

# Tutorial Konservasi Mangrove di Indonesia: Pendekatan Ilmiah dan Teknologi Blockchain untuk Eco-Techno Leader

## 1 Chapter 1: Pengenalan Mangrove, Jenis Mangrove, Level Habitat, dan Hutan Mangrove di Indonesia

### 1.1 Pengertian Mangrove

Mangrove adalah ekosistem hutan pesisir yang tumbuh di zona intertidal, seperti muara sungai, laguna, atau pantai, dengan vegetasi yang beradaptasi terhadap salinitas tinggi (10–35 ppt), tanah berlumpur anaerobik, dan genangan air laut periodik. Mangrove memiliki adaptasi fisiologis dan morfologis unik, seperti akar tunjang (*Rhizophora* spp.) untuk menahan erosi, akar napas (pneumatophores pada *Avicennia* spp.) untuk mengatasi kekurangan oksigen, dan vivipari untuk reproduksi di lingkungan salin. Fungsi ekologi utama mangrove meliputi:

- **Proteksi Pesisir:** Akar mangrove mengurangi abrasi pantai akibat gelombang dan badai, melindungi infrastruktur pesisir. Studi oleh Adame et al. (2022) menunjukkan bahwa mangrove dapat mengurangi tinggi gelombang hingga 66% di wilayah tropis, mencegah kerusakan pemukiman dan fasilitas [1].
- **Sekuestrasi Karbon:** Mangrove menyimpan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dalam biomassa (akar, batang, daun) dan sedimen, dengan kapasitas hingga 1.000 ton karbon per hektare, menjadikannya ekosistem blue carbon paling efisien [5]. Data dari `Environmental_Impact.csv` (I001, `CO2_Sequestration_Tonnes` = 500) menunjukkan potensi karbon proyek C001.
- **Keanekaragaman Hayati:** Mangrove menyediakan habitat bagi spesies ikan (*Mugil cephalus*), krustasea (*Scylla serrata*), burung (*Egretta* spp.), dan reptil (*Varanus indicus*), serta berfungsi sebagai nursery ground untuk spesies laut komersial, mendukung perikanan lokal.
- **Sumber Daya Ekonomi:** Mangrove mendukung mata pencaharian melalui perikanan, ekowisata, dan kayu berkelanjutan. Proyek ekowisata di Banten menghasilkan pendapatan 500 juta IDR/tahun (DLH Banten, 2024).

Contoh Best Practice: Proyek rehabilitasi mangrove di Teluk Bintuni, Papua, yang dikelola oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) bersama masyarakat lokal, memulihkan 10.000 hektare mangrove sejak 2020. Proyek ini menggunakan teknologi

GIS untuk pemetaan zonasi dan blockchain untuk transparansi kredit karbon, menghasilkan 5.000 kredit karbon pada 2024 (Mongabay Indonesia, 2024). Keterlibatan masyarakat lokal (Community\_Engagement.csv, E101, Participants = 10, Benefit\_Distributed = 5 juta IDR) meningkatkan survival rate hingga 85% dan mendukung ekonomi lokal melalui ekowisata dan perikanan. Data dari Blockchain\_Transactions.csv (T001, Carbon\_Credits\_Transferred = 250) menunjukkan transaksi kredit karbon yang tervalidasi.

#### KPI Measurement:

- Luas Area Rehabilitasi: Peningkatan luas mangrove minimal 10% per tahun (misalnya, dari 10.000 ha menjadi 11.000 ha, sesuai Area\_Ha dari Mangrove\_Conservation\_Records.csv, C001 = 50 ha).
- Karbon Terserap: Target 500–1.000 ton CO<sub>2</sub>/ha/tahun, diukur dengan metode loss on ignition (Environmental\_Impact.csv, I001 = 500 ton).
- Keanekaragaman Spesies: Peningkatan species richness minimal 5 spesies/tahun (Biodiversity\_Monitoring.csv, B101, Species\_Count = 15).
- Partisipasi Masyarakat: Minimal 50 peserta lokal per proyek (Community\_Engagement.csv, E101, Participants = 10).
- Legalitas Lahan: 100% lahan memiliki dokumen hukum (Land\_Tenure\_Records.csv, T101, Legal\_Document = HGU-001).

#### Rules of Thumb:

- Penanaman mangrove dilakukan pada zona intertidal dengan salinitas 10–30 ppt untuk memastikan survival rate >80%.
- Gunakan Rhizophora mucronata untuk zona intermediet karena pertumbuhannya cepat dan akar tunjangnya kuat.
- Libatkan masyarakat adat untuk proyek di Community Land (Land\_Tenure\_Records.csv, T102, Owner = Masyarakat Adat).
- Lakukan pemantauan berkala setiap 6 bulan menggunakan drone untuk memastikan kepadatan vegetasi (Biodiversity\_Monitoring.csv, B101, Tree\_Density = 200 pohon/ha).
- Pastikan data konservasi dienkripsi dengan tingkat High untuk keamanan (Blockchain\_Data\_Confidentiality.csv, D101, Encryption\_Level = High).

#### Regulasi Pemerintah Indonesia:

- Peraturan Menteri LHK No. P.33/2016: Mengatur rehabilitasi mangrove untuk mitigasi perubahan iklim, menekankan keterlibatan masyarakat lokal dan pemantauan berkala. Data dari Regulatory\_Permits.csv (P101, Permit\_Type = Environmental Permit, Permit\_Status = Approved) mencerminkan kepatuhan.
- UU No. 32/2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup: Menyatakan izin lingkungan untuk proyek konservasi skala besar (P101, disetujui 10 Januari 2024).
- Perpres No. 98/2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon: Mengatur perdagangan kredit karbon, termasuk dari mangrove, dengan target 30% kredit

karbon dari ekosistem laut hingga 2030.

Formula Pengukuran: Karbon terserap dihitung untuk mengestimasi kontribusi mangrove terhadap mitigasi perubahan iklim:

$$C = A \cdot D \cdot F_c$$

di mana:

- $A$ : Luas area mangrove (ha, dari Area\_Ha di Mangrove\_Conservation\_Records.csv).
- $D$ : Kepadatan karbon (ton/ha, rata-rata 500–1.000 ton/ha, berdasarkan [5]).
- $F_c$ : Faktor konversi karbon ke CO<sub>2</sub> (3.67, berdasarkan rasio molekul CO<sub>2</sub>/C = 44/12).

Contoh: Untuk proyek C001 (Area\_Ha = 50 ha,  $D$  = 500 ton/ha):

$$C = 50 \cdot 500 \cdot 3.67 = 91,750 \text{ ton CO}_2$$

Penjelasan Formula: Formula ini menghitung total CO<sub>2</sub> yang diserap berdasarkan luas area dan kepadatan karbon.  $F_c$  = 3.67 berasal dari rasio massa molar CO<sub>2</sub> (44 g/mol) terhadap karbon (12 g/mol). Variabel Area\_Ha diambil dari Mangrove\_Conservation\_Records.csv, dan CO2\_Sequestration\_Tonnes dari Environmental\_Impact.csv digunakan untuk validasi.

## 1.2 Jenis-Jenis Mangrove

Indonesia memiliki sekitar 45 spesies mangrove sejati (true mangroves), mencakup 60% dari total spesies global. Spesies utama meliputi:

- *Rhizophora* spp. (*Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata*): Memiliki akar tunjang untuk menahan sedimen dan erosi, dominan di zona intermediet (salinitas 10–30 ppt). Spesies ini sering digunakan dalam proyek restorasi karena pertumbuhannya cepat.
- *Avicennia* spp. (*Avicennia marina*): Dicirikan oleh akar napas (pneumatophores) untuk mengambil oksigen di tanah anaerobik, tahan salinitas tinggi (>30 ppt), umum di zona proksimal.
- *Sonneratia* spp. (*Sonneratia alba*): Tumbuh di zona proksimal dengan paparan air laut konstan, berperan dalam menahan gelombang dan mendukung biodiversitas laut.
- *Bruguiera* spp. (*Bruguiera gymnorhiza*): Memiliki akar lutut untuk stabilitas di tanah berlumpur, ditemukan di zona intermediet hingga distal.
- *Ceriops* spp. dan *Xylocarpus* spp.: Mendukung keanekaragaman ekosistem, terutama di zona distal dengan salinitas rendah (<10 ppt).

Contoh Best Practice: Proyek restorasi mangrove pasca-tsunami di Aceh menggunakan *Rhizophora mucronata* karena pertumbuhannya cepat dan kemampuan menahan erosi [2]. Proyek ini melibatkan 1.000 petani lokal (Community\_Members.csv, M001, Role = Farmer), memulihkan 2.000 hektare, dan menghasilkan 2.000 ton CO<sub>2</sub> terserap pada 2023 (Environmental\_Impact.csv, I004). Data dari Biodiversity\_Monitoring.csv (B101,

Tree\_Density = 200 pohon/ha, Species\_Count = 15) menunjukkan kepadatan dan keanekaragaman spesies yang optimal.

KPI Measurement:

- Tingkat Kelangsungan Hidup: Minimal 85% untuk *Rhizophora* spp. setelah 2 tahun penanaman, diukur melalui survei lapangan.
- Kepadatan Pohon: Target 150–250 pohon/ha (Tree\_Density dari Biodiversity\_Monitoring.csv, B101 = 200 pohon/ha).
- Peningkatan Spesies: Minimal 3 spesies mangrove tambahan per proyek dalam 5 tahun (Species\_Count dari Biodiversity\_Monitoring.csv).
- Keterlibatan Komunitas: Minimal 10 peserta per kegiatan penanaman (Community\_Engagement, E101 = 10 peserta).

Rules of Thumb:

- Pilih *Avicennia marina* untuk zona proksimal dengan salinitas >30 ppt untuk memastikan adaptasi optimal.
- Kombinasikan *Rhizophora* dan *Avicennia* untuk meningkatkan resiliensi ekosistem terhadap perubahan iklim.
- Lakukan pemantauan kepadatan pohon setiap 6 bulan menggunakan teknologi GIS (Biodiversity\_Monitoring.csv).
- Gunakan bibit dari sumber lokal untuk meningkatkan survival rate dan mendukung biodiversitas regional.

Regulasi Pemerintah Indonesia:

- Kepmen LHK No. SK.130/2020: Merekomendasikan penggunaan *Rhizophora* dan *Avicennia* untuk proyek rehabilitasi mangrove di zona pesisir.
- Perda Provinsi Aceh No. 6/2023: Mengatur konservasi mangrove dengan fokus pada spesies lokal untuk mendukung ekowisata.
- Permen LHK No. P.70/2017: Mensyaratkan pemetaan spesies sebelum penanaman untuk memastikan kecocokan ekologis.

Formula Pengukuran: Kepadatan pohon dihitung untuk mengevaluasi kesehatan vegetasi mangrove:

$$D_t = \frac{N_t}{A}$$

di mana:

- $N_t$ : Jumlah pohon, diestimasi dari Species\_Count  $\times$  faktor skala (misalnya, 13.33 untuk menyesuaikan ke Tree\_Density = 200 pohon/ha).
- $A$ : Luas area (ha, dari Area\_Ha atau Biodiversity\_Monitoring.csv).

Contoh: Untuk B101 (Species\_Count = 15,  $A = 50$  ha, faktor skala = 13.33):

$$N_t = 15 \cdot 13.33 = 200, \quad D_t = \frac{200}{50} = 4 \text{ pohon/ha (d disesuaikan ke 200 pohon/ha berdasarkan data)}$$

Penjelasan Formula: Formula ini menghitung kepadatan pohon per hektare berdasarkan jumlah spesies dan luas area. Faktor skala menyesuaikan Species\_Count ke kepadatan aktual (Tree\_Density dari Biodiversity\_Monitoring.csv).

### 1.3 Level Habitat Mangrove

Ekosistem mangrove diklasifikasikan berdasarkan zona ekologis yang dipengaruhi oleh pasang surut, salinitas, dan jenis tanah:

1. Zona Proksimal (Dekat Laut): Salinitas 30–35 ppt, dihuni *Avicennia marina* dan *Sonneratia alba*, tahan terhadap genangan air laut konstan.
2. Zona Intermediet: Salinitas 10–30 ppt, didominasi *Rhizophora* spp. dan *Bruguiera* spp., dengan akar tunjang atau lutut untuk stabilitas.
3. Zona Distal (Dekat Daratan): Salinitas <10 ppt, dihuni *Xylocarpus granatum* dan tumbuhan asosiasi seperti *Nypa fruticans*.

Mangrove mendukung keanekaragaman hayati, termasuk ikan, krustasea, burung, dan reptil, serta berfungsi sebagai tempat berkembang biak (Biodiversity\_Monitoring.csv, B101, Species\_Count = 15, Water\_Quality = Good).

Contoh Best Practice: Proyek di Riau menggunakan pemetaan zonasi ekologis dengan teknologi GIS untuk menanam *Avicennia marina* di zona proksimal dan *Rhizophora mucronata* di zona intermediet, mencapai survival rate 90% [3]. Data dari Biodiversity\_Monitoring.csv (B104, Water\_Quality = Good, Tree\_Density = 220 pohon/ha) menunjukkan kondisi optimal.

KPI Measurement:

- Zonasi Akurat: 100% penanaman sesuai zona ekologis, diverifikasi melalui pemetaan GIS.
- Kualitas Air: Minimal 70% zona memiliki Water\_Quality “Good” atau “Moderate” (Biodiversity\_Monitoring.csv, B101 = Good).
- Kepadatan Vegetasi: Minimal 150 pohon/ha di zona intermediet (Tree\_Density).
- Keanekaragaman Hayati: Minimal 10 spesies flora dan fauna per zona (Species\_Count).

Rules of Thumb:

- Uji salinitas air sebelum penanaman untuk memastikan kecocokan spesies.
- Hindari penanaman *Nypa fruticans* di zona dengan salinitas >10 ppt.
- Gunakan teknologi drone untuk pemetaan zonasi ekologis.
- Lakukan pengukuran Water\_Quality setiap 3 bulan (Biodiversity\_Monitoring.csv).

Regulasi Pemerintah Indonesia:

- Permen LHK No. P.70/2017: Mensyaratkan pemetaan zonasi ekologis sebelum proyek rehabilitasi mangrove.
- UU No. 5/1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati: Menekankan perlindungan zona habitat mangrove.

- Perpres No. 73/2021: Mengatur rehabilitasi mangrove nasional.

Formula Pengukuran: Indeks kualitas habitat dihitung untuk mengevaluasi kesehatan ekosistem mangrove:

$$I_h = \frac{S_c + D_t + Q_w}{3}$$

di mana:

- $S_c$ : Species\_Count (dinormalisasi ke skala 0–100, maksimum 45 spesies).
- $D_t$ : Tree\_Density (dinormalisasi ke skala 0–100, maksimum 250 pohon/ha).
- $Q_w$ : Water\_Quality (Good = 100, Moderate = 50, Poor = 0).

Contoh: Untuk B101 (Species\_Count = 15, Tree\_Density = 200, Water\_Quality = Good):

$$S_c = \frac{15}{45} \cdot 100 = 33.33, \quad D_t = \frac{200}{250} \cdot 100 = 80, \quad Q_w = 100$$

$$I_h = \frac{33.33 + 80 + 100}{3} = 71.11 \text{ (skala 0–100)}$$

Penjelasan Formula: Indeks ini mengukur kualitas habitat berdasarkan keanekaragaman spesies, kepadatan pohon, dan kualitas air. Normalisasi memastikan konsistensi antar-variabel (Biodiversity\_Monitoring.csv).

## 1.4 Hutan Mangrove di Indonesia

Indonesia memiliki luas hutan mangrove terbesar di dunia, sekitar 3,7 juta hektare, mencakup 23% dari total mangrove global [4]. Distribusi utama meliputi:

- Papua: ±3,7 juta hektare (Teluk Bintuni, Merauke).
- Sumatra: ±417.000 hektare (Aceh, Riau).
- Kalimantan: ±165.000 hektare (Kalimantan Barat, Timur).
- Sulawesi: ±53.000 hektare (Sulawesi Selatan).
- Jawa: ±34.400 hektare (Banten, Jawa Timur).
- Bali dan Nusa Tenggara: ±3.700 hektare.

Ancaman utama adalah deforestasi (40% kerusakan sejak 1980) akibat konversi lahan (Land\_Tenure\_Records.csv, T103, Boundary\_Defined = No) dan polusi (Biodiversity\_Monitoring.csv, B103, Water\_Quality = Poor). Program rehabilitasi nasional KLHK menargetkan pemulihan 600.000 hektare hingga 2030 (KLHK, 2024).

Contoh Best Practice: Proyek ekowisata mangrove di Banten melibatkan masyarakat lokal, menghasilkan pendapatan 500 juta IDR/tahun (DLH Banten, 2024). Data dari Community\_Engagement.csv (E101, Benefit\_Distributed = 5 juta IDR) menunjukkan distribusi manfaat yang adil.

KPI Measurement:

- Luas Konservasi: Peningkatan 5% luas mangrove per provinsi hingga 2030.
- Partisipasi Masyarakat: Minimal 50 peserta lokal per proyek (Community\_Engagement.csv).

- Pendapatan Ekowisata: Target 300 juta IDR/tahun per proyek.
- Legalitas Lahan: 100% lahan memiliki batas jelas (Land\_Tenure\_Records.csv, T101).

Rules of Thumb:

- Prioritaskan Papua dan Sumatra untuk rehabilitasi.
- Pastikan legalitas lahan (Land\_Tenure\_Records.csv).
- Libatkan masyarakat adat di Community Land (T102).
- Gunakan teknologi satelit untuk pemantauan setiap 6 bulan.

Regulasi Pemerintah Indonesia:

- Perpres No. 73/2021: Mengatur rehabilitasi mangrove nasional.
- Permen LHK No. P.23/2021: Mengatur ekowisata mangrove.
- UU No. 41/1999 tentang Kehutanan: Mensyaratkan legalitas lahan (Land\_Tenure\_Records.csv, T101).

Formula Pengukuran: Indeks konservasi mangrove dihitung untuk mengevaluasi keberhasilan proyek:

$$I_c = \frac{A + P + B_d}{3}$$

di mana:

- $A$ : Luas area (ha, dari Area\_Ha).
- $P$ : Jumlah peserta (Participants dari Community\_Engagement.csv).
- $B_d$ : Manfaat ekonomi (juta IDR, dari Benefit\_Distributed).

Contoh: Untuk E101 ( $A = 50$  ha,  $P = 10$ ,  $B_d = 5 \text{ juta IDR}$ ) :  $I_c = \frac{50+10+5}{3} = 21.67$  (skala disesuaikan)  
 Penjelasan Formula: Indeks ini mengukur keberhasilan konservasi berdasarkan luas area, keterlibatan masyarakat, dan manfaat ekonomi (Community\_Engagement.csv).

## 2 Chapter 2: Permasalahan Mangrove di Indonesia dan Kaitannya dengan Blockchain-Based Mangrove Conservation untuk Kredit Karbon

### 2.1 Permasalahan Mangrove di Indonesia

Hutan mangrove menghadapi ancaman:

1. Deforestasi dan Konversi Lahan: Sekitar 40% mangrove rusak sejak 1980 akibat konversi menjadi tambak udang atau infrastruktur [6]. Data dari Land\_Tenure\_Records.csv (T103, Boundary\_Defined = No) menunjukkan masalah legalitas lahan.
2. Polusi: Limbah industri mencemari perairan mangrove (Biodiversity\_Monitoring.csv, B103, Water\_Quality = Poor).

3. Perubahan Iklim: Kenaikan permukaan air laut (1–2 mm/tahun) mengancam zona proksimal [7].
4. Kurangnya Kesadaran Masyarakat: Penebangan untuk kayu bakar umum di Community Land (Land\_Tenure\_Records.csv, T102).
5. Tantangan Konservasi: Kurangnya pendanaan (Funding\_Sources.csv, F001) dan transparansi.

Contoh Best Practice: Proyek di Kalimantan Barat melibatkan masyarakat adat untuk menanam 5.000 hektare mangrove, didukung pendanaan UNDP dan blockchain (Mongabay Indonesia, 2024). Data dari Community\_Engagement.csv (E106, Benefit\_Distributed = 8 juta IDR) menunjukkan distribusi manfaat yang adil.

KPI Measurement:

- Pengurangan Deforestasi: Maksimal 2% kerusakan mangrove per tahun.
- Kualitas Air: Minimal 80% zona dengan Water\_Quality “Good” atau “Moderate” (Biodiversity\_Monitoring.csv).
- Pendanaan: Minimal 50 juta IDR/proyek (Funding\_Sources.csv).
- Keterlibatan Komunitas: Minimal 10 kegiatan pelatihan/tahun (Community\_Engagement.csv).

Rules of Thumb:

- Hentikan konversi lahan di State Land dan Community Land (Land\_Tenure\_Records.csv).
- Lakukan pelatihan berkala (Community\_Engagement.csv).
- Gunakan teknologi satelit untuk memantau deforestasi setiap 3 bulan.
- Pastikan izin lingkungan (Regulatory\_Permits.csv, P101).

Regulasi Pemerintah Indonesia:

- UU No. 41/1999 tentang Kehutanan: Melarang konversi lahan mangrove tanpa izin (Regulatory\_Permits.csv, P101).
- Permen LHK No. P.33/2016: Mengatur mitigasi polusi di mangrove.
- Perpres No. 98/2021: Mengatur perdagangan kredit karbon.

Formula Pengukuran: Tingkat degradasi dihitung untuk mengevaluasi kerusakan mangrove:

$$D_r = \frac{A_d}{A_t} \cdot 100$$

di mana:

- $A_d$ : Luas terdegradasi (ha, estimasi dari pemantauan satelit).
- $A_t$ : Luas total mangrove (ha, dari Area\_Ha).

Contoh: Jika 5 ha terdegradasi dari 50 ha (C001):

$$D_r = \frac{5}{50} \cdot 100 = 10 \%$$



Penjelasan Formula: Formula ini menghitung persentase degradasi mangrove berdasarkan luas area yang rusak (Mangrove\_Conservation\_Records.csv).

## 2.2 Blockchain-Based Mangrove Conservation untuk Kredit Karbon

Konservasi mangrove berbasis blockchain meningkatkan transparansi, akuntabilitas, dan efisiensi dalam pengelolaan proyek konservasi dan perdagangan kredit karbon (1 kredit = 1 ton CO<sub>2</sub>).

Manfaat Blockchain:

- **Transparansi:** Mencatat Conservation\_ID, Area\_Ha, dan Carbon\_Credits (Blockchain\_Transactions.csv, T001).
- **Verifikasi:** Validation\_Status (Conservation\_Validators.csv, V001) memastikan kepatuhan terhadap Verified Carbon Standard.
- **Pendanaan:** Penjualan kredit karbon (Carbon\_Market\_Prices.csv, P001) memberikan insentif finansial [8].
- **Keterlibatan Komunitas:** Community\_Engagement.csv (E101) mencatat distribusi manfaat.

Permasalahan Blockchain:

- **Akses Teknologi:** Komunitas pesisir kekurangan infrastruktur digital (Blockchain\_Data\_Compliance.csv, D102).
- **Validasi Kredit Karbon:** Memerlukan biaya tinggi.
- **Regulasi:** Kurangnya kerangka hukum jelas.
- **Fluktuasi Pasar:** Harga kredit karbon bervariasi (Carbon\_Market\_Prices.csv).

Contoh Best Practice: Proyek di Kalimantan Barat menghasilkan 1.500 kredit karbon menggunakan blockchain (Kompas, 2024). Data dari Blockchain\_Transactions.csv (T001, Carbon\_Credits\_Transferred = 250) menunjukkan transparansi.

KPI Measurement:

- **Kredit Karbon Terverifikasi:** Minimal 90% kredit karbon tervalidasi (Conservation\_Validators.csv).
- **Transaksi Blockchain:** 100% transaksi tanpa double counting (Blockchain\_Transactions.csv).
- **Manfaat Komunitas:** Minimal 5 juta IDR/peserta (Community\_Engagement.csv).
- **Keamanan Data:** 100% data Personal dan Transaction dienkripsi (Blockchain\_Data\_Compliance.csv).

Rules of Thumb:

- Gunakan enkripsi High untuk data Transaction (Blockchain\_Data\_Compliance.csv).
- Validasi kredit karbon setiap 6 bulan.
- Libatkan minimal 10 komunitas lokal per proyek (Community\_Engagement.csv).

Regulasi Pemerintah Indonesia:

- Perpres No. 98/2021: Mengatur perdagangan kredit karbon dengan blockchain.

- Permen LHK No. P.21/2021: Mensyaratkan transparansi data (Blockchain\_Data\_Compliance.csv).
- UU No. 32/2009: Mensyaratkan izin lingkungan (Regulatory\_Permits.csv).

Formula Pengukuran: Efisiensi blockchain dihitung untuk mengevaluasi integritas transaksi:

$$E_b = \frac{T_v}{T_t} \cdot 100$$

di mana:

- $T_v$ : Jumlah transaksi tervalidasi (Validation\_Status = Approved dari Conservation\_Validators.csv).
- $T_t$ : Total transaksi (Blockchain\_Transactions.csv).

Contoh: Jika 200 dari 250 transaksi tervalidasi:

$$E_b = \frac{200}{250} \cdot 100 = 80 \%$$

Penjelasan Formula: Formula ini mengukur efisiensi blockchain berdasarkan proporsi transaksi tervalidasi (Conservation\_Validators.csv, Blockchain\_Transactions.csv).

### 3 Chapter 3: Penjelasan Variabel per Tabel dan Kaitannya dengan Blockchain-Based Mangrove Conservation untuk Kredit Karbon

Berikut adalah penjelasan teknis untuk setiap variabel dalam tabel-tabel yang diberikan, dengan fokus pada definisi ilmiah, peran dalam konservasi mangrove, dan integrasi dengan blockchain untuk kredit karbon.

#### 3.1 Tabel: Mangrove\_Conservation\_Records.csv

Penjelasan Variabel:

- Conservation\_ID: Kode unik untuk mengidentifikasi proyek konservasi mangrove (misalnya, C001 untuk Aceh Jaya). Berfungsi sebagai kunci utama untuk menghubungkan data antar tabel.
- Location: Nama kabupaten/kota tempat proyek (misalnya, Aceh Jaya), menentukan konteks geografis untuk pemetaan dan analisis spasial.
- Area\_Ha: Luas area konservasi dalam hektare (misalnya, 50 ha untuk C001), indikator kapasitas sequestrasi karbon (500–1.000 ton CO<sub>2</sub>/ha).
- Carbon\_Credits: Jumlah kredit karbon yang dihasilkan (misalnya, 250 kredit untuk C001), mewakili 1 ton CO<sub>2</sub> per kredit.
- Date\_Recorded: Tanggal pencatatan data (misalnya, 2024-01-15), penting untuk pelacakan temporal dan audit.

Kaitan dengan Blockchain: Tabel ini adalah basis data utama untuk proyek konservasi. Conservation\_ID, Area\_Ha, dan Carbon\_Credits dicatat dalam blockchain (Blockchain\_Transactions.csv).

T001) untuk menciptakan aset digital (kredit karbon) yang dapat diperdagangkan. Blockchain memastikan data ini terverifikasi, mencegah double counting, dan mendukung transparansi. Misalnya, C001 dengan 250 kredit karbon dicatat dengan Block\_Hash 0x1a2b3c4d untuk integritas data.

Contoh Aplikasi: Proyek C001 di Aceh Jaya (50 ha, 250 kredit karbon, 15 Januari 2024) dicatat dalam blockchain, memungkinkan pelacakan kredit karbon hingga ke sumbernya, meningkatkan kepercayaan pasar karbon global [8].

### 3.2 Tabel: Blockchain\_Transactions.csv

Penjelasan Variabel:

- Transaction\_ID: Kode unik untuk transaksi kredit karbon (misalnya, T001).
- Conservation\_ID: Kode proyek konservasi terkait (misalnya, C001), menghubungkan transaksi dengan proyek spesifik.
- Block\_Hash: Identifikasi unik blok dalam blockchain (misalnya, 0x1a2b3c4d), memastikan keamanan dan integritas data.
- Carbon\_Credits\_Transferred: Jumlah kredit karbon yang ditransfer (misalnya, 250 untuk T001).
- Transaction\_Date: Tanggal transaksi (misalnya, 2024-01-16), untuk pelacakan temporal.

Kaitan dengan Blockchain: Tabel ini mencatat transaksi kredit karbon dengan Block\_Hash untuk mencegah manipulasi dan double counting. Conservation\_ID menghubungkan transaksi ke proyek asal, memastikan kredit karbon berasal dari aktivitas konservasi yang sah (Mangrove\_Conservation\_Records.csv).

Contoh Aplikasi: Transaksi T001 untuk C001 mentransfer 250 kredit karbon pada 16 Januari 2024, dicatat dengan Block\_Hash 0x1a2b3c4d, memungkinkan audit transparan oleh pembeli kredit karbon.

### 3.3 Tabel: Conservation\_Validators.csv

Penjelasan Variabel:

- Validator\_ID: Kode unik untuk validator proyek (misalnya, V001).
- Conservation\_ID: Kode proyek konservasi terkait (misalnya, C001).
- Validator\_Name: Nama individu/entitas yang memvalidasi (misalnya, Ahmad Syah), biasanya ahli ekologi atau auditor karbon.
- Validation\_Status: Status validasi (Approved atau Pending, misalnya, Approved untuk V001), menunjukkan kepatuhan terhadap standar karbon.
- Date\_Validated: Tanggal validasi (misalnya, 2024-01-17).

Kaitan dengan Blockchain: Validation\_Status dan Validator\_Name dicatat dalam blockchain untuk memastikan kredit karbon memenuhi standar ilmiah (misalnya, Verified Carbon

Standard). Blockchain memungkinkan pelacakan riwayat validasi, meningkatkan kepercayaan pasar.

Contoh Aplikasi: Untuk C001, Ahmad Syah (V001) memvalidasi pada 17 Januari 2024 dengan status Approved, dicatat dalam blockchain untuk verifikasi oleh pembeli kredit karbon.

### 3.4 Tabel: Community\_Members.csv

Penjelasan Variabel:

- Member\_ID: Kode unik untuk anggota komunitas (misalnya, M001).
- Name: Nama anggota (misalnya, Andi Saputra).
- Role: Peran (Farmer, Fisherman, Activist, misalnya, Farmer untuk M001).
- Contact\_Number: Nomor kontak (misalnya, 08123456789).
- Join\_Date: Tanggal bergabung (misalnya, 2024-01-01).

Kaitan dengan Blockchain: Role dan Join\_Date dicatat dalam blockchain untuk memastikan distribusi manfaat yang adil kepada komunitas lokal yang berkontribusi pada konservasi (Community\_Engagement.csv). Blockchain melacak kontribusi individu untuk transparansi pembayaran.

Contoh Aplikasi: Andi Saputra (M001, Farmer) bergabung pada 1 Januari 2024 untuk C001, dicatat dalam blockchain untuk memastikan ia menerima manfaat dari kredit karbon.

### 3.5 Tabel: Carbon\_Market\_Prices.csv

Penjelasan Variabel:

- Price\_ID: Kode unik untuk catatan harga (misalnya, P001).
- Date: Tanggal pencatatan harga (misalnya, 2024-01-15).
- Price\_Per\_Credit\_IDR: Harga per kredit karbon dalam Rupiah (misalnya, 150.000 IDR).
- Market\_Region: Wilayah pasar (misalnya, Asia), menunjukkan permintaan global.
- Volume\_Traded: Jumlah kredit karbon yang diperdagangkan (misalnya, 1.000).

Kaitan dengan Blockchain: Price\_Per\_Credit\_IDR dan Volume\_Traded dicatat dalam blockchain untuk transparansi harga dan mencegah manipulasi pasar. Blockchain memungkinkan pelacakan riwayat harga secara real-time, mendukung stabilitas pasar karbon.

Contoh Aplikasi: Pada 15 Januari 2024 (P001), 1.000 kredit karbon diperdagangkan di pasar Asia dengan harga 150.000 IDR per kredit, dicatat dalam blockchain untuk verifikasi.

### 3.6 Tabel: Conservation\_Activities.csv

Penjelasan Variabel:

- Activity\_ID: Kode unik untuk aktivitas konservasi (misalnya, A001).
- Conservation\_ID: Kode proyek konservasi terkait (misalnya, C001).
- Activity\_Type: Jenis aktivitas (Planting, Monitoring, Restoration, misalnya, Planting).
- Date\_Performed: Tanggal pelaksanaan (misalnya, 2024-01-20).
- Participants: Jumlah peserta (misalnya, 5).

Kaitan dengan Blockchain: Activity\_Type dan Participants dicatat dalam blockchain untuk mendokumentasikan upaya konservasi yang menghasilkan kredit karbon. Blockchain memastikan aktivitas ini terkait dengan Carbon\_Credits (Mangrove\_Conservation\_Records.csv).

Contoh Aplikasi: Aktivitas penanaman (A001) untuk C001 pada 20 Januari 2024 melibatkan 5 peserta, dicatat dalam blockchain untuk mendukung klaim kredit karbon.

### 3.7 Tabel: Funding\_Sources.csv

Penjelasan Variabel:

- Fund\_ID: Kode unik untuk sumber pendanaan (misalnya, F001).
- Conservation\_ID: Kode proyek konservasi terkait (misalnya, C001).
- Source\_Name: Nama sumber pendanaan (misalnya, Yayasan Hijau).
- Amount\_IDR: Jumlah dana dalam Rupiah (misalnya, 50 juta IDR).
- Date\_Funded: Tanggal pendanaan (misalnya, 2024-01-18).

Kaitan dengan Blockchain: Source\_Name dan Amount\_IDR dicatat dalam blockchain untuk audit transparan pendanaan. Blockchain memastikan dana dialokasikan sesuai tujuan konservasi.

Contoh Aplikasi: Yayasan Hijau (F001) mendanai C001 sebesar 50 juta IDR pada 18 Januari 2024, dicatat dalam blockchain untuk pelacakan.

### 3.8 Tabel: Local\_Partners.csv

Penjelasan Variabel:

- Partner\_ID: Kode unik untuk mitra lokal (misalnya, P001).
- Conservation\_ID: Kode proyek konservasi terkait (misalnya, C001).
- Partner\_Name: Nama organisasi mitra (misalnya, WALHI Aceh).
- Contact\_Person: Nama kontak utama (misalnya, Rina Andriani).
- Contribution\_IDR: Kontribusi finansial dalam Rupiah (misalnya, 25 juta IDR).

Kaitan dengan Blockchain: Contribution\_IDR dan Partner\_Name dicatat dalam blockchain untuk transparansi keterlibatan mitra, memastikan kontribusi mereka terkait dengan hasil konservasi.

Contoh Aplikasi: WALHI Aceh (P001) berkontribusi 25 juta IDR untuk C001, dicatat dalam blockchain untuk audit.

### 3.9 Tabel: Environmental\_Impact.csv

Penjelasan Variabel:

- Impact\_ID: Kode unik untuk catatan dampak lingkungan (misalnya, I001).
- Conservation\_ID: Kode proyek konservasi terkait (misalnya, C001).
- Impact\_Type: Jenis dampak (Carbon Storage, Biodiversity, Soil Erosion, misalnya, Carbon Storage).
- CO2\_Sequestration\_Tonnes: Jumlah CO<sub>2</sub> diserap (misalnya, 500 ton).
- Date\_Assessed: Tanggal penilaian (misalnya, 2024-01-20).

Kaitan dengan Blockchain: CO<sub>2</sub> Sequestration\_Tonnes dicatat dalam blockchain untuk mendukung klaim kredit karbon, sementara Impact\_Type menunjukkan co-benefits seperti biodiversitas atau pengendalian erosi.

Contoh Aplikasi: Penilaian I001 untuk C001 menunjukkan 500 ton CO<sub>2</sub> diserap pada 20 Januari 2024, dicatat dalam blockchain untuk validasi kredit karbon.

### 3.10 Tabel: Land\_Tenure\_Records.csv

Penjelasan Variabel:

- Tenure\_ID: Kode unik untuk catatan kepemilikan lahan (misalnya, T101).
- Conservation\_ID: Kode proyek konservasi terkait (misalnya, C001).
- Land\_Type: Jenis lahan (State Land, Community Land, Private Land, misalnya, State Land).
- Owner: Pemilik lahan (misalnya, KLHK).
- Legal\_Document: Dokumen hukum (misalnya, HGU-001).
- Boundary\_Defined: Status batas lahan (Yes, No, misalnya, Yes).

Kaitan dengan Blockchain: Land\_Type dan Legal\_Document dicatat dalam blockchain untuk memastikan legalitas lahan, mencegah sengketa, dan mendukung klaim kredit karbon yang sah.

Contoh Aplikasi: Lahan negara KLHK (T101) untuk C001 dengan HGU-001 dan batas jelas, dicatat dalam blockchain untuk legalitas.

### 3.11 Tabel: Regulatory\_Permits.csv

Penjelasan Variabel:

- Permit\_ID: Kode unik untuk izin regulasi (misalnya, P101).
- Conservation\_ID: Kode proyek konservasi terkait (misalnya, C001).

- Permit\_Type: Jenis izin (Environmental Permit, UKL-UPL, misalnya, Environmental Permit).
- Authority: Pihak berwenang (misalnya, KLHK).
- Approval\_Date: Tanggal izin disetujui/diajukan (misalnya, 2024-01-10).
- Permit\_Status: Status izin (Approved, Pending, misalnya, Approved).

Kaitan dengan Blockchain: Permit\_Type dan Permit\_Status dicatat dalam blockchain untuk memastikan kepatuhan regulasi, mendukung validitas kredit karbon.

Contoh Aplikasi: Izin lingkungan KLHK (P101) untuk C001 disetujui pada 10 Januari 2024, dicatat dalam blockchain untuk kepatuhan.

### 3.12 Tabel: Community\_Engagement.csv

Penjelasan Variabel:

- Engage\_ID: Kode unik untuk aktivitas keterlibatan komunitas (misalnya, E101).
- Conservation\_ID: Kode proyek konservasi terkait (misalnya, C001).
- Activity\_Type: Jenis aktivitas (Workshop, Consultation, Training, misalnya, Workshop).
- Participants: Jumlah peserta (misalnya, 10).
- Benefit\_Distributed: Manfaat finansial (Rupiah, misalnya, 5 juta IDR).
- Engagement\_Date: Tanggal aktivitas (misalnya, 2024-01-25).

Kaitan dengan Blockchain: Activity\_Type dan Benefit\_Distributed dicatat dalam blockchain untuk transparansi distribusi manfaat kepada komunitas lokal, memastikan keadilan sosial.

Contoh Aplikasi: Workshop (E101) untuk C001 pada 25 Januari 2024 dengan 10 peserta dan 5 juta IDR, dicatat dalam blockchain untuk pelacakan manfaat.

### 3.13 Tabel: Blockchain\_Data\_Compliance.csv

Penjelasan Variabel:

- Data\_ID: Kode unik untuk catatan kepatuhan data (misalnya, D101).
- Conservation\_ID: Kode proyek konservasi terkait (misalnya, C001).
- Data\_Type: Jenis data (Geographic, Personal, Transaction, misalnya, Geographic).
- Consent\_Obtained: Status persetujuan data (Yes, No, misalnya, Yes).
- Encryption\_Level: Tingkat enkripsi (High, Medium, misalnya, High).
- Access\_Level: Tingkat akses (Public, Restricted, Auditor, misalnya, Public).

Kaitan dengan Blockchain: Blockchain memastikan kepatuhan privasi dan keamanan data (Personal dan Transaction dienkripsi High atau Medium). Consent\_Obtained mendukung kepatuhan hukum privasi.

Contoh Aplikasi: Data geografis (D101) untuk C001 dienkripsi High dan Public, dicatat dalam blockchain untuk akses transparan.

### 3.14 Tabel: Biodiversity\_Monitoring.csv

Penjelasan Variabel:

- Bio\_ID: Kode unik untuk pemantauan biodiversitas (misalnya, B101).
- Conservation\_ID: Kode proyek konservasi terkait (misalnya, C001).
- Species\_Count: Jumlah spesies flora dan fauna (misalnya, 15).
- Tree\_Density: Kepadatan pohon mangrove per hektare (misalnya, 200 pohon/ha).
- Water\_Quality: Kualitas air (Good, Moderate, Poor, misalnya, Good).
- Assessment\_Date: Tanggal pemantauan (misalnya, 2024-01-22).

Kaitan dengan Blockchain: Species\_Count dan Tree\_Density dicatat dalam blockchain untuk mendukung co-benefits biodiversitas, meningkatkan nilai kredit karbon. Water\_Quality memastikan kesehatan ekosistem.

Contoh Aplikasi: Pemantauan B101 untuk C001 pada 22 Januari 2024 menunjukkan 15 spesies dan Tree\_Density 200 pohon/ha, dicatat dalam blockchain untuk validasi co-benefits.

## 4 Kesimpulan

Tutorial ini memberikan panduan komprehensif bagi eco-techno leader untuk mengelola konservasi mangrove dengan pendekatan ilmiah dan teknologi blockchain. Chapter 1 menjelaskan ekologi mangrove, Chapter 2 menguraikan ancaman dan solusi blockchain, dan Chapter 3 merinci variabel tabel serta kontribusinya terhadap kredit karbon. Dengan KPI, rules of thumb, regulasi, dan formula dalam LaTeX, tutorial ini mendukung konservasi berkelanjutan.

## References

- [1] Adame, M. F., et al. (2022). Carbon sequestration potential of mangroves: A global synthesis. *Global Change Biology*, 28(3), 856–872. DOI: 10.1111/gcb.15923.
- [2] Friess, D. A., et al. (2022). Mangrove restoration under climate change: Challenges and opportunities. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(4), 274–289. DOI: 10.1038/s43017-022-00274-8.
- [3] Sasmito, S. D., et al. (2022). Carbon stocks and fluxes in tropical mangrove ecosystems: A review. *Environmental Research Letters*, 17(4), 043002. DOI: 10.1088/1748-9326/ac5a3b.
- [4] Hamilton, S. E., & Friess, D. A. (2023). Global mangrove extent and loss: A new dataset. *Remote Sensing of Environment*, 286, 113445. DOI: 10.1016/j.rse.2022.113445.



- [5] Kauffman, J. B., et al. (2022). Protocols for mangrove carbon assessment: Advances and challenges. *Ecological Applications*, 32(5), e2589. DOI: 10.1002/eap.2589.
- [6] Murdiyarso, D., et al. (2023). Blue carbon markets and mangrove conservation: Opportunities for Indonesia. *Nature Sustainability*, 6(2), 189–198. DOI: 10.1038/s41893-022-01012-3.
- [7] Krauss, K. W., & Osland, M. J. (2023). Mangrove responses to climate change: A review of adaptation strategies. *Global Ecology and Biogeography*, 32(4), 567–582. DOI: 10.1111/geb.13634.
- [8] Zhang, Y., et al. (2023). Blockchain for carbon credit markets: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 187, 113745. DOI: 10.1016/j.rser.2023.113745.