

Analisis Korelasi Umur Kelapa Sawit dengan *Canopy Height Model* (CHM)

Berdasarkan Data Foto Udara

**(Studi Kasus: Perkebunan Kelapa Sawit PTPN III
di Kabupaten Asahan, Sumatra Utara)**

FENY VALENTINE¹, SONI DARMAWAN²

**¹Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional
Bandung, Jl. PHH. Hasan Mustapa No. 23 Bandung
Email : fenny.valentine89@mhs.itenas.ac.id**

ABSTRAK

Kelapa sawit memiliki potensi pemanfaatan yang dapat digunakan untuk pembuatan pulp, bahan konstruksi, dan sumber energi. Dalam Perkebunan kelapa sawit, umur kelapa sawit merupakan parameter dalam perhitungan panen dan salah faktor utama yang mempengaruhi perkembangan tandan buah. Informasi umur kelapa sawit merupakan salah satu kunci dalam precision agriculture. Secara morfologi ketinggian kelapa sawit terus bertambah sesuai dengan umur kelapa sawit, namun model dan tingkat hubungan antara ketinggian dan umur kelapa sawit belum diketahui secara pasti. Dewasa ini teknologi foto udara dengan menggunakan drone dapat mengestimasi ketinggian kelapa sawit atau dikenal dengan Canopy Height Model (CHM) pohon kelapa sawit. Tujuan dari penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis tingkat korelasi antara umur kelapa sawit dengan Canopy Height Model (CHM) berdasarkan data foto udara di PTPN III Kabupaten Asahan. Metode yang digunakan adalah pengukuran Perkebunan kelapa sawit dengan foto udara drone dan mengestimasi Canopy Height Model (CHM) sesuai dengan masing-masing blok perkebunan kelapa sawit. Selanjutnya ditentukan model dan tingkat korelasi antara CHM dengan umur kelapa sawit. Hasil dari penelitian ini mendapatkan persamaan regresi linear $y = 0.4445x + 3.9219$ dengan nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0.77 dan persamaan regresi logarithmic $y = 3.9579\ln(x) + 0.4201$ dengan nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0.94. Model regresi terbaik dalam penelitian ini menggunakan model logarithmic dimana dalam umur 0 – 15 tahun ketinggian kelapa sawit bertambah sesuai dengan umurnya, namun ketinggian kelapa sawit relatif konstan (tidak bertambah) di umur setelah 15 tahun.

Kata kunci: Canopy Height Model; Kelapa Sawit ; Unmanned Aerial Vehicle

1. PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan tanaman perkebunan penghasil minyak selain kelapa yang berasal dari hutan hujan tropis di daerah Afrika Barat terutama di Kamerun, Pantai Gading, dan Liberia. Kelapa sawit pertama kali ditemukan oleh Nicholaas Jacquin pada tahun 1763 oleh karena itu sawit diberi nama latin *Elaeis Guineensis Jacq.*

Kelapa sawit dikenalkan pertama kali di Indonesia sebagai tanaman hias di Kebun Raya Bogor pada tahun 1884. Kelapa sawit memiliki banyak potensi pemanfaatan baik dari batangnya yang

digunakan untuk pembuatan pulp, bahan konstruksi, dan sumber energi. Selain itu, buah sawit memiliki nilai ekonomi yang tinggi dan dapat menjadi penyumbang pendapatan bagi negara, dimana buah sawit dimanfaatkan sebagai minyak pangan ataupun minyak non pangan. Bagian lain dari tanaman sawit yang dapat dimanfaatkan adalah sabut, bahkan tandan kosong.

Minyak kelapa sawit merupakan bahan mentah yang sangat bermanfaat untuk bioekonomi di Asia dan Eropa. Minyak kelapa sawit banyak digunakan dalam industri makanan serta di bidang industri kimia seperti deterjen, pembersih, dan produk perawatan. Selain itu, minyak sawit sangat penting untuk sektor energi sebagai bahan mentah untuk produksi biodiesel dan HVO (*hydrogenated vegetable oil*/minyak nabati terhidrogenasi) yang digunakan di sektor transportasi atau untuk produksi listrik (Schleicher dkk., 2019).

Indonesia adalah penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia (Okarda dkk., 2018). Indonesia memiliki perkebunan kelapa sawit terbesar di dunia dengan jumlah lebih dari 700 perkebunan kelapa sawit dengan total luas lahan kelapa sawit di Indonesia sekitar 16,78 juta hektar (Junaedi, 2020). Hal tersebut menjadikan sektor perkebunan kelapa sawit dan industri minyak sawit nasional merupakan pendorong perekonomian nasional terbesar di Indonesia.

Seperti tanaman pada umumnya, kelapa sawit memiliki beberapa syarat tumbuh untuk memperoleh hasil yang maksimal dan memiliki daya jual tinggi. Kelapa sawit merupakan jenis tanaman dengan waktu penyinaran pendek yaitu sekitar 5-7 jam/hari, untuk memperoleh penyinaran yang cukup maka jarak tanam antar kelapa sawit adalah 9m x 9m x 9m. Curah hujan optimal untuk kelapa sawit 2000-2500 mm/tahun, dengan suhu optimal 24-28°C. Tanaman ini tumbuh pada ketinggian 0-500 mdpl. Kelapa sawit dapat tumbuh pada jenis tanah Podzolik, Latosol, Hidromorfik Kelabu, Alluvial atau Regosol, tanah gambut saprik. Produksi kelapa sawit lebih tinggi jika ditanam di daerah bertanah Podzolik jika dibandingkan dengan tanah berpasir dan gambut.

Batang kelapa sawit berdiameter 25-75 cm, namun di perkebunan umumnya 45-65 cm, pangkal batang lebih besar pada tanaman yang lebih tua. Batang kelapa sawit merupakan batang tunggal yang tidak bercabang. Laju pertumbuhan batang dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan. Di Indonesia dan Malaysia pertumbuhan tinggi batang rata-rata 45 cm/tahun dan bisa mencapai 100 cm/tahun bila berada pada kondisi yang sangat cocok. Tinggi batang bisa mencapai 20 m lebih namun umumnya diperkebunan hanya berkisar antara 15-18m.

Umur kelapa sawit merupakan parameter kunci dalam perhitungan panen serta salah satu faktor utama yang mempengaruhi perkembangan tandan buah (Basiron, 2007; Tan dkk., 2012). Karena kelapa sawit tumbuh dengan cara tertentu, sifat morfologi ini dapat digunakan untuk memperkirakan usianya (Chong dkk., 2017). Selain itu, informasi umur kelapa sawit sangat penting dalam *precision agriculture* untuk mengenali anomali di antara kelapa sawit dalam kelompok umur yang khas serta merencanakan dan mengoptimalkan sumber daya manajemen (J. M. McMorro, 1995). Dalam kasus lain, informasi umur kelapa sawit diperlukan untuk estimasi pajak, *replanting*, dan identifikasi penyakit kelapa sawit (I. Carolita dkk., 2019; S. Darmawan dkk., 2020).

Fenologi merupakan cabang ilmu ekologi yang mempelajari tentang respon makhluk hidup terhadap perubahan musim dan iklim di lingkungan tempat hidupnya, yang meliputi variasi lama penyinaran, presipitasi, suhu dan faktor pengatur lainnya (Delahaut, 2004; Prathama, 2009).

Pengamatan fenologi terkait dengan tumbuhan adalah mencakup saat munculnya bunga pertama, puncak pembungaan, akhir pembungaan, *flushing*, gugurnya daun, dan perubahan warna daun (Delahaut, 2004; Prathama, 2009). Selain berguna dalam kegiatan pertanian, fenologi ini juga sangat berguna dalam kegiatan kehutanan khususnya bidang silvikultur. Fenologi pada daerah tropik memiliki sejumlah ciri-ciri yang khas. Sifat-sifat fenologi yang menentukan kerangka sementara dimana bahan tersebut mengalami pertumbuhan (Odum, 1998).

Canopy Height Model (CHM) adalah pengukuran ketinggian pohon, bangunan, dan struktur lainnya di atas permukaan tanah topografi. CHM ini digunakan dalam berbagai aplikasi kehutanan termasuk melacak vegetasi dan pohon di hutan dari waktu ke waktu, menghitung biomassa, dan memperkirakan indeks luas daun. *Canopy Height Model* dihitung dengan mengurangi *Digital Surface Model* (DSM) dengan *Digital Terrain Model* (DTM). DTM mengacu pada tanah kosong, dan DSM mengukur ketinggian bagian atas lanskap termasuk vegetasi dan bangunan.

Korelasi bermanfaat untuk mengukur kekuatan hubungan antara dua variabel (kadang lebih dari dua variabel) dengan skala-skala tertentu, misalnya Pearson data harus berskala interval atau rasio; *Spearman* dan *Kendal* menggunakan skala ordinal; *Chi Square* menggunakan data nominal. Kuat lemah hubungan diukur diantara jarak (range) 0 sampai dengan 1. Korelasi mempunyai kemungkinan pengujian hipotesis dua arah (*two tailed*). Korelasi searah jika nilai koefisien korelasi diketemukan positif; sebaliknya jika nilai koefisien korelasi negatif, korelasi disebut tidak searah. Yang dimaksud dengan koefisien korelasi ialah suatu pengukuran statistik kovariansi atau asosiasi antara dua variabel.

Jika koefisien korelasi diketemukan tidak sama dengan nol (0), maka terdapat ketergantungan antara dua variabel tersebut. Jika koefisien korelasi diketemukan +1. maka hubungan tersebut disebut sebagai korelasi sempurna atau hubungan linear sempurna dengan kemiringan (*slope*) positif. Jika koefisien korelasi diketemukan -1. maka hubungan tersebut disebut sebagai korelasi sempurna atau hubungan linear sempurna dengan kemiringan (*slope*) negatif. Dalam korelasi sempurna tidak diperlukan lagi pengujian hipotesis, karena kedua variabel mempunyai hubungan linear yang sempurna. Artinya variabel X mempengaruhi variabel Y secara sempurna. Jika korelasi sama dengan nol (0), maka tidak terdapat hubungan antara kedua variabel tersebut. Dalam korelasi sebenarnya tidak dikenal istilah variabel bebas dan variabel tergantung. Biasanya dalam penghitungan digunakan simbol X untuk variabel pertama dan Y untuk variabel kedua. Dalam contoh hubungan antara variabel remunerasi dengan kepuasan kerja, maka variabel remunerasi merupakan variabel X dan kepuasan kerja merupakan variabel Y.

Regresi logaritmik berguna ketika *independent* dan *dependent variables* mengikuti hubungan nonlinier yang cocok dengan pola pertumbuhan atau pembusukan yang melambat. Jika variabel dependen meningkat atau menurun dengan cepat pada awalnya ketika variabel independen menurun, tetapi tingkat kenaikan atau penurunan itu secara bertahap melambat, maka harus mempertimbangkan untuk menggunakan regresi logaritmik.

2. DATA DAN METODE PENELITIAN

2.1 Data dan Peralatan Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan data orthophoto akuisisi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan data vector blok tanam kebun sawit PTPN III. Dapat dilihat pada Tabel 1:

Tabel 1. Data Penelitian

No	Data	Akuisisi	Sumber
1.	<i>Orthophoto</i> hasil akuisisi hasil <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (UAV)	2022	Survei Lapangan
2.	Data vektor blok tanam kebun sawit PTPN III	-	Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS)
3.	Data validasi lapangan	2022	Survei Lapangan

Dalam penelitian ini memerlukan peralatan penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 2:

Tabel 2. Peralatan Penelitian

No.	Peralatan	Keterangan
1	Laptop Asus VivoBook Pro	Untuk melakukan pembuatan dan pengolahan data dalam Penelitian Tugas Akhir
2	AgiSoft	Untuk mengolah data foto udara
3	ArcGIS 10.3	Untuk melakukan layouting peta lokasi penelitian

2.2 Tahapan Penelitian

Metodologi pada penelitian ini menggunakan data foto udara yang akan diolah hingga mendapatkan data *Orthophoto*, *Digital Terrain Model* (DTM) dan *Digital Surface Model* (DSM). Setelah didapatkan data *Orthophoto*, DTM, dan DSM maka ketinggian pohon atau *Canopy Height Model* (CHM) dapat diestimasi. tahap pertama yang dilakukan adalah studi literatur mengenai model fenologi kelapa sawit, selanjutnya melakukan pengumpulan data yang dibutuhkan dalam

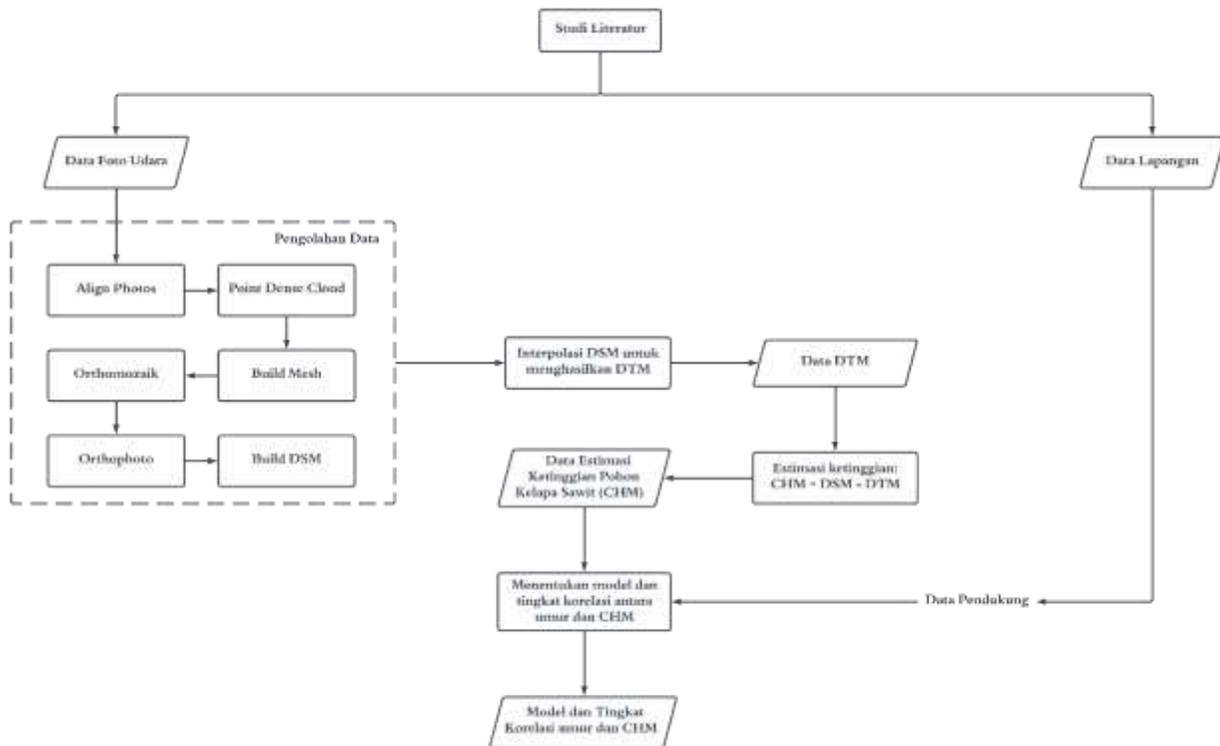
penelitian ini yaitu data foto udara, vector *Area of Interest* (AOI) blok tahun tanam kelapa sawit dan data validasi lapangan.

Selanjutnya dilakukan pengolahan data yang dimulai dengan *Align Photo* hasil akuisisi, untuk memposisikan kembali hasil akuisisi foto udara, selanjutnya membentuk *Point Dense Cloud* yang hasil foto udara tadi nantinya akan di ekstrak untuk mendapatkan *point cloud* yang akan dipadatkan untuk mendapatkan hasil foto yang *seamless*. Selanjutnya *Build Mesh* untuk membentuk visualisasi data ketinggian yang selanjutnya akan menghasilkan data *Orthophoto* setelah menjadi data DEM dilakukan *Build DSM* untuk mengetahui visualisasi *Surface Model* yang menggambarkan beda tinggi dari kondisi dilapangan.

Setelah mendapatkan hasil *Digital Surface Model* (DSM) selanjutnya dapat mencari *Digital Terrain Model* (DTM) dengan cara menginterpolasi data DSM untuk menghilangkan data ketinggian untuk menghasilkan data permukaan tanah tanpa adanya tumbuhan, bangunan dan sebagainya. Selanjutnya setelah memperoleh data DTM maka ketinggian pohon atau *Canopy Height Model* (CHM) dapat diestimasi dengan cara DSM dikurangi dengan DTM.

2.3 Diagram Alir

Diagram alir dalam penelitian ini pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah memperoleh hasil estimasi tinggi pohon kelapa sawit dengan menggunakan data akuisisi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Ketinggian pohon kelapa sawit dapat diestimasi dengan cara DSM dikurangi dengan DTM, dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 3 Usia dan Tinggi Pohon Kelapa Sawit Berdasarkan *Orthophoto*

Tahun Tanam	Umur tanaman (Tahun 2022)	Tinggi Pohon (Meter)
2021	1 tahun	0.411
2019	3 tahun	5.026
2016	6 tahun	6.62
2015	7 tahun	8.074
2014	8 tahun	7.662
2013	9 tahun	9.11
2012	10 tahun	10.719
2011	11 tahun	10.754
2010	16 tahun	12.229
2006	17 tahun	12.154
2005	18 tahun	12.478
2004	19 tahun	10.02
2003	20 tahun	11.85
2001	21 tahun	13.17
2000	22 tahun	12.119

Tabel 4 Usia dan Tinggi Pohon Kelapa Sawit Berdasarkan Survei Lapangan

Tahun Tanam	Umur tanaman (Tahun 2022)	Field Survei /Trunk (Meter)
2021	1 tahun	0.5
2019	3 tahun	1.1
2016	6 tahun	2.3
2015	7 tahun	4
2014	8 tahun	4
2013	9 tahun	5
2012	10 tahun	5
2011	11 tahun	5
2010	16 tahun	7
2006	17 tahun	7
2005	18 tahun	10
2004	19 tahun	10
2003	20 tahun	10
2001	21 tahun	11
2000	22 tahun	11

Hasil data yang disajikan adalah nilai rata-rata ketinggian pohon kelapa sawit pada setiap umur, selanjutnya hasil estimasi lebar tajuk di lakukan kategori untuk melihat nilai dimulai nilai ketinggian terendah hingga nilai ketinggian paling tinggi berdasarkan umur.

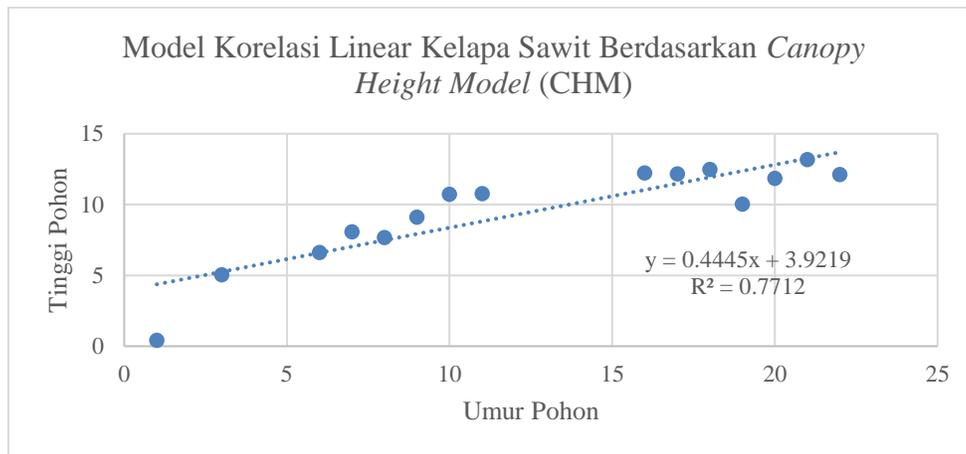
Berdasarkan hasil estimasi ketinggian kelapa sawit dari *Canopy Height Model* dapat dilihat pada Tabel 4.1 didapatkan nilai tinggi pohon terendah berada pada umur 1 tahun dengan nilai 0.411 meter, sedangkan tinggi pohon tertinggi berada pada umur 21 tahun dengan nilai 13.17 meter. Sedangkan hasil estimasi ketinggian kelapa sawit berdasarkan survei lapangan pada Tabel 4.2 didapatkan nilai tinggi pohon terendah berada pada umur 1 tahun dengan nilai 0.5 meter, sedangkan tinggi pohon tertinggi berada pada umur 21 dan 22 tahun dengan nilai 11 meter.

Hasil estimasi ketinggian kelapa sawit berdasarkan *Canopy Height Model* ketika dibandingkan dengan hasil survei lapangan terdapat perbedaan dan selisih ketinggian untuk masing-masing umur. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

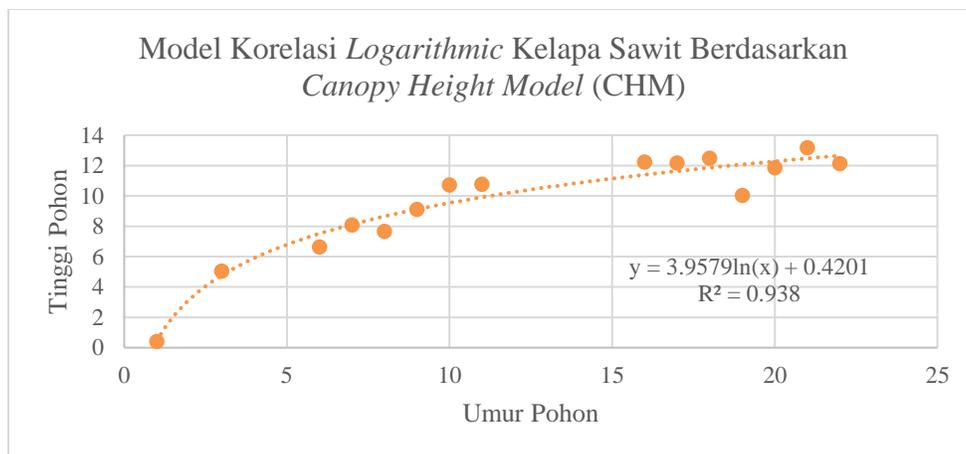
Tabel 5 Selisih Tinggi Pohon Kelapa Sawit

Tahun Tanam	Umur tanaman (Tahun 2022)	Field Survei / Trunk (Meter)	Tinggi Pohon (Meter)	Selisih
2021	1 tahun	0.5	0.411	0.089
2019	3 tahun	1.1	5.026	-3.926
2016	6 tahun	2.3	6.62	-4.32
2015	7 tahun	4	8.074	-4.074
2014	8 tahun	4	7.662	-3.662
2013	9 tahun	5	9.11	-4.11
2012	10 tahun	5	10.719	-5.719
2011	11 tahun	5	10.754	-5.754
2010	16 tahun	7	12.229	-5.229
2006	17 tahun	7	12.154	-5.154
2005	18 tahun	10	12.478	-2.478
2004	19 tahun	10	10.02	-0.02
2003	20 tahun	10	11.85	-1.85
2001	21 tahun	11	13.17	-2.17
2000	22 tahun	11	12.119	-1.119

Setelah mengetahui hasil nilai estimasi ketinggian pada setiap umur serta nilai ketinggian terendah hingga nilai ketinggian paling tinggi berdasarkan umur, selanjutnya hasil nilai estimasi ketinggian dibuatkan grafik untuk mengetahui hubungan nilai ketinggian dengan umur, menggunakan model grafik *scatter plot* pada nilai ketinggian berdasarkan *Canopy Height Model* Foto Udara *Umaned Aerial Vehicle* (UAV) dan hasil ketinggian dari survei lapangan, dengan model regresi linear dan *logarithmic* untuk membandingkan manakah model yang lebih sesuai dengan pertumbuhan kelapa sawit. Model regresi untuk ketinggian dari data *Canopy Height Model* Foto Udara *Umaned Aerial Vehicle* dapat dilihat pada gambar 2 dan 3.

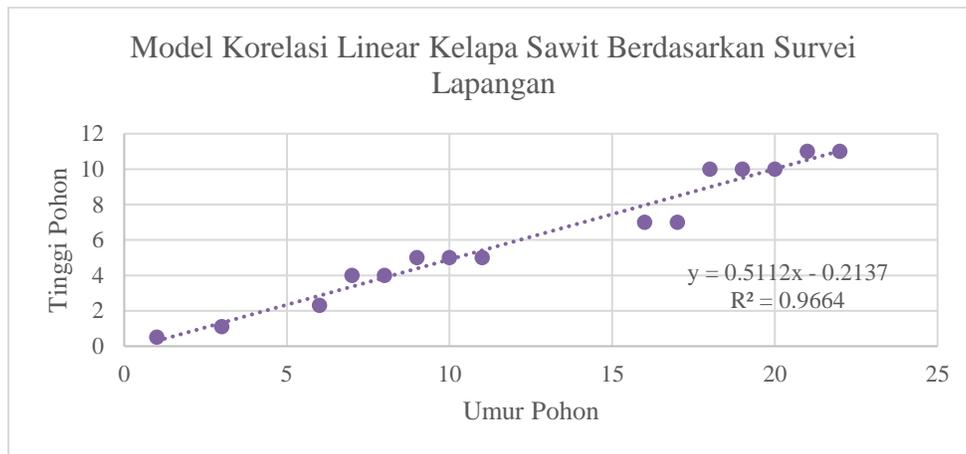


Gambar 2 Grafik Regresi Linear Fenologi Kelapa Sawit Berdasarkan *Canopy Height Model (CHM)*

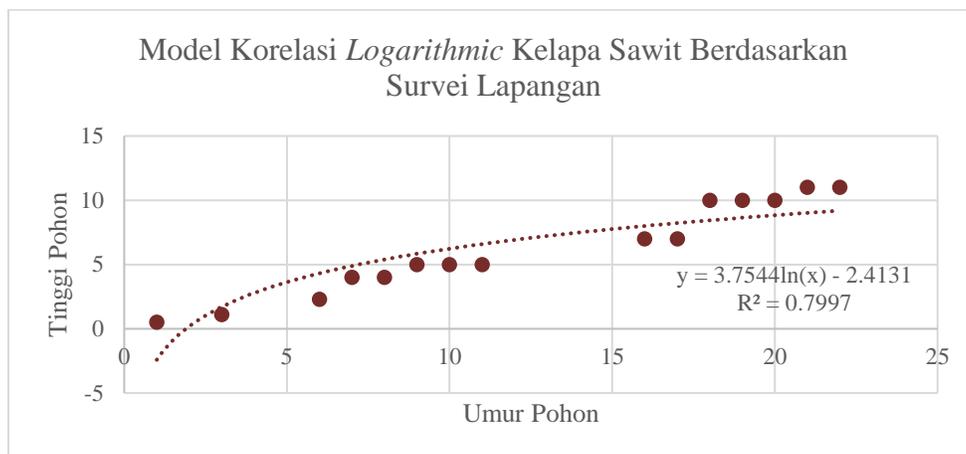


Gambar 3 Grafik Regresi *Logarithmic* Fenologi Kelapa Sawit Berdasarkan *Canopy Height Model (CHM)*

Berdasarkan hasil *Canopy Height Model* model *scatter plot* yang terbentuk dengan model korelasi linear $y = 0.4445x + 3.9219$ dengan nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0.77 dan model *logarithmic* $y = 3.9579\ln(x) + 0.4201$ dengan nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0.94. Berdasarkan nilai koefisien determinasi menunjukkan bahwa korelasi antara tinggi dengan umur kelapa sawit memiliki hubungan yang kuat. Selanjutnya model regresi untuk hasil ketinggian dari survei lapangan dapat dilihat pada gambar 4 dan 5.



Gambar 4 Grafik Regresi Linear Fenologi Kelapa Sawit Berdasarkan Survei Lapangan



Gambar 5 Grafik Regresi *Logarithmic* Fenologi Kelapa Sawit Berdasarkan Survei Lapangan

Jika dibandingkan dengan survei lapangan dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan 4.4 bahwa model korelasi linear $y = 0.5112x - 0.2137$ dengan nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0.96 dan model *logarithmic* $y = 3.7544\ln(x) - 2.4131$ dengan nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0.79. Terlihat perbedaan antara hasil *Canopy Height Model* dengan survei lapangan bahwa hasil *Canopy Height Model* lebih baik jika menggunakan regresi *logarithmic* sedangkan survei lapangan sebaliknya, namun dapat dilihat juga bahwa keduanya memiliki korelasi yang erat antara umur dan ketinggian pohon.

Berdasarkan model regresi yang didapat pada grafik dari model regresi linear dan *logarithmic* menunjukkan pertumbuhan kelapa sawit pada usia awal tanam mengalami pertumbuhan signifikan dilihat dari model grafik, hal tersebut terjadi di umur 0 – 6 tahun yang dapat dilihat melalui grafik di Gambar 4.1 dan 4.2. Selanjutnya ketika memasuki umur 6 – 15 tahun, pertumbuhan tinggi yang dialami oleh kelapa sawit menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan. Pada umur kelapa sawit 16 – 22 tahun kelapa sawit memasuki fase umur tanaman tua menurut lubis (2008) dengan

tingkat pertumbuhan tinggi pohon kelapa sawit menunjukkan stabilitas atau konstan, dapat dilihat berdasarkan model regresi *logarithmic*.

Dapat disimpulkan bahwa umur kelapa sawit dengan hasil estimasi ketinggian kelapa sawit berdasarkan *Canopy Height Model* memiliki tingkat hubungan yang tinggi. Dikarenakan faktor pertumbuhan yang berbeda saat awal masa pertumbuhan umur 0 – 6 tahun dan meningkat signifikan dari usia 6 – 15 tahun, lalu pada umur 16 – 22 tahun pertumbuhan kelapa sawit konstan. Hal tersebut dapat dilihat melalui model regresi *logarithmic* (Gambar 4.2). Model regresi *logarithmic* menggambarkan bagaimana pertumbuhan kelapa sawit yang sebenarnya.

4. KESIMPULAN

Untuk mengestimasi ketinggian kelapa sawit dapat menggunakan metode pengukuran perkebunan kelapa sawit dengan foto udara drone dan mengestimasi *Canopy Height Model* (CHM) sesuai dengan masing-masing blok perkebunan kelapa sawit. Umur kelapa sawit dengan hasil estimasi ketinggian kelapa sawit berdasarkan *Canopy Height Model* memiliki tingkat hubungan yang tinggi. Dikarenakan faktor pertumbuhan yang berbeda saat awal masa pertumbuhan umur 0 – 6 tahun dan meningkat signifikan dari usia 6 – 15 tahun, lalu pada umur 16 – 22 tahun pertumbuhan kelapa sawit konstan. Model regresi *logarithmic* $y = 3.9579\ln(x) + 0.4201$ dengan nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0.94. Merupakan model yang paling sesuai dan cocok untuk digunakan pada penelitian ini, karena model *logarithmic* menggambarkan pertumbuhan kelapa sawit yang sebenarnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses penelitian ini khususnya kepada Dr. Soni Darmawan, S.T., M.T. selaku pembimbing selama penelitian ini berlangsung.

DAFTAR RUJUKAN

- Astuti I. P., Kusuma Y. W. C., Yuswandi A. Y., Harto, Sunarti S. (2021). *Fenologi perbungaan dan pembuahan serta perkecambah biji syzygium hirtum (korth.) Merr. & I. M. Perry di kebun raya bogor*. Buletin Kebun Raya 24(1): 20-27.
- Azkiya J. N., Jatmiko R. H. (2015). *Studi perbandingan dua algoritma phase unwrapping (region growing dan minimum cost flow) pada teknik Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) dalam menghasilkan Digital Surface Model (DSM)*. Jurnal Bumi Indonesia.
- Basiron, Y. (2007): *Palm oil production through sustainable plantations*, European Journal of Lipid Science and Technology, 109(4), 289–295. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200600223>
- Chong, K. L., Kanniah, K. D., Pohl, C., dan Tan, K. P. (2017): *A review of remote sensing applications for oil palm studies*, Geo-Spatial Information Science, 20(2), 184–200. <https://doi.org/10.1080/10095020.2017.1337317>
- Darmawan, S. (2021). *Model fenologi kelapa sawit berbasis penginderaan jauh (1st, 2021st ed.)*. Institut Teknologi Nasional Bandung. <https://opac.lib.itenas.ac.id/index.php?p=fstream-pdf&fid=9&bid=14207>
- Darmawan, S., Carolita, I., dan Ananta, E. (2020): *Identification of oil palm plantation on multiscatter and resolution of sar data using variety of classifications algorithm (case study: asahan district, north sumatera province)*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 500(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/500/1/012075>
- Darmawan, Soni., Carolita, I., Hernawati, R., Dirgahayu, D., Agustan., Permadi, D. A., Sari, D. K., Suryadini, W., Wiratmoko, D., dan Kunto, Y. (2021): *The potential scattering model for oil palm phenology based on spaceborne x-, c-, and l-band polarimetric sar imaging*, Journal of Sensors, 2021(6625774), 14. <https://doi.org/10.1155/2021/6625774>
- Hartato, A. (2021). Menteri Koordinator Bidang Perekonomian. *Industri kelapa sawit indonesia: menjaga keseimbangan aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan*. Dikutip dari <https://www.ekon.go.id/publikasi/detail/2921/industri-kelapa-sawit-indonesia-menjaga-keseimbangan-aspek-sosial-ekonomi-dan-lingkungan>
- Hirt, C. (2015). *Digital terrain models. Encyclopedia of geodesy (ed. E.w. grafarend)*. Berlin: Heidelberg.

- Junaedi, D. (2020): *Percepatan pembangunan perkebunan sawit berkelanjutan*, diperoleh melalui situs internet: <http://ditjenbun.pertanian.go.id>.
- Khotimah K., Sudiana E., Pratiknya H. (2022). *Dampak perubahan iklim terhadap fenologi phaseolus vulgaris I fakultas biologi universitas jenderal soedirman*. Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman.
- Li W., Niu Z., Shang R., Qin Y., Wang Li., Chen H. (2020). *High-resolution mapping of forest canopy height using machine learning by coupling icesat-2 lidar with sentinel-1, sentinel-2 and landsat-8 data*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. Volume 92.
- Lisen J., Deseilligny M. P., Bonnet S., Lejeune P. (2013). *A photogrammetric workflow for the creation of a forest canopy height model from small unmanned aerial system imagery*. Forest.
- Liu, Q., Fu, L., Chen, Q., Wang, G., Luo, P., Sharma, R. P., et al. (2020). *Analysis of the spatial differences in canopy height models from UAV LiDAR and photogrammetry*. Remote Sensing, 12(18).
- McMorrow, J. M. (1995): *Relation of oil palm spectral response to stand age*, *International Journal of Remote Sensing*, 16(16), 3203–3209. <https://doi.org/10.1080/01431169508954624>
- McMorrow, J. (2001): *Linear regression modelling for the estimation of oil palm age from Landsat TM*, *International Journal of Remote Sensing*, 22(12), 2243–2264. <https://doi.org/10.1080/01431160117188>
- Mohan M., Silva C. A., Klauberg C. Jat P., Catts G., dkk. (2017). *Individual tree detection from unmanned aerial vehicle (uav) derived canopy height model in an open canopy mixed conifer forest*. Forests.
- Novita, D. (2017). *Analisis perbandingan dtm (digital terrain model) dari lidar (light detection and ranging) dan foto udara dalam pembuatan kontur peta rupa bumi indonesia*. Tugas Akhir – RG141536, 27-30.
- Okarda, B., Carolita, I., Kartika, T., dan Komarudin, H. (2018): *Mapping of smallholder oil palm plantation and development of a growth model*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 169(1), 0–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/169/1/012074>
- Purwanto, T. H. (2015). *Digital terrain modelling*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

- Ramirez R., Seung L. R., Tae K. H. (2020). *Long-term remote monitoring of ground deformation using sentinel-1 interferometric synthetic aperture radar (InSAR): applications and insights into geotechnical engineering practices.* Applied Sciences.
- Sarkar S, Cazenave A-B, Oakes J, et al. (2020). *High-throughput measurement of peanut canopy height using digital surface models.* Plant Phenome J, 3:e20003.
- Sari, D. R. (2016). *Analisa geometrik true orthophoto data lidar.* Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Schleicher, T., Hilbert, I., Manhart, A., Hennenberg, K., Ernah, Vidya, S., dan Fakhriya, I. I. (2019): *Production of palm oil in indonesia. Country-focused commodity analysis in the context of the bio-macht project,* diperoleh melalui situs internet: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/BioMacht-palm-oil-report.pdf>, 64.
- Setiyoko, A., & Kumar, A. (2012). *Comparison analysis of interpolation techniques for dem generation using cartosat-1 stereo data.* International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences, 9(2), 78–87.
- Suryadi, Dharmawan A. H., Barus B. (2020). *Ekspansi perkebunan kelapa sawit : persoalan sosial, ekonomi dan lingkungan hidup (studi kasus kab. Pelalawan, Riau).* Jurnal Ilmu Lingkungan. Volume 18.
- Susetyo, D. B. (2016). *Perbandingan metode interpolasi terhadap hasil pembentukan digital terrain model (dtm).* FIT-ISI dan CGISE 2016, 40-44.
- Syauqani, A., Subiyanto, S., & Suprayogi, A. (2017). *Pengaruh Variasi Tinggi Terbang Menggunakan Wahana Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Quadcopter DJI Phantom 3 Pro Pada Pembuatan Peta Orthofoto.* Jurnal Geodesi Undip, 6(1).
- Yulia N. D. (2006). *Kajian fenologi fase pembungaan dan pembuahan paphiopedilum glaucophyllum j.j.sm. Var. Glaucophyllum.* Kebun Raya Purwodadi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).