Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume XI, No.4, Oktober 2026 Hal 21770 - 21781
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

Pemanfaatan *Global Canopy Height* untuk Estimasi Umur Kelapa Sawit Berbasis *Google Earth Engine*

Septa Alfianda[1], Rika Hernawati[1*], Soni Darmawan[1], Lintan Bening Nurulhakim[1], Dhimas Wiratmoko[2]

[1]Jurusan 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
Information on oil palm age is essential for supporting productivity management and plantation replanting planning. This study aimed to evaluate the capability of *Global Canopy Height* (GCH) data for estimating oil palm age while considering the topographic characteristics of the study areas using the Google Earth Engine platform. The study areas were Sei Dadap Plantation, Asahan Regency, North Sumatra, representing predominantly lowland terrain, and Panglejar Plantation, Subang Regency, West Java, representing higher terrain. The datasets comprised the 10 m GCH product for 2020 derived from Sentinel-2 imagery with GEDI reference measurements, block-level planting-year records, plantation boundaries, and DEMNAS as ancillary topographic information. Processing was conducted in Google Earth Engine by extracting block-average GCH and analysing its relationship with stand age. At Sei Dadap, GCH had a strong positive relationship with age, expressed as GCH = 0.4949 × age + 8.7983 with R^2 = 0.7202. In contrast, the Panglejar dataset contained only 14- and 15-year-old stands, producing an unstable relationship (R^2 = 0.6475) and providing insufficient evidence for external validation. The results demonstrate the potential of GCH to characterize oil palm age under specific conditions. However, an operational age-estimation model must be recalibrated with age as the dependent variable and evaluated using independent samples covering a wider age range.
Keywords: *global canopy height, google earth engine, oil palm, plant age*

Abstrak
Informasi umur tanaman kelapa sawit diperlukan untuk mendukung pengelolaan produktivitas dan perencanaan peremajaan perkebunan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kemampuan data *Global Canopy Height* (GCH) untuk mengestimasi umur kelapa sawit dengan mempertimbangkan karakteristik topografi wilayah menggunakan platform Google Earth Engine. Wilayah penelitian mencakup Perkebunan Sei Dadap, Kabupaten Asahan, Sumatera Utara, yang didominasi dataran rendah, dan Perkebunan Panglejar, Kabupaten Subang, Jawa Barat, yang berada pada dataran lebih tinggi. Data yang digunakan meliputi GCH tahun 2020 beresolusi 10 m yang dikembangkan dari citra Sentinel-2 dengan referensi GEDI, data tahun tanam tingkat blok, batas perkebunan, dan DEMNAS sebagai data pendukung topografi. Pemrosesan dilakukan pada Google Earth Engine dengan mengekstraksi nilai rata-rata GCH per blok dan menganalisis hubungannya dengan umur tanaman. Di Sei Dadap, GCH menunjukkan hubungan positif yang kuat dengan umur, dengan persamaan GCH = 0,4949 × umur + 8,7983 dan R^2 = 0,7202. Sebaliknya, data Panglejar yang hanya mencakup umur 14 dan 15 tahun menghasilkan hubungan yang tidak stabil (R^2 = 0,6475) dan belum memadai sebagai validasi eksternal. Hasil ini menunjukkan potensi GCH untuk mengkarakterisasi umur kelapa sawit pada kondisi tertentu, tetapi model prediksi umur perlu dibangun dengan umur sebagai variabel dependen dan diuji menggunakan data independen yang memiliki rentang umur lebih luas.
Kata Kunci: *global canopy height, google earth engine, kelapa sawit, umur tanaman*

1. Pendahuluan

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq*.) merupakan salah satu komoditas perkebunan tropis terpenting di dunia, yang memberikan kontribusi signifikan bagi perekonomian negara-negara penghasil seperti Indonesia dan Malaysia. Indonesia memegang posisi sebagai produsen minyak sawit mentah (MSM) terbesar di dunia, sehingga perkebunan kelapa sawit menjadi aset strategis bagi perekonomian nasional [1]

Usia tanaman kelapa sawit telah diatur dalam Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2022 [2], yang menetapkan bahwa kegiatan peremajaan harus dilakukan pada tanaman yang berusia lebih dari 25 tahun. Peraturan ini menunjukkan bahwa pemerintah telah menetapkan 25 tahun sebagai batas usia produktif kelapa sawit. Melampaui ambang batas ini, tinggi pohon dapat berkurang dan tanaman menjadi semakin sulit untuk dipanen, sehingga mengurangi efisiensi operasional [3,4].

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk memperkirakan usia kelapa sawit adalah melalui penggunaan parameter biofisik. Parameter biofisik menggambarkan karakteristik fisik dan biologis suatu lingkungan yang memengaruhi kondisi ekosistem [5,6]. Tinggi pohon merupakan parameter biofisik utama yang erat kaitannya dengan usia tanaman, karena tinggi kelapa sawit cenderung meningkat secara bertahap seiring bertambahnya usia, dengan laju pertumbuhan rata-rata sekitar 35–75 cm per tahun tergantung pada kondisi lingkungan [7]. Model Tinggi Kanopi (CHM), yang diperoleh dari selisih antara Model Permukaan Digital (DSM) dan Model Medan Digital (DTM), memberikan informasi spasial eksplisit mengenai tinggi kanopi vegetasi dan telah banyak digunakan untuk estimasi usia [8,9].

Beberapa studi telah menunjukkan potensi CHM untuk estimasi usia kelapa sawit menggunakan berbagai sumber data ketinggian. [10] mengembangkan metode untuk mengestimasi usia kelapa sawit menggunakan citra WorldView-3 dan data LiDAR udara, di mana CHM diekstraksi dari selisih antara DSM dan DTM. Nilai CHM kemudian diregresikan terhadap data usia tanaman aktual, menghasilkan akurasi yang baik. [7] memperkirakan CHM untuk perkebunan kelapa sawit di Kabupaten Asahan menggunakan DEMNAS dan DSM yang diperoleh dari Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) berdasarkan citra Sentinel-1A, melanjutkan kerangka pemodelan yang dikembangkan sebelumnya oleh [11].

Ketersediaan data *Global Canopy Height* (GCH) dari LiDAR berbasis satelit Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI) menawarkan sumber DSM alternatif yang lebih mudah diakses secara global tanpa memerlukan pemrosesan interferometri yang rumit atau biaya akuisisi LiDAR udara yang tinggi. [12] menghasilkan peta ketinggian kanopi hutan global dengan resolusi spasial 30 m dengan mengintegrasikan data GEDI dengan citra Landsat. [13] kemudian menghasilkan peta ketinggian kanopi global dengan resolusi 10 m dengan menggabungkan data LiDAR GEDI dengan citra Sentinel-2, memberikan alternatif resolusi yang lebih tinggi untuk estimasi ketinggian vegetasi [14,15].

[16] memanfaatkan data GCH dari LiDAR GEDI untuk estimasi usia kelapa sawit skala nasional di Indonesia pada platform Google Earth Engine. Namun, dalam studi tersebut, GCH digunakan langsung sebagai ketinggian kanopi tanpa mempertimbangkan koreksi pengaruh topografi terhadap nilai ketinggian. Di area dengan variasi topografi yang signifikan, perbedaan elevasi dapat menimbulkan kesalahan pada estimasi ketinggian jika efek topografi tidak dihilangkan. Topografi lahan itu sendiri juga diketahui memengaruhi laju pertumbuhan dan produksi kelapa sawit [17], sehingga variasi topografi antarlokasi berpotensi turut menjelaskan perbedaan hubungan CHM-umur yang diamati. Penelitian ini memperluas pekerjaan [16] dengan membangun model estimasi usia kelapa sawit yang lebih akurat melalui penggunaan CHM yang memperhitungkan faktor topografi, dihitung sebagai CHM = GCH − DEMNAS, di mana DEMNAS adalah Model Elevasi Digital Nasional yang diproduksi oleh Badan Informasi Geospasial Indonesia (BIG).

Google Earth Engine (GEE) adalah platform berbasis awan yang menyediakan akses ke berbagai data satelit global dan memfasilitasi pemrosesan skala besar. Penelitian ini melakukan seluruh pemrosesan data di GEE, yang memungkinkan penanganan dataset GCH global dan DEMNAS di seluruh wilayah studi secara efisien tanpa memerlukan sumber daya komputasi lokal. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model regresi linier sederhana untuk estimasi usia kelapa sawit berdasarkan CHM yang dihasilkan dari GCH dan DEMNAS pada platform Google Earth Engine, dan mengevaluasi akurasi model yang dihasilkan untuk estimasi usia kelapa sawit di dua lokasi perkebunan PTPN III di Indonesia.

2. Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

Wilayah penelitian mencakup dua lokasi perkebunan kelapa sawit yang dikelola oleh PT Perkebunan Nusantara III (PTPN III). Lokasi pertama terletak di Perkebunan Sei Dadap, Kabupaten Asahan, Sumatera Utara, sedangkan lokasi kedua adalah Perkebunan Panglejar, Afdeling Sindangsari, Kabupaten Subang, Jawa Barat. Kedua lokasi ini mewakili kondisi geografis dan topografis yang berbeda, sehingga memungkinkan evaluasi kinerja model di lingkungan yang kontras. Data tahun penanaman aktual dari kedua lokasi tersebut digunakan sebagai data acuan untuk pengembangan dan validasi model.

Data Penelitian

Tiga kumpulan data utama digunakan dalam penelitian ini. Data pertama adalah data tahun penanaman kelapa sawit, yang sebagian besar diperoleh dari [7]. Data ini memberikan informasi mengenai tahun penanaman kelapa sawit pada tingkat blok untuk perkebunan Asahan dan Panglejar, yang berfungsi sebagai data acuan untuk validasi model dan penilaian akurasi. Data kedua adalah produk *Global Canopy Height* (GCH) dari [13], yang dihasilkan dengan mengintegrasikan data GEDI LiDAR dengan citra multispektral Sentinel-2 pada resolusi spasial 10 m. Kumpulan data ini menyediakan perkiraan ketinggian kanopi global dan digunakan sebagai komponen DSM untuk perhitungan CHM. Data tersebut diakses langsung melalui platform Google Earth Engine. Data ketiga adalah National Digital Elevation Model (DEMNAS), yang dihasilkan oleh Badan Informasi Geospasial Indonesia (BIG) dengan resolusi spasial sekitar 8 m. DEMNAS mewakili ketinggian permukaan tanah tanpa vegetasi dan digunakan sebagai Digital Terrain Model (DTM) untuk koreksi topografi. Selain itu, peta penggunaan lahan kelapa sawit dari Kementerian Pertanian Indonesia digunakan untuk mengidentifikasi dan memasuki area perkebunan kelapa sawit untuk analisis. Data yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data yang digunakan

No	Data	Deskripsi
1	Data Tahun Tanam Kelapa Sawit	Informasi mengenai tahun penanaman kelapa sawit diperoleh dari data [7].
2	Data *Global Canopy Height* dari *Global Ecosystem Dynamics Investigation* (GEDI)	Data LiDAR tiga dimensi yang digunakan untuk merekam dan merepresentasikan struktur vegetasi [18].
3	Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS)	Data DEMNAS dari BIG resolusi ~8 m digunakan sebagai representasi ketinggian tanah (DEM)
4	Data Batas Perkebunan Kelapa Sawit se-Indonesia	Peta penggunaan lahan yang menunjukkan area perkebunan kelapa sawit di seluruh Indonesia.

Metodologi

Metodologi secara keseluruhan terdiri dari enam tahap: (1) Pengumpulan data, (2) Ekstraksi luas perkebunan kelapa sawit, (3) Pembuatan Model Ketinggian Kanopi (CHM), (4) Pemodelan usia pohon kelapa sawit, (5) Evaluasi dan validasi model, serta (6) Visualisasi hasil. Diagram alir yang merangkum keseluruhan tahapan penelitian, mulai dari pengumpulan data hingga visualisasi hasil, disajikan pada **Gambar 1**.

Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume XI, No.4, Oktober 2026 Hal 21770 - 21781
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934



Gambar 1: Metode Penelitian

Pengumpulan Data

Tahap pertama adalah pengumpulan seluruh data yang diperlukan untuk penelitian ini dan pemuatannya ke dalam platform *Google Earth Engine* (GEE) agar dapat diproses secara konsisten pada tahap-tahap selanjutnya. Data yang dikumpulkan meliputi data *Global Canopy Height* (GCH) dari [13], yang merupakan hasil integrasi data GEDI LiDAR dengan citra multispektral Sentinel-2 pada resolusi spasial 10 m; data Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS) dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dengan resolusi spasial sekitar 8 m yang merepresentasikan ketinggian permukaan tanah tanpa vegetasi; batas-batas blok lahan perkebunan kelapa sawit dalam format *shapefile* untuk kedua lokasi penelitian, yaitu Asahan dan Panglejar; serta data tahun penanaman kelapa sawit tingkat blok yang sebagian besar bersumber dari [7] dan digunakan sebagai data acuan pada tahap validasi model.

Ekstraksi Luas Perkebunan Kelapa Sawit

Tahap kedua bertujuan untuk membatasi analisis hanya pada area yang benar-benar merupakan kawasan tanaman kelapa sawit, sehingga piksel-piksel non-vegetasi seperti jalan, kanal, dan lahan terbuka tidak ikut memengaruhi hasil pemodelan. Proses ini dilakukan dengan menumpangsusunkan (*overlay*) lapisan GCH terhadap data batas penggunaan lahan kelapa sawit dari Kementerian Pertanian Republik Indonesia, kemudian menerapkan operasi pemotongan (*clip*) berdasarkan batas blok perkebunan (*shapefile* Asahan dan Panglejar) serta penyaringan (*masking*) pada rentang nilai tinggi kanopi yang wajar untuk tanaman kelapa sawit, yaitu 1-40 m. Dengan demikian, lapisan GCH hasil ekstraksi hanya mencakup area bervegetasi yang berada di dalam blok-blok perkebunan yang menjadi objek penelitian.

Pembuatan Model CHM

Tahap ketiga adalah pembentukan Model Ketinggian Kanopi (*Canopy Height Model*/CHM), yang merepresentasikan tinggi aktual tajuk kelapa sawit di atas permukaan tanah. Nilai CHM diperoleh melalui operasi pengurangan piksel demi piksel antara nilai GCH, yang merupakan ketinggian permukaan kanopi (DSM), dan nilai DEMNAS, yang merepresentasikan ketinggian permukaan tanah (DTM), sebagaimana dinyatakan pada persamaan (1) :

$$CHM = GCH - DEMNAS \quad (1)$$

Nilai rata-rata CHM kemudian diekstraksi untuk setiap blok perkebunan guna dijadikan variabel prediktor dalam model regresi, dengan hasil CHM masing-masing direproyeksikan ke sistem koordinat UTM yang sesuai (Zona 47 N untuk Asahan dan Zona 48 S untuk Panglejar) agar perhitungan tetap akurat secara spasial. Setelah lapisan CHM terbentuk, nilai rata-rata CHM dihitung untuk setiap blok perkebunan menggunakan fungsi reduceRegions pada *Google Earth Engine*, sehingga diperoleh satu nilai CHM representatif per blok yang selanjutnya digunakan sebagai variabel prediktor (variabel bebas) dalam model regresi pada tahap berikutnya.

Pemodelan Usia Pohon Kelapa Sawit

Tahap keempat adalah pembangunan model regresi linier sederhana yang menghubungkan nilai CHM rata-rata tingkat blok (sebagai variabel bebas) dengan usia tanaman aktual yang diperoleh dari data tahun penanaman (sebagai variabel terikat). Model regresi dibangun secara terpisah untuk setiap lokasi penelitian karena adanya perbedaan karakteristik topografi dan pola pertumbuhan kanopi antara Asahan (dataran rendah) dan Panglejar (dataran tinggi), sehingga menghasilkan dua persamaan regresi yang berbeda, sebagaimana dinyatakan pada persamaan (2) dan (3) berikut :

$$y = 0.4949x + 8{,}7983 \text{ Disesuaikan menjadi } x = (y-8{,}7983) / 0.4949 \text{ (Asahan)} \quad (2)$$

$$y = 1{,}3512x - 7{,}3938 \text{ Disesuaikan menjadi } x = (y + 7{,}3938) / 1{,}3512 \text{ (Panglejar)} \quad (3)$$

Kedua persamaan inversi tersebut selanjutnya diterapkan pada lapisan CHM untuk menghasilkan estimasi umur kelapa sawit pada tingkat piksel di seluruh area penelitian.

Evaluasi dan Validasi Model

Tahap kelima dilakukan untuk menilai seberapa baik kinerja model regresi yang telah dibangun dalam mengestimasi usia tanaman kelapa sawit. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil estimasi usia dari model terhadap data tahun penanaman aktual (data acuan/ground truth) menggunakan tiga ukuran statistik, yaitu koefisien determinasi (R^2) untuk mengukur seberapa besar variasi CHM yang dapat dijelaskan oleh variasi umur tanaman, *Root Mean Square Error* (RMSE) untuk mengukur besarnya simpangan estimasi terhadap nilai aktual, dan *Mean Absolute Error* (MAE) untuk mengukur rata-rata besaran kesalahan estimasi tanpa memperhitungkan arah kesalahan. Ketiga ukuran ini digunakan secara bersama-sama agar diperoleh gambaran akurasi model yang lebih komprehensif, baik dari sisi kekuatan hubungan (R^2) maupun besaran kesalahan absolut (RMSE dan MAE).

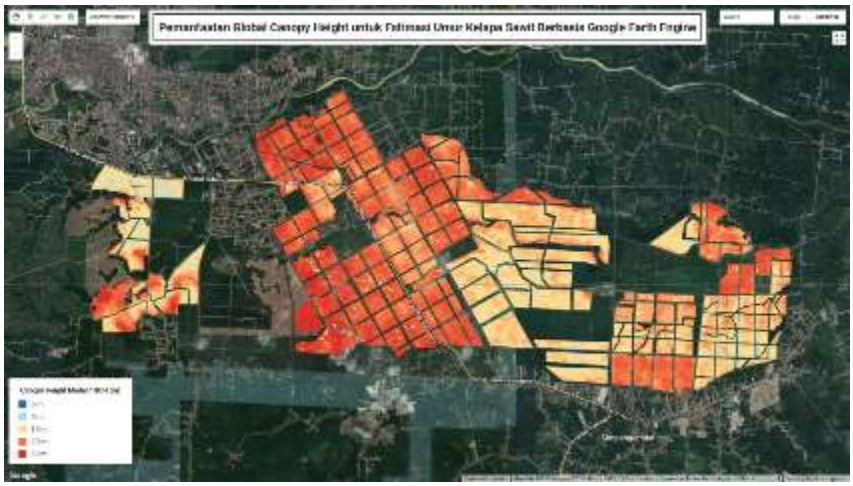
Visualisasi Model

Tahap terakhir adalah penerapan model regresi dengan kinerja terbaik pada masing-masing lokasi untuk menghasilkan peta spasial sebaran estimasi usia kelapa sawit pada seluruh wilayah studi. Nilai estimasi usia hasil model kemudian dikelompokkan ke dalam tiga kelas umur berdasarkan klasifikasi [19], yaitu kelas 0-7 tahun, 7-20 tahun, dan lebih dari 20 tahun, yang masing-masing merepresentasikan fase pertumbuhan tanaman muda, produktif, dan menjelang peremajaan. Hasil klasifikasi ini divisualisasikan dalam bentuk peta tematik pada platform GEE untuk setiap blok perkebunan, sehingga dapat memberikan gambaran spasial mengenai sebaran umur kelapa sawit yang dapat dimanfaatkan sebagai dasar perencanaan pengelolaan dan peremajaan Perkebunan.

3. Hasil dan Pembahasan

Canopy Height Model Perkebunan Asahan

Hasil pemodelan *Canopy Height Model* (CHM) untuk Perkebunan Sei Dadap, Asahan, yang diperoleh dari selisih nilai *Global Canopy Height* (GCH) terhadap DEMNAS pada setiap piksel, divisualisasikan dalam bentuk peta sebaran spasial pada seluruh blok perkebunan sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 2** berikut.

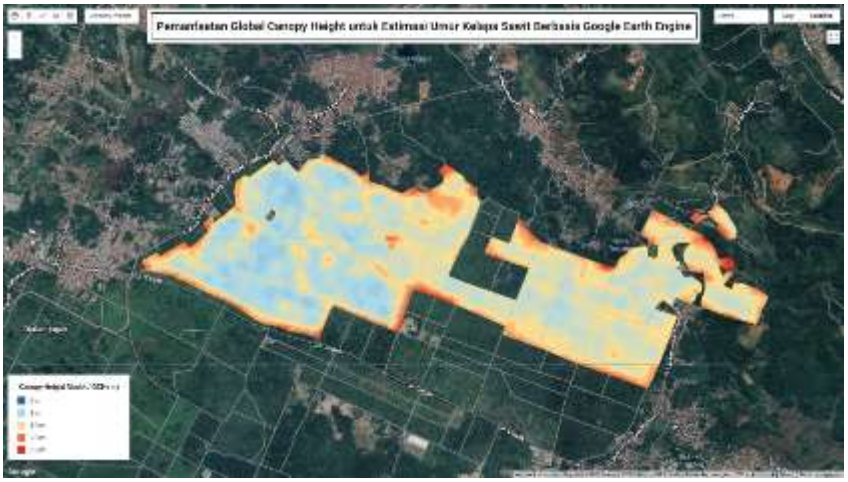


Gambar 2: Hasil Canopy Height Model Perkebunan Asahan

Hasil *Canopy Height Model* (CHM) Perkebunan Sei Dadap, Asahan ditampilkan pada **Gambar 2**. Nilai CHM rata-rata per blok di lokasi Asahan berkisar antara 9,18–18,90 m dengan rata-rata keseluruhan 14,43 m. Pada visualisasi GEE, variasi tinggi kanopi antar blok terlihat jelas dengan palet warna dari krem/kuning muda (CHM rendah, sekitar 8–12 m) hingga merah gelap (CHM tinggi, sekitar 20–30 m). Blok-blok di bagian barat perkebunan cenderung memiliki nilai CHM yang lebih rendah dibandingkan blok-blok di bagian tengah dan utara, mencerminkan perbedaan kondisi pertumbuhan kanopi antar wilayah perkebunan. Kondisi ini terjadi pada dataran rendah (0–50 m dpl), sehingga perbedaan nilai CHM antar blok lebih mencerminkan variasi umur dan faktor pertumbuhan setempat daripada pengaruh elevasi.

Hasil Canopy Height Model Perkebunan Panglejar

Dengan pendekatan perhitungan yang sama, hasil pemodelan CHM untuk Perkebunan Panglejar, Subang, yang merepresentasikan variasi tinggi kanopi kelapa sawit pada kondisi topografi dataran tinggi, disajikan pada **Gambar 3** berikut.



Gambar 3: Hasil Canopy Height Model Perkebunan Panglejar

Hasil *Canopy Height Model* (CHM) Perkebunan Panglejar, Subang ditampilkan pada **Gambar 3.** Nilai CHM rata-rata per blok di lokasi Panglejar berkisar antara 8,50–16,20 m dengan rata-rata keseluruhan 11,19 m. Meskipun seluruh blok Panglejar memiliki umur tanam yang relatif seragam (18–19 tahun pada saat akuisisi data), terdapat variasi nilai CHM yang cukup signifikan antar blok. Variasi ini kemungkinan dipengaruhi oleh kondisi topografi dataran tinggi (483–528 m dpl) yang lebih kompleks, kesuburan lahan, dan faktor lingkungan lainnya. Nilai rata-rata CHM Panglejar (11,19 m) yang lebih rendah dibandingkan Asahan (14,43 m) meskipun umur Panglejar lebih tua, mengindikasikan bahwa karakteristik dataran tinggi berbukit turut memengaruhi laju pertumbuhan tinggi kanopi kelapa sawit.

DEMNAS Model Perkebunan Asahan

Sebaran nilai elevasi permukaan tanah (DEMNAS) yang digunakan sebagai model medan digital (DTM) untuk koreksi topografi pada Perkebunan Sei Dadap, Asahan, ditampilkan pada **Gambar 4.**



Gambar 4: Hasil DEMNAS Model Perkebunan Asahan

Hasil DEMNAS Perkebunan Sei Dadap, Asahan ditampilkan pada **Gambar 4.** Nilai elevasi di lokasi Asahan didominasi rentang 0–25 m yang ditunjukkan dengan warna krem kecoklatan yang relatif seragam di seluruh area perkebunan. Kondisi ini mengonfirmasi karakteristik Perkebunan Asahan sebagai lokasi dataran rendah dengan topografi yang landai dan variasi elevasi yang sangat kecil antar blok. Keseragaman elevasi ini menjadikan koreksi DEMNAS pada proses pembentukan CHM tidak menghasilkan perubahan signifikan pada nilai ketinggian kanopi, sehingga nilai CHM di Asahan lebih mencerminkan ketinggian pohon sesungguhnya.

DEMNAS Model Perkebunan Panglejar

Sebaran nilai elevasi DEMNAS untuk Perkebunan Panglejar, Subang, yang menunjukkan karakteristik topografi dataran tinggi berbukit, disajikan pada **Gambar 5** berikut.



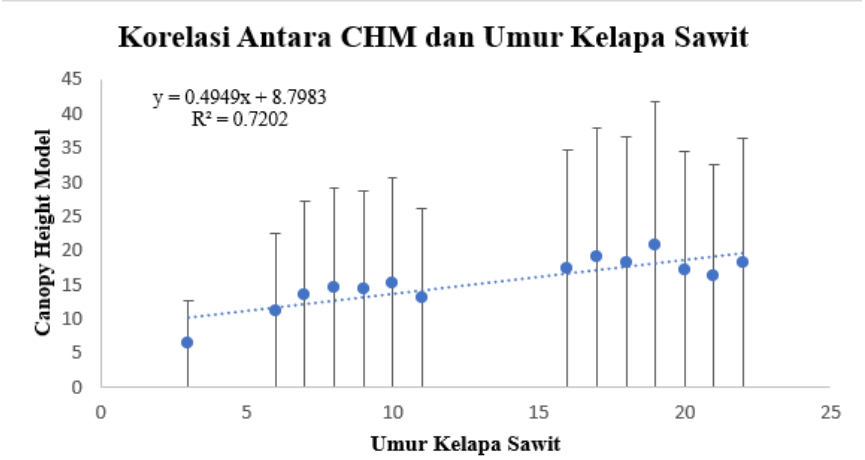
Gambar 5: Ha sil DEMNAS Model Perkebunan Panglejar

Hasil DEMNAS Perkebunan Panglejar, Subang ditampilkan pada **Gambar 5.** Nilai elevasi di lokasi Panglejar berada pada rentang 400–600 m yang ditunjukkan dengan warna oranye kecoklatan yang lebih pekat dibandingkan Asahan. Kondisi ini mempertegas karakteristik Perkebunan Panglejar sebagai lokasi dataran tinggi dengan elevasi rata-rata 400–500 m dpl. Variasi warna yang terlihat pada peta menunjukkan adanya perbedaan elevasi antar bagian perkebunan, mencerminkan topografi berbukit yang lebih kompleks. Koreksi DEMNAS pada pembentukan CHM di Panglejar memiliki peran yang lebih krusial dibandingkan Asahan, karena tanpa koreksi ini nilai GCH akan mencerminkan kombinasi antara ketinggian kanopi dan elevasi tanah, sehingga estimasi tinggi pohon menjadi tidak akurat.

Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume XI, No.4, Oktober 2026 Hal 21770 - 21781
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

Korelasi Antara CHM dan Umur Kelapa Sawit Perkebunan Asahan

Hubungan antara nilai CHM rata-rata tingkat blok dan usia tanaman aktual pada Perkebunan Sei Dadap, Asahan, yang menjadi dasar pembentukan model regresi linear, ditampilkan dalam bentuk grafik sebar pada **Gambar 6**. Hasil pemodelan regresi linear untuk Perkebunan Sei Dadap, Asahan ditampilkan pada **Gambar 6.** Pemodelan dilakukan menggunakan data dari blok-blok yang tahun tanamnya dapat diverifikasi dan sesuai dengan periode akuisisi citra ETH GCH 2020; blok dengan tahun tanam 2021 dan 2022 dikeluarkan karena berada di luar rentang temporal data. Analisis regresi menghasilkan persamaan y = 0,4949x + 8,7983 dengan koefisien determinasi R^2 = 0,7202, di mana y adalah nilai CHM (meter) dan x adalah umur kelapa sawit (tahun).



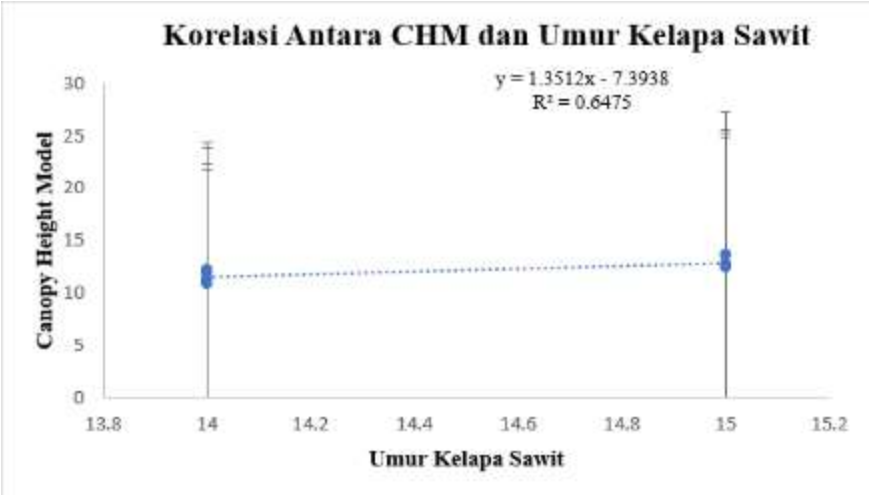
Gambar 6: Hasil Korelasi Antara CHM dan Umur Kelapa Sawit Perkebunan Asahan

Nilai R^2 sebesar 0,7202 menunjukkan bahwa 72,02% variasi nilai CHM dapat dijelaskan oleh variasi umur tanaman, mengindikasikan hubungan linear yang cukup kuat antara umur kelapa sawit dan ketinggian kanopi. Koefisien regresi positif sebesar 0,4949 menunjukkan bahwa setiap pertambahan satu tahun umur tanaman berkorelasi dengan peningkatan nilai CHM rata-rata sebesar 0,49 meter, sesuai dengan pola pertumbuhan biologis kelapa sawit di dataran rendah. Persamaan regresi tersebut diinversi untuk estimasi umur: x = (y − 8,7983) / 0,4949. *Error bar* pada setiap titik data menunjukkan standar deviasi nilai CHM dalam satu blok. Terlihat bahwa standar deviasi cenderung semakin besar pada blok berumur lebih tua (16–22 tahun), mencerminkan semakin tingginya heterogenitas tinggi kanopi antarindividu pohon dalam satu blok seiring bertambahnya umur tanaman.

Korelasi Antara CHM dan Umur Kelapa Sawit Perkebunan Panglejar

Hasil analisis korelasi serupa untuk Perkebunan Panglejar, Subang, disajikan pada **Gambar 7** berikut, yang menunjukkan hubungan antara nilai CHM rata-rata tingkat blok dan usia tanaman aktual pada lokasi tersebut. Analisis regresi menghasilkan persamaan y = 1,3512x − 7,3938 dengan koefisien determinasi R^2 = 0,6475, di mana y adalah nilai CHM (meter) dan x adalah umur kelapa sawit (tahun). Nilai R^2 = 0,6475 menunjukkan bahwa 64,75% variasi nilai CHM dapat dijelaskan oleh model. Koefisien regresi positif sebesar 1,3512 lebih besar dibandingkan Asahan (0,4949), yang mengindikasikan laju pertambahan CHM per tahun yang lebih tinggi di Panglejar.

Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume XI, No.4, Oktober 2026 Hal 21770 - 21781
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

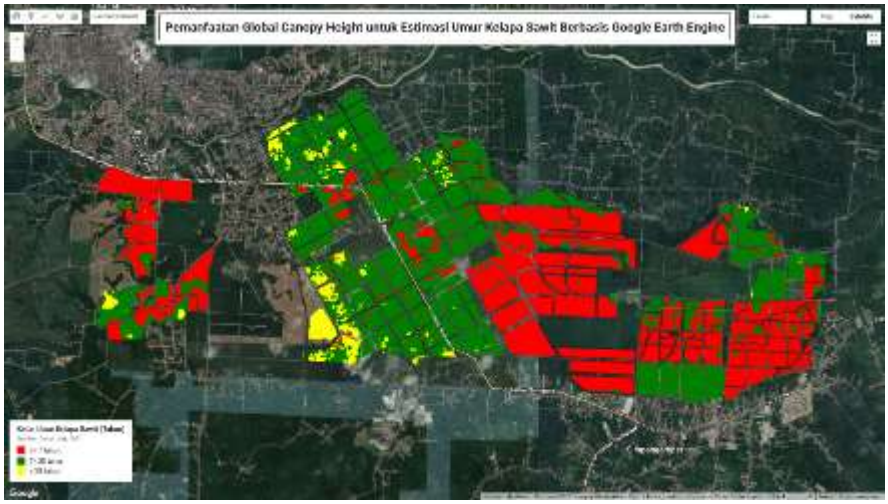


Gambar 7: Hasil Korelasi Antara CHM dan Umur Kelapa Sawit Perkebunan Panglejar

Persamaan tersebut diinversi untuk estimasi umur: x = (y + 7,3938) / 1,3512. *Error bar* pada grafik menunjukkan standar deviasi nilai CHM per kelas umur. Pada kelas umur 14 tahun, nilai CHM rata-rata sebesar ≈11,5 m dengan *error bar* yang sangat besar (rentang hampir 0–22 m); demikian pula pada kelas umur 15 tahun dengan CHM rata-rata ≈13 m dan rentang *error bar* 0–25 m. Besarnya standar deviasi ini mencerminkan tingginya variasi nilai CHM di dalam setiap kelas umur akibat kondisi topografi dataran tinggi yang lebih kompleks (400–500 m dpl). Meskipun perbedaan nilai CHM rata-rata antara kedua kelas hanya sekitar 1,5 m, model tetap menghasilkan R^2 = 0,6475 karena pola kenaikan CHM dari umur 14 ke 15 tahun bersifat konsisten secara arah. Keterbatasan data yang hanya mencakup dua kelas umur menjadi faktor utama yang membatasi representativitas model di Panglejar.

Visualisasi Peta Sebaran Umur Kelapa Sawit Perkebunan Asahan

Hasil penerapan model regresi dengan kinerja terbaik pada seluruh wilayah studi menghasilkan peta spasial sebaran estimasi umur kelapa sawit untuk Perkebunan Sei Dadap, Asahan, sebagaimana ditampilkan pada **Gambar 8** berikut.



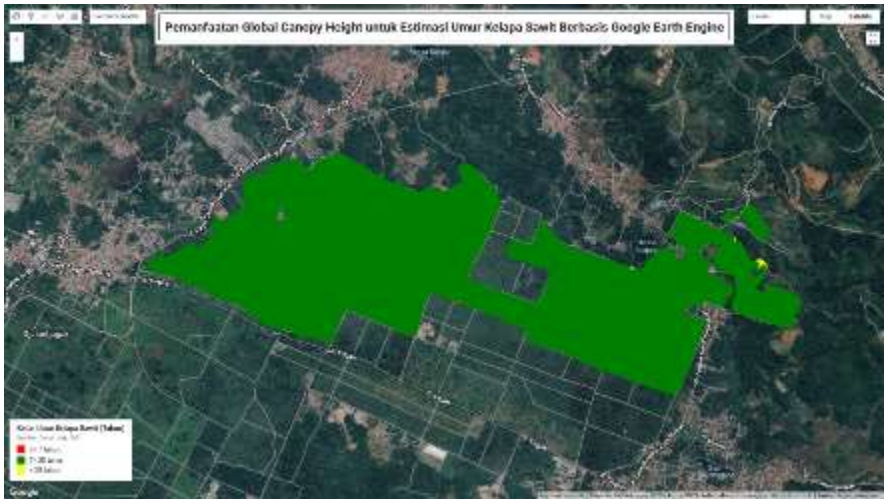
Gambar 8: Hasil Visualisasi Peta Sebaran Umur Kelapa Sawit Perkebunan Asahan

Hasil klasifikasi menunjukkan pola sebaran yang bervariasi antar wilayah perkebunan. Blok-blok di bagian barat perkebunan didominasi oleh kelas 0–7 tahun (merah), yang berkorelasi dengan nilai CHM yang lebih rendah di area tersebut. Bagian tengah hingga utara perkebunan didominasi oleh kelas 7–20 tahun (hijau), mencerminkan kondisi kanopi produktif dengan nilai CHM lebih tinggi. Kelas lebih dari 20 tahun (kuning) muncul sebagai spot pada beberapa blok di bagian utara dengan nilai CHM tertinggi, mengindikasikan tanaman yang telah mencapai fase menjelang peremajaan. Variasi sebaran kelas umur yang terlihat pada peta, khususnya munculnya kelas 0–7 tahun pada blok-blok yang sebenarnya bukan blok

tanaman muda, mengindikasikan adanya keterbatasan model pada blok-blok dengan nilai CHM rendah akibat kondisi pertumbuhan setempat seperti perbedaan kesuburan tanah atau kepadatan tegakan.

Visualisasi Peta Sebaran Umur Kelapa Sawit Perkebunan Panglejar

Peta spasial sebaran estimasi umur kelapa sawit untuk Perkebunan Panglejar, Subang, hasil penerapan model regresi pada seluruh blok perkebunan, ditampilkan pada **Gambar 9**.



Gambar 9: Hasil Visualisasi Peta Sebaran Umur Kelapa Sawit Perkebunan Panglejar

Hasil Visualisasi Peta Sebaran Umur Kelapa Sawit Perkebunan Panglejar ditampilkan pada **Gambar 9** menunjukkan dominasi kelas 7–20 tahun (hijau) karena seluruh blok perkebunan Panglejar memiliki umur aktual 14–15 tahun yang berada pada rentang kelas tersebut. Variasi sebaran yang terlihat antar blok mencerminkan pengaruh kondisi topografi dataran tinggi (400–500 m dpl) terhadap heterogenitas nilai CHM, yang selanjutnya diinterpretasikan sebagai variasi estimasi umur oleh model. Peta ini memberikan gambaran spasial sebaran umur kelapa sawit di Panglejar yang dapat digunakan sebagai dasar perencanaan pengelolaan perkebunan secara berkelanjutan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil membangun model regresi linear sederhana untuk mengestimasi umur kelapa sawit berdasarkan *Canopy Height Model* (CHM) yang diperoleh dari pengurangan *Global Canopy Height* (GCH) dengan DEMNAS pada platform Google Earth Engine. Di Perkebunan Sei Dadap, Asahan, yang berada pada topografi dataran rendah, model menghasilkan hubungan positif yang kuat antara CHM dan umur tanaman dengan persamaan $y = 0{,}4949x + 8{,}7983$ dan $R^2 = 0{,}7202$, yang berarti 72,02% variasi nilai CHM dapat dijelaskan oleh umur tanaman. Sebaliknya, di Perkebunan Panglejar, Subang, yang berada pada topografi dataran tinggi, model regresi menghasilkan persamaan $y = 1{,}3512x - 7{,}3938$ dengan $R^2 = 0{,}6475$; namun karena data tahun tanam yang tersedia hanya mencakup dua kelas umur (14 dan 15 tahun), hubungan tersebut belum stabil dan belum memadai untuk digunakan sebagai validasi eksternal model. Perbandingan kedua lokasi menegaskan bahwa koreksi topografi menggunakan DEMNAS berperan penting dalam menghasilkan nilai CHM yang lebih merepresentasikan tinggi kanopi sesungguhnya, terutama pada wilayah dengan variasi elevasi yang signifikan seperti Panglejar, dibandingkan dengan pendekatan GCH tanpa koreksi topografi yang umum diterapkan pada studi-studi sebelumnya.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa GCH memiliki potensi untuk mengkarakterisasi umur kelapa sawit pada kondisi tertentu, tetapi model estimasi umur yang operasional perlu dikalibrasi ulang dengan umur sebagai variabel dependen serta diuji menggunakan data independen yang mencakup rentang umur yang lebih luas, khususnya di wilayah dataran tinggi. Seluruh tahapan pemrosesan, mulai dari pembentukan CHM, ekstraksi nilai ketinggian per blok, hingga pembangunan model regresi, berhasil dilakukan secara terintegrasi pada platform *Google Earth Engine* tanpa memerlukan perangkat keras komputasi tinggi, menegaskan efektivitas GEE sebagai platform pemrosesan data geospasial skala besar untuk mendukung pemodelan ini. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengumpulkan data *ground truth* dengan rentang kelas umur yang lebih beragam, khususnya di lokasi dataran tinggi, serta mengeksplorasi metode non-linear atau machine learning untuk menangani heterogenitas topografi yang lebih kompleks.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) dan Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia atas dukungan pendanaan dalam pelaksanaan penelitian ini. Apresiasi juga disampaikan kepada PT Perkebunan Nusantara III, Kebun Sei Dadap, Asahan, Sumatera Utara. Penulis turut menyampaikan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LP2M) dan Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional Bandung, atas dukungan institusional yang diberikan.

6. Singkatan

CHM	Canopy Height Model (Model Ketinggian Kanopi)
GCH	*Global Canopy Height* (Ketinggian Kanopi Global)
GEE	Google Earth Engine
DEMNAS	Digital Elevation Model Nasional
GEDI	Global Ecosystem Dynamics Investigation

7. Referensi

[1] Arohman, R., Afrilia, D., Septiyaningsih, D., Ramadhan, R., & Natasya, N. (2026). Tinjauan Literatur Potensi Pengembangan Palm Kernel Cake sebagai Sumber Daya Serbaguna dalam Industri Sawit Berkelanjutan. *Jurnal Penelitian Inovatif*, *6*(1), 109-118.

[2] Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2022). Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2022 tentang Pengembangan Sumber Daya Manusia, Penelitian dan Pengembangan, Peremajaan, serta Sarana dan Prasarana Perkebunan Kelapa Sawit. Jakarta: Kementerian Pertanian Republik Indonesia.

[3] Efendi, A. P., & Chairudin, C. (2023). Produktivitas tanaman kelapa sawit (Elaeis guineensis Jacq.) berdasarkan klaster umur. Agrovital: Jurnal Ilmu Pertanian, 8(1), 60-67. [4]

[4] Danylo, O., Pirker, J., Lemoine, G., Ceccherini, G., See, L., McCallum, I., ... & Fritz, S. (2021). A map of the extent and year of detection of oil palm plantations in Indonesia, Malaysia and Thailand. *Scientific data*, *8*(1), 96.

[5] Woittiez, L. S., van Wijk, M. T., Slingerland, M., van Noordwijk, M., & Giller, K. E. (2017). Yield Gaps in Oil Palm: A Quantitative Review of Contributing Factors. Agricultural Systems, 151, 76–88.

[6] Hikmat, M., Barus, B., Ardiansyah, M., & Mulyanto, B. (2019). Parameterisasi Sifat Biofisik Lahan Sawah dengan Menggunakan Citra Radar Resolusi Tinggi: Studi Kasus di Kab. Indramayu Jawa Barat. Jurnal Tanah dan Iklim, 43(1), 1-12.

[7] Hernawati, R., Wikantika, K., Darmawan, S., Harto, A. B., Sumantyo, J. T. S., & Safitri, S. (2024). Phenology model of oil palm plantation based on biophysical parameters on Sentinel-1A using multiple linear regression (MLR). Journal of the Indian Society of Remote Sensing.

[8] De Petris, S., Sarvia, F., & Borgogno-Mondino, E. (2022). About tree height measurement: Theoretical and practical Issues for Uncertainty Quantification and Mapping. Forests, 13(7), 969.

[9] Guan, X., Yang, X., Yu, Y., dkk. (2023). Canopy-height and stand-age estimation in Northeast China at sub-compartment level using multi-resource remote sensing data. Remote Sensing, 15. Advance online publication

[10] Rizeei, H. M., Shafri, H. Z. M., Mahad, A., Basri, M., & Saadatkhah, N. (2018). Oil palm yield estimation and prediction using an integrated spatial auto-correlation, agro-ecological based model and production environmental unit. Geocarto International, 33(7), 752–768.

[11] Hernawati, R., Wikantika, K., & Darmawan, S. (2022). Modeling of oil palm phenology based on remote sensing data: Opportunities and challenges. Journal of Applied Remote Sensing, 16(2), 021501.

[12] Hikmat, M., Barus, B., Ardiansyah, M., & Mulyanto, B. (2019). Parameterisasi Sifat Biofisik Lahan Sawah dengan Menggunakan Citra Radar Resolusi Tinggi: Studi Kasus di Kab. Indramayu Jawa Barat. Jurnal Tanah dan Iklim, 43(1), 1-12.

[13] Potapov P, Li X, Hernandez-Serna A, et al. Mapping global forest canopy height through integration of GEDI and Landsat data. Remote Sens Environ 2021; 253: 112165.

[14] Alvites, C., O'Sullivan, H., Francini, S., Marchetti, M., Santopuoli, G., Chirici, G., & Bazzato, E. (2024). High-Resolution Canopy Height Mapping: Integrating NASA's Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI) with Multi Source Remote Sensing Data. Remote Sensing, 16(7), 1281.

[15] Fu, L., Shu, Q., Yang, Z., dkk. (2025). Accuracy assessment of topography and forest canopy height in complex terrain conditions of Southern China using ICESat-2 and GEDI data. Frontiers in Plant Science, 16, 1–18.
[16] 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. In Book of Abstracts (p. 124).
[17] Kafrawi, K., Hesti, N., Syatrawati, S., Rahim, I., & Kumalawati, Z. (2023). Tingkat Pertumbuhan dan Produksi Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.) pada Berbagai Topografi Lahan. Journal Galung Tropika, 12(2), 203-212.
[18] Di Tommaso, S., Wang, S., & Lobell, D. B. (2021). Combining GEDI and Sentinel-2 for wall-to-wall mapping of tall and short crops. Environmental Research Letters, 16(12), 125002.
[19] Danylo, O., Pirker, J., Lemoine, G., Ceccherini, G., See, L., McCallum, I., ... & Fritz, S. (2021). A map of the extent and year of detection of oil palm plantations in Indonesia, Malaysia and Thailand. Scientific data, 8(1), 96.