

PROPOSAL

ANALISIS DAMPAK PERUBAHAN LUAS PENUTUPAN LAHAN TERHADAP PERUBAHAN IKLIM DI INDONESIA BERBASIS VISUALISASI DATA INTERAKTIF



2KS2 / KELOMPOK 11

AMALIA KHOIRUM MAZIDAH	222312964
ANANDA MIZAN ALI	222312970
JOHANA PUTRI NATASYA SITORUS	222313150
VALENTINA LASMA SITUMORANG	222313413

POLITEKNIK STATISTIKA STIS

2025

DAMPAK PERUBAHAN LUAS PENUTUPAN LAHAN TERHADAP PERUBAHAN IKLIM DI INDONESIA

A. LATAR BELAKANG

Perubahan iklim merupakan fenomena global yang memberikan dampak signifikan terhadap berbagai aspek kehidupan manusia, termasuk di Indonesia. Sebagai negara kepulauan dengan keanekaragaman ekosistem yang tinggi, Indonesia menjadi salah satu wilayah yang paling rentan terhadap dampak perubahan iklim. Peningkatan suhu rata-rata, perubahan pola curah hujan, serta meningkatnya frekuensi bencana hidrometeorologi seperti banjir dan kekeringan, telah banyak dilaporkan di berbagai provinsi. Fenomena ini tidak hanya berdampak pada sektor lingkungan, tetapi juga pada pertanian, ketahanan pangan, kesehatan, dan ekonomi masyarakat.

Salah satu penyebab utama perubahan iklim di Indonesia adalah perubahan penutupan lahan. Aktivitas manusia seperti deforestasi, alih fungsi hutan menjadi perkebunan, pertanian, permukiman, hingga infrastruktur, memberikan kontribusi besar terhadap pelepasan emisi karbon ke atmosfer. Pulau-pulau besar seperti Sumatera, Kalimantan, dan Papua mengalami tingkat kehilangan hutan yang signifikan selama beberapa dekade terakhir. Perubahan ini mengganggu keseimbangan siklus air, meningkatkan suhu lokal, serta memperburuk ketidakstabilan iklim di tingkat regional maupun nasional.

Data dari berbagai lembaga, termasuk Badan Pusat Statistik (BPS), menunjukkan adanya tren yang mengkhawatirkan dalam perubahan luas lahan hutan dan non-hutan di berbagai provinsi di Indonesia. Oleh karena itu, pemahaman tentang dinamika perubahan penggunaan lahan menjadi sangat penting sebagai dasar penyusunan kebijakan mitigasi perubahan iklim dan tata kelola lingkungan yang berkelanjutan.

Perubahan penutupan lahan di Indonesia dipengaruhi oleh berbagai faktor yang sebagian besar disebabkan oleh aktivitas manusia. Beberapa penyebab utama perubahan penutupan lahan di Indonesia antara lain:

1. Konversi Hutan Menjadi Perkebunan Kelapa Sawit

Aktivitas konversi lahan hutan menjadi perkebunan, terutama kelapa sawit, adalah salah satu penyebab utama perubahan penutupan lahan. Proses ini sering dilakukan dengan cara yang merusak lingkungan, seperti pembakaran hutan dan penggundulan secara ilegal.

2. Pembukaan Lahan untuk Infrastruktur dan Pertanian

Urbanisasi yang pesat dan pembangunan infrastruktur seperti jalan raya, perumahan, dan fasilitas industri telah menyebabkan berkurangnya lahan hutan. Pembangunan ini biasanya terjadi di daerah yang memiliki potensi alam yang besar, seperti di Pulau Sumatera dan Kalimantan.

3. Pembalakan Liar

Pembalakan liar yang dilakukan tanpa pengawasan atau izin yang sah mengurangi luas hutan dan merusak ekosistem alami. Kayu yang diambil dari hutan sering kali digunakan untuk berbagai kebutuhan industri dan bangunan.

4. Pembakaran Hutan dan Lahan

Pembakaran hutan untuk membuka lahan meningkatkan emisi karbon, yang memperburuk pemanasan global dan meningkatkan risiko bencana hidrometeorologi seperti banjir dan kebakaran.

Penyebab-penyebab ini menyebabkan peningkatan suhu permukaan, perubahan pola curah hujan, peningkatan risiko bencana hidrometeorologi, dan penurunan ketersediaan air bersih di berbagai daerah Indonesia

Akibat dari perubahan penutupan lahan ini sangat luas, meliputi peningkatan suhu permukaan, perubahan pola curah hujan, peningkatan risiko bencana hidrometeorologi, dan penurunan ketersediaan air bersih. Khususnya di pulau-pulau besar seperti Kalimantan dan Sumatera, konversi hutan menjadi perkebunan kelapa sawit telah mengubah albedo permukaan dan evapotranspirasi regional, yang kemudian mempengaruhi siklus hidrologi dan iklim lokal. Beberapa daerah mengalami peningkatan suhu hingga 2°C dalam satu dekade terakhir, jauh di atas rata-rata pemanasan global. Untuk memahami dinamika tersebut, platform PELIK (Perubahan Lahan dan Iklim) akan dikembangkan sebagai alat analisis utama. PELIK akan dikembangkan sebagai sebuah platform analitis interaktif berbasis web yang dibangun menggunakan R Shiny. Aplikasi ini tidak hanya berfungsi sebagai alat visualisasi data, tetapi juga sebagai platform untuk analisis statistik inferensial. PELIK

dirancang untuk menjembatani kesenjangan antara data mentah yang kompleks dengan insight yang dapat ditindaklanjuti, memberdayakan para pembuat kebijakan, akademisi, dan publik untuk memahami tren, mengidentifikasi pola, dan menggali hubungan kausatif antar variabel lingkungan secara mandiri.

Platform ini akan memanfaatkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) berupa Rekapitulasi Luas Penutupan Lahan Hutan dan Non-Hutan menurut provinsi pada periode 2014–2023. Data ini akan dianalisis untuk mengidentifikasi tren perubahan penutupan lahan dan memperkirakan dampaknya terhadap emisi karbon di Indonesia.

B. VARIABEL PROYEK

Proyek ini menggunakan dataset multidimensional yang mencakup aspek geografis, temporal, dan lingkungan. Variabel-variabel utama yang dianalisis dalam platform PELIK adalah sebagai berikut:

1. Variabel Kategorikal (Faktor)

a. Lokasi Provinsi (Provinsi)

- Deskripsi: Variabel nominal yang merepresentasikan 34 provinsi di Indonesia. Variabel ini berfungsi sebagai unit analisis utama.
- Tipe Data: Karakter/Faktor.

b. Lokasi Regional (Pulau)

- Deskripsi: Variabel nominal yang mengelompokkan provinsi ke dalam 6 kelompok pulau utama (Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Bali-Nusa Tenggara, Papua-Maluku). Digunakan untuk analisis agregat dan komparatif regional.
- Tipe Data: Karakter/Faktor.

c. Waktu (Tahun)

- Deskripsi: Variabel diskrit yang menunjukkan tahun pengamatan data.
- Rentang: 2014 hingga 2023.
- Tipe Data: Numerik (diperlakukan sebagai faktor dalam beberapa analisis seperti ANOVA).

2. Variabel Numerik (Indikator Kuantitatif)

Variabel ini merupakan variabel dependen dan independen utama yang diukur dan dianalisis dalam dashboard.

a. Luas Penutupan Hutan

- Deskripsi: Total luas area yang diklasifikasikan sebagai tutupan hutan di suatu provinsi pada tahun tertentu.
- Satuan: Hektar (Ha).
- Tipe Data: Numerik (kontinu).

b. Luas Penutupan Non-Hutan

- Deskripsi: Total luas area yang diklasifikasikan sebagai tutupan non-hutan (mencakup pertanian, pemukiman, badan air, dll.) di suatu provinsi pada tahun tertentu.
- Satuan: Hektar (Ha).
- Tipe Data: Numerik (kontinu).

c. Kehilangan Tutupan Pohon

- Deskripsi: Estimasi luas area tutupan pohon yang hilang (akibat deforestasi, kebakaran, atau aktivitas lainnya) di suatu provinsi pada tahun tertentu. Variabel ini adalah indikator kunci untuk laju perubahan lahan.
- Satuan: Hektar (Ha).
- Tipe Data: Numerik (kontinu).

d. Estimasi Emisi Karbon

- Deskripsi: Estimasi jumlah emisi karbon yang dilepaskan ke atmosfer sebagai akibat dari kehilangan tutupan pohon. Variabel ini mengkuantifikasi dampak perubahan lahan terhadap iklim.
- Satuan: Ton Ekuivalen Karbon Dioksida (Ton CO₂e).
- Tipe Data: Numerik (kontinu).

C. TUJUAN PROYEK

Salah satu tujuan utama proyek ini adalah mengidentifikasi tren perubahan penutupan lahan di Indonesia selama periode 2014–2023. Analisis tren ini mencakup pengamatan terhadap pola alih fungsi lahan antar tahun dan wilayah, sehingga dapat diketahui provinsi mana saja yang mengalami perubahan paling signifikan. Dengan memahami tren tersebut,

proyek ini bertujuan untuk memberikan gambaran jangka panjang mengenai tekanan terhadap lingkungan dan potensi kontribusi perubahan lahan terhadap perubahan iklim nasional.

D. KONTRIBUSI PROYEK

Proyek ini berkontribusi dalam upaya mengkomunikasikan dan menyajikan dinamika perubahan penutupan lahan serta dampaknya terhadap iklim di Indonesia selama periode 2014-2023. Pengembangan dashboard interaktif berbasis R Shiny ini menawarkan kontribusi dalam beberapa aspek, salah satunya dalam aspek visualisasi data. Penyediaan visualisasi data yang informatif dapat memudahkan pengguna dalam melakukan identifikasi terhadap pola perubahan lahan berdasarkan kategori dan wilayah secara temporal.

Dalam aspek analisis wilayah, proyek ini melakukan pemetaan dan identifikasi spasial terhadap daerah-daerah yang mengalami perubahan penutupan lahan secara signifikan. Hal ini memungkinkan penentuan area prioritas untuk intervensi kebijakan lingkungan, serta mendukung pemahaman yang komprehensif terkait distribusi perubahan tutupan lahan di tingkat regional.

Selain itu, proyek ini berkontribusi terhadap estimasi dampak iklim dengan melakukan perhitungan perubahan emisi karbon akibat alih fungsi lahan. Dengan menggunakan pendekatan statistik dan pemodelan sederhana, estimasi ini dapat memberikan gambaran mengenai kemungkinan dampak emisi karbon terhadap iklim lokal dalam jangka panjang.

Dalam konteks edukasi publik, proyek ini juga berkontribusi sebagai sarana penyebaran informasi ilmiah kepada masyarakat umum. Melalui visualisasi yang interaktif dan informatif, proyek ini dapat mendorong masyarakat untuk memahami pentingnya menjaga keseimbangan lingkungan serta memberikan dukungan terhadap kebijakan mitigasi perubahan iklim.

E. RANGKAIAN PERANCANGAN PROYEK

1. Persiapan Data

Data:

- Rekapitulasi Penutupan Lahan Hutan dan Non Hutan (2014–2023)
Sumber : <https://www.bps.go.id/id>
- Data Tutupan Pohon per Provinsi (ha)

Sumber : <https://www.globalforestwatch.org/>

- Data Tutupan Lahan Indonesia (2014–2023)

Sumber : https://statistik.menlhk.go.id/sisklkh/ditjen_ppkl

- Data Informasi Geospasial

Sumber : <https://geoportal.big.go.id/#/>

2. Kerangka/Prototype Project

Media yang digunakan untuk pembuatan proyek aplikasi dashboard yaitu menggunakan media R Shiny dengan beberapa komponen utama sebagai berikut.

a. UI

Sebagai bagian yang berhubungan langsung dengan pengguna terdiri dari :

1) Header

Header berfungsi sebagai area branding dan navigasi global. Komponen yang terdapat pada header di antaranya:

- a) Logo Proyek: Ditempatkan di sisi kiri atas, berfungsi sebagai identitas visual utama aplikasi.
- b) Judul Aplikasi (opsional): Dapat ditampilkan di samping logo.
- c) Tombol Toggle Sidebar: Ikon "hamburger" untuk menampilkan atau menyembunyikan sidebar, memberikan lebih banyak ruang untuk konten utama jika diperlukan.

Desain header menggunakan latar belakang gradasi linear dan tinggi yang disesuaikan untuk tampilan modern.

2) Sidebar :

Sidebar berfungsi sebagai pusat navigasi utama antar fitur/halaman aplikasi. Komponen yang terdapat pada header di antaranya:

- a) Kotak Judul: Sebuah area di bagian atas sidebar yang menyoroti tema utama dashboard ("Monitoring Lahan Indonesia, 2014-2023").
- b) Menu Utama (Daftar item menu yang dapat diklik untuk berpindah halaman.
 - Peta (Halaman Utama)
 - Analisis (Menu bertingkat/treeview)
 - Data
 - Tentang Proyek
- c) Sub-Menu (Di bawah menu Analisis, terdapat sub-menu untuk navigasi ke fitur analisis spesifik: Provinsi, Perbandingan Pulau, Provinsi Teratas, dan Analisis Statistik.

Sidebar didesain dengan latar belakang gradasi vertikal dan efek *hover* serta *active* yang jelas untuk memberikan umpan balik visual kepada pengguna.

3) Body

Dashboard body berfungsi sebagai area konten utama tempat semua visualisasi, kontrol, dan output ditampilkan. Konten di dalam *body* berubah secara dinamis berdasarkan pilihan menu di sidebar. Struktur yang diterapkan pada body menggunakan sistem *grid* berbasis baris (*fluidRow*) dan kotak (*box*) untuk mengatur elemen secara rapi dan terstruktur. Pada dashboard body terdapat shapefile Peta Indonesia, grafik tren dari perubahan tutupan lahan, ringkasan statistik, estimasi emisi karbon akibat perubahan tutupan lahan, serta hasil analisis statistik.

b. Server

Logika server, yang didefinisikan dalam fungsi `server()` di R Shiny, bertindak sebagai "otak" dari aplikasi PELIK. Komponen ini bertanggung jawab untuk memproses semua input dari pengguna secara *real-time*, melakukan komputasi yang diperlukan, dan merender output (peta, grafik, tabel, teks) yang dinamis untuk ditampilkan pada antarmuka pengguna (UI). Arsitektur server dirancang agar reaktif, efisien, dan modular.

Berikut ini merupakan alur kerja dan komponen utama dari logika server:

1) Pemuatan Data dan Pra-pemrosesan Awal

- a) Load Data: Memuat dataset utama dari file eksternal (misalnya, file Excel .xlsx menggunakan readxl) saat aplikasi pertama kali dijalankan. Data geospasial (.geojson) juga dimuat sekali menggunakan paket sf untuk efisiensi.
- b) Data Cleaning & Transformation: Melakukan transformasi data awal jika diperlukan, seperti memastikan tipe data (numerik, faktor) sudah benar dan menangani nilai yang hilang (NA).

2) Reaktivitas dan Pemfilteran Data Dinamis

Server menggunakan konsep pemrograman reaktif dari Shiny. Ekspresi reaktif (`reactive({...})`) dibuat untuk memfilter dataset utama berdasarkan input pengguna. Bagian ini merupakan inti dari interaktivitas aplikasi.

Contoh Ekspresi Reaktif:

- a) `data_peta <- reactive({...})`: Sebuah objek reaktif yang akan dieksekusi ulang setiap kali input `input$tahun_peta` berubah. Objek ini memfilter data lahan berdasarkan tahun yang dipilih, lalu menggabungkannya (`left_join`) dengan data geospasial untuk menghasilkan dataset siap plot untuk peta.
- b) `data_regresi <- reactive({...})`: Memfilter data berdasarkan rentang tahun (`input$tahun_regresi`) serta variabel X dan Y (`input$var_x_regresi`, `input$var_y_regresi`) yang dipilih pengguna untuk analisis regresi.

3) Rendering Output Visual dan Analitis:

- a) Generate Map (`renderLeaflet`):
 - Menggunakan data dari objek reaktif `data_peta()`.
 - Membuat peta dasar menggunakan `leaflet()` dan `addProviderTiles()`.
 - Menggambar poligon provinsi dengan `addPolygons()`, di mana warna isian (`fillColor`) ditentukan secara dinamis berdasarkan nilai indikator yang dipilih (`input$indikator_peta`) melalui palet warna (`colorNumeric`).

- Membuat *tooltip* interaktif yang kaya informasi (menggunakan HTML dan CSS) untuk setiap provinsi.

b) Plot Trend dan Grafik Komparatif (renderPlotly)

- Menggunakan paket ggplot2 untuk mendefinisikan estetika dan logika plot, kemudian diubah menjadi objek interaktif menggunakan ggplotly().
- Plot Tren Provinsi: Memfilter data berdasarkan input\$provinsi_analisis, lalu memplot data deret waktu menggunakan geom_line() dan geom_point().
- Plot Perbandingan Pulau: Mengagregasi data menggunakan group_by() dan summarise() dari dplyr, lalu membuat geom_col() (bar chart) atau plot_ly(type = 'pie') berdasarkan input\$jenis_visualisasi.

c) Render Tabel Interaktif (DT::renderDataTable)

- Menampilkan data (mentah atau hasil olahan) dalam tabel yang fungsional.
- Melakukan format angka (format(), formatRound()) agar lebih mudah dibaca (misalnya, menambahkan pemisah ribuan).
- Mengatur opsi DataTables seperti paginasi, tombol ekspor (dom = 'Bfirtip'), dan lebar kolom untuk pengalaman pengguna yang optimal.

4) Komputasi dan Pemodelan Statistik

Ini adalah komponen paling canggih di server, di mana analisis statistik inferensial dilakukan.

a) Analisis Korelasi

Sebuah objek reaktif matriks_korelasi() menghitung matriks korelasi menggunakan fungsi cor() dengan metode (input\$metode_korelasi) yang dipilih pengguna.

b) Pemodelan Regresi

- Objek reaktif model_regresi() menjalankan fungsi lm() untuk membangun model regresi linear.

- `renderPrint` digunakan untuk menampilkan `summary(model)` secara mentah, memberikan detail koefisien, R-squared, dan p-value.
- Residual dari model diekstrak (`residuals(model)`) untuk membuat plot diagnostik.

c) Analisis Ragam (ANOVA)

- Objek reaktif `model_anova()` menjalankan fungsi `aov()` untuk membandingkan rata-rata antar kelompok.
- Jika hasil ANOVA signifikan ($p\text{-value} < 0.05$), server akan melanjutkan dengan menghitung uji post-hoc menggunakan `TukeyHSD()`.

Dengan arsitektur ini, server secara efisien menangani interaksi pengguna, memastikan bahwa hanya komputasi yang relevan yang dijalankan ulang saat input berubah, sehingga menghasilkan aplikasi yang responsif dan kuat secara analitis.

3. Visualisasi Data

a. Visualisasi Geospasial: Peta Choropleth Interaktif

Untuk menyajikan distribusi geografis dari indikator lingkungan di seluruh Indonesia, memungkinkan pengguna untuk secara cepat mengidentifikasi pola spasial, *hotspot*, dan disparitas regional.

Implementasi Teknis:

- 1) Teknologi: Menggunakan paket `leaflet` yang terintegrasi dengan `shiny`.
- 2) Data Spasial: Menggunakan file GeoJSON yang berisi poligon untuk setiap provinsi di Indonesia, yang kemudian digabungkan dengan data tabular berdasarkan nama provinsi.
- 3) Interaktivitas:
 - a) Zoom & Pan: Pengguna dapat memperbesar atau menggeser peta untuk fokus pada area tertentu.
 - b) Hover/Tooltip: Mengarahkan kursor ke sebuah provinsi akan memunculkan *pop-up* (tooltip) yang menampilkan informasi kunci seperti nama provinsi, kelompok pulau, tahun, dan nilai indikator yang dipilih.

Tooltip ini dirancang khusus dengan HTML dan CSS untuk tampilan yang menarik dan mudah dibaca.

- c) Pembaruan Dinamis: Peta diperbarui secara *real-time* ketika pengguna mengubah input pada kontrol (slider tahun atau dropdown indikator).

Desain Visual:

- 1) Palet Warna Tematik: Skema warna peta berubah secara otomatis berdasarkan jenis indikator. Indikator "positif" seperti tutupan hutan menggunakan gradasi warna hijau/biru, sementara indikator "negatif" seperti kehilangan tutupan atau emisi menggunakan gradasi kuning-ke-merah. Ini adalah pilihan desain yang disengaja untuk memberikan sinyal visual instan kepada pengguna tentang sifat data.
- 2) Legenda: Sebuah legenda dinamis disediakan untuk membantu pengguna menginterpretasikan hubungan antara warna dan nilai data.

b. Grafik Interaktif

Untuk memvisualisasikan tren dari waktu ke waktu (analisis longitudinal) dan membandingkan metrik antar kategori yang berbeda (analisis komparatif).

Implementasi Teknis:

- 1) Teknologi: Menggunakan kombinasi ggplot2 untuk logika pembuatan plot yang kuat dan plotly untuk mengubah plot statis menjadi grafik web interaktif.
- 2) Jenis Grafik yang Digunakan:
 - a) Grafik Garis (Line Chart): Digunakan pada fitur "Analisis per Provinsi" untuk menunjukkan tren perubahan tutupan lahan dari tahun 2014 hingga 2023. Titik data ditambahkan di setiap tahun untuk menyoroti nilai spesifik.
 - b) Grafik Batang (Bar Chart): Digunakan pada "Perbandingan antar Kelompok Pulau" untuk membandingkan nilai absolut. Sangat efektif untuk menunjukkan besaran dan peringkat.
 - c) Diagram Pie & Donut: Digunakan pada "Perbandingan Pulau" dan "Provinsi Teratas" untuk menunjukkan proporsi atau pangsa kontribusi. Diagram Donut memiliki keunggulan estetis dan ruang untuk teks di tengah.

- d) Box Plot: Digunakan pada modul "ANOVA" untuk memvisualisasikan distribusi data (median, kuartil, sebaran, dan outlier) di antara beberapa kelompok.

Interaktivitas:

- 1) Tooltip Detail: Mengarahkan kursor ke elemen grafik (garis, titik, batang, irisan pie) akan menampilkan informasi kuantitatif yang presisi.
- 2) Zoom & Pan: Pengguna dapat memperbesar area tertentu pada grafik garis atau batang untuk investigasi lebih detail.
- 3) Filtering Legenda: Pengguna dapat mengklik item pada legenda untuk menyembunyikan atau menampilkan deret data tertentu, memungkinkan analisis fokus.

c. Tabel Interaktif

Untuk menyajikan data mentah atau data hasil olahan dalam format tabel yang terstruktur, mudah dibaca, dan fungsional, mendukung transparansi dan analisis mendalam.

Implementasi Teknis:

- 1) Teknologi: Menggunakan paket DT (DataTables), sebuah *wrapper* R untuk library JavaScript DataTables.
- 2) Fitur Fungsional:
 - a) Paginasi: Data ditampilkan dalam beberapa halaman untuk menjaga agar tabel tidak terlalu panjang dan membebani tampilan.
 - b) Pencarian (Search): Kotak pencarian global yang memungkinkan pengguna memfilter baris secara dinamis berdasarkan kata kunci.
 - c) Pengurutan (Sorting): Pengguna dapat mengklik header kolom untuk mengurutkan data secara menaik atau menurun berdasarkan kolom tersebut.
 - d) Ekspor Data: Tombol fungsional terintegrasi untuk menyalin data ke clipboard atau mengunduhnya dalam format CSV dan Excel, mendukung prinsip reproduktifitas.

- e) Styling Kondisional: Beberapa tabel menggunakan *styling* kondisional (misalnya, memberi warna latar pada baris atau sel tertentu berdasarkan nilainya) untuk menyoroti informasi penting.

4. Metodologi Analisis Statistik

Untuk mendukung analisis visual, proyek ini juga menerapkan metode statistik dasar untuk memahami hubungan antara perubahan penutupan lahan dan potensi dampak iklim. Beberapa pendekatan yang digunakan antara lain:

- a. Analisis Korelasi:

Analisis ini bertujuan untuk mengukur kekuatan hubungan antara perubahan luas hutan dengan estimasi emisi karbon di masing-masing provinsi.

Metodologi Implementasi:

- 1) Pemilihan Metode: Pengguna dapat memilih salah satu dari tiga koefisien korelasi yang umum digunakan:
 - Pearson (r): Metode standar untuk mengukur hubungan linear antara dua variabel yang terdistribusi normal.
 - Spearman (ρ): Metode non-parametrik yang mengukur hubungan monotonik (tidak harus linear) dan lebih tahan terhadap *outlier*. Dihitung berdasarkan peringkat data.
 - Kendall (τ): Metode non-parametrik lain yang juga berbasis peringkat, seringkali lebih robust untuk dataset yang lebih kecil.
- 2) Input Pengguna: Pengguna hanya perlu memilih Tahun data yang akan dianalisis dan Metode Korelasi yang diinginkan.
- 3) Proses di Backend: Aplikasi akan memfilter dataset sesuai tahun yang dipilih, kemudian menghitung matriks korelasi untuk semua pasangan

variabel numerik (Luas Hutan, Luas Non-Hutan, Kehilangan Tutupan, Emisi Karbon).

- 4) Output Visual: Hasilnya disajikan dalam dua bentuk:
- 5) Heatmap Interaktif: Sebuah matriks berwarna di mana warna sel merepresentasikan nilai koefisien korelasi (misalnya, hijau pekat untuk korelasi positif kuat, merah pekat untuk korelasi negatif kuat). Ini memungkinkan identifikasi cepat pola hubungan.
- 6) Tabel Detail: Tabel yang menyajikan nilai numerik pasti dari matriks korelasi untuk pelaporan yang presisi.

b. Regresi Linier Sederhana:

Analisis ini bertujuan untuk memodelkan hubungan antara satu variabel independen (prediktor, X) dan satu variabel dependen (respon, Y). Analisis ini melangkah lebih jauh dari korelasi dengan mengkuantifikasi hubungan tersebut, memungkinkan prediksi dan inferensi kausal (dengan asumsi yang terpenuhi). Ini menjawab pertanyaan seperti, "Seberapa besar estimasi kenaikan emisi karbon untuk setiap hektar kehilangan tutupan pohon?".

Metodologi Implementasi:

- 1) Pemilihan Variabel: Pengguna memiliki kontrol penuh untuk memilih variabel mana yang akan dijadikan Variabel X (Prediktor) dan Variabel Y (Respon) dari daftar indikator yang tersedia.
- 2) Filter Waktu: Pengguna dapat menentukan rentang tahun data yang akan dimasukkan ke dalam model menggunakan *slider* rentang tahun.
- 3) Proses di Backend: Aplikasi akan memfilter data sesuai rentang tahun dan variabel yang dipilih, lalu menjalankan fungsi `lm()` (Linear Model) di R untuk menyesuaikan model regresi linear dengan formula $Y \sim X$.
- 4) Output Analitis:
 - a) Scatter Plot & Garis Regresi: Visualisasi sebaran data mentah (titik-titik) dengan garis model regresi yang di-plot di atasnya. Ini memberikan gambaran visual tentang seberapa baik model "cocok" dengan data.

b) Ringkasan Model (Model Summary): Output teks yang menyajikan informasi statistik krusial dari model, termasuk:

- Koefisien (Intercept dan Slope): Nilai kuantitatif dari hubungan tersebut.
- R-squared & Adjusted R-squared: Metrik untuk mengukur proporsi varians pada variabel Y yang dapat dijelaskan oleh variabel X (ukuran *goodness-of-fit*).
- P-value untuk Koefisien: Menguji signifikansi statistik dari hubungan tersebut.

c) Plot Diagnostik Residual: Grafik "Residual vs. Fitted Values" disediakan untuk membantu pengguna mengevaluasi asumsi dasar model regresi, seperti homoskedastisitas.

c. Uji Signifikansi dan Goodness of Fit:

Untuk membandingkan rata-rata dari suatu variabel numerik di antara dua atau lebih kelompok independen. Analisis ini digunakan untuk menguji apakah perbedaan rata-rata yang diamati antar kelompok signifikan secara statistik atau hanya karena variasi acak. Ini menjawab pertanyaan seperti, "Apakah rata-rata emisi karbon secara signifikan berbeda antar kelompok pulau (misalnya, Sumatera vs. Kalimantan vs. Jawa)?"

Metodologi Implementasi:

- 1) Pemilihan Variabel dan Faktor: Pengguna memilih:
 - a) Variabel Dependen: Variabel numerik yang rata-ratanya akan dibandingkan (misalnya, Emisi Karbon).
 - b) Faktor Grouping: Variabel kategorikal yang mendefinisikan kelompok (misalnya, Pulau atau Tahun).
- 2) Filter Waktu: Pengguna dapat menentukan rentang tahun data yang akan dianalisis.
- 3) Proses di Backend: Aplikasi akan memfilter data, kemudian menjalankan fungsi `aov()` (Analysis of Variance) di R untuk menguji hipotesis nol bahwa semua rata-rata kelompok adalah sama.
- 4) Output Terstruktur:

- a) Box Plot Komparatif: Visualisasi distribusi data untuk setiap kelompok, memungkinkan perbandingan visual median, sebaran (interquartile range), dan outlier.
- b) Tabel Hasil ANOVA: Output ringkas yang menyajikan statistik kunci seperti F-statistic dan, yang paling penting, p-value. P-value yang rendah (biasanya < 0.05) menunjukkan bukti yang cukup untuk menolak hipotesis nol, artinya ada perbedaan yang signifikan antar kelompok.
- c) Uji Post-Hoc (Tukey HSD): Jika hasil ANOVA signifikan, aplikasi secara otomatis melakukan uji Tukey's Honestly Significant Difference. Uji ini melakukan perbandingan berpasangan antar semua kelompok untuk mengidentifikasi secara spesifik pasangan kelompok mana yang memiliki rata-rata yang berbeda secara signifikan. Hasilnya disajikan dalam tabel yang mudah dibaca.

Metode statistik ini tidak hanya memperkuat visualisasi, tetapi juga memberikan dasar inferensial dalam menarik kesimpulan ilmiah terkait dinamika lingkungan.

F. TIME TABLE

1. Struktur Proyek (Breakdown Tahapan)
Kita bagi proyek ini menjadi 6 tahapan kerja utama:
Link: <https://s.stis.ac.id/Eoe33>
2. Time Table Mingguan (7 Minggu)
Link: <https://s.stis.ac.id/Eoe33>
3. Pembagian Tugas Per Anggota (Contoh Adil dan Efisien)
Link: <https://s.stis.ac.id/Eoe33>
4. Tambahan: Weekly Progress Tracking (Pakai Google Sheet)
Link: <https://s.stis.ac.id/Eoe33>

G. KESIMPULAN

Proyek ini mengkaji perubahan penutupan lahan di Indonesia serta dampaknya terhadap iklim pada rentang waktu 2014-2023. Melalui visualisasi berbasis R Shiny, tren perubahan

penutupan lahan dapat ditampilkan secara interaktif sehingga akan memudahkan identifikasi perubahan secara spasial dan temporal. Estimasi emisi karbon yang dihasilkan dari perubahan penutupan lahan memberikan informasi penting mengenai potensi kontribusi sektor penggunaan lahan terhadap perubahan iklim. Dengan demikian, proyek ini diharapkan dapat mendukung upaya pengelolaan lingkungan berbasis data, memperkuat landasan ilmiah bagi kebijakan mitigasi iklim, serta meningkatkan literasi dan pemahaman masyarakat mengenai pentingnya menjaga keseimbangan ekosistem.

H. REFERENSI

- Badan Pusat Statistik (2024). Rekapitulasi Luas Penutupan Lahan Hutan dan Non Hutan Menurut Provinsi Tahun 2014–2023. (<https://bps.go.id>)
- Globalforestwatch (2025). Rekapitulasi Luas Penutupan Lahan Hutan dan Non Hutan Menurut Provinsi Tahun 2014-2023 (Ribu Ha). <https://www.globalforestwatch.org/>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2022). Data tutupan lahan Indonesia Tahun 2014-2023. [Data Statistik DITJEN PPKL | SIS - KLHK](#)