuan Rencana Reklamasi No T-122/MB.07/MEM.B/2023, Tanggal 6 Februari 2023.
4. Surat Penetapan dan Perintah Penempatan Jaminan Pascatambang PT Adimitra Baratama Nusantara B-1988/MB.07/DJB.Tanggal 3 November 2023

PT Adimitra Baratama Nusantara dipimpin oleh Bp Sudharmono Saragih sebagai Direktur Operasional dan Bp. Juvenri Situngkir sebagai General Manager Operation dan KTT pada tahun 2021-2024 dan dilanjutkan oleh Bp. Djoko Budi Susilo pada 2025-2027 sebagai General Manager Operation dan KTT.

Visi dan Misi PT Adimitra Baratama Nusantara

Visi PT ABN adalah:

"Menjadi perusahaan penyedia energi terkemuka di pasar domestik dan global".

Misi PT ABN adalah:

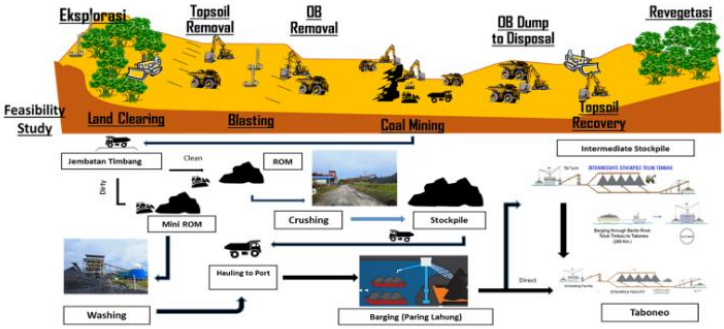
"Menerapkan standar mutu dan kesehatan dan keselamatan kerja (K3) di semua operasi bisnis sebagai aspek utama untuk melindungi karyawannya dan memastikan rencana pengelolaan lingkungan yang baik untuk menghindari dampak negatif ke daerah di sekitarnya; melakukan promosi secara luas akan program pengembangan ekonomi, sosio kultural masyarakat sekitarnya; serta menjalankan operasi penambangan yang baik".



Gambar 1.1 Kantor PT Adimitra Baratama Nusantara

Gambaran Sistem Produksi

Kegiatan produksi ABN terdiri atas beberapa proses yang berurutan, mulai dari persiapan lahan hingga pengangkutan batubara dan pemulihan lahan bekas tambang. Menurut kajian yang tersedia, kegiatan penggalian dan pengolahan batubara dilakukan sendiri oleh ABN, sedangkan pengupasan lapisan penutup dilakukan oleh kontraktor jasa penambangan. Proses tersebut diuraikan sebagai berikut:



Gambar 1.2 Proses Produksi Batubara PT ABN

I. **Proses *upstream* (*cradle*)**

1. ***Land Clearing***

   Merupakan kegiatan membersihkan semua vegetasi yang berada di dalam area/lokasi yang akan digunakan untuk kegiatan penambangan (pit dan disposal) dan kegiatan pendukung (jalan, kolam pengendapan, office, coal prosesing plant, dsb).

2. ***Top Soil Removal***

   Merupakan pemindahan lapisan tanah pucuk yang berfungsi untuk menyelamatkan lapisan tanah pucuk agar tidak rusak sehingga masih memiliki unsur hara yang kemudian dapat digunakan dapat digunakan kembali untuk kegiatan reklamasi.

3. ***Bank Soil***

   merupakan tempat yang disiapkan untuk menampung top soil yang belum akan digunakan

4. **Disposal**

   Proses penimbunan material OB di lokasi lainnya, sebelum dilakukan spreading dengan material top soil untuk revegetasi

5. **Top Soil Spreading**

   Merupakan proses pemulihan/penebaran lapisan tanah pucuk pada penataan lahan di area reklamasi.

6. **Revegetasi**

   Merupakan proses kegiatan reklamasi berupa penanaman atau penghijauan kembali daerah bekas tambang dengan jenis tanaman tertentu.

7. ***Overburden Removal***

Merupakan proses pemindahan lapisan material bongkaran alat gali berupa bantuan penutup yang kemudian dipindahkan ke tempat penumpukan yang telah direncanakan (disposal).

8. ***Coal Geting***
   Merupakan proses penambangan batubara dengan mempertimbangkan berbagai macam aspek.
9. ***Coal Hauling to Mini ROM***
   Merupakan proses pemindahan *dirty raw* material batubara dari tambang menuju area penyimpanan sebelum di *washing.*

II. Proses Core (*gate to gate*)

1. ***Coal Crushing***
   Merupakan proses *re-sizing* material atau penghancuran raw batubara menjadi produk dengan ukuran -/+ 50 mm.
2. ***Coal Stockpile***
   Merupakan area yang disediakan untuk penumpukan batubara produk (setelah proses *crushing* ataupun *washing*).
3. ***Coal Hauling to Port***
   merupakan proses pemindahan produk batubara setelah proses *crushing* dan tersimpan di *stockpile* menuju *barge* (tongkang) menggunakan *barge loader conveyor* ataupun menggunakan unit *dump truck.*

Fasilitas Pendukung

1. **Perkantoran**
   adalah unit penunjang yang digunakan untuk aktivitas administrasi. Aktivitas domestik di

perkantoran sebagai unit penunjang memerlukan konsumsi energi dan air serta menghasilkan timbulan limbah B3 dan sampah

2. **TPS Sampah**
   Fasilitas penunjang pengelolaan sampah yang dihasilkan dalam proses produksi utama dan penunjang. Pengelolaan sampah termasuk pengangkutan dan pengolahan sampah
3. **TPS Limbah B3**
   Fasilitas penunjang pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) yang dihasilkan dalam proses produksi batubara. Pengelolaan limbah B3 termasuk pengangkutan dan pengolahan limbah menuju pihak ketiga
4. **Settling Pond**
   Fasilitas pengolahan air limbah domestik yang berasal dari aktivitas sehari-hari, seperti dari mess, dapur, kamar mandi, maupun kantor. STP berfungsi untuk mengolah air limbah domestik agar kualitas efluen (air buangan hasil olahan) memenuhi baku mutu lingkungan sebelum dilepas ke badan air penerima atau digunakan kembali untuk kebutuhan tertentu.
5. **Workshop**
   Fasilitas perawatan dan perbaikan peralatan operasional yang dilengkapi dengan sarana kerja, penyimpanan suku cadang, serta sistem pengelolaan limbah. Dalam kegiatan workshop, proses perawatan mesin, kendaraan, dan alat berat sering menghasilkan limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun), seperti oli bekas,

filter oli, accu bekas, kain majun terkontaminasi, maupun kemasan bahan kimia.

Fasilitas Kegiatan Lain

1. **IPAL**

   WTP (Water Treatment Plant) merupakan fasilitas pengolahan air baku di area operasional PT Adimitra Baratama Nusantara yang berfungsi untuk mengolah air dari sumber tertentu agar memenuhi standar kualitas air bersih sesuai peruntukannya. WTP dilengkapi dengan rangkaian proses pengolahan seperti koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan desinfeksi, yang dirancang untuk menghilangkan partikel padat tersuspensi, mikroorganisme, serta kontaminan lain. Keberadaan WTP menjadi bagian penting dalam mendukung ketersediaan air bersih untuk kebutuhan operasional, serta sebagai bentuk penerapan prinsip pengelolaan lingkungan yang baik di wilayah pertambangan.

2. **Mess**

   Fasilitas akomodasi yang disediakan perusahaan untuk tempat tinggal sementara bagi karyawan, maupun tamu perusahaan selama berada di area operasional. Mess umumnya dilengkapi dengan sarana pendukung seperti kamar tidur, dapur, ruang makan, serta fasilitas kebersihan untuk mendukung kenyamanan penghuni.

III. Proses Grave

1. Transportasi Produk BatuBara ke Konsumen
   Proses pengiriman batubara menuju konsumen (industri/perusahaan) untuk selanjutnya bisa digunakan oleh konsumen
2. Penggunaan Produk oleh Konsumen
   Proses penggunaan batubara oleh konsumen, baik sebagai pengunaan bahan bakar/bahan baku di industri

Komitmen Lingkungan Perusahaan

ABN memandang pengelolaan lingkungan sebagai bagian dari izin sosial untuk beroperasi. Komitmen ini diwujudkan melalui kebijakan keanekaragaman hayati oleh PT ABN sejak 2020. Pelaksanaan reklamasi sesuai rencana yang disetujui, serta pemantauan kualitas air, udara, dan tanah secara berkala. Selain itu, ABN secara sukarela mengembangkan program pengelolaan keanekaragaman hayati yang diuraikan dalam buku ini.

Pengelolaan lingkungan di ABN dikoordinasikan oleh Departemen HSE (*Health, Safety, and Environment*) yang bekerja sama dengan unit operasi, perencanaan tambang, dan hubungan masyarakat. Pembagian peran yang jelas memungkinkan program konservasi berjalan seiring dengan jadwal produksi.

Pencapaian Perusahaan

Sejalan dengan pengelolaan lingkungan dan keselamatan kerja, ABN telah memperoleh sejumlah pengakuan dari lembaga pemerintah maupun penyelenggara penghargaan nasional.

1. **Subroto Award** oleh **Kementerian ESDM RI 2022**, 28-Sep-22 Bidang Program PPM Batubara Terinovatif
2. **Investment Award 2023** oleh Gubernur Kalimantan Timur 25-May-23 Perusahaan Pelopor Berkomitmen Dalam Bermitra Dengan UMKM di Provinsi Kalimantan Timur
3. **1st Runner Up Asean Coal Awards 2023** ASEAN Energy Award 2023 25-Aug-23
4. **1st Runner Up Asean Coal Awards 2023** Corporate Social Responsibility Medium Category, partisipasi dalam Program PPM oleh Bupati Kutai Kartanegara 24-Oct-23 Partisipasi Program PPM tahun 2022 di Kab. Kutai Kartanegara
5. **Predikat GOLD CSR Kukar Award 2023** oleh Bupati Kutai Kartanegara 27-Dec-23, Penghargaan kategori Societies Bidang Usaha Pertambangan. Program Bedah Rumah
6. **Predikat SILVER CSR Kukar Award 2023** oleh Bupati Kutai Kartanegara 27-Dec-23 Penghargaan kategori Biosphere Bidang Usaha Pertambangan.
7. **Predikat SILVER CSR Kukar Award 2023** oleh Bupati Kutai Kartanegara 27-Dec-23 Penghargaan kategori Economic Bidang Usaha Pertambangan.
8. **Partisipasi Program PPM Tahun 2024 Bidang Kesehatan** oleh Bupati Kutai Kartanegara 07-Sep-24 Program Jamban Sehat Sinergi PPM PT.ABN dengan Puskesmas Sangasanga

9. **Partisipasi Program PPM Tahun 2024 Bidang Infrastruktur** Penunjang PPM oleh Bupati Kutai Kartanegara 07-Sep-24, Program Pembangunan Posyandu Sinergi PPM PT.ABN dengan Pemerintah Kecamatan Sangasanga
10. **Partisipasi Program PPM Tahun 2024 Bidang Pendidikan** oleh Bupati Kutai Kartanegara 07-Sep-24, Program Pendidikan Bahasa Inggris (Edurunner)
11. **Partisipasi Program PPM Tahun 2024 Bidang Pertanian** oleh Bupati Kutai Kartanegara 07-Sep-24 Program Pencetakan Sawah- Sinergi PPM-PT.ABN dengan Kelompok Tani
12. **Perusahaan Berperan Aktif** dalam **Program Kesehatan Tahun 2024** oleh Dinas Kesehatan Kutai Kartanegara 12-Nov-24, Program PPM Bidang Kesehatan di Wilayah Kerja Puskesmas Sangasanga
13. **Nominee Upakarti Kategori Jasa Kepeloporan Tahun 2024** Kemenperin 05-Dec-24 Berprestasi, berjasa, aktif dalam melakukan pembangunan dan pemberdayaan industri kecil dan menengah
14. **TOP CSR Awards 2025 TOP Business** 11-Jun-25, Program CSR/PPM PT.ABN-TOP CSR Awards 2025
15. **Kategori Platinum Bisra Awards 2025** oleh Bisnis Indonesia Corporate Social Responsibility Awards (BISRA) 2025, Program Unggulan CSR Pertanian Pencetakan Sawah
16. **Terbaik Nasional 2025** Badan Usaha Swasta dengan Tenaga kerja 100-499 Jiwa oleh Menko Bidang Pemberdayaan Masyarakat RI 14-Oct-25, Badan Usaha Berkontribusi besar melindungi pekerja & keluarganya dalam program jaminan kesehatan Nasional



Gambar 1.3 Penghargaan yang diraih PT Adimitra Baratama Nusantara

BAB I
PENGANTAR: DIMULAINYA LAHAN PASCATAMBANG

1.1 Karakteristik Lahan Pascatambang

Aktivitas penambangan terbuka, memberikan tekanan besar terkait kesehatan dan kestabilan tanah. Hal ini mengakibatkan lahan bekas tambang berpotensi mengalami degradasi yang signifikan secara fisik, kimia, maupun biologis. Secara fisik, penambangan terbuka mengupas tanah pucuk, memindahkan lapisan penutup, dan memadatkan permukaan dengan alat berat. Akibatnya, struktur tanah rusak, ruang pori berkurang, dan air sulit meresap sehingga erosi mudah terjadi (Bradshaw, 1997; Sheoran et al., 2010).

Secara kimia, tanah pascatambang umumnya masam dan miskin hara. Penelitian di Loa Janan, Kutai Kartanegara, mencatat pH tanah 4,80–4,91 akibat oksidasi pirit. Kandungan C-organik sangat rendah (0,88–1,07%), nitrogen sangat rendah hingga rendah, fosfor dan kalium sangat rendah, dan kapasitas tukar kation rendah. Hujan tinggi memperparah kondisi ini karena mencuci hara (Kamarati et al., 2025). Pada material yang mengandung sulfida, oksidasi juga dapat menghasilkan air asam tambang (Akcil & Koldas, 2006).

Secara biologis, komunitas mikroba tanah menurun dan baru pulih perlahan setelah reklamasi, sehingga aktivitas mikroba sering dipakai sebagai indikator pemulihan ekosistem (Mummey et al., 2002). Padahal mikroba seperti jamur mikoriza membantu tanaman menyerap fosfor dan air (Smith & Read, 2008). Hilangnya vegetasi juga berarti hilangnya habitat dan bank biji. Pemulihan vegetasi tanpa bantuan berjalan sangat lambat dan hasilnya sering jauh dari ekosistem asal (Holl, 2002).

Degradasi lahan tidak hanya berpengaruh bagi kondisi tanah tersebut, namun hilangnya vegetasi menjadi faktor penyebab perubahan habitat, sumber pakan, tempat berlindung, dan koridor pergerakan satwa. Jenis-jenis tumbuhan lokal, terutama yang tumbuh lambat dan berbiji besar, sulit kembali dengan sendirinya karena sumber bijinya telah terputus. Dengan demikian, komunitas tumbuhan yang terbentuk cenderung seragam dan miskin fungsi ekologis.

Hasil evaluasi awal PT ABN menunjukkan bahwa tanah memiliki karakteristik yang umum ditemukan pada lahan pascatambang batubara, yaitu reaksi tanah cenderung masam, kandungan bahan organik dan unsur hara relatif rendah, serta karakteristik fisik tanah yang mengalami perubahan akibat aktivitas penambangan.

Pada lokasi ABN, kondisi tersebut tercermin dari pH H_2O 5,61 (masam), kejenuhan basa 16,94 persen (rendah), C-organik 1,43 persen (rendah), serta tekstur *silty clay loam*. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pemulihan di lahan ABN memerlukan lebih dari sekadar penanaman, tetapi juga perbaikan kualitas tanah sebagai dasar pembentukan kembali fungsi ekosistem yang berkelanjutan.



Gambar 1.4 Kondisi lahan pascatambang di area ABN sebelum program

1.2 Tantangan dalam Persemaian dan Reklamasi

Reklamasi tidak hanya terbatas pada upaya mengganti tutupan lahan dengan vegetasi baru. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 78 Tahun 2010 tentang Reklamasi dan Pascatambang, pemegang

izin pertambangan memiliki kewajiban untuk mengembalikan fungsi lingkungan serta fungsi sosial pada lahan bekas tambang. Selain itu, penerapan kaidah pertambangan yang baik mengharuskan kegiatan reklamasi dirancang, dilaksanakan, dan dipantau secara sistematis serta terukur. Dalam pelaksanaannya, ABN menghadapi berbagai tantangan yang saling berkaitan dan memengaruhi keberhasilan proses reklamasi:

1. Mutu media tanam dan bibit
   Pendekatan reklamasi yang berhasil memperlakukan perbaikan substrat sebagai syarat awal, bukan pelengkap (Tordoff et al., 2000). Bibit yang tumbuh di media masam dan miskin hara cenderung lemah sehingga daya hidupnya di lapangan rendah. Tantangan teknis pemulihan hutan di lahan bekas tambang terbuka, mulai dari pemadatan tanah, persaingan dengan gulma, hingga pemilihan jenis, telah banyak dikaji (Macdonald et al., 2015).
2. *Asal benih dan pemilihan jenis*
   Standar restorasi internasional mengutamakan jenis asli dan benih yang sesuai dengan tapak (Gann et al., 2019). Karena itu, ketergantungan pada pasokan bibit dari luar menimbulkan risiko ketidaksesuaian jenis dan hilangnya kekayaan genetik setempat.
3. *Ukuran keberhasilan*
   Keberhasilan yang hanya diukur dari luas tanam tidak menggambarkan pulihnya fungsi ekosistem. Tujuan restorasi sebaiknya dirumuskan pada struktur dan fungsi ekosistem, dengan sasaran yang realistis (Hobbs & Harris, 2001).

4. *Kewajiban regulasi dan waktu*
   Pemegang izin wajib melaksanakan reklamasi dan pascatambang sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 78 Tahun 2010 dan menerapkan kaidah pertambangan yang baik sesuai Peraturan Menteri ESDM Nomor 26 Tahun 2018. Pemulihan vegetasi memerlukan pemantauan bertahun-tahun, bukan hanya pada tahun tanam (Holl, 2002).

1.3 Potensi Pengembangan Lahan Pascatambang

Setiap lahan yang mengalami degradasi pada dasarnya masih memiliki potensi untuk dipulihkan apabila dikelola berdasarkan pendekatan ilmiah yang tepat serta memperhatikan aspek ekologis. Society for Ecological Restoration (2004) mendefinisikan restorasi ekologis sebagai suatu proses untuk membantu memulihkan ekosistem yang telah mengalami degradasi, kerusakan, maupun kehancuran. Berdasarkan konsep tersebut, keberhasilan restorasi tidak semata-mata diukur dari jumlah pohon yang berhasil ditanam, tetapi juga dari kemampuan untuk mengembalikan struktur ekosistem, komposisi jenis, serta fungsi ekologisnya.

Berlandaskan pendekatan tersebut, ABN mengembangkan empat program yang saling terintegrasi. Pertama, Konservasi Arboretum KHMF Bukit Kayu Arang yang berfokus pada pengelolaan, pelestarian, serta pemulihan keanekaragaman hayati di kawasan yang telah ditetapkan. Kedua, ABN Resilient Nursery, yaitu fasilitas persemaian internal yang dikelola secara mandiri untuk menyediakan kebutuhan bibit sekaligus mempertahankan plasma nutfah. Ketiga, Beyond Reclamation, yang diarahkan pada pemulihan

lahan pascatambang melalui penanaman berbagai jenis tumbuhan pionir lokal. Keempat, Gen Matrix Ecosystem yang mengintegrasikan aspek legalitas kawasan, keanekaragaman hayati, habitat, pemantauan, kemitraan, serta pemulihan ekosistem ke dalam suatu kerangka pengelolaan yang terpadu.

Proses pemulihan ekosistem tersebut diharapkan dapat berlangsung melalui tiga lapisan yang saling berkaitan dan mendukung. Lapisan pertama berupa tanah, yang perlu dipulihkan agar memiliki struktur yang baik, kandungan bahan organik yang memadai, serta aktivitas kehidupan mikroba. Lapisan kedua adalah vegetasi, yang ditandai dengan terbentuknya kembali tutupan lahan, struktur tajuk, dan keragaman jenis tumbuhan. Sementara itu, lapisan ketiga mencakup keberadaan satwa serta berlangsungnya berbagai proses ekologis, seperti penyerbukan dan penyebaran biji, yang menjadi indikator bahwa fungsi ekosistem mulai kembali berjalan. Dengan demikian, keberhasilan pemulihan tidak dapat hanya ditentukan berdasarkan satu aspek, karena pencapaian pada suatu lapisan belum dapat dianggap berhasil apabila lapisan lainnya masih mengalami keterlambatan dalam proses pemulihan.

BAB II
DINAMIKA PERUBAHAN: Mengakar Kuat Menjulang Tinggi

2.1 Kondisi Tanah dan Adaptasi Tumbuhnya Sang Pionir

Lahan pascatambang umumnya memiliki karakteristik tanah yang berbeda dari kondisi tanah alami, baik dari aspek fisik, kimia, maupun biologis. Gangguan akibat aktivitas pertambangan menyebabkan struktur tanah menjadi padat, kandungan bahan organik dan unsur hara rendah, kapasitas menahan air menurun, serta kondisi kemasaman yang kurang sesuai bagi pertumbuhan tanaman. Kondisi tersebut menjadi salah satu faktor pembatas utama dalam proses revegetasi. Penelitian di Kalimantan Timur menunjukkan bahwa kualitas kimia tanah, termasuk pH, karbon organik, nitrogen, fosfor tersedia, dan kejenuhan basa, memiliki keterkaitan dengan pertumbuhan tanaman revegetasi (Iskandar et al., 2022). Pemilihan jenis tanaman yang mampu beradaptasi dengan kondisi tapak menjadi tahap penting dalam membangun kembali tutupan vegetasi pada lahan terdegradasi.

Berdasarkan konteks tersebut, tanaman pionir memiliki peran strategis karena umumnya mampu bertahan pada kondisi lingkungan yang relatif keras dan menjadi tahap awal dalam pembentukan ekosistem. Vegetasi pionir yang cepat tumbuh dapat membantu mempercepat pembentukan tutupan lahan, mengurangi erosi, menghasilkan serasah, serta secara bertahap meningkatkan kandungan bahan organik dan unsur hara tanah. Studi pada lahan bekas tambang di Indonesia menunjukkan bahwa peningkatan umur revegetasi dapat

diikuti oleh peningkatan karbon organik, nitrogen total, dan fosfor tersedia serta penurunan kepadatan tanah dan peningkatan porositas (Iskandar et al., 2022).

Dengan demikian, adaptasi Sang Pionir tidak hanya dapat dinilai berdasarkan tingkat hidup atau pertumbuhan awal tanaman, tetapi juga berdasarkan kontribusinya terhadap perbaikan kondisi tanah dan terbentuknya lingkungan yang lebih mendukung bagi spesies lain. Penggunaan jenis lokal juga penting karena spesies yang berasal dari lingkungan setempat cenderung memiliki kesesuaian yang lebih baik terhadap kondisi iklim dan habitat lokal (Mansur et al., 2021). Berikut adalah hasil uji laboratorium tanah PT ABN:

1. Analisis Kimia

No	Parameter	Hasil Analisis	Satuan
1	pH H2O	5.61	-
2	pH KCl 1N	4.35	-
3	KTK	20.75	cmol/kg
4	N. Total	0.15	%
5	C. Organik	1.43	%
6	Kejenuhan Basa	16.94	%
7	Kejenuhan Al	0.44	%
8	Fe	97.43	mg/kg
9	Mn	7.44	mg/kg

2. Analisis Fisika Tanah Terganggu

No	Parameter	Hasil Analisis	Satuan
1	Debu	54.34	%
2	Liat	33.57	%
3	Pasir	12.09	%
4	Tekstur	Silty Clay Loam	-
5	Kadar Air (Massa)	1.89	%

3. **Analisis Fisika Tanah Utuh (Ring)**

No	Parameter	Hasil Analisis	Satuan
1	Berat Jenis	2.76	g/cc
2	Berat Isi	1.26	g/cc
3	Porositas	54.35	%
4	Kadar Air (Volume)	66.93	cm3/cm3
5	Permeabilitas	2.76	cm3/jam

Hasil analisis kimia menunjukkan tanah bersifat masam, dengan pH H_2O 5,61 dan pH KCl 4,35. Kejenuhan basa yang rendah (16,94%) serta C-organik (1,43%) dan N-total (0,15%) menunjukkan bahwa kesuburan tanah masih rendah. Sementara itu, kejenuhan Al hanya 0,44%, sehingga potensi toksisitas Al relatif rendah. Nilai KTK sebesar 20,75 cmol/kg menunjukkan kemampuan tanah menahan unsur hara tergolong cukup, tetapi ketersediaan hara tetap perlu ditingkatkan melalui perbaikan bahan organik. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa faktor kimia menjadi salah satu pembatas pertumbuhan tanaman pada lokasi penelitian. Peningkatan bahan organik melalui penambahan amelioran maupun akumulasi serasah dari tanaman pionir dapat membantu memperbaiki kesuburan tanah secara bertahap. Strategi ini penting dalam mendukung keberhasilan revegetasi lahan terdegradasi.

Hasil analisis fisika tanah terganggu menunjukkan komposisi tanah terdiri atas 54,34% debu, 33,57% liat, dan 12,09% pasir, sehingga termasuk tekstur silty clay loam. Dominasi fraksi halus menunjukkan kemampuan tanah menahan air cukup baik, tetapi juga berpotensi membatasi pergerakan air dan udara apabila struktur tanah kurang baik. Kadar air massa sebesar 1,89% menunjukkan kondisi tanah relatif

kering saat pengambilan sampel. Karakteristik tersebut masih memungkinkan untuk mendukung revegetasi, terutama dengan penggunaan tanaman pionir yang adaptif. Perbaikan struktur melalui peningkatan bahan organik diperlukan agar infiltrasi, aerasi, dan perkembangan akar dapat berlangsung lebih optimal.

Hasil analisis fisika tanah utuh menunjukkan berat isi sebesar 1,26 g/cc, porositas 54,35%, dan permeabilitas 2,76 cm^3/jam. Porositas yang cukup tinggi menunjukkan tersedianya ruang pori untuk air dan udara, sedangkan permeabilitas yang relatif rendah menunjukkan pergerakan air dalam tanah masih terbatas. Kondisi ini perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi ketersediaan air bagi tanaman, terutama pada kondisi curah hujan tinggi maupun periode kering. Secara keseluruhan, kondisi fisik tanah masih dapat mendukung pertumbuhan tanaman, tetapi memerlukan pengelolaan untuk meningkatkan fungsi tanah. Penggunaan tanaman pionir lokal dan peningkatan bahan organik dapat membantu memperbaiki struktur tanah serta mendukung pembentukan ekosistem secara bertahap. Dengan demikian, evaluasi revegetasi perlu mempertimbangkan tidak hanya tingkat hidup tanaman, tetapi juga perubahan sifat tanah sebagai indikator pemulihan ekosistem.

2.2 Evaluasi Persemaian dan Pelestarian Spesies Lokal

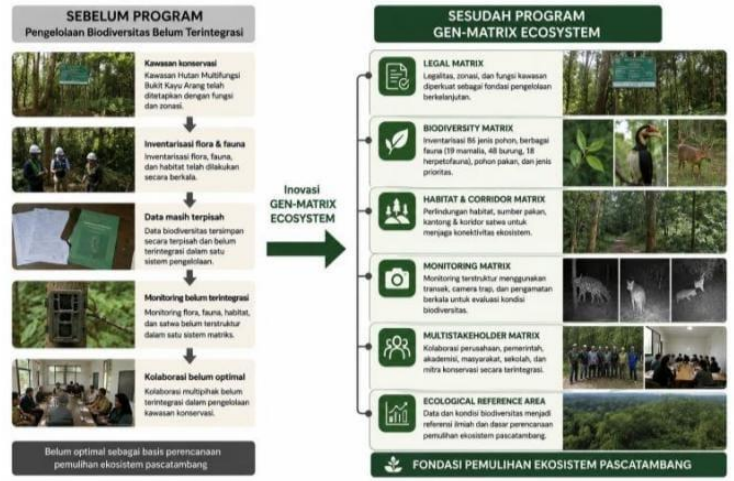
Persemaian merupakan tahapan penting dalam memastikan ketersediaan tanaman yang sehat dan adaptif untuk mendukung kegiatan revegetasi. Evaluasi persemaian perlu dilakukan secara menyeluruh, tidak

hanya berdasarkan jumlah bibit yang berhasil diproduksi, tetapi juga berdasarkan kualitas dan kesiapan bibit untuk ditanam pada kondisi lahan pascatambang. Parameter seperti persentase perkecambahan, tingkat kelangsungan hidup, pertumbuhan tinggi dan diameter, perkembangan perakaran, kesehatan tanaman, serta kemampuan beradaptasi terhadap media tumbuh dapat digunakan sebagai indikator evaluasi. Penggunaan media dan perlakuan yang sesuai juga penting karena karakteristik tanah pascatambang sering kali kurang mendukung pertumbuhan tanaman. Penelitian di lahan pascatambang Bangka menunjukkan bahwa pemberian bahan amelioran dan pemilihan jenis tanaman adaptif dapat memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan tanaman rehabilitasi (Pratiwi et al., 2020).

Selain berfungsi sebagai sumber bibit untuk kegiatan rehabilitasi, pembibitan spesies lokal memiliki nilai penting dalam mendukung pelestarian keanekaragaman hayati. Pengumpulan bahan tanaman sebaiknya mempertimbangkan asal-usul atau provenance serta dilakukan dari sejumlah individu yang memadai agar keragaman genetik populasi tetap terwakili. Pedrini et al. (2020) menekankan bahwa pengumpulan benih untuk restorasi perlu dilakukan dengan mempertimbangkan representasi keragaman genetik dan menghindari seleksi yang tidak disengaja selama proses produksi benih. Dengan demikian, keberhasilan pembibitan Sang Pionir tidak hanya diukur dari kemampuan menghasilkan bibit dalam jumlah besar, tetapi juga dari kemampuan menjaga identitas dan keragaman genetik spesies lokal. Pendekatan tersebut akan memperkuat fungsi persemaian sebagai

bagian dari strategi restorasi ekologis sekaligus sebagai sarana konservasi sumber daya genetik lokal.

2.3 Inisiatif Gen-Matrix sebagai pelestarian plasma nutfah



Gambar 2.1 Skema Gen-Matrix

Inisiatif Gen-Matrix merupakan pendekatan yang mengintegrasikan aspek konservasi keanekaragaman hayati dan pengelolaan sumber daya genetik ke dalam proses pemulihan ekosistem. Dalam konteks pelestarian plasma nutfah, perhatian tidak hanya diberikan pada keberadaan suatu spesies, tetapi juga pada keragaman genetik yang terdapat di dalam populasi tersebut. Keragaman genetik memiliki peran penting dalam mempertahankan kemampuan suatu populasi untuk beradaptasi terhadap perubahan lingkungan, tekanan penyakit, serta gangguan ekologis. FAO menjelaskan bahwa sumber daya genetik hutan dapat dilestarikan melalui pendekatan *in situ* maupun *ex situ*, sedangkan konservasi *in situ* memungkinkan proses adaptasi alami

tetap berlangsung. Sementara itu, konservasi *ex situ* dapat berfungsi sebagai pengaman ketika populasi di habitat alaminya menghadapi ancaman.

Berdasarkan prinsip tersebut, Gen-Matrix dapat diarahkan untuk membangun sistem pengelolaan plasma nutfah yang terdokumentasi, mulai dari identifikasi spesies, pencatatan lokasi dan individu sumber, pengumpulan bahan tanaman, perbanyakan, penyimpanan, hingga pemanfaatannya kembali dalam kegiatan restorasi. Dokumentasi asal bahan tanaman menjadi penting untuk menjaga keterlacakan sumber genetik dan memastikan bahwa material yang digunakan dalam restorasi memiliki kesesuaian dengan kondisi ekologis kawasan. FAO juga menekankan pentingnya pencatatan lokasi sumber, jumlah pohon sumber, serta identitas bahan reproduktif dalam konservasi sumber daya genetik hutan. Dengan demikian, Gen-Matrix tidak hanya berfungsi sebagai tempat penyimpanan atau pengumpulan plasma nutfah, tetapi dapat dikembangkan menjadi sistem yang menghubungkan **sumber genetic – persemaian – penanaman – monitoring – restorasi**, sehingga material genetik lokal tetap tersedia dan dapat dimanfaatkan untuk menjaga keberlanjutan pemulihan ekosistem ABN.

Program Inovasi “Gen Matrix Ecosystem: Optimalisasi Keanekaragaman Hayati Berbasis Penguatan Legalitas dan Konservasi Terintegrasi Kemitraan Multipihak sebagai Fondasi Pemulihan Ekosistem Pascatambang” merupakan pionir yang tidak ditemukan dalam industri sejenis berdasarkan buku **Best Practice dan Inovasi Tahun 2020, 2021, 2022, 2023,**

dan 2024 yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

2.4 Gagasan Program Terintegrasi

PT ABN merancang empat program yang saling terhubung. Setiap program menjawab satu kelemahan utama, dan bersama-sama membentuk satu sistem pemulihan.

2.4.1 Konservasi Arboretum KHMF Bukit Kayu Arang merupakan program pengelolaan biodiversitas, pelestarian, dan pemulihan ekosistem pada kawasan Bukit Kayu Arang. KHMF berarti kawasan hutan multifungsi berupa arboretum yang berfungsi sebagai koleksi tumbuhan hidup, kawasan rujukan ekosistem, dan ruang belajar.

2.4.2 ABN Resilient Nursery
merupakan pengelolaan persemaian internal milik ABN yang dikelola secara mandiri untuk memenuhi kebutuhan bibit penanaman dan menjaga kelestarian plasma nutfah. Kata *resilient* menggambarkan tujuan persemaian ini: menghasilkan bibit yang tangguh dan sistem penyediaan bibit yang tidak mudah terganggu.

2.4.3 Beyond Reclamation
merupakan program pemulihan lahan pascatambang melalui penanaman jenis pionir lokal untuk membangun kembali tutupan vegetasi, memperbaiki kualitas tanah, dan mendorong terbentuknya ekosistem yang berkelanjutan. Namanya mengandung pesan bahwa pemulihan melampaui kewajiban reklamasi administratif.

2.4.4 Gen Matrix Ecosystem
merupakan program pengelolaan biodiversitas yang menghubungkan legalitas kawasan, biodiversitas,

habitat, kegiatan pemantauan, kemitraan, dan pemulihan ekosistem. Program ini berperan sebagai kerangka payung yang memastikan ketiga program lainnya berjalan searah dan dapat dipertanggungjawabkan.

2.4.5 Prinsip perancangan program

Dalam merancang keempat program, ABN berpegang pada beberapa prinsip yang sama agar hasilnya saling melengkapi.

- **Berbasis tapak.** Jenis, teknik, dan target disesuaikan dengan kondisi tanah, iklim mikro, dan ekosistem rujukan setempat.
- **Mengutamakan jenis lokal.** Jenis asli dan jenis yang telah lama dikenal masyarakat setempat diprioritaskan karena paling sesuai dan paling bermanfaat bagi satwa lokal.
- **Berbasis data.** Setiap keputusan didasarkan pada pengukuran, bukan perkiraan, dan hasil pengukuran dicatat secara sistematis.
- **Sah dan dapat ditelusuri.** Status kawasan, status jenis, dan asal benih dipastikan legal dan terdokumentasi.
- **Terbuka bagi kemitraan.** Program dirancang agar pihak luar dapat berkontribusi dan memverifikasi hasilnya.
- **Adaptif.** Hasil pemantauan dipakai untuk menyempurnakan teknik dan target pada siklus berikutnya.

Tabel 2.2 Ringkasan Empat Program

No	Program	Fokus	Bentuk kegiatan
1	Konservasi Arboretum KHMF Bukit Kayu Arang	Pengelolaan biodiversitas, pelestarian, dan pemulihan ekosistem pascatambang	Pengelolaan kawasan, koleksi tumbuhan hidup, dan perlindungan habitat
2	ABN Resilient Nursery	Kemandirian bibit dan kelestarian plasma nutfah	Pengelolaan persemaian internal yang dikelola mandiri
3	Beyond Reclamation	Pemulihan lahan pascatambang	Penanaman jenis pionir lokal untuk membangun tutupan vegetasi dan memperbaiki tanah
4	Gen Matrix Ecosystem	Keterpaduan pengelolaan biodiversitas	Penghubungan legalitas kawasan, habitat, pemantauan, kemitraan, dan pemulihan ekosistem

BAB III
SINERGI: KONSERVASI DAN EKOLOGI

3.1 Deliniasi Tata Batas Area dan Makna Konservasi

Deliniasi tata batas dilakukan untuk menetapkan batas kawasan konservasi secara jelas berdasarkan peta, koordinat, dan kondisi lapangan. Penetapan batas ini penting untuk mencegah tumpang tindih penggunaan lahan, memudahkan pengawasan, serta memastikan kegiatan konservasi berada pada area yang telah ditentukan. Setelah batas ditetapkan, kawasan dapat dikelola melalui inventarisasi vegetasi, perlindungan habitat, dan pemantauan biodiversitas.

Dengan demikian, deliniasi menjadi dasar pengelolaan kawasan secara terarah sekaligus mendukung pelestarian spesies lokal dan plasma nutfah. Upaya tersebut selanjutnya perlu didukung dengan pendekatan pemulihan yang tidak hanya berorientasi pada penanaman, tetapi juga pada terbentuknya kembali fungsi dan proses ekologis. Keberhasilan program pemulihan lingkungan tidak cukup diukur dari jumlah pohon yang tumbuh di atas lahan pascatambang.

Arboretum merupakan koleksi pepohonan yang ditanam dan dirawat untuk pelestarian, pendidikan, dan penelitian. Kawasan Bukit Kayu Arang sebagai arboretum, ABN menegaskan bahwa kawasan tersebut dipandang sebagai perpustakaan hidup bagi jenis-jenis tumbuhan lokal, bukan sekadar lahan hijau.

Resilient Nursery menggambarkan persemaian yang tangguh. Ketangguhan dimaknai dua arah: bibit yang dihasilkan kuat menghadapi kondisi lahan pascatambang, dan sistem penyediaan bibit tidak bergantung pada pihak luar sehingga tetap berjalan ketika pasokan terganggu.

Beyond Reclamation, yang berarti melampaui reklamasi, mengandung pesan bahwa pemulihan lahan tidak berhenti pada kewajiban administratif menutup bukaan tambang. Pemulihan baru dianggap berhasil bila ekosistem yang terbentuk mampu menopang kehidupan dan berkembang sendiri.

Gen Matrix Ecosystem menyatukan dua gagasan. Kata *gen* merujuk pada kekayaan genetik jenis-jenis lokal (plasma nutfah) sebagai fondasi keanekaragaman hayati, sedangkan *matrix* menggambarkan jejaring yang menghubungkan legalitas kawasan, habitat, pemantauan, dan kemitraan menjadi satu sistem.

Secara prinsip, keempat program mengacu pada praktik restorasi ekologis yang diakui secara internasional, yaitu pemulihan yang berorientasi pada ekosistem rujukan, melibatkan pemangku kepentingan, didukung pemantauan, dan dikelola secara adaptif (Gann et al., 2019). Tanah dan vegetasi tidak diperlakukan sebagai benda mati yang diperbaiki secara teknis, melainkan sebagai sistem hidup yang dipulihkan melalui interaksi antarunsurnya.

3.2 Komponen Utama: Arboretum, Persemaian, Penanaman, dan Kerangka Gen Matrix

Keberhasilan pemulihan sangat ditentukan oleh sinergi empat komponen yang saling melengkapi. Setiap komponen memiliki tujuan, ruang lingkup, dan keluaran yang jelas, tetapi baru bermakna penuh ketika dipandang sebagai satu rangkaian.

1. Konservasi Arboretum KHMF Bukit Kayu Arang

Program ini mengelola biodiversitas, melestarikan jenis-jenis tumbuhan lokal, dan memulihkan ekosistem pada kawasan Bukit Kayu Arang. Penetapan KHMF Bukit Kayu Arang dalam IUP ABN OP No. 540/1691/IUP-OP/MB-PBAT/XII/2009 seluas 30 Ha sebagai Arboretum. Arboretum menjalankan tiga fungsi sekaligus. Pertama, sebagai koleksi hidup yang menyimpan keragaman jenis tumbuhan setempat. Kedua, sebagai ekosistem rujukan yang menjadi pembanding bagi lahan reklamasi, sehingga target pemulihan tidak ditetapkan secara sembarang. Ketiga, sebagai ruang belajar bagi karyawan, pelajar, mahasiswa, dan masyarakat.

- Penataan dan pengamanan kawasan, termasuk kejelasan batas dan status kawasan.
- Inventarisasi dan penandaan jenis flora, serta pencatatan fauna yang memanfaatkan kawasan.
- Pengayaan koleksi dengan jenis lokal, terutama jenis yang mulai jarang ditemukan.
- Pengelolaan habitat dan pencegahan gangguan seperti kebakaran, perambahan, dan perburuan.

Zonasi Kawasan Arboretum

Agar fungsi konservasi dan pendidikan tidak saling mengganggu, kawasan arboretum ditata dalam beberapa zona. Kawasan tersebut terbagi dalam 4 zona sebagai berikut, Zona Koleksi Jenis 4.71 Ha (16 %) terdiri atas koleksi buah lokal dan lokasi penghijauan. Zona Konservasi Luas 11.73 Ha (39 %) yang terdiri atas sumber plasma nutfah, sumber bibit alami, konservasi satwa, lokasi arboretum, hutan penelitian, dan

konservasi jenis. Zona Edukasi dan Wisata 5.84 Ha (19 %) terdiri atas fungsi wisata, fungsi penelitian, fungsi pendidikan, lintas alam, dan jalur monitoring. Zona Penyangga (buffer) 7.72 Ha (26%) yang berfungsi untuk melindungi Kawasan Bukit Kayu Arang terhadap gangguan dari luar.

2. ABN Resilient Nursery

Persemaian internal ABN dikelola secara mandiri untuk memenuhi kebutuhan bibit kegiatan penanaman dan menjaga kelestarian plasma nutfah. Kemandirian ini memberi tiga keuntungan: ABN dapat mengendalikan mutu dan jenis bibit, memastikan benih berasal dari sumber yang sesuai dengan tapak, dan menyelamatkan material genetik jenis lokal sebelum hilang bersama pembukaan lahan.

- Pengumpulan benih dan anakan alam dari pohon induk terpilih, dengan pencatatan lokasi dan asal-usulnya.
- Penyiapan media tanam berbasis bahan lokal, seperti tanah pucuk dan kompos.
- Pembibitan, penyapihan, pemeliharaan, dan seleksi bibit sebelum ditanam.
- Pencatatan produksi, pertumbuhan, dan tingkat keberhasilan bibit.
- Pengelolaan koleksi plasma nutfah jenis lokal sebagai cadangan material perbanyakan.

Alur kerja persemaian

1. Penentuan jenis dan target jumlah bibit berdasarkan rencana tanam tahunan.

2. Pengumpulan benih dan anakan dari pohon induk terpilih, disertai pencatatan lokasi dan tanggal.
3. Penanganan benih: pengunduhan, pembersihan, penyeleksian, dan perlakuan awal sesuai sifat benih.
4. Penyemaian dan penyapihan ke polybag berisi media tanam yang telah disiapkan.
5. Pemeliharaan: penyiraman, pemberian naungan, penyiangan, dan pengendalian hama.
6. Seleksi mutu dan pengerasan bibit (*hardening*) sebelum dikirim ke lapangan.
7. Pencatatan produksi dan pertumbuhan sebagai bahan evaluasi.

3. Beyond Reclamation

Program ini memulihkan lahan pascatambang melalui penanaman jenis pionir lokal. Jenis pionir dipilih karena tumbuh cepat, toleran terhadap tanah miskin dan paparan sinar penuh, serta mampu menutup lahan, menekan erosi, menambah bahan organik, dan menciptakan naungan yang memungkinkan jenis-jenis berikutnya tumbuh (Whisenant, 1999). Dengan demikian, penanaman pionir bukan tujuan akhir, melainkan langkah pembuka suksesi.

- Penataan lahan, pengendalian erosi, dan penebaran tanah pucuk sebelum penanaman.
- Penanaman jenis pionir lokal dengan pola dan jarak tanam sesuai rencana revegetasi.
- Pemeliharaan, penyulaman, dan pengendalian gulma.
- Penanaman pengayaan (*enrichment planting*) jenis lokal lanjutan setelah tutupan pionir terbentuk.

Kriteria pemilihan jenis pionir

ABN menggunakan beberapa kriteria agar jenis yang dipilih merupakan spesies pionir sekaligus melestarikan spesies lokal untuk membantu pemulihan.

- Merupakan jenis lokal atau jenis yang telah lama beradaptasi di wilayah setempat, serta tidak bersifat invasif.
- Toleran terhadap tanah masam dan miskin hara, sinar penuh, dan kekeringan sesaat.
- Tumbuh relatif cepat, membentuk tajuk yang menaungi tanah, dan menghasilkan serasah.
- Benih atau bibitnya tersedia atau dapat diperbanyak di ABN Resilient Nursery.
- Tidak termasuk jenis yang dilarang atau dibatasi menurut peraturan, dan bermanfaat bagi satwa atau masyarakat.

Berdasarkan kriteria tersebut, jenis pionir yang ditanam pada program ini meliputi Diospyros borneensis (Kayu Arang), Macaranga gigantea (Mahang), Artocarpus champeden (Cempedak), *Shorea sp. (Meranti), Parkia speciosa* (Petai), *Dryobalanops aromatica* (Kapur), *Nephelium lappaceum* (Rambutan), *Artocarpus champeden* (Cempedak), *Paraserianthes falcataria* (Sengon), *Samanea saman* (Trembesi), *Leucaena leucocephala* (Lamtoro).

4. Gen Matrix Ecosystem

Program ini berperan sebagai kerangka payung yang menghubungkan legalitas kawasan, biodiversitas, habitat, kegiatan pemantauan, kemitraan, dan pemulihan ekosistem. Tanpa kerangka ini, ketiga program lainnya berisiko berjalan sendiri-sendiri. Dengan kerangka ini,

setiap kegiatan lapangan memiliki dasar hukum yang jelas, data yang tercatat, indikator yang sama, dan mitra yang terlibat.

- **Legalitas kawasan:** kepastian status, batas, dan perizinan kawasan arboretum dan area pemulihan.
- **Biodiversitas dan habitat:** data dasar flora dan fauna serta peta habitat penting.
- **Pemantauan:** pengukuran berkala terhadap pertumbuhan, tutupan vegetasi, dan keanekaragaman jenis.
- **Kemitraan:** kerja sama dengan pemerintah, perguruan tinggi, lembaga konservasi, dan masyarakat.

Tabel 3.1 Komponen Program dan Fungsi Utamanya

No	Komponen	Fungsi utama	Keluaran
1	Arboretum KHMF Bukit Kayu Arang	Koleksi hidup, ekosistem rujukan, ruang belajar	Daftar jenis, peta kawasan, data fauna
2	ABN Resilient Nursery	Penyedia bibit mandiri dan penyelamat plasma nutfah	Bibit bermutu, catatan asal benih
3	Beyond Reclamation	Membangun tutupan vegetasi dan memperbaiki tanah	Area tertanam, data pertumbuhan
4	Gen Matrix Ecosystem	Menghubungkan legalitas, habitat, pemantauan, dan kemitraan	Basis data, laporan, perjanjian kerja sama

3.3 Skema dan Tahapan Pelaksanaan Program

Pelaksanaan keempat program disusun dalam tujuh tahap terpadu. Setiap tahap saling mengunci, sehingga hasil satu tahap menjadi masukan bagi tahap berikutnya.

1. **Penguatan legalitas dan pemetaan kawasan.** ABN memastikan status, batas, dan perizinan kawasan arboretum dan area pemulihan, kemudian memetakannya dalam peta kerja.
2. **Inventarisasi dan penetapan data dasar.** Dilakukan pendataan flora dan fauna untuk menyusun kondisi awal (*baseline*) keanekaragaman hayati serta mengidentifikasi habitat penting.
3. **Penyiapan persemaian dan koleksi plasma nutfah.** Persemaian disiapkan, pohon induk dipilih, benih dikumpulkan, dan bibit jenis lokal diperbanyak.
4. **Penataan lahan dan penanaman jenis pionir.** Lahan pascatambang ditata, tanah pucuk ditebar, lalu jenis pionir lokal ditanam.
5. **Pengayaan dan pengembangan arboretum.** Jenis lokal lanjutan ditanam pada area pemulihan dan koleksi arboretum diperkaya.
6. **Pemantauan dan evaluasi.** Pertumbuhan, tutupan vegetasi, dan keanekaragaman jenis diukur secara berkala dan hasilnya dibandingkan dengan data dasar dan ekosistem rujukan.
7. **Kemitraan dan pelaporan.** Hasil dibahas bersama mitra, dilaporkan kepada pihak berwenang, dan dijadikan dasar penyempurnaan program.

Keterhubungan keempat program dapat dilihat pada matriks berikut. Baris menunjukkan aspek yang dihubungkan oleh kerangka Gen Matrix Ecosystem, sedangkan kolom menunjukkan kontribusi masing-masing program.

Tabel 3.2 Matriks Keterhubungan Aspek dan Program

Aspek	Arboretum KHMF Bukit Kayu Arang	ABN Resilient Nursery	Beyond Reclamation
Legalitas kawasan	Kepastian status dan batas kawasan arboretum	Legalitas asal benih dan jenis yang diperbanyak	Kesesuaian lahan tanam dengan rencana reklamasi
Biodiversitas	Koleksi dan inventarisasi jenis lokal	Perbanyakan jenis lokal dan plasma nutfah	Penambahan jenis pada lahan pulihan
Habitat	Perlindungan habitat yang ada	Penyedia bibit untuk memperluas habitat	Pembentukan habitat baru
Pemantauan	Pencatatan jenis dan kondisi kawasan	Catatan produksi dan mutu bibit	Data pertumbuhan dan tutupan vegetasi
Kemitraan	Pendidikan dan penelitian bersama	Pelatihan dan alih pengetahuan	Keterlibatan masyarakat dan mitra
Pemulihan ekosistem	Ekosistem rujukan	Sumber bahan tanam	Pembangunan tutupan awal

Keterhubungan ini memiliki konsekuensi praktis. Data pertumbuhan dari persemaian menentukan jenis yang layak ditanam pada program Beyond Reclamation. Hasil pemantauan di lahan pulihan menentukan jenis yang perlu diperbanyak berikutnya. Daftar jenis di arboretum menjadi rujukan bagi pengayaan lahan

pulihan. Dan seluruhnya dicatat dalam basis data yang sama sehingga dapat diaudit.

Indikator keberhasilan

Agar kemajuan dapat dinilai secara objektif, setiap program memiliki indikator yang dipantau berkala. Indikator ditetapkan bersama dengan data dasar dan target, lalu dievaluasi secara periodic.

Tabel 3.3 Indikator Keberhasilan Setiap Program

Program	Indikator	Cara pengukuran
Arboretum KHMF Bukit Kayu Arang	Jumlah jenis terdata, kejelasan batas kawasan, kejadian gangguan	Inventarisasi, peta kawasan, laporan patroli
ABN Resilient Nursery	Jumlah bibit, mutu bibit, jumlah jenis lokal terperbanyak, biaya per bibit	Catatan produksi, pengukuran morfologi, catatan keuangan
Beyond Reclamation	Persentase hidup, tutupan vegetasi, laju pertumbuhan, kondisi erosi	Petak ukur, pengamatan visual, citra
Gen Matrix Ecosystem	Kelengkapan data, indeks keanekaragaman, jumlah mitra aktif	Basis data, perhitungan H', perjanjian kerja sama

Peran para pihak

Pemulihan ekosistem tidak dapat dikerjakan satu pihak. Pembagian peran berikut menjadi dasar koordinasi dalam kerangka Gen Matrix Ecosystem.

Tabel 3.4 Peran Pemangku Kepentingan

Pihak	Peran
Manajemen dan tim lingkungan ABN	Perencanaan, pendanaan, pelaksanaan, pencatatan, dan pelaporan
Tim persemaian dan penanaman	Pengumpulan benih, pembibitan, penanaman, dan pemeliharaan
Kontraktor	Penataan lahan, penyediaan tanah pucuk, dan dukungan alat
Pemerintah dan instansi teknis	Pembinaan, pengawasan, dan pengesahan dokumen serta status kawasan
Perguruan tinggi dan lembaga riset	Kajian ilmiah, inventarisasi, dan verifikasi metode
LSM dan/atau NGO	Identifikasi spesies, taksonomi, pendidikan dan penelitian
Masyarakat sekitar	Pengumpulan benih, pemeliharaan tanaman, dan pengawasan kawasan

BAB IV
TRANSFORMASI: NYATA DI LAPANGAN

4.1 Perbandingan Kondisi Sebelum dan Sesudah Program

Pada kondisi awal tahun 2022, program perlindungan keanekaragaman hayati ABN masih didominasi oleh kegiatan konservasi Arboretum KHMF Bukit Kayu Arang dengan luas 30 ha. Tercatat 65 spesies flora dengan 6.218 individu dan 169 spesies fauna dengan 214 individu, serta indeks keanekaragaman total sebesar 2,71. Persemaian internal melalui ABN Resilient Nursery, kegiatan Beyond Reclamation, dan Gen-Matrix belum tercatat secara kuantitatif pada tahun tersebut. Perkembangan program selanjutnya menunjukkan peningkatan kapasitas konservasi dan pemulihan, ditandai dengan bertambahnya jumlah spesies flora menjadi 90 spesies dan individu flora menjadi 79.828 batang pada 2026. Jumlah fauna juga meningkat dari 169 menjadi 177 spesies dan dari 214 menjadi 367 individu.

Perubahan tersebut menunjukkan bahwa program ABN berkembang dari kegiatan konservasi kawasan menuju pendekatan yang lebih terintegrasi antara konservasi, pembibitan, revegetasi, dan penguatan plasma nutfah. Arboretum mengalami peningkatan indeks keanekaragaman dari H' 2,71 pada 2022 menjadi 2,86 pada 2026, sementara Beyond Reclamation telah mencakup 104,40 ha pada 2025 dan mencatat H' sebesar 1,35, meningkat menjadi 1,40 pada 2026. ABN Resilient Nursery yang mulai tercatat pada 2023 memiliki luas 0,87 ha dan menghasilkan puluhan ribu bibit, terutama Paraserianthes falcataria. Gen-Matrix mulai tercatat pada 2025 dengan enam jenis flora dan indeks H' sebesar 1,72. Secara keseluruhan, data tersebut

menunjukkan adanya peningkatan skala dan integrasi program, meskipun perubahan jumlah individu maupun indeks keanekaragaman perlu dibaca sebagai indikator perkembangan pengelolaan, bukan semata-mata sebagai bukti bahwa seluruh fungsi ekosistem telah pulih.

Tabel 4.1 Perbandingan Kondisi Sebelum dan Sesudah Program

No	Aspek	Sebelum program	Sesudah program
1	Sumber bibit	Belum terdapat data ABN Resilient Nursery	Didukung ABN Resilient Nursery dengan luas 0,87 ha
2	Ketersediaan bibit	Belum tersedia mandiri	Terdapat 9 jenis dengan total 52.686 bibit
3	Koleksi plasma nutfah	Belum terdapat data Gen-Matrix	Gen-Matrix mencatat 6 jenis flora dengan total 929 individu
4	Tutupan vegetasi lahan pulihan	Belum terdapat kegiatan Beyond Reclamation	Beyond Reclamation mencakup 22,76 ha pada 2026

No	Aspek	Sebelum program	Sesudah program
5	Kondisi tanah	pH 5,61; C-organik 1,43%; N-total 0,15%; tekstur *silty clay loam*	Didukung melalui kegiatan reklamasi
6	Status dan data kawasan arboretum flora	30 ha; 65 spesies flora	Meningkat, 30 ha; 90 spesies flora
7	Pemantauan keanekaragaman hayati fauna	169 spesies fauna; H' arboretum 2,71	177 spesies fauna; H' arboretum 2,86
8	Kemitraan	Belum terintegrasi dalam Gen-Matrix	Penerapan Gen-Matrix dengan kolaborasi multistakeholder

Pada Arboretum KHMF Bukit Kayu Arang

Kawasan arboretum kini memiliki batas areal yang jelas dengan lokasi berada di lahan milik ABN. Mengenai jenis yang ada beberapa dilengkapi dengan papan nama jenis untuk memudahkan dalam identifikasi nama dan kemudahan aksesibilitas berupa ketersediaan jalur tracking. Nilai kawasan sebagai koleksi dan ekosistem rujukan dapat dijelaskan dengan angka. Pencatatan fauna yang menggunakan kawasan juga mulai dilakukan dan menjadi bahan evaluasi kondisi habitat.

Pada ABN Resilient Nursery

Persemaian kini mampu memenuhi 90% kebutuhan bibit penanaman dari produksi sendiri. Asal benih tercatat, jenis lokal yang sebelumnya sulit diperoleh mulai diperbanyak, dan koleksi plasma nutfah mulai terbentuk. Bibit dipilih melalui seleksi mutu sebelum dikirim ke lapangan, sehingga bibit yang ditanam lebih seragam dan lebih tangguh.

Pada Beyond Reclamation

Pada lahan pascatambang yang ditanami jenis pionir, tutupan vegetasi terbentuk lebih cepat, erosi permukaan menurun, dan serasah mulai membentuk lapisan bahan organik. Berdasarkan beberapa area, jenis-jenis lanjutan mulai tumbuh di bawah naungan pionir. Perubahan ini menandakan bahwa tanah dan iklim mikro mulai membaik dan membentuk iklim mikro.

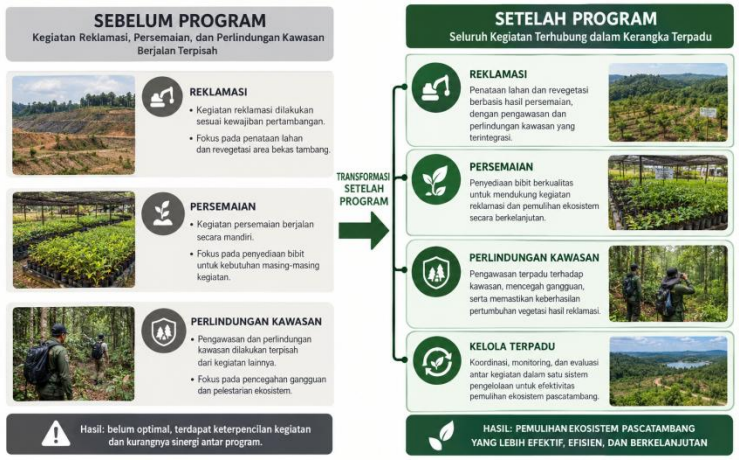
Pada kerangka Gen Matrix Ecosystem

Kerangka ini mengubah pola kerja dari kegiatan terpisah menjadi sistem yang saling terhubung. Data dari seluruh program terkumpul dalam satu basis informasi, status kawasan dan jenis terdokumentasi, serta kerja sama dengan mitra berjalan berdasarkan perjanjian yang jelas.

4.2 Visualisasi Skematis dan Dokumentasi Lapangan

Transformasi juga dapat dilihat secara visual. Skema pertama menggambarkan pola kerja sebelum

program, ketika kegiatan reklamasi, persemaian, dan perlindungan kawasan berjalan terpisah. Skema kedua menggambarkan pola kerja setelah program, ketika seluruh kegiatan dihubungkan oleh kerangka terpadu.



Gambar 4.1 Skema pola kerja sebelum dan setelah program

Dokumentasi lapangan berikut memperlihatkan kegiatan nyata pada masing-masing program, mulai dari pengumpulan benih dan penyiapan media di persemaian, penanaman jenis pionir di lahan pascatambang, hingga pendataan jenis di arboretum.



Gambar 4.2 Kegiatan di ABN Resilient Nursery



Gambar 4.3 Penanaman jenis pionir pada program Beyond Reclamation



Gambar 4.4 Kondisi Arboretum KHMF Bukit Kayu Arang

4.3 Perubahan Sistemik yang Dihadirkan oleh Program

Lebih dari sekadar perbaikan hasil di lapangan, program ini menghadirkan perubahan dalam cara ABN memandang dan mengelola pemulihan ekosistem. Pendekatan yang semula berorientasi pada penyelesaian kewajiban bergeser menjadi pendekatan yang berorientasi pada hasil ekologis yang dapat diukur.

Perubahan pertama terjadi pada kemandirian. Dengan persemaian internal, ABN tidak lagi sepenuhnya bergantung pada pasokan bibit dari luar. Mutu, jenis, dan waktu ketersediaan bibit dapat disesuaikan dengan kebutuhan lapangan, sementara keterampilan tim persemaian terus meningkat.

Perubahan kedua terjadi pada cara mengambil keputusan. Dengan data dasar dan pemantauan

berkala, pemilihan jenis, pola tanam, dan prioritas lokasi. Perubahan ketiga terjadi pada hubungan dengan pihak luar. Kemitraan multipihak membuat pemulihan tidak hanya menjadi urusan internal perusahaan, tetapi juga menjadi ruang kerja sama dengan pemerintah, perguruan tinggi, dan masyarakat. Hal ini memperkuat legitimasi sekaligus kesinambungan program.

Pelajaran dari lapangan

Perjalanan program juga memberi sejumlah pelajaran yang berguna bagi pihak lain yang ingin menerapkan pendekatan serupa.

- **Mulai dari data dasar.** Program yang diawali dengan pengukuran kondisi awal lebih mudah dibuktikan hasilnya dan lebih mudah diperbaiki.
- **Kemandirian bibit membutuhkan kesabaran.** Membangun persemaian, mengenali jenis, dan menguasai teknik perbanyakan memerlukan waktu belajar, terutama untuk jenis lokal yang belum banyak dibudidayakan.
- **Jenis pionir adalah pembuka, bukan tujuan.** Tutupan awal perlu diikuti penanaman jenis lanjutan agar komposisi mendekati ekosistem rujukan.

BAB V
DAMPAK DAN KEBERMANFAATAN

5.1 Kuantifikasi Peningkatan Produksi dan Pertumbuhan Bibit

Salah satu indikator keberhasilan program adalah meningkatnya kuantitas dan kualitas bibit yang dihasilkan dalam waktu yang relatif singkat. Pengukuran dilakukan pada parameter morfologi bibit, yaitu jumlah daun, tinggi batang, diameter batang, dan panjang akar, serta pada tingkat keberhasilan tumbuh setelah dipindahkan ke lapangan.

Faktor yang memengaruhi pertumbuhan bibit

Pertumbuhan bibit dipengaruhi banyak faktor, sehingga peningkatan yang tercatat perlu dibaca dengan hati-hati. Faktor utama yang dikendalikan dalam program ini adalah komposisi media tanam, kualitas dan asal benih, intensitas naungan, jadwal dan volume penyiraman, serta pengendalian hama. Perbedaan pada salah satu faktor dapat memengaruhi hasil, sehingga perbandingan sebelum dan sesudah program sebaiknya dilakukan pada jenis dan umur bibit yang setara dan, bila mungkin, disertai kelompok pembanding.

5.2 Efisiensi Biaya dan Penghematan Anggaran

Selain dampak biologis, kemandirian bibit memberikan efisiensi pada aspek ekonomi. Perhitungan dilakukan dengan membandingkan biaya pengadaan bibit sebelum program (misalnya pembelian dari pihak

ketiga) dengan biaya produksi bibit internal setelah program berjalan, yang meliputi benih, media tanam, tenaga kerja persemaian, sarana, dan perawatan.

5.3 Dampak terhadap Keberhasilan Reklamasi

Program memberikan kontribusi nyata bagi keberhasilan reklamasi, khususnya pada tahap revegetasi di area bekas tambang. Bibit yang lebih kuat dan sesuai tapak meningkatkan peluang hidup tanaman, sedangkan penanaman jenis pionir mempercepat penutupan lahan dan menekan erosi. Seiring waktu, bahan organik dari serasah memperbaiki tanah sehingga lahan semakin siap menerima jenis-jenis lanjutan.

Keberhasilan tersebut diukur melalui beberapa indikator, yaitu persentase tanaman hidup, persentase tutupan vegetasi, kondisi erosi dan sedimentasi, serta kesesuaian dengan rencana reklamasi yang disetujui. Capaian ini sejalan dengan prinsip kaidah pertambangan yang baik, yang menuntut pemulihan lahan dilakukan secara terencana, terukur, dan kredibel.

Hubungan dengan penilaian dan pelaporan reklamasi

Data yang dihasilkan program dipakai untuk melengkapi laporan reklamasi dan pelaporan lingkungan kepada pihak berwenang. Dengan data pertumbuhan, tutupan, dan keanekaragaman yang tercatat sistematis, ABN dapat menunjukkan kemajuan pemulihan secara

lebih meyakinkan daripada sekadar melaporkan luas area tanam.

5.4 Peningkatan Keanekaragaman Hayati Lokal

Program tidak hanya menghasilkan bibit dan tutupan vegetasi, tetapi juga mendorong terbentuknya komunitas yang lebih beragam. Dengan memilih jenis lokal yang bernilai ekologis dan budaya, ABN mendukung pelestarian jenis setempat dan pemulihan habitat.

Keragaman diukur dengan indeks Shannon-Wiener (H') dan kekayaan jenis. Pada 2026, area pemulihan mencatat 10 jenis dengan nilai H' sebesar 1.40, sedangkan kawasan Arboretum KHMF Bukit Kayu Arang mencatat 177 jenis dengan nilai H' sebesar 2.86 Sebelum program, indeks keanekaragaman pada lahan bukaan mendekati nol karena belum ada vegetasi.

Tabel 5.1 Keanekaragaman Hayati pada Lokasi Program

Lokasi	Jumlah jenis	Jumlah individu	Indeks H'
Beyond Reclamation	10	17334	1.40
Arboretum KHMF Bukit Kayu Arang	177	9246	2.86

Lokasi	Jumlah jenis	Jumlah individu	Indeks H'
ABN Resilient Nursery (koleksi)	9	52486	0.35
Gen-Matrix Ecosystem	6	929	1.69

Indikator habitat dan fungsi ekosistem

Selain jumlah jenis, kualitas habitat dilihat dari beberapa indikator: struktur tajuk (berapa lapis vegetasi yang terbentuk), ketersediaan sumber pakan seperti buah dan bunga, adanya tempat bersarang atau berlindung, serta konektivitas dengan kawasan bervegetasi di sekitarnya. Indikator ini dicatat bersamaan dengan data jenis agar perubahan fungsi ekosistem dapat dibaca secara utuh.

Selain flora, kehadiran fauna menjadi tanda penting pulihnya fungsi ekosistem. Pengamatan 2025 mencatat kehadiran fauna seperti herpetofauna, mamalia, maupun aves pada lokasi program. Data ini perlu terus dikumpulkan agar perubahan komposisi jenis dapat dibaca dari tahun ke tahun.

BAB VI
KUANTIFIKASI KEANEKARAGAMAN HAYATI

6.1 Produksi dan Perkembangan Bibit

Salah satu perkembangan utama program terlihat dari meningkatnya kapasitas penyediaan bibit melalui ABN Resilient Nursery. Pada 2022 belum tercatat produksi bibit melalui program ini, sedangkan pada 2023 telah tersedia 0,87 ha persemaian dengan berbagai jenis tanaman. Jumlah produksi menunjukkan dominasi Paraserianthes falcataria, yaitu 64.028 batang pada 2023, meningkat menjadi 76.192 batang pada 2024, kemudian 45.977 batang pada 2025 dan 49.041 batang hingga Juni 2026. Selain itu, persemaian juga menghasilkan jenis lokal seperti *Shorea spp., Dryobalanops aromatica, Artocarpus champeden, Artocarpus heterophyllus, Parkia speciosa*, dan *Samanea saman*. Hal ini menunjukkan bahwa persemaian mulai berfungsi sebagai sumber bibit internal sekaligus mendukung kebutuhan kegiatan pemulihan.

Perkembangan persemaian juga terlihat dari bertambahnya variasi jenis yang diproduksi. Pada 2026 tercatat sembilan jenis tanaman dalam ABN *Resilient Nursery*, termasuk Nephelium lappaceum yang mencapai 500 batang dan Parkia speciosa sebanyak 25 batang. Namun, data yang tersedia belum mencakup

pengukuran morfologi seperti tinggi, diameter, panjang akar, dan persentase hidup setelah penanaman. Oleh karena itu, keberhasilan pembibitan pada tahap ini lebih tepat dilihat dari peningkatan kapasitas produksi, keberagaman jenis, dan ketersediaan bibit untuk mendukung program revegetasi, sedangkan evaluasi mutu bibit memerlukan data pertumbuhan individual.

Tabel 6.1 Daftar Jenis di Persemaian ABN

No	Nama Ilmiah	Tahun				
		2022	2023	2024	2025	2026*
1	*Shorea spp.*	0	760	741	303	178
2	*Parkia speciosa*	0	0	0	0	25
3	*Dryobalanops aromatica*	0	653	643	131	51
4	*Nephelium lappaceum*	0	0	0	12	500
5	*Artocarpus champeden*	0	1292	1317	1849	1890
6	*Artocarpus heterophyllus*	0	914	872	303	253
7	*Paraserienthes falcataria*	0	64028	76192	45977	49041
8	*Samanea saman*	0	213	213	114	102
9	*Leucaena leucocephala*	0	525	525	625	646

Untuk menilai pembentukan komunitas vegetasi, digunakan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (Shannon, 1948). Indeks ini memperhitungkan jumlah jenis sekaligus kemerataan sebaran individu antarjenis, sehingga lebih informatif daripada sekadar menghitung jenis.

$$H' = -\Sigma (p_i \times \ln p_i), \text{ dengan } p_i = n_i \div N$$

$$E = H' \div \ln S$$

H' adalah indeks Shannon-Wiener, ni jumlah individu jenis ke-i, N jumlah seluruh individu, S jumlah jenis, dan E indeks kemerataan jenis.

Nilai H' lazim diinterpretasikan dalam tiga kategori (Magurran, 2004) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6.2. Interpretasi ini penting karena nilai H' pada lahan yang baru dipulihkan umumnya masih rendah hingga sedang dan akan meningkat seiring suksesi.

Tabel 6.2 Kategori Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener

Nilai H'	Kategori	Makna ekologis
H' < 1,5	Rendah	Komunitas sederhana, didominasi sedikit jenis
1,5 ≤ H' ≤ 3,5	Sedang	Komunitas mulai beragam dan relatif stabil
H' > 3,5	Tinggi	Komunitas kaya jenis dengan sebaran merata

Program memberikan kontribusi terhadap pemulihan lahan melalui penyediaan bibit dan pelaksanaan penanaman pada area pascatambang. Data menunjukkan bahwa Beyond Reclamation mulai tercatat pada 2024 dan berkembang menjadi 104,40 ha pada 2025, dengan penanaman 10.635 batang Paraserianthes falcataria. Pada 2026, jumlahnya meningkat menjadi 10.724 batang dan melibatkan jenis lain seperti *Samanea saman, Leucaena leucocephala, Shorea spp., Dryobalanops aromatica, Artocarpus champeden, Artocarpus heterophyllus*, dan *Baccaurea motleyana*. Keberagaman jenis tersebut menunjukkan bahwa pemulihan tidak hanya mengandalkan satu jenis tanaman.

Pada 2026, luasan Beyond Reclamation tercatat 22,76 ha dengan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H') sebesar 1,40, meningkat dari H' 1,35 pada 2025. Perubahan tersebut menunjukkan perkembangan komunitas vegetasi pada area pemulihan. Namun, data tingkat hidup tanaman, persentase tutupan vegetasi, dan kondisi erosi belum tersedia dalam rekap KEHATI, sehingga indikator tersebut masih perlu dilengkapi untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai keberhasilan reklamasi.

Tabel 6.3 Janis yang ditanam Beyond Reclamation

No	Nama Ilmiah	Tahun				
		2022	2023	2024	2025	2026*
1	*Paraserianthes falcataria*	0	0	0	10635	10724
2	*Samanea saman*	0	0	0	980	1045
3	*Leucaena leucocephala*	0	0	0	540	560
4	*Shorea spp.*	0	0	0	635	760
5	*Parkia speciosa*	0	0	0	53	53
6	*Dryobalanops aromatica*	0	0	0	573	653
7	*Nephelium lppaceum*	0	0	0	0	85
8	*Artocarpus champeden*	0	0	0	1860	1885
9	*Baccaurea motleyana*	0	0	0	650	655
10	*Artocarpus heterophyllus*	0	0	0	864	914

6.2 Peningkatan Keanekaragaman Hayati Lokal

Peningkatan keanekaragaman hayati terlihat dari bertambahnya jumlah spesies yang tercatat dalam program ABN. Total spesies flora meningkat dari 65 spesies pada 2022 menjadi 90 spesies pada 2026, sedangkan jumlah spesies fauna meningkat dari 169 menjadi 177 spesies. Jumlah individu flora juga

meningkat dari 6.218 batang menjadi 79.828 batang, sementara individu fauna meningkat dari 214 menjadi 367 ekor. Pada Arboretum KHMF Bukit Kayu Arang, indeks keanekaragaman meningkat dari H' 2,71 pada 2022 menjadi 2,86 pada 2026, menunjukkan adanya perkembangan komposisi keanekaragaman hayati di kawasan tersebut.

Perkembangan juga terlihat pada program lainnya. ABN Resilient Nursery memiliki H' sebesar 0,34 pada 2023 dan 0,35 pada 2026, sedangkan Beyond Reclamation memiliki H' 1,35 pada 2025 dan meningkat menjadi 1,40 pada 2026. Gen-Matrix yang mulai tercatat pada 2025 memiliki enam jenis flora dengan H' 1,72 dan pada 2026 H' tercatat 1,69. Data tersebut memperlihatkan bahwa setiap program memiliki fungsi yang berbeda dalam mendukung konservasi, mulai dari penyediaan bibit, pemulihan lahan, hingga penguatan koleksi jenis lokal. Dengan demikian, keberhasilan program lebih tepat dipahami sebagai proses bertahap dalam membangun kembali keragaman vegetasi dan habitat, bukan hanya berdasarkan jumlah tanaman yang ditanam.

Tabel 6.4 Keanekaragaman Hayati pada Lokasi Program

Lokasi/program	Jumlah Jenis	Jumlah Individu	H' 2026
Arboretum KHMF Bukit Kayu Arang	177 flora 367 fauna	8879 batang 9246 ekor	2.86
Beyond Reclamation	10 flora	17.334 batang	1.40
ABN Resilient Nursery	9 flora	52.686 batang	0.35
Gen-Matrix Ecosystem	6 flora	929 batang	1.69

Verifikasi status jenis dilakukan untuk memastikan status perlindungan dan konservasi setiap jenis berdasarkan ketentuan nasional dan internasional, meliputi Permen LHK No. 106 Tahun 2018, IUCN Red List, dan CITES. Hasil verifikasi menjadi dasar dalam menentukan ketentuan pengelolaan, pemanfaatan, dan/atau penanaman jenis pada area pemulihan dan arboretum. Berdasarkan hasil identifikasi terhadap 91 jenis, sebagian besar jenis yang ditemukan belum termasuk dalam kategori perlindungan nasional maupun perdagangan internasional, meskipun beberapa jenis memiliki status konservasi berdasarkan IUCN.

1. Berdasarkan Permen LHK No. 106 Tahun 2018

Dari 91 jenis yang teridentifikasi, sebanyak 7 jenis (7,69%) merupakan jenis yang dilindungi, sedangkan 84 jenis (92,31%) tidak termasuk jenis yang dilindungi berdasarkan Permen LHK No. 106 Tahun 2018. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun proporsi jenis yang dilindungi relatif kecil, keberadaan 7 jenis tersebut tetap menjadi perhatian penting dalam pengelolaan

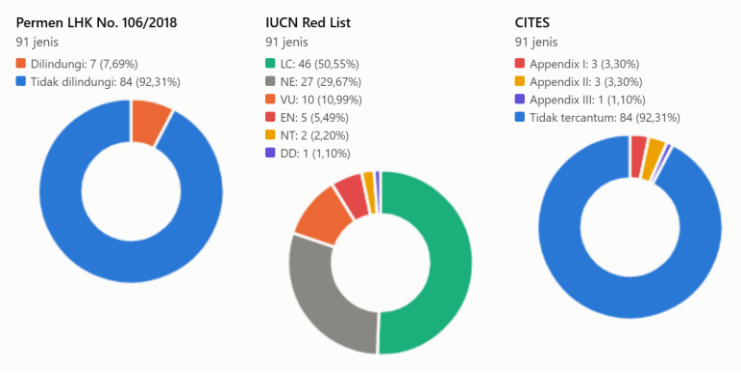
keanekaragaman hayati, terutama dalam kegiatan perlindungan dan pemantauan habitat.

2.Berdasarkan IUCN Red List

Status IUCN menunjukkan bahwa 46 jenis (50,55%) berada dalam kategori Least Concern (LC) atau berisiko rendah. Selanjutnya, 27 jenis (29,67%) belum dievaluasi (NE), 10 jenis (10,99%) Vulnerable (VU), 5 jenis (5,49%) Endangered (EN), 2 jenis (2,20%) Near Threatened (NT), dan 1 jenis (1,10%) Data Deficient (DD). Dengan demikian, terdapat 17 jenis (18,68%) yang termasuk kategori NT, VU, dan EN, sehingga keberadaannya perlu mendapatkan perhatian lebih dalam pengelolaan kawasan. Khusus 5 jenis yang berstatus Endangered (EN) dan 10 jenis Vulnerable (VU) menunjukkan adanya jenis dengan tingkat risiko kepunahan yang perlu dipertimbangkan dalam strategi konservasi.

3. **Berdasarkan CITES**

Dari 91 jenis, sebanyak 3 jenis (3,30%) tercantum dalam Appendix I, 3 jenis (3,30%) dalam Appendix II, dan 1 jenis (1,10%) dalam Appendix III. Sementara itu, 84 jenis (92,31%) tidak tercantum dalam CITES. Jenis yang masuk dalam Appendix I memiliki tingkat perlindungan perdagangan internasional paling ketat, sedangkan Appendix II dan III memberikan pengaturan perdagangan dengan tingkat yang berbeda sesuai status dan kebutuhan konservasinya.



Gambar 6.1 Diagram Presentase Status Keanekaragaman Hayati

Tata cara verifikasi status jenis

1. Menyusun daftar jenis yang direncanakan untuk ditanam atau diperbanyak, lengkap dengan nama ilmiah dan nama lokal.
2. Memeriksa status setiap jenis pada Daftar Merah IUCN dan mencatat kategorinya beserta tahun penilaiannya.
3. Memeriksa apakah jenis tercantum dalam Lampiran CITES.
4. Memeriksa apakah jenis termasuk dalam daftar tumbuhan yang dilindungi menurut peraturan yang berlaku di Indonesia.
5. Memeriksa ketentuan daerah dan ketentuan pengelola kawasan yang relevan.

BAB VII
VISIONER DALAM RESILIENSI KEANEKARAGAMAN HAYATI

7.1 Peran Inovasi Hayati Untuk Masa Depan Reklamasi

Sejak mulai dijalankan pada 2022, keempat program telah memperlihatkan kemajuan dalam mempercepat pemulihan ekosistem pascatambang melalui pendekatan yang terpadu dan berbasis data. Persemaian internal memastikan bibit tersedia dan bermutu, penanaman jenis pionir membangun tutupan awal, arboretum menyimpan koleksi dan menjadi rujukan, sedangkan kerangka Gen Matrix Ecosystem menjaga agar semuanya berjalan dalam satu arah.

Lebih dari angka dan luasan, capaian ini mencerminkan mulai terbentuknya ekosistem baru yang tangguh di atas tanah yang sebelumnya rusak. Pemulihan jangka panjang tidak cukup berfokus pada revegetasi fisik, tetapi harus memulihkan keseimbangan ekologis yang memungkinkan terbentuknya rantai makanan alami, dari tumbuhan, serangga penyerbuk, hingga satwa pemakan buah dan biji.

Ke depan, pendekatan ini mewakili pergeseran paradigma reklamasi: dari pendekatan teknis yang berhenti pada penutupan lahan menjadi pendekatan ekologis yang holistik, berbasis data, dan berorientasi keberlanjutan. Pergeseran ini menunjukkan bahwa

pemulihan pascatambang tidak harus bergantung pada masukan eksternal yang mahal, melainkan dapat dibangun dari sumber daya lokal yang dikelola dengan baik.

Kontribusi terhadap agenda keberlanjutan

Keempat program sejalan dengan beberapa tujuan pembangunan berkelanjutan, terutama ekosistem daratan (tujuan 15) melalui pemulihan lahan dan perlindungan keanekaragaman hayati, aksi iklim (tujuan 13) melalui penambahan tutupan vegetasi, serta kemitraan untuk mencapai tujuan (tujuan 17) melalui kerja sama multipihak. Keterkaitan ini dapat dimanfaatkan ABN dalam laporan keberlanjutan dan komunikasi dengan pemangku kepentingan.

7.2 Penguatan Kemandirian Lingkungan Berbasis Lokal

Seiring berjalannya program, persemaian yang semula hanya dipandang sebagai pusat produksi bibit berkembang menjadi ruang belajar dan ruang konservasi. Persemaian dapat menjadi laboratorium lapangan yang menjembatani teori dan praktik, baik bagi karyawan maupun bagi pelajar dan mahasiswa.

Kemandirian berbasis lokal diwujudkan melalui empat hal. Pertama, memanfaatkan sumber benih dan anakan dari sekitar tapak sehingga bibit sesuai dengan kondisi setempat. Kedua, memakai bahan lokal untuk

media tanam, misalnya tanah pucuk hasil penyelamatan dan kompos dari limbah organik. Ketiga, meningkatkan kapasitas tim persemaian dan penanaman melalui pelatihan. Keempat, melibatkan masyarakat sekitar, misalnya sebagai tenaga persemaian, pengumpul benih, atau pemelihara tanaman.

Arboretum juga dapat dikembangkan sebagai sarana pendidikan lingkungan. Dengan pengelolaan yang berbasis interpretasi, misalnya papan nama jenis, jalur pengamatan, dan materi belajar, kawasan ini dapat menjadi pusat pembelajaran terbuka yang memperkenalkan pentingnya keanekaragaman hayati dan pemulihan ekosistem. Pendekatan ini bukan sekadar penghijauan simbolis.

Skema pelibatan masyarakat

Pelibatan masyarakat diarahkan agar manfaatnya nyata dan berkelanjutan. Masyarakat sekitar dapat berperan sebagai pengumpul benih dan anakan, tenaga persemaian dan penanaman, pemelihara tanaman, serta pemandu di arboretum. Pelibatan ini disertai pelatihan dan skema imbal jasa yang jelas, sehingga masyarakat memperoleh manfaat ekonomi secara langsung sekaligus manfaat secara tidak langsung (*tangible* dan *intangible*).

Tabel 7.1 Bentuk Pelibatan Masyarakat dan Mitra

Pihak	Bentuk pelibatan	Manfaat
Kelompok masyarakat sekitar	Pengumpulan benih, tenaga persemaian dan penanaman	Pendapatan dan keterampilan
Sekolah dan perguruan tinggi	Kunjungan belajar, praktik lapangan, penelitian	Pendidikan dan data ilmiah
Instansi pemerintah	Pembinaan, pengawasan, dan verifikasi	Kepastian hukum dan kualitas program
Lembaga konservasi	Pendampingan teknis dan pertukaran data	Mutu kajian dan jejaring

7.3 Replikasi dan Potensi Pengembangan Program

Capaian pada tahap awal bukanlah garis akhir, melainkan titik tolak bagi upaya konservasi jangka panjang yang lebih luas. Karena memanfaatkan bahan dan sumber daya setempat, model ini dapat direplikasi pada blok atau lokasi lain dalam konsesi ABN, dan berpotensi dijadikan rujukan bagi perusahaan lain yang menghadapi tantangan serupa.

Dalam kerangka pengembangan, beberapa arah dapat ditempuh sebagai berikut.

1. **Penguatan pengelolaan plasma nutfah.** Penandaan pohon induk, pencatatan asal benih, dan pembentukan bank benih jenis lokal.

2. **Pemantauan berbasis digital dan geospasial.** Pemanfaatan citra satelit, pesawat nirawak, dan basis data spasial untuk memantau tutupan vegetasi dan pertumbuhan secara lebih cepat dan murah.
3. **Suksesi lanjutan.** Penanaman jenis lokal yang lebih lambat tumbuh pada lahan yang telah tertutup pionir, sehingga komposisi jenis mendekati ekosistem rujukan.
4. **Konektivitas habitat.** Penghubungan area pemulihan dengan kawasan bervegetasi di sekitarnya agar satwa dapat bergerak dan menyebarkan biji.
5. **Konservasi penyerbuk dan satwa penyebar biji.** Pemantauan serangga penyerbuk dan burung sebagai indikator pulihnya fungsi ekosistem.
6. **Kemitraan riset.** Kerja sama dengan perguruan tinggi dan lembaga penelitian untuk menguji jenis, teknik perbanyakan, dan indikator keberhasilan.

Tantangan dan upaya mitigasi

Pengembangan program tentu menghadapi tantangan. Mengenali tantangan sejak dini memungkinkan ABN menyiapkan langkah pencegahan.

Tabel 7.2 Tantangan dan Upaya Mitigasi

Tantangan	Upaya mitigasi
Cuaca ekstrem, kemarau panjang, dan kebakaran lahan	Penjadwalan tanam pada musim hujan, penyiraman tambahan, sekat bakar, dan patroli
Hama dan penyakit pada bibit dan tanaman	Pemantauan rutin, sanitasi persemaian, dan seleksi bibit
Ketersediaan benih jenis lokal yang musiman	Pembentukan bank benih dan penandaan pohon induk
Gangguan dari luar kawasan, seperti perambahan dan perburuan	Penegasan batas, pelibatan masyarakat, dan koordinasi dengan pihak berwenang
Keberlanjutan pendanaan dan sumber daya manusia	Pengintegrasian program dalam rencana kerja dan anggaran serta regenerasi kader

Melalui program ini, ABN menunjukkan bahwa pemulihan lahan tidak semata kewajiban formal dalam regulasi lingkungan, tetapi juga panggilan etis untuk menyambung kembali keterputusan alam. Dari tanah yang pernah digali, kehidupan dapat tumbuh kembali bila dituntun oleh ilmu, dijaga oleh nilai, dan ditumbuhkan oleh kepedulian.

BAB VIII
PENUTUP

8.1 Evaluasi Program Berjalan

Pemulihan ekosistem merupakan proses jangka panjang yang membutuhkan konsistensi, pembelajaran, dan kemampuan untuk menyesuaikan pendekatan berdasarkan kondisi lapangan. Evaluasi terhadap pelaksanaan empat program ABN selama lima tahun menunjukkan bahwa upaya pemulihan tidak hanya berfokus pada kegiatan penanaman, tetapi telah berkembang menjadi suatu pendekatan yang mengintegrasikan konservasi, pengelolaan persemaian, pemulihan lahan, pengembangan jenis tanaman pionir, serta keterlibatan para pemangku kepentingan.

Pelaksanaan program selama periode tersebut memberikan pembelajaran penting. Peningkatan mutu bibit, penerapan pendekatan yang lebih efisien dalam pelaksanaan kegiatan, serta bertambahnya keragaman jenis pada area pemulihan menunjukkan adanya perkembangan positif dalam pengelolaan program. Pada saat yang sama, hasil verifikasi status jenis menunjukkan pentingnya memperhatikan aspek konservasi dalam pemilihan dan pengelolaan tanaman. Keberadaan jenis yang berstatus dilindungi berdasarkan Permen LHK No. 106 Tahun 2018 maupun jenis dengan kategori konservasi tertentu menurut IUCN menjadi

pertimbangan penting agar kegiatan penanaman tidak hanya berorientasi pada jumlah tanaman, tetapi juga mempertimbangkan nilai ekologis, status konservasi, dan kesesuaian jenis dengan tujuan pemulihan.

Pengalaman lima tahun memperlihatkan bahwa keberhasilan pemulihan ekosistem tidak dapat diukur hanya dari jumlah bibit yang ditanam atau luasan yang dipulihkan. Keberhasilan perlu dilihat secara lebih menyeluruh melalui perkembangan kualitas tanaman, keberagaman jenis, kondisi lahan, kemampuan ekosistem untuk berkembang secara alami, serta keberlanjutan pengelolaan setelah kegiatan awal selesai. Dengan pendekatan tersebut, kegiatan pemulihan dapat berkembang dari sekadar memenuhi target rehabilitasi menjadi proses membangun kembali fungsi ekologis kawasan secara bertahap.

Kedepannya, keberlanjutan program sangat ditentukan oleh kemampuan untuk mempertahankan sistem yang telah dibangun sekaligus melakukan perbaikan berdasarkan hasil pemantauan dan evaluasi. Dokumentasi, pengelolaan data, verifikasi status jenis, pengembangan sumber bahan tanaman, dan kolaborasi dengan pemangku kepentingan perlu terus diperkuat agar setiap tahapan pemulihan memiliki dasar pengambilan keputusan yang semakin baik.

8.2 Harapan Penulis untuk Kelestarian Keanekaragaman Hayati

Melalui karya ini, penulis menyampaikan harapan bahwa program ini tidak berhenti sebagai program kerja teknis, melainkan merupakan gerakan bersama yang menginspirasi upaya memulihkan, menyuburkan, dan merawat kembali lahan-lahan yang terdegradasi. Penulis meyakini bahwa keberlanjutan lingkungan bukan tanggung jawab secara individual, melainkan hasil sinergi banyak pihak. Dunia usaha, pemerintah, komunitas ilmiah dan akademik, serta masyarakat perlu bergerak dalam satu visi yang selaras: membangun sistem ekologis yang saling terhubung, adaptif, dan berpihak pada kehidupan.

Penulis berharap buku ini tidak hanya menjadi dokumentasi perjalanan, tetapi juga rujukan yang dapat dipraktikkan oleh pegiat konservasi, pelaku rehabilitasi lahan, sektor pertambangan, serta para pendidik. Selain itu banyak yang perlu dikembangkan dari data dasar yang telah dimiliki sebagai progres menjaga kelestarian keanekaragaman hayati oleh PT ABN. Hal ini menjadi ruang untuk riset yang dapat dilakukan di masa yang akan mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

Bradshaw, A. D. (1997). Restoration of mined lands—using natural processes. *Ecological Engineering, 8*(4), 255–269.

CITES. (n.d.). *The CITES Appendices*. Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. https://cites.org

Gann, G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J., et al. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology, 27*(S1), S1–S46.

IUCN. (n.d.). *The IUCN Red List of Threatened Species*. https://www.iucnredlist.org

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2018). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.106/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2018 tentang Jenis Tumbuhan dan Satwa yang Dilindungi*.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2018). *Peraturan Menteri ESDM Nomor 26 Tahun 2018 tentang Pelaksanaan Kaidah Pertambangan yang Baik dan Pengawasan Pertambangan Mineral dan Batubara*.

Lottermoser, B. G. (2010). *Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts* (3rd ed.). Springer.

Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing.

Odum, E. P. (1971). *Fundamentals of Ecology* (3rd ed.). W. B. Saunders.

Pemerintah Republik Indonesia. (2010). *Peraturan Pemerintah Nomor 78 Tahun 2010 tentang Reklamasi dan Pascatambang*.

Pemerintah Republik Indonesia. (2014). *Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta*.

Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal, 27*(3), 379–423.

Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis* (3rd ed.). Academic Press.

Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. (2004). *The SER International Primer on Ecological Restoration*. Society for Ecological Restoration International.

Whisenant, S. G. (1999). *Repairing Damaged Wildlands: A Process-Orientated, Landscape-Scale Approach*. Cambridge University Press.



ISBN 978-634-7455-51-2 (PDF)