Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume XI, No.4, Oktober 2026 Hal 21759 - 21769
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

Visualisasi Spasial Sebaran Umur Kelapa Sawit di Indonesia Berbasiskan data *Global Canopy Height*

Erlangga Mahadika[1], Rika Hernawati[1*], Soni Darmawan[1], Anggita Pratiwi Sutrisno[1], Lintan Bening Nurulhakim[1], Dhimas Wiratmoko[2]

[1]Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional, Bandung
[2]Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS), Medan, Sumatera Utara
***Koresponden email**: rikah@itenas.ac.id

Diterima: 28 Agustus 2026 Disetujui: 02 Agustus 2026

Abstract
Oil palm plantation management in Indonesia faces challenges regarding suboptimal crop age structures and limited national-level access to spatial data on tree age and height. Previous studies have developed similar monitoring systems but relied on paid commercial platforms (e.g., ArcGIS Online), which restricted stakeholder accessibility. This study aims to develop an open-source WebGIS prototype to interactively visualize the spatial distribution of oil palm tree age and height across Indonesia using Global Canopy Height (GCH) data. The methodology encompasses identifying user requirements, processing and reclassifying raster data in Google Earth Engine, designing a PostgreSQL/PostGIS spatial database, publishing data via GeoServer (WMS/WFS), and building the WebGIS interface using Leaflet.js and Node.js/Express. Research results indicate that national tree heights range from 0 to 30 meters, with the highest concentrations of tree ages found in Sumatra, West-Central Kalimantan, and parts of Sulawesi. Black Box Testing across eleven scenarios demonstrated that all features including authentication, layer management, map visualization, and information pop-ups functioned as expected. The established client-server architecture enables multi-user access via a local area network (LAN), although public access is not yet available. This prototype offers an open-source alternative that users can manage independently, eliminating reliance on commercial platforms.
Keywords: *webgis visualization, oil palm age, global canopy height, postgis, geoserver*

Abstrak
Pengelolaan perkebunan kelapa sawit di Indonesia menghadapi tantangan berupa struktur umur tanaman yang tidak optimal serta keterbatasan aksesibilitas informasi spasial umur dan tinggi pohon secara nasional. Penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem monitoring serupa, namun masih bergantung pada *platform* komersial berbayar (ArcGIS Online) yang membatasi aksesibilitas pemangku kepentingan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan prototipe WebGIS berbasis *open-source* untuk memvisualisasikan secara spasial dan interaktif data umur dan tinggi pohon kelapa sawit di seluruh Indonesia, menggunakan data Global Canopy Height (GCH). Metodologi meliputi identifikasi kebutuhan pengguna, pengolahan dan reklasifikasi data raster pada Google Earth Engine, perancangan basis data spasial PostgreSQL/PostGIS, publikasi data melalui GeoServer (WMS/WFS), serta pembangunan antarmuka WebGIS menggunakan Leaflet.js dan Node.js/Express. Hasil penelitian menunjukkan tinggi pohon nasional berkisar 0-30 meter, dengan kepadatan umur tertinggi di Sumatera, Kalimantan barat-tengah, dan sebagian Sulawesi. *Black Box Testing* terhadap sebelas skenario menunjukkan seluruh fitur autentikasi, pengelolaan layer, visualisasi peta, dan *pop-up* informasi berfungsi sesuai harapan. Arsitektur *client-server* yang dibangun memungkinkan akses multiuser melalui jaringan lokal (LAN), meskipun belum dapat diakses secara publik. Prototipe ini menjadi alternatif *open-source* yang dapat dikelola mandiri oleh pengguna tanpa ketergantungan pada *platform* komersial.
Kata Kunci: *visualisasi webgis, umur kelapa sawit, global canopy height, postgis, geoserver*

1. Pendahuluan

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan salah satu komoditas perkebunan penting di Indonesia. Pengelolaan perkebunan kelapa sawit membutuhkan dukungan informasi yang mampu menggambarkan kondisi perkebunan secara spasial, terutama karena wilayah perkebunan tersebar pada area yang luas. Data statistik perkebunan juga menjadi salah satu dasar dalam pengelolaan dan pengembangan subsektor perkebunan di tingkat nasional maupun daerah [1]. Dalam pengelolaan perkebunan, informasi

mengenai umur tanaman menjadi salah satu informasi penting karena karakteristik tanaman dan produktivitasnya berkaitan dengan umur tanaman [2], [3].

Umur tanaman dapat digunakan untuk menggambarkan struktur umur perkebunan, mengidentifikasi tanaman yang telah memasuki umur lanjut, serta menjadi informasi pendukung dalam perencanaan pengelolaan perkebunan. Penelitian Efendi dan Chairudin menunjukkan bahwa produktivitas kelapa sawit dapat berbeda berdasarkan kelompok umur tanaman dan dipengaruhi pula oleh faktor genetik, kondisi geografis, serta manajemen pemeliharaan [3]. Selain itu, umur tanaman juga berkaitan dengan pertimbangan peremajaan (*replanting*) karena tanaman yang telah memasuki umur lanjut dapat mengalami penurunan produktivitas dan memerlukan perencanaan peremajaan [2]. Oleh karena itu, penyediaan informasi umur tanaman dalam bentuk spasial dapat membantu memberikan gambaran mengenai distribusi kelompok umur pada wilayah perkebunan.

Kebutuhan terhadap informasi spasial perkebunan juga telah menjadi perhatian dalam penelitian sebelumnya [4] mengembangkan sistem basis data spasial berbasis *cloud computing* dan penginderaan jauh untuk monitoring perkebunan kelapa sawit di Indonesia. Sistem tersebut dikembangkan berdasarkan identifikasi kebutuhan pengguna dan menyajikan beberapa informasi, antara lain umur tanaman, batas administrasi, curah hujan, ekosistem daratan, *hotspot*, dan cuaca melalui *platform* ArcGIS Online dan ArcGIS Operations Dashboard [4]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan sistem informasi geospasial dapat digunakan untuk mengintegrasikan dan memvisualisasikan informasi perkebunan secara spasial.

Meskipun demikian, penelitian sebelumnya menggunakan ekosistem perangkat lunak ArcGIS yang bersifat komersial. Kondisi tersebut membuka peluang untuk mengembangkan alternatif sistem berbasis *open-source* yang lebih fleksibel dalam pengembangan dan pengelolaan sistem. Dalam penelitian ini, kebutuhan pengguna tidak diidentifikasi kembali melalui survei pengguna secara langsung, tetapi disintesis dari penelitian [4] dan proposal SRIKANDI-GeoAI yang menjadi dasar penelitian. Berdasarkan sintesis tersebut, penelitian ini memfokuskan kebutuhan informasi pada informasi spasial umur tanaman kelapa sawit yang dapat memberikan gambaran mengenai struktur dan distribusi umur perkebunan serta dapat diakses melalui sistem berbasis web.

Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, teknologi *Web Geographic Information System* (WebGIS) digunakan karena memungkinkan informasi geografis disajikan melalui antarmuka web sehingga pengguna dapat mengakses dan berinteraksi dengan data spasial melalui peramban. Penelitian ini menggunakan pendekatan *open-source* dengan PostgreSQL/PostGIS sebagai basis data spasial, GeoServer sebagai *middleware* publikasi data geospasial, Leaflet.js sebagai pustaka pemetaan interaktif, serta Node.js/Express sebagai komponen *backend*. PostGIS menyediakan tipe data dan fungsi spasial pada PostgreSQL untuk penyimpanan dan pengelolaan data geospasial, sedangkan GeoServer memungkinkan publikasi data geospasial menggunakan standar terbuka seperti *Web Map Service* (WMS) dan *Web Feature Servic*e (WFS) [5] [6].

Data umur tanaman yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari hasil pengolahan data *Global Ecosystem Dynamics Investigation* (GEDI) dan *Canopy Height Model* (CHM/GCH). GEDI merupakan misi penginderaan jauh berbasis laser yang dirancang untuk memperoleh informasi struktur vertikal vegetasi pada cakupan wilayah yang luas [7]. Dalam penelitian ini, data hasil penelitian sebelumnya digunakan sebagai masukan sistem tanpa melakukan pengembangan ulang terhadap model estimasi umur tanaman. Model hubungan tinggi kanopi dan umur yang digunakan pada data tersebut dinyatakan dalam bentuk hubungan antara tinggi kanopi dan umur tanaman [8].

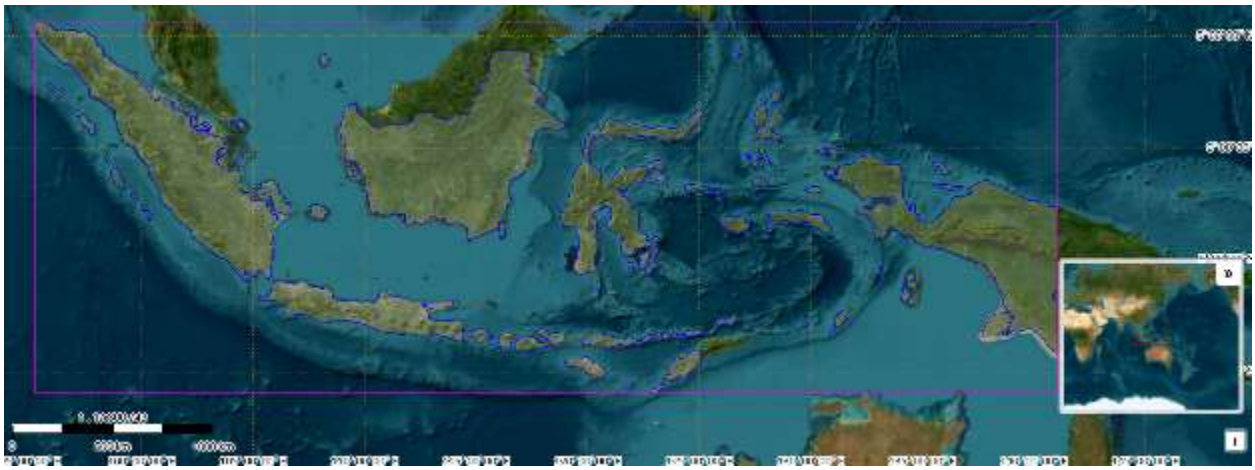
Berdasarkan permasalahan dan kebutuhan tersebut, penelitian ini mengembangkan prototipe WebGIS berbasis *open-source* untuk visualisasi spasial umur dan tinggi tanaman kelapa sawit di Indonesia. Sistem dirancang untuk menyediakan informasi spasial melalui peta interaktif serta menyediakan fitur pendukung berupa pengelolaan layer, informasi atribut, pencarian lokasi, dan pengelolaan data melalui halaman administrator. Pengembangan ini diharapkan dapat menjadi alternatif arsitektur WebGIS berbasis *open-source* dalam penyediaan informasi spasial umur tanaman kelapa sawit. Sistem yang dikembangkan masih berada pada tahap prototipe dan difokuskan pada penyediaan serta visualisasi informasi, bukan sebagai sistem operasional yang secara langsung menghasilkan rekomendasi *replanting*, produktivitas, atau keputusan pengelolaan perkebunan.

2. Metode Penelitian

Area Studi

Penelitian ini mencakup seluruh wilayah perkebunan kelapa sawit di Indonesia pada cakupan spasial nasional. Indonesia terletak pada 6° LU-11° LS dan 95° BT-141° BT serta beriklim tropis, sehingga

memiliki kondisi lingkungan yang sangat sesuai untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman kelapa sawit, seperti pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Area Studi
Sumber : Badan Informasi Geospasial (2026)

Data

Data utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah Global Canopy Height (GCH) yang bersumber dari Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI), sistem lidar 3D yang terpasang pada International Space Station dan mampu mengumpulkan data struktur vegetasi dengan presisi tinggi. Data GCH diekstraksi dalam format raster untuk seluruh area perkebunan kelapa sawit di Indonesia, kemudian dikonversi menjadi estimasi umur tanaman menggunakan model regresi linier sederhana:

$$\text{Umur} = 0{,}8427x + 2{,}7142 \qquad (1)$$

Model ini diadopsi dari penelitian [6] yang telah memvalidasi hubungan linier antara tinggi kanopi dan umur kelapa sawit, dengan koefisien 0,8427 merepresentasikan laju pertambahan tinggi kanopi per tahun, konstanta 2,7142 sebagai nilai intercept, dan x sebagai tinggi kanopi (dalam meter). Data yang digunakan dalam penelitian ini dirangkum dalam **Tabel 1**.

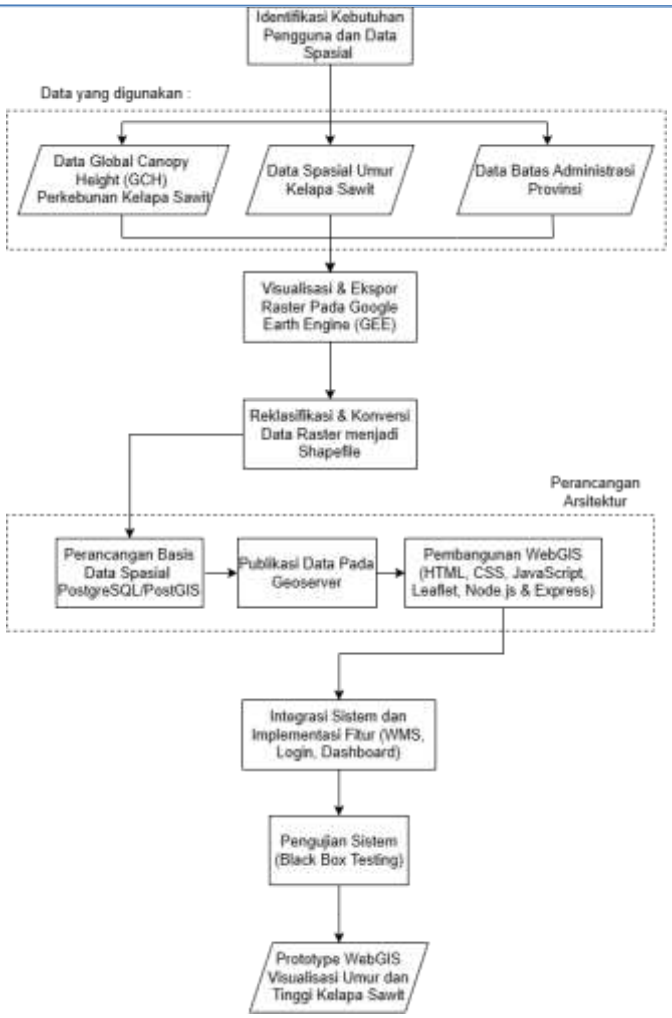
Tabel 1. Data yang Digunakan

Data	Source	Date
Raster Umur Kelapa Sawit	Nurulhakim dkk. [8]	2025
LIDAR 3D Global Canopy Height (GCH) GEDI L2A Raster Canopy Top Height (Version 2)	Nurulhakim dkk. [8]	2025
Batas Administrasi Provinsi Indonesia	Badan Informasi Geospasial (BIG).	2019

Metodologi

Metodologi ini menggabungkan kebutuhan pengguna hasil dari sintesis pada penelitian sebelumnya yaitu informasi spasial umur dan identifikasi data spasial, dipadukan dengan proposal penelitian SRIKANDI GEO-AI, serta mencakup prapemrosesan, visualisasi pada Google Earth Engine (GEE), perancangan basis data spasial dengan ekstensi spasial PostGIS yang digunakan sebagai sistem manajemen basis data spasial, integrasi geodatabase dengan server, perancangan arsitektur prototipe WebGIS, integrasi sistem dan pengujian sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 2.**

Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume XI, No.4, Oktober 2026 Hal 21759 - 21769
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934



Gambar 2. Metodologi

Identifikasi Kebutuhan dan Data Spasial

Tahap awal dilakukan dengan mengidentifikasi kebutuhan informasi yang akan disediakan oleh sistem. Dalam penelitian ini, kebutuhan informasi dibatasi pada penyediaan informasi spasial umur dan tinggi tanaman kelapa sawit serta batas administrasi provinsi. Kebutuhan tersebut dirumuskan berdasarkan sintesis penelitian [4] dan proposal SRIKANDI-GeoAI yang menjadi dasar penelitian. Penelitian Darmawan dkk. mengidentifikasi kebutuhan sistem monitoring perkebunan melalui kajian regulasi dan diskusi dengan pemangku kepentingan, termasuk kebutuhan informasi umur tanaman dan informasi spasial perkebunan [4]. Penelitian ini kemudian memfokuskan kebutuhan tersebut pada penyediaan informasi spasial umur dan tinggi tanaman kelapa sawit dalam bentuk WebGIS.

Data yang digunakan terdiri atas data raster umur dan tinggi tanaman kelapa sawit berbasis Global Canopy Height (GCH) dari GEDI yang diperoleh dari penelitian [8], data batas administrasi provinsi Indonesia, serta data peta dasar untuk memberikan konteks geografis pada visualisasi. Data umur dan tinggi digunakan sebagai data utama yang divisualisasikan pada sistem WebGIS.

Tabel 2. Identifikasi Kebutuhan Pengguna

Sumber Identifikasi	Hasil/Kebutuhan yang Relevan	Kebutuhan yang Diakomodasi dalam Penelitian
Darmawan dkk. (2024)	Sistem monitoring memerlukan berbagai informasi spasial perkebunan, termasuk informasi umur tanaman kelapa sawit	Informasi spasial umur tanaman kelapa sawit
Proposal SRIKANDI-GeoAI Hernawati dkk. (2026)	Informasi umur/kelompok umur diperlukan dalam monitoring kondisi tanaman dan berpotensi mendukung evaluasi serta perencanaan pengelolaan perkebunan	Distribusi umur dan kelompok umur tanaman secara spasial
Sintesis kebutuhan penelitian	PPKS memerlukan informasi umur yang mudah diakses dan divisualisasikan secara spasial	*Prototype* WebGIS visualisasi umur kelapa sawit

Pengolahan dan Visualisasi Data

Data GCH, estimasi umur, dan batas administrasi terlebih dahulu diproses menggunakan Google Earth Engine (GEE). Tahap ini meliputi prapemrosesan, visualisasi awal untuk memeriksa distribusi data umur dan tinggi tanaman, pemotongan (*clipping*) data berdasarkan wilayah perkebunan kelapa sawit di Indonesia, serta ekspor data untuk digunakan pada tahap berikutnya. Data umur dan tinggi yang digunakan merupakan hasil penelitian sebelumnya sehingga penelitian ini tidak melakukan perhitungan ulang terhadap model estimasi tersebut.

Data raster hasil pengolahan kemudian direklasifikasi berdasarkan kelas umur dan tinggi yang telah ditentukan. Selanjutnya, data raster dikonversi menjadi format vektor ESRI Shapefile menggunakan proses *Raster to Polygon*. Konversi dilakukan agar data dapat disimpan dan dikelola dalam basis data spasial relasional yang digunakan pada tahap pembangunan sistem.

Perancangan Basis Data Spasial

Data hasil reklasifikasi dalam format Shapefile selanjutnya disimpan dalam PostgreSQL dengan ekstensi PostGIS. Basis data digunakan untuk mengelola data spasial dan atribut secara terstruktur. Basis data penelitian menggunakan database **sawit_indonesia** dengan tabel utama yang terdiri atas **BATAS_PROVINSI**, **sawit_umur**, **sawit_tinggi**, **users**, dan **layers**. Tabel spasial digunakan untuk menyimpan data batas administrasi, umur, dan tinggi tanaman, sedangkan tabel *users* dan *layers* digunakan untuk mendukung autentikasi administrator serta pengelolaan metadata layer.

Tabel 3. Daftar Tabel

Nama Tabel	Fungsi
BATAS_PROVINSI	Menyimpan data batas administrasi provinsi di Indonesia.
sawit_umur	Menyimpan data spasial umur tanaman kelapa sawit.
sawit_tinggi	Menyimpan data spasial tinggi tanaman kelapa sawit.
users	Menyimpan data akun administrator.
layers	Menyimpan metadata layer hasil unggahan administrator.

Publikasi Data Menggunakan GeoServer

Data spasial yang tersimpan dalam PostGIS kemudian dipublikasikan menggunakan GeoServer sebagai *middleware* antara basis data dan aplikasi WebGIS. Data diterbitkan melalui layanan standar Open Geospatial Consortium (OGC), terutama Web Map Service (WMS), sehingga layer spasial dapat ditampilkan pada aplikasi berbasis web. Pendekatan penggunaan GeoServer sebagai penghubung antara basis data spasial dan aplikasi WebGIS juga digunakan dalam berbagai implementasi WebGIS [6].

Pembangunan WebGIS

Tahap pembangunan sistem dilakukan dengan mengembangkan antarmuka menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript dengan Leaflet.js sebagai pustaka utama untuk menampilkan peta interaktif dan mengelola layer spasial. Sisi *backend* dibangun menggunakan Node.js dan Express.js yang berfungsi menghubungkan antarmuka dengan PostgreSQL/PostGIS dan GeoServer melalui *Application Programming Interface* (API). Pendekatan pembangunan WebGIS menggunakan kombinasi komponen antarmuka web dan layanan backend digunakan pula pada pengembangan WebGIS sebelumnya [9].

Integrasi Sistem dan Implementasi Fitur

Seluruh komponen kemudian diintegrasikan sehingga PostgreSQL/PostGIS, GeoServer, backend Node.js/Express, dan antarmuka Leaflet.js dapat bekerja sebagai satu sistem. Implementasi meliputi visualisasi layer spasial menggunakan WMS, pemilihan dan pengaturan layer, informasi atribut melalui fitur *GetFeatureInfo*, serta autentikasi administrator dan pengelolaan layer melalui halaman administrasi. Integrasi tersebut membentuk arsitektur *client-server* yang memungkinkan pengguna mengakses informasi spasial melalui browser.

Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan menggunakan metode *Black Box Testing* untuk mengevaluasi fungsi sistem berdasarkan masukan dan keluaran tanpa memeriksa struktur internal kode program. Pengujian dilakukan terhadap fungsi utama WebGIS, meliputi autentikasi administrator, unggah dan penghapusan layer, visualisasi layer, *pop-up* informasi atribut, pengaturan *opacity*, serta navigasi sistem. Metode *Black Box*

Testing digunakan untuk memastikan bahwa setiap fungsi menghasilkan keluaran sesuai dengan skenario yang telah ditentukan [10].

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil Visualisasi Data Umur dan Tinggi Kelapa Sawit

Hasil pengolahan data menghasilkan layer spasial umur dan tinggi tanaman kelapa sawit yang dapat divisualisasikan pada wilayah Indonesia. Data tinggi digunakan sebagai salah satu informasi untuk menggambarkan kondisi spasial tanaman, sedangkan data umur digunakan sebagai informasi utama dalam mengidentifikasi distribusi kelompok umur perkebunan. Data umur dan tinggi yang digunakan merupakan hasil penelitian [8], sehingga penelitian ini berfokus pada integrasi dan penyajian data tersebut dalam sistem WebGIS, bukan pada pembangunan ulang model estimasi umur. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa data *Global Canopy Height* dapat dimanfaatkan untuk estimasi umur kelapa sawit pada skala nasional [8].



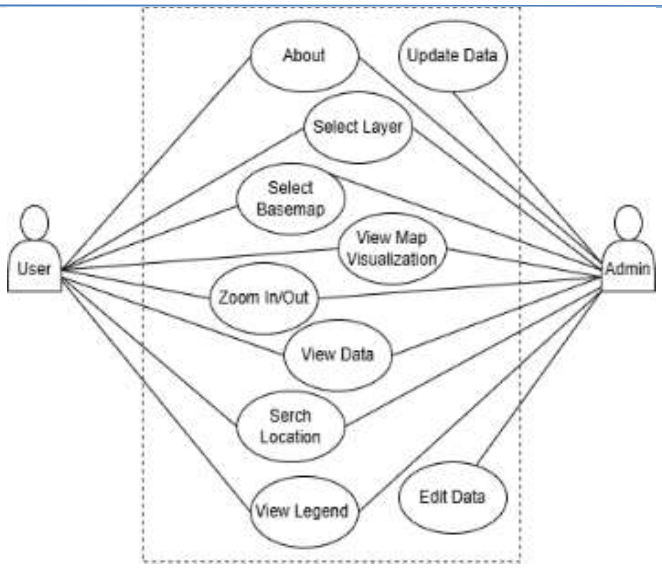
Gambar 3. Tinggi Pohon Kelapa Sawit Se-Indonesia



Gambar 4. Visualisasi Sebaran Umur Pohon Kelapa Sawit Se-Indonesia

Use Case Sistem

Use case digunakan dalam melakukan analisis sistem untuk mengidentifikasi, menjelaskan, dan mengelola kebutuhan suatu sistem serta menggambarkan interaksi antara pengguna (*user*) dengan sistem untuk mencapai tujuan tertentu. Berikut untuk alurnya terdapat pada **Gambar 5.**



Gambar 5. Use Case

Diagram use case pada penelitian ini menggambarkan dua peran pengguna, yaitu *user* dan administrator, yang memiliki fungsi dan hak akses berbeda dalam menggunakan serta mengelola sistem WebGIS.

Hasil Perancangan dan Implementasi Arsitektur Sistem

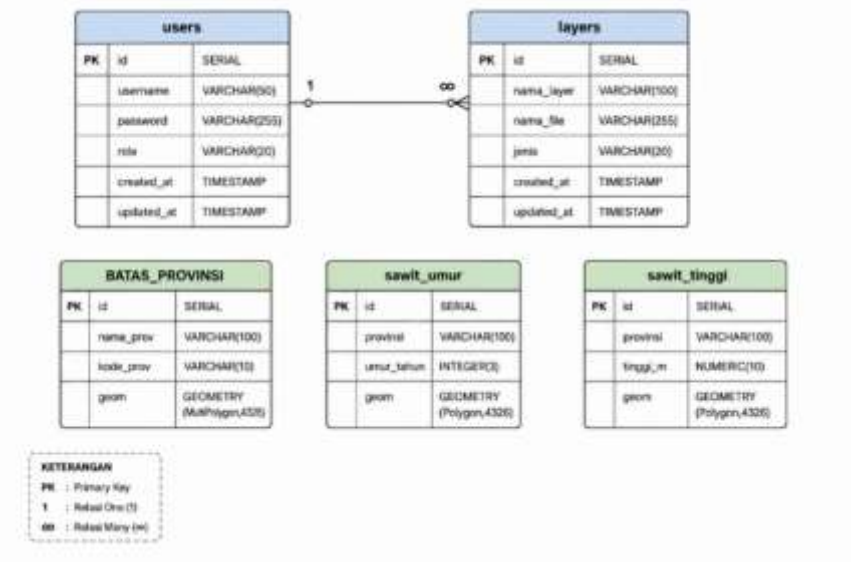
Arsitektur sistem WebGIS dibangun dengan pendekatan *client-server*, di mana pengguna mengakses aplikasi melalui *browser*, kemudian permintaan tersebut diproses oleh server Node.js/Express yang menghubungkan antarmuka pengguna, basis data PostgreSQL/PostGIS, dan GeoServer melalui layanan WMS, sementara data spasial divisualisasikan menggunakan Leaflet.js. Arsitektur ini mengintegrasikan proses visualisasi peta, pengelolaan layer, autentikasi administrator, dan pengambilan informasi atribut secara menyeluruh dalam satu sistem yang terpadu, lihat **Gambar 6**.



Gambar 6. Alir Perancangan Arsitektur Sistem

Hasil Implementasi Basis Data

Basis data spasial berhasil dibangun menggunakan PostgreSQL dengan ekstensi PostGIS. Basis data terdiri atas tabel **BATAS_PROVINSI**, **sawit_umur**, **sawit_tinggi**, **users**, dan **layers**. Tiga tabel spasial utama digunakan sebagai sumber data visualisasi, sedangkan tabel *users* dan *layers* mendukung fungsi administrasi dan pengelolaan layer, seperti **Gambar 7**.



Gambar 7. ERD Perancangan Logikal Basis Data Spasial

Pada rancangan basis data ini hanya terdapat satu hubungan (*relationship*), yaitu relasi *One-to-Many* (1:M) antara tabel *users* dan *layers*, di mana satu akun administrator dapat mengelola banyak *layer*, sedangkan setiap *layer* berasal dari satu administrator. Sementara itu, tabel **BATAS_PROVINSI**, **sawit_umur**, dan **sawit_tinggi** tidak memiliki relasi langsung dengan tabel lain karena berfungsi sebagai data utama spasial untuk visualisasi WebGIS sehingga tidak memerlukan *foreign key* dalam ERD.

Hasil Implementasi WebGIS

Hasil implementasi menunjukkan bahwa data spasial yang tersimpan pada PostgreSQL/PostGIS dapat dipublikasikan melalui GeoServer dan ditampilkan pada antarmuka WebGIS menggunakan Leaflet.js. Arsitektur tersebut memungkinkan basis data, layanan geospasial, *backend*, dan antarmuka pengguna bekerja secara terintegrasi. WebGIS menyediakan beberapa fungsi utama, yaitu visualisasi layer, pengaturan layer aktif dan tidak aktif, pengaturan transparansi (*opacity*), pencarian lokasi, informasi atribut melalui *popup*, serta pengelolaan data melalui halaman administrator, seperti pada **Gambar 8.**

Penggunaan GeoServer sebagai *middleware* memungkinkan data spasial dari basis data dipublikasikan melalui layanan geospasial dan digunakan oleh aplikasi web. Pendekatan serupa digunakan pada penelitian WebGIS sebelumnya yang mengintegrasikan basis data spasial dengan aplikasi berbasis web untuk menyediakan informasi geografis kepada pengguna [6], [9].

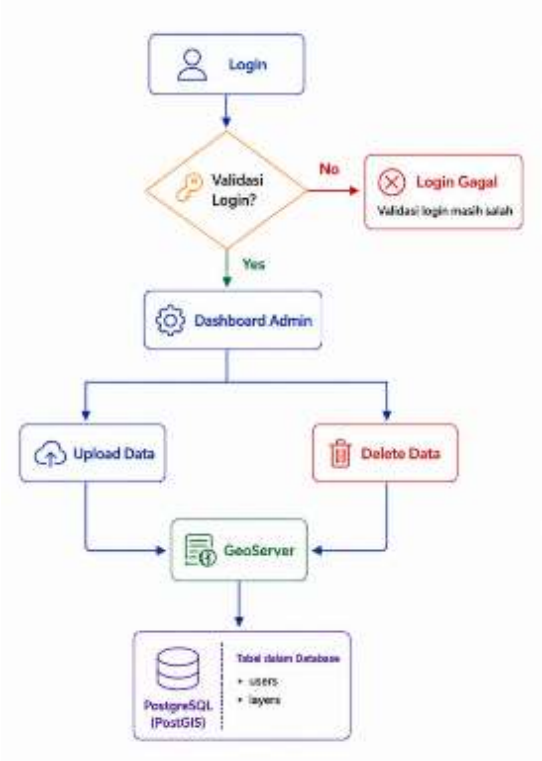


Gambar 8. Antarmuka Utama Sistem

Hasil Implementasi Fitur Pengelolaan Data

Sistem juga menyediakan halaman administrator yang digunakan untuk mengelola data spasial. Administrator dapat melakukan autentikasi, mengunggah layer, serta menghapus layer yang telah tersimpan. Data yang diunggah diproses melalui *backend* kemudian disimpan pada basis data dan digunakan sebagai layer pada sistem.

Fitur tersebut memberikan fleksibilitas karena penambahan data tidak harus dilakukan dengan mengubah kode utama WebGIS secara langsung. Metadata layer disimpan pada tabel *layers*, sehingga informasi layer yang tersedia dapat dikelola melalui sistem administrator.



Gambar 9. Alur Proses Publikasi pada Dasboard Admin



Gambar 10. Antarmuka Dashboard Admin (*Upload Layer*)

Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode *Black Box Testing* untuk mengetahui apakah fungsi-fungsi utama WebGIS dapat berjalan sesuai dengan skenario yang telah ditentukan. Pengujian meliputi fungsi login administrator, *upload* layer, penampilan layer, *popup* atribut, pengaturan *opacity*, penghapusan layer, dan *logout*. Hasil pengujian terhadap sebelas skenario menunjukkan bahwa seluruh fungsi yang diuji menghasilkan keluaran sesuai dengan yang diharapkan.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa fungsi utama sistem telah berjalan secara fungsional. Namun, pengujian ini merupakan pengujian fungsional yang dilakukan oleh peneliti dan belum dapat digunakan untuk menyimpulkan tingkat kepuasan atau usability pengguna akhir karena masih bersifat prototipe berbasiskan lokal.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem

Fitur yang Diuji	Skenario Pengujian	Hasil Yang Diharapkan	Hasil Uji
Login Admin	*Username* dan *password* benar	Berhasil masuk Dashboard Admin	Berhasil
Login Admin	*Username* atau *password* salah	Login ditolak	Berhasil
Upload GeoJSON	*Upload file* GeoJSON	Layer tampil pada WebGIS	Berhasil
Upload JSON	*Upload file* JSON	Layer tampil pada WebGIS	Berhasil
Upload KML	*Upload file* KML	Layer tampil pada WebGIS	Berhasil
Upload SHP (.zip)	*Upload* shapefile ZIP	Layer berhasil dipublikasikan	Berhasil
Menampilkan Layer	Layer dipilih	Layer muncul pada peta	Berhasil
Pop-up Informasi	Klik objek pada peta	Informasi atribut tampil	Berhasil
Opacity Layer	Menggeser slider	Transparansi berubah	Berhasil

Kesesuaian Sistem terhadap Kebutuhan Informasi

Berdasarkan kebutuhan informasi yang dirumuskan dari penelitian terdahulu dan proposal penelitian, sistem dikembangkan untuk menyediakan informasi spasial umur tanaman kelapa sawit. Hasil implementasi menunjukkan bahwa kebutuhan tersebut telah diakomodasi melalui penyediaan layer umur yang dapat ditampilkan dan diidentifikasi secara spasial melalui WebGIS.

Informasi umur dapat digunakan untuk mengetahui struktur umur perkebunan dan mengidentifikasi wilayah yang memiliki tanaman dengan kelompok umur tertentu. Penyajian dalam bentuk peta memberikan informasi mengenai lokasi dan pola distribusi yang tidak dapat diperoleh secara langsung apabila data hanya disajikan dalam bentuk tabel. Hasil tersebut memiliki kesesuaian dengan penelitian [4], yang menunjukkan bahwa informasi umur merupakan salah satu komponen informasi yang digunakan dalam sistem monitoring perkebunan kelapa sawit.

Meskipun demikian, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini masih merupakan prototipe. Oleh karena itu, informasi umur yang disediakan tidak digunakan untuk menghasilkan keputusan *replanting*, menghitung produktivitas, atau menentukan prioritas pengelolaan secara otomatis. Informasi tersebut berfungsi sebagai informasi spasial pendukung yang dapat dikombinasikan dengan parameter lain pada pengembangan selanjutnya.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan *prototype* WebGIS berbasis *open-source* untuk visualisasi spasial umur dan tinggi tanaman kelapa sawit di Indonesia. Sistem mengintegrasikan PostgreSQL/PostGIS sebagai basis data spasial, GeoServer sebagai layanan publikasi data, Node.js/Express sebagai *backend*, dan Leaflet.js sebagai antarmuka peta interaktif. Integrasi tersebut memungkinkan data spasial tersimpan secara terstruktur dan disajikan melalui browser; PostGIS sendiri mendukung penyimpanan, pengindeksan, dan pengelolaan data geospasial dalam PostgreSQL.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa data umur dan tinggi kelapa sawit dapat divisualisasikan secara spasial melalui WebGIS serta dilengkapi dengan fitur pengelolaan layer, informasi atribut, pengaturan *opacity*, dan administrasi data. Publikasi data melalui WMS memungkinkan aplikasi web memperoleh dan menampilkan peta dari GeoServer, sedangkan fitur *GetFeatureInfo* dapat digunakan untuk memperoleh informasi atribut objek pada lokasi yang dipilih.

Berdasarkan pengujian *Black Box* terhadap sebelas skenario, seluruh fungsi utama sistem menghasilkan keluaran sesuai dengan yang diharapkan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem telah memenuhi fungsi dasar yang dirancang untuk visualisasi dan pengelolaan data spasial. Namun, penelitian ini masih menghasilkan *prototype* dan pengujian yang dilakukan merupakan pengujian fungsional oleh peneliti, sehingga belum dapat digunakan untuk mengukur tingkat *usability* atau kepuasan pengguna akhir. Validasi langsung bersama pengguna serta pengembangan sistem pada server produksi menjadi bagian yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya.

5. Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) dan Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia (Kemendikti Saintek) atas dukungan pendanaan yang diberikan dalam penelitian ini. Apresiasi tinggi juga disampaikan kepada LP2M Itenas Bandung, Program Studi Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Bandung atas fasilitas dan dukungan akademik yang disediakan. Lebih lanjut, penulis berterima kasih kepada PT Perkebunan Nusantara III (PTPN III) Sei Dadap, Asahan, Sumatera Utara.

6. Singkatan

API	Application Programming Interface
CHM	Canopy Height Model
GCH	Global Canopy Height
GEDI	Global Ecosystem Dynamics Investigation
GEE	Google Earth Engine
GIS	Geographic Information System
LiDAR	Light Detection and Ranging
OGC	Open Geospatial Consortium
PostGIS	PostGIS Geographic Information System
RMSE	Root Mean Square Error
WFS	Web Feature Service
WMS	Web Map Service
WebGIS	Web Geographic Information System

7. Referensi

[1] Direktorat Jenderal Perkebunan, Statistik Perkebunan Indonesia 2023–2025 Jilid I: Kelapa Sawit. Jakarta, Indonesia: Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2024.

[2] R. H. V. Corley and P. B. H. Tinker, *The Oil Palm*, 5th ed. Chichester, U.K.: Wiley-Blackwell, 2015, doi: 10.1002/9781118953297.

[3] A. P. Efendi and C. Chairudin, "Produktivitas Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Berdasarkan Klaster Umur," *AGROVITAL: Jurnal Ilmu Pertanian*, vol. 8, no. 1, pp. 60–67, 2023, doi: 10.35329/agrovital.v8i1.3831.

[4] S. Darmawan, R. Hernawati, F. Hariandi, D. Wiratmoko, and D. Permadi, "Development of Spatial Database System Based on Cloud Computing Remote Sensing for Monitoring of Oil Palm Plantation in Indonesia," *International Journal of Geoinformatics*, vol. 20, no. 11, pp. 39–53, 2024, doi: 10.52939/ijg.v20i11.3683.

[5] M. Kamel Boulos and K. Honda, "Web GIS in practice IV: publishing your health maps and connecting to remote WMS sources using the Open Source UMN MapServer and DM Solutions MapLab," International Journal of Health Geographics, vol. 5, no. 6, 2006, doi: 10.1186/1476-072X-5-6.

[6] M. Z. Ali, A. S. El-Rabbany, and M. M. El-Rabbany, "How to Implement a Governmental Open Source Geoportal," Journal of Geographic Information System, vol. 6, no. 4, 2014, doi: 10.4236/jgis.2014.64025.

[7] R. Dubayah dkk., "The Global Ecosystem Dynamics Investigation: High-resolution laser ranging of the Earth's forests and topography," *Science of Remote Sensing*, vol. 1, p. 100002, 2020, doi: 10.1016/j.srs.2020.100002.

[8] Nurulhakim, L. B., Hernawati, R., Darmawan, S., & Sutrisno, A. P. (2025). Estimation of oil palm age using global canopy height data for smart agriculture in Indonesia. Dalam *Proceedings of the 24th International Workshop for Young Scientists BioPhys Spring 2025* (hlm. 24–25).

[9] M. Alifian, M. Awaluddin, and L. M. Sabri, "Perancangan WebGIS persebaran rumah sakit Kota Semarang," *Jurnal Geodesi Undip*, vol. 12, no. 3, 2023.

[10] M. Mustakim and D. Ariyanto, "Sistem informasi geografis berbasis web untuk pemetaan komoditas pertanian di Kabupaten XYZ," *JISKa (Jurnal Informatika Sunan Kalijaga)*, vol. 1, no. 1, pp. 29–40, 2016.

[11] R. Dubayah dkk., "The Global Ecosystem Dynamics Investigation: High-resolution laser ranging of the Earth's forests and topography," *Science of Remote Sensing*, vol. 1, p. 100002, 2020, doi: 10.1016/j.srs.2020.100002.

[12] R. D. Dinur, H. Suryamen, and F. Akbar, "Pembangunan Sistem Informasi Geografis Penyebaran Lokasi Usaha Florist Berbasis Web di Kota Padang," Jurnal Nasional Teknologi dan Sistem Informasi, vol. 6, no. 1, pp. 29-37, 2020, doi: 10.25077/TEKNOSI.v6i1.2020.29-37.

[13] C. D. Michaelis and D. P. Ames, "Considerations for Implementing OGC WMS and WFS Specifications in a Desktop GIS," Journal of Geographic Information System, vol. 4, no. 2, pp. 161–167, 2012, doi: 10.4236/jgis.2012.42021.