

DETEKSI POHON PINUS PADA CITRA UDARA MENGUNAKAN METODE *LOCAL MAXIMA*

Muhammad Risza Purnomo, Iksal Yanuarsyah, Sahid Agustian Hudjimartsu

Teknik Informatika, Universitas Ibn Khaldun Bogor

Jl. Sholeh Iskandar, RT01/RW.10, Kedungbadak, Kec. Tanah Sareal, Kota Bogor, Jawa Barat 16162, Indonesia
muhammadrisza1626@gmail.com

ABSTRAK

Hutan pinus merupakan salah satu hutan produksi yang dikelola oleh Perum Perhutani. Sukabumi merupakan salah satu kawasan hutan pinus di Jawa Barat yang berada di bawah lingkup Perum Perhutani. Berdasarkan kesesuaian kawasan hutan Kesatuan Pemangkuan Hutan (KPH) yang bersumber dari Perhutani, wilayah Sukabumi memiliki luas hutan pinus sebesar 45.946,55 Ha. Untuk meningkatkan produktivitas hutan pinus perlu dilakukan penajaman sumber daya, salah satunya dengan melakukan perhitungan pohon pinus. Perhitungan pohon pinus akan membutuhkan waktu yang lama jika perhitungan jumlah pohon pinus dilakukan secara konvensional. Oleh karena itu, diperlukan suatu solusi untuk mempermudah dan mempersingkat proses perhitungan pohon pinus. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil analisis otomatisasi perhitungan jumlah pohon dari citra udara dengan metode *local maxima* dengan menggunakan 2 parameter, yaitu tinggi dan ukuran jendela. Sampel yang dideteksi adalah citra udara pohon pinus dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh yaitu *drone*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode *local maxima* diperoleh nilai rata-rata *comission error* sebesar 0.07, nilai rata-rata *omission error* sebesar 0.14 dan akurasi secara keseluruhan sebesar 0.81.

Kata kunci : Pohon pinus, Penginderaan jauh, Citra udara, Drone, *Local maxima*.

1. PENDAHULUAN

Pohon pinus merupakan salah satu tanaman yang memiliki ciri khas daun yang pipih seperti jarum [1]. Pohon pinus memiliki tujuh bagian, yang terdiri dari akar, batang, tangkai, daun, bunga, buah, dan biji, yang masing-masing memiliki ciri khas dan fungsi yang berbeda dalam satu tanaman [2].

Hutan pinus adalah hutan yang seluruhnya didominasi oleh pohon pinus. Hutan pinus memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat, antara lain potensi kayu, getah, dan bibit pohon pinus [3]. Perum Perhutani merupakan badan usaha milik negara yang berbentuk perusahaan umum yang memiliki kewenangan untuk mengelola hutan negara di Provinsi Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Provinsi Banten [4] [5]. Hutan Pinus merupakan salah satu hutan produksi yang dikelola oleh Perum Perhutani. Bersumber dari Perhutani divisi regional Jawa Barat dan Banten, luas hutan pinus yang dikelola oleh Perum Perhutani meliputi area seluas 334.920,26 ha [6].

Sukabumi merupakan salah satu daerah yang memiliki hutan pinus di Jawa Barat yang berada di bawah cakupan perusahaan umum kehutanan negara. Berdasarkan kesesuaian kawasan hutan dari kesatuan pemangkuan hutan. Bersumber dari Perhutani, wilayah Sukabumi memiliki luas hutan pinus sebesar 45.946,55 ha [7]. Selain kayu, getah pinus merupakan sumber pendapatan utama Perhutani. Oleh karena itu, pengumpulan data yang tepat dan menyeluruh terkait kuantitas pohon pinus menjadi sangat penting baik dalam upaya peningkatan produktivitas maupun dalam perencanaan produksi.

Pengelolaan kawasan hutan pinus penting dilakukan agar kawasan hutan pinus tetap lestari dan

juga meningkatkan produktivitas pohon pinus itu sendiri. Untuk meningkatkan produktivitas hutan pinus, maka perlu dilakukan penajaman sumber daya, salah satunya adalah perhitungan pohon pinus. Dalam melakukan perhitungan pohon pinus akan membutuhkan waktu yang cukup lama jika perhitungan jumlah pohon pinus dilakukan secara konvensional, seperti digitalisasi data citra udara secara manual, oleh karena itu diperlukan solusi untuk mempermudah dan mempersingkat proses perhitungan pohon pinus.

Teknologi penginderaan jauh merupakan salah satu teknologi yang paling efektif dalam sektor perkebunan dan kehutanan. Penginderaan jauh merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memperoleh informasi mengenai objek yang akan diteliti tanpa melakukan kontak langsung dengan objek tersebut [8] [9]. Dalam teknologi penginderaan jauh, alat yang digunakan untuk memperoleh citra udara kawasan hutan pinus adalah *drone*. *Drone* adalah pesawat tanpa awak yang dioperasikan secara otomatis dan dikendalikan dari jarak jauh [10] [11] [12] [13] [14] [15]. *Local maxima* merupakan metode deteksi objek yang mengacu pada indikasi puncak suatu objek. Pada penelitian ini, metode *local maxima* digunakan untuk mendeteksi pohon berdasarkan puncak atau tajuknya [16].

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Kharisma Srinarta *et.al* pada tahun 2022 yang berjudul “Analisis Perhitungan Jumlah Pohon Kelapa Sawit Berdasarkan Model Ketinggian Kanopi dan Algoritma *Local maxima*” memperoleh hasil akurasi keseluruhan yang tinggi untuk 2 kelas. Kelas optimal memiliki rata-rata akurasi keseluruhan sebesar 0.943 untuk SWS 3x3

dan 0.926 untuk SWS 5x5. Pada kelas non-optimal (sedang), rata-rata akurasi keseluruhan adalah 0.845 untuk SWS 3x3 dan 0.852 untuk SWS 5x5. Pada kelas non-optimal (jarang) didapatkan akurasi keseluruhan yang rendah yaitu 0.670 untuk SWS 3x3 dan 0.706 untuk SWS 5x5 [17].

Pada penelitian ini, metode *local maxima* digunakan dalam mendeteksi pohon pinus di kawasan hutan pinus, dan juga dilakukan uji akurasi dengan menggunakan dua parameter, yaitu tinggi dan ukuran jendela. Hasil penelitian perhitungan pohon pinus dapat digunakan sebagai acuan oleh pihak kehutanan atau unit pengelola kawasan hutan pinus. Diharapkan penelitiannya dapat memberikan solusi perhitungan pohon pinus dan meningkatkan produktivitasnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA.

2.1. Pohon Pinus

Pohon Pinus merupakan tumbuhan yang termasuk kedalam jenis *coniferous evergreen*, *coniferous evergreen* mempunyai arti jenis pohon yang membentuk kerucut. Pohon pinus memiliki akar tunggang, memiliki batang kayu yang keras dan berbentuk seperti piramida. Daun pada tanaman pinus termasuk ke dalam daun majemuk, pada daun pinus memiliki panjang daun sekitar 10-20 cm dan pangkal daun berbentuk rombang atau rata serta memiliki ranting daun yang berukuran pendek dan berbentuk menyerupai jarum. Pohon pinus juga memiliki bunga yang pada umumnya berwarna kuning ketika masih muda dan berwarna coklat saat tua, selain itu pinus juga memiliki buah yang berbentuk kerucut atau berbentuk silinder yang mempunyai ukuran panjang 5-10 cm dan lebar 2-4 cm [18].

2.2. Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh (*remote sensing*) merupakan cara dalam memperoleh informasi atau data mengenai keadaan suatu benda atau objek, wilayah dan fenomena tanpa harus kontak langsung dengan obyek, wilayah dan fenomena yang akan dikaji. Penginderaan jauh dapat dipergunakan untuk peninjauan bencana selama kejadian bencana terjadi, rekonstruksi wilayah dan juga dapat digunakan sebagai pendukung dalam upaya pencegahan dini bencana dan pemetaan spasial [19].

2.3. Drone

Drone merupakan sebuah pesawat tanpa awak yang dapat dikendalikan jarak jauh oleh pengguna menggunakan sebuah *device* atau perangkat yang tersambung dengan media transmisi gelombang radio yang telah diprogram sebelumnya. *Drone* juga dapat dikendalikan melalui perangkat *smartphone* ataupun *joystick* [20].

2.4. Citra Udara

Citra udara merupakan gambar atau citra suatu wilayah atau daerah yang diambil dari udara menggunakan transportasi udara seperti pesawat,

balon udara atau *drone* dengan ketinggian yang telah diatur. Berdasarkan jenisnya citra udara atau foto udara dibedakan menjadi dua yaitu citra udara tegak dan citra udara miring. Citra udara tegak didapatkan dari hasil pengambilan gambar dimana posisi sumbu kamera berada pada posisi tegak lurus dari permukaan bumi. Sedangkan citra udara miring atau foto udara miring merupakan gambar yang didapatkan dari hasil pengambilan gambar dimana posisi sumbu kamera berada dalam posisi miring [21].

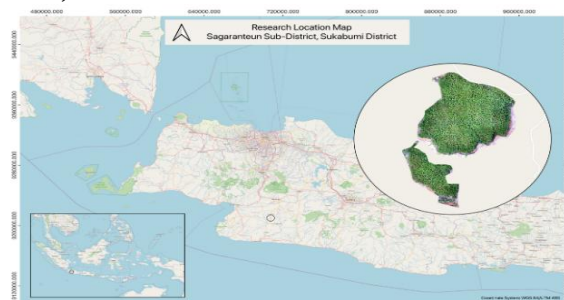
2.5. Local maxima

Local maxima merupakan metode pendeteksian yang mengacu pada indikasi nilai ketinggian puncak atau *peak* sebuah objek. Pada penelitian ini metode *local maxima* dipergunakan untuk mendeteksi pohon berdasarkan puncak atau kanopi. Pada metode ini digunakan data *raster Canopy Height Model (CHM)* dikarenakan nilai ketinggian didapatkan dari *Canopy Height Model (CHM)*, nilai ketinggian tersebut dijadikan rujukan pada metode ini dalam mendeteksi individu pohon [22].

3. METODE PENELITIAN

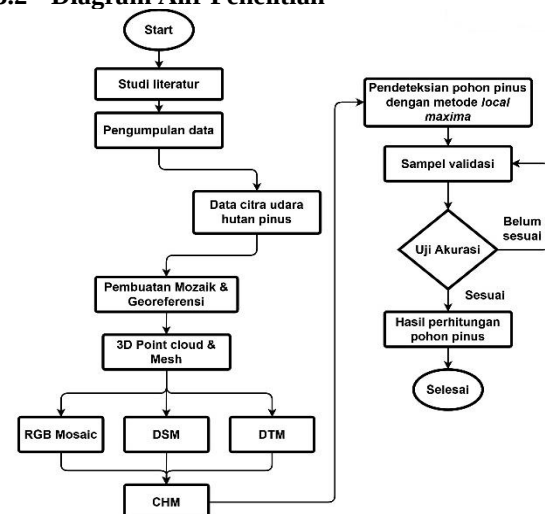
3.1 Tempat dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan dari bulan Maret hingga Desember 2022. Penelitian dilakukan di hutan pinus di Kecamatan Sagaranteun, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat, Indonesia



Gambar 1. Lokasi penelitian

3.2 Diagram Alir Penelitian



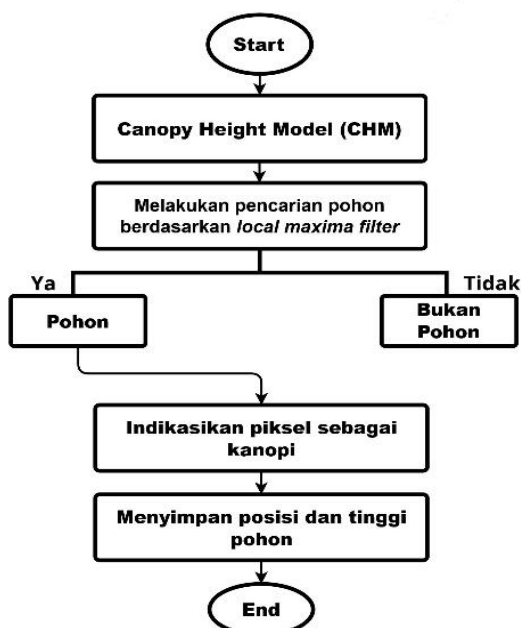
Gambar 2. Diagram alir penelitian

Rangkaian tahapan penelitian yang telah dibuat untuk mendukung upaya penelitian ini digambarkan dalam diagram alir yang disediakan di bawah ini. Tahapan penelitian ini berfungsi sebagai kerangka kerja strategis untuk membantu pelaksanaan proses penelitian dengan cara yang terorganisir dengan baik dan sistematis.

3.3 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, metode *local maxima* digunakan untuk mendeteksi pohon berdasarkan bagian atas atau tajuknya. Nilai *local maxima* pada metode ini diperoleh dari model ketinggian tajuk atau yang disebut juga dengan model tinggi tajuk. Nilai tinggi ini digunakan sebagai acuan dalam metode ini untuk menemukan individu pohon [23] [24] [25] [26] [27] [28] [29].

Pada metode *local maxima*, pendekatan terhadap objek menggunakan jendela pencarian yang disebut dengan *windows size*. *Windows size* sendiri mendeteksi masing-masing pohon sesuai dengan ukuran yang telah diatur sebelumnya pada fungsi. semakin besar *windows size* atau jendela pencarian, maka akan semakin banyak pohon yang terdeteksi karena pohon yang kecil tidak tertutupi oleh pohon yang besar, begitu juga sebaliknya, jika *windows size* atau jendela pencarian kecil, maka akan banyak pohon yang terdeteksi [30] [31][32].



Gambar 3. Metode *local maxima*

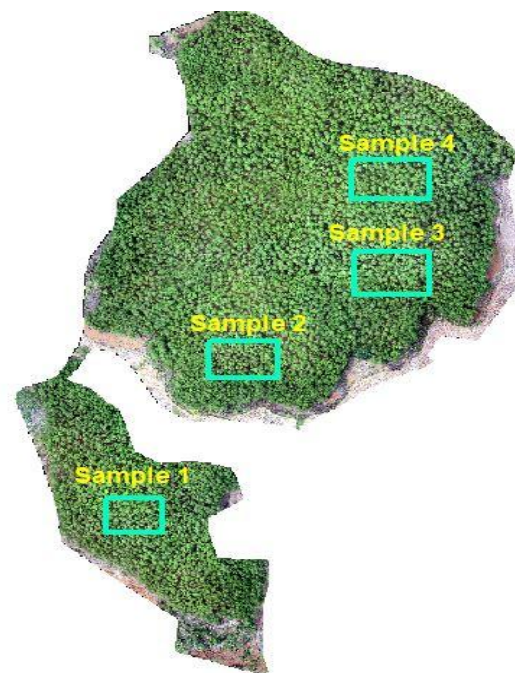
Keakuratan penghitungan pohon dinilai dengan membandingkan hasil penghitungan pohon yang telah dilakukan sebelumnya dengan cara digitasi manual dengan hasil deteksi pohon secara otomatis menggunakan metode *local maxima*. Untuk setiap pohon yang teridentifikasi, satu pohon yang terdeteksi memiliki satu titik pada tajuk pohon. *Comission error*

adalah kesalahan klasifikasi dimana titik yang terdeteksi mengidentifikasi objek pohon di luar tajuk pohon, sedangkan *omission error* adalah kesalahan klasifikasi dimana titik yang terdeteksi tidak ditemukan di dalam tajuk pohon dan berada di luar tajuk pohon [33] [34] [35] [36].

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Area Sampel

Dalam menganalisis perhitungan pohon pinus dengan menggunakan metode *local maxima*, para peneliti membaginya ke dalam empat sampel. Berikut ini adalah sebaran empat sampel di kawasan hutan pinus Sagaranteun, Sukabumi, Jawa Barat.



Gambar 4. Area penelitian pada hutan pinus

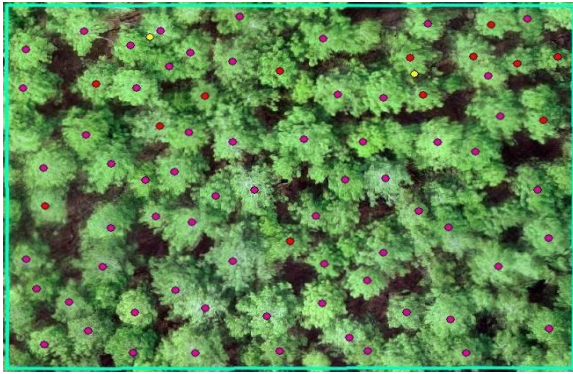
4.2 Analisis Hasil Deteksi Otomatis

Dalam menganalisa hasil deteksi, peneliti membagi menjadi empat sampel. Tahapan ini dilakukan untuk mengetahui hasil deteksi pohon pinus dengan menggunakan metode *local maxima* pada masing-masing sampel. Pada hasil deteksi, terdapat tiga indikasi warna untuk titik sampel, yaitu:

4.3 Sampel 1

Pada area sampel 1, diperoleh informasi hasil analisis sebagai berikut:

- Hasil deteksi secara otomatis menghasilkan 67 titik pohon yang terdeteksi dari jumlah referensi yang diberikan sebanyak 78 titik pohon.
- Pada area ini terdapat 2 *error* lebih (titik di luar area tajuk pohon) dan 13 *error* kurang (pohon tidak terdeteksi).
- Jumlah deteksi pohon otomatis yang valid adalah 65 titik pohon, karena dari 67 titik pohon yang terdeteksi terdapat lebih dari 2 titik *error* lebih.



Gambar 5. Area sampel 1: deteksi pohon yang valid (titik ungu), tidak terdeteksi (titik merah), dan terdeteksi berlebihan (titik kuning).

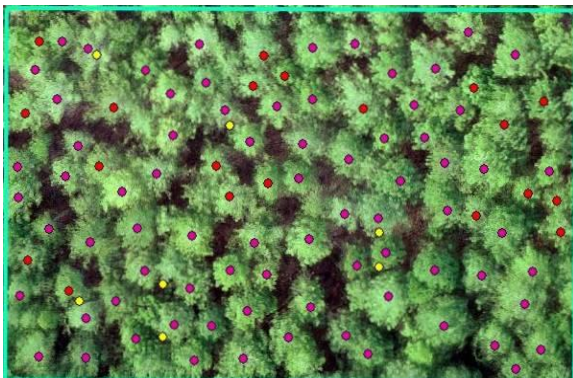


Gambar 7. Area sampel 3: deteksi pohon yang valid (titik ungu), tidak terdeteksi (titik merah), dan terdeteksi berlebihan (titik kuning).

4.4 Sampel 2

Pada area sampel 2, diperoleh informasi hasil analisis sebagai berikut:

- Hasil deteksi secara otomatis menghasilkan 83 titik pohon yang terdeteksi dari jumlah referensi yang diberikan sebanyak 96 titik pohon.
- Pada area ini terdapat 7 *error* lebih (titik di luar area tajuk pohon) dan 20 *error* kurang (pohon tidak terdeteksi).
- Jumlah deteksi pohon otomatis yang valid adalah 76 titik pohon, karena dari 83 titik pohon yang terdeteksi terdapat lebih dari 7 titik *error* lebih.



Gambar 6. Area sampel 2: deteksi pohon yang valid (titik ungu), tidak terdeteksi (titik merah), dan terdeteksi berlebihan (titik kuning).

4.5 Sampel 3

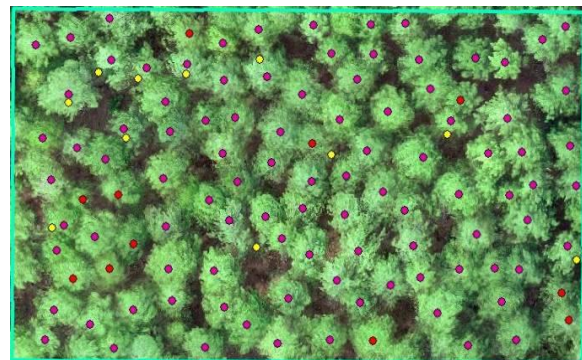
Pada area sampel 3, diperoleh informasi hasil analisis sebagai berikut:

- Hasil deteksi secara otomatis menghasilkan 114 titik pohon yang terdeteksi dari jumlah referensi yang diberikan sebanyak 116 titik pohon.
- Pada area ini terdapat 6 *error* lebih (titik di luar area tajuk pohon) dan 8 *error* kurang (pohon tidak terdeteksi).
- Jumlah deteksi pohon otomatis yang valid adalah 108 titik pohon, karena dari 114 titik pohon yang terdeteksi terdapat lebih dari 6 titik *error* lebih.

4.6 Sampel 4

Pada area sampel 4, diperoleh informasi hasil analisis sebagai berikut:

- Hasil deteksi secara otomatis menghasilkan 106 titik pohon yang terdeteksi dari jumlah referensi yang diberikan sebanyak 109 titik pohon.
- Pada area ini terdapat 11 *error* lebih (titik di luar area tajuk pohon) dan 14 *error* kurang (pohon tidak terdeteksi).
- Jumlah deteksi pohon otomatis yang valid adalah 76 titik pohon, karena dari 83 titik pohon yang terdeteksi terdapat lebih dari 7 titik *error* lebih.



Gambar 8. Area sampel 4: deteksi pohon yang valid (titik ungu), tidak terdeteksi (titik merah), dan terdeteksi berlebihan (titik kuning).

4.7 Analisis Akurasi Deteksi Pohon Otomatis

Tahap analisis akurasi deteksi pohon dilakukan untuk mengetahui nilai *comission error*, *omission error* dan nilai akurasi pada setiap sampel. Pada tahap ini, kita dapat mengetahui akurasi dari penggunaan metode *local maxima* untuk mendeteksi pohon pinus secara otomatis. Pada tabel di bawah ini dilampirkan hasil akurasi setiap sampel dengan menggunakan rumus perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Comission Error} = \frac{\text{More Errors}}{\text{More Errors} + \text{Correct Less Errors}} \quad (1)$$

$$\text{Omission Error} = \frac{\text{Less Errors} + \text{Correct}}{\text{Less Errors} + \text{Correct}} \quad (2)$$

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{Correct}}{\text{References} + \text{More Errors}} \quad (3)$$

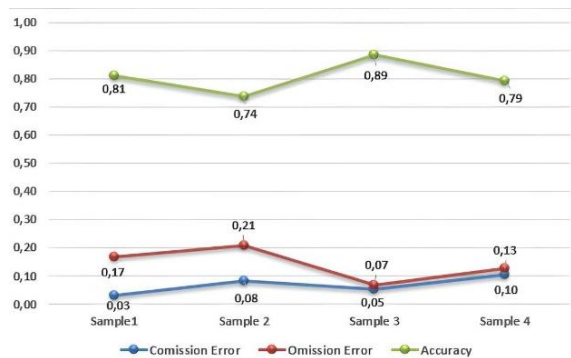
Tabel 1. Analisis akurasi deteksi pohon otomatis

Area	Referensi	Hasil deteksi	Error Lebih (<i>More Errors</i>)	Error kurang (<i>Less Errors</i>)	Deteksi benar (<i>Correct</i>)
Sample 1	78	67	2	13	65
Sample 2	96	83	7	20	76
Sample 3	116	114	6	8	108
Sample 4	109	106	11	14	95

Tabel 2. Analisis akurasi deteksi pohon otomatis

Area	<i>Comission error</i>	<i>Omission Error</i>	<i>Accuracy</i>
Sample 1	0.03	0.17	0.81
Sample 2	0.08	0.21	0.74
Sample 3	0.05	0.07	0.89
Sample 4	0.10	0.13	0.79
	0.07	0.14	0.81

Grafik yang ditampilkan memberikan gambaran visual dari hasil analisis menyeluruh yang mengevaluasi *comission error*, *omission error*, dan akurasi sehingga memungkinkan pemahaman yang lebih baik atas kesimpulan penelitian ini.



Gambar 9. Grafik hasil analisis akurasi

Analisis menunjukkan tingkat *comission error* yang unik di empat sampel terpisah ketika menggunakan metode *local maxima*. Secara khusus, sampel 1 menunjukkan *comission error* sebesar 0,05, tetapi sampel 2 menunjukkan angka yang sedikit lebih tinggi, yaitu 0,08. Nilai *comission error* untuk sampel 3 dan 4 adalah sama, yaitu 0,05 dan 0,10. Sampel 4 adalah yang paling prominent di antara sampel-sampel yang lain dengan tingkat *comission error* tertinggi, yaitu 0,10. Perbedaan dalam *comission error* ini menggambarkan pentingnya variasi spesifik sampel dan menekankan perlunya strategi analisis yang disesuaikan untuk menangani ketidakkonsistenan dalam kumpulan data secara efisien.

Nilai *omission error* menjadi parameter yang menunjukkan perbedaan yang dapat diamati antara empat sampel yang berbeda. *omission error* pada sampel 1 adalah 0,17, tetapi kesalahan penghilangan pada sampel 2 sedikit lebih besar, yaitu 0,21. Sebagai perbandingan, sampel 3 menunjukkan kesalahan kelalaian yang secara signifikan lebih rendah yaitu 0,07, sementara sampel 4 memiliki nilai tengah 0,13. Sampel 2 adalah yang paling prominent di antara

sampel-sampel yang lain dengan tingkat *omission error* tertinggi, yaitu 0,21.

Dari hasil penelitian, pada empat sampel memiliki tingkat akurasi yang berbeda. Sampel 1 menunjukkan nilai akurasi 0,81. Sampel 2 memiliki nilai akurasi yang sedikit lebih rendah yaitu 0,74. Sampel 3 memiliki nilai akurasi yang sangat baik yaitu 0,89. Sampel 4 memiliki nilai akurasi 0,79. Rata-rata *omission error* dari empat sampel adalah 0,14. Untuk rata-rata *comission error* dari empat sampel adalah 0,07. Dari empat sampel ini telah didapatkan rata-rata tingkat akurasi yaitu 0,81.

Penggunaan metode *local maxima* ini cocok untuk komputasi dan identifikasi pohon pinus. Berdasarkan hasil penelitian, metode *local maxima* ini menunjukkan tingkat efektivitas dalam mengidentifikasi pohon pinus secara akurat dan dapat diandalkan dalam dataset yang menunjukkan sebagai cara yang berguna untuk proyek pemantauan kehutanan dan lingkungan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis secara keseluruhan, nilai rata-rata *omission error* adalah 0,14, sedangkan nilai rata-rata *comission error* adalah 0,07. Hasil ini menunjukkan bahwa ukuran *omission error* terus lebih besar daripada ukuran *comission error* dalam model ini. Ketidaksesuaian ini mengindikasikan adanya kesalahan berupa beberapa individu pohon yang tidak terdeteksi, sehingga perlu dilakukan optimasi dan penyempurnaan dalam proses deteksi untuk mengurangi terjadinya pohon yang tidak terdeteksi. Metode *local maxima* efektif dalam menghitung dan mendeteksi pohon pinus, dengan tingkat akurasi yang cukup baik. Ketika memperhitungkan sampel lengkap, pendekatan ini menghasilkan tingkat akurasi keseluruhan yang luar biasa yaitu 0,81, yang mengindikasikan bahwa pendekatan ini dapat secara akurat dan berhasil mengidentifikasi pohon pinus.

Saran untuk peneliti selanjutnya diharapkan metode ini bisa digunakan dengan mencoba objek lain selain pohon pinus dan mecoba di lokasi yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Du, J. H. Ran, Y. Y. Feng, and X. Q. Wang, "The flattened and needlelike leaves of the pine family (Pinaceae) share a conserved genetic network for adaxial-abaxial polarity but have diverged for photosynthetic adaptation," *BMC Evol. Biol.*, vol. 20, no. 1, pp. 1–12, 2020, doi: 10.1186/s12862-020-01694-5.
- [2] M. Linggi, S. Ulum, and D. Darwis, "Fabrikasi dan Karakterisasi Briket Limbah Buah Pinus dengan Perekat Limbah Kulit Pohon Pinus," *Gravitasi*, vol. 18, no. 2, pp. 128–136, 2020, doi: 10.22487/gravitasi.v18i2.15076.
- [3] T. Tajuddin and D. A. Suryanto, "Sebaran Potensi Hutan Pinus Dan Perannya Terhadap Perbaikan Kondisi Hutan Di Provinsi Sulawesi Selatan," *Wahana For. J. Kehutan.*, vol. 17, no. 1, pp. 1–12, 2022, doi: 10.31849/forestra.v17i1.8448.
- [4] F. Azzahra, "Status Hak Atas Tanah Penduduk Desa dalam Kawasan Hutan Perum Perhutani," *J. Ilm. Pendidik. Pancasila dan Kewarganegaraan*, vol. 4, no. 1, p. 48, 2019, doi: 10.17977/um019v4i1p48-60.
- [5] S. K. Christmas, M. Hardiyanti, and S. A. Prawira, "Role in the Forest Village Community-Based Forest Management Sustainable Development," *J. Judic. Rev.*, vol. 23, no. 1, p. 115, 2021, doi: 10.37253/jjr.v23i1.4387.
- [6] Perhutani, "Perhutani." <https://www.perhutani.co.id/> (accessed Jan. 25, 2023).
- [7] A. Setiawan, "KPH Sukabumi," *Perhutani*. <https://www.perhutani.co.id/tentang-kami/struktur-organisasi/divisi-regional/banten/kph-sukabumi/> (accessed Jan. 25, 2023).
- [8] A. M. Lechner, G. M. Foody, and D. S. Boyd, "Applications in Remote Sensing to Forest Ecology and Management," *One Earth*, vol. 2, no. 5, pp. 405–412, 2020, doi: 10.1016/j.oneear.2020.05.001.
- [9] A. Ahmad, K. A. M. Fauzey, M. M. Abdullah, S. F. Sufahani, M. Y. A. Sari, and A. R. M. Amin, "Noise and Restoration of UAV Remote Sensing Images," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 11, no. 12, pp. 175–183, 2020, doi: 10.14569/IJACSA.2020.0111222.
- [10] B. S. Sugiarto, A. Mulyani, and H. Nurdin, "Sistem Informasi Pesawat Tanpa Awak (Drone) Berbasis Aplikasi Android," *J. Inf. Syst. Informatics Comput.*, vol. 4, no. 2, p. 9, 2020, doi: 10.52362/jisicom.v4i2.314.
- [11] M. M. Islami, T. Rusolono, Y. Setiawan, A. Rahadian, S. A. Hudjimartsu, and L. B. Prasetyo, "Height, Diameter and Tree Canopy Cover Estimation Based on Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery With Various Acquisition Height," *Media Konserv.*, vol. 26, no. 1, pp. 17–27, 2021, doi: 10.29244/medkon.26.1.17-27.
- [12] M. Syifa, S. J. Park, and C. W. Lee, "Detection of the Pine Wilt Disease Tree Candidates for Drone Remote Sensing Using Artificial Intelligence Techniques," *Engineering*, vol. 6, no. 8, pp. 919–926, 2020, doi: 10.1016/j.eng.2020.07.001.
- [13] S. M. S. Mohd Daud *et al.*, "Applications of drone in disaster management: A scoping review," *Sci. Justice*, vol. 62, no. 1, pp. 30–42, 2022, doi: 10.1016/j.scijus.2021.11.002.
- [14] M. Yandouzi *et al.*, "Investigation of Combining Deep Learning Object Recognition with Drones for Forest Fire Detection and Monitoring," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 14, no. 3, pp. 377–384, 2023, doi: 10.14569/IJACSA.2023.0140342.
- [15] P. D. P. Adi and A. Kitagawa, "Performance evaluation of LoRa ES920LR 920 MHz on the development board," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 11, no. 6, pp. 12–19, 2020, doi: 10.14569/IJACSA.2020.0110602.
- [16] B. Li *et al.*, "Above-ground biomass estimation and yield prediction in potato by using UAV-based RGB and hyperspectral imaging," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 162, no. May 2019, pp. 161–172, 2020, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2020.02.013.
- [17] K. Srinarta, Y. Prasetyo, and F. Hadi, "Analisis Perhitungan Jumlah Pohon Kelapa Sawit Berdasarkan Algoritma Canopy Height Model (CHM) Dan Local Maxima (LM)," *J. Geod. UNDIP*, vol. 11, no. 1, pp. 51–60, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/32315>
- [18] F. Said and H. Herawati, "Pemanfaatan Daun Pinus Jarum Untuk Dijadikan Briket Biocoal Sebagai Energi Listrik Alternatif," *Elektr. Borneo*, vol. 7, no. 2, pp. 19–24, 2021, doi: 10.35334/jeb.v7i2.2138.
- [19] D. N. Sari, A. A. Wibowo, N. L. Anggani, and U. E. I. Kiat, "Peningkatan Kapasitas Pengetahuan dan Keterampilan Siswa dalam Bidang Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi untuk Siswa SMA Inklusi," *I-Com Indones. Community J.*, vol. 2, no. 2, pp. 362–371, 2022, doi: 10.33379/icom.v2i2.1569.
- [20] R. Basyuni, Mohammad; Bimantara Yuntha; Amalia, *Mengenal Drone Dalam Sistem Informasi Geografis Dan Aplikasinya Dalam Penelitian Kehutanan*. USU Press, 2021.
- [21] M. A. Basyid and I. R. Eja, "Kajian Perhitungan Pohon Kelapa Sawit Menggunakan Foto Udara dan Citra Satelit Pleiades dengan Metode OBIA (Object Based Image Analysis)," *Semin. Nas. dan Disem. Tugas Akhir 2021 Kaji*, pp. 518–524, 2021.
- [22] H. Wu *et al.*, "Urban Treetop Detection and Tree-Height Estimation from Unmanned-Aerial-Vehicle Images," *Remote Sens.*, vol. 15, no. 15, 2023, doi: 10.3390/rs15153779.

- [23] L. Windrim, A. J. Carnegie, M. Webster, and M. Bryson, "Tree detection and health monitoring in multispectral aerial imagery and photogrammetric pointclouds using machine learning," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 13, pp. 2554–2572, 2020, doi: 10.1109/JSTARS.2020.2995391.
- [24] J. Yang, Z. Kang, S. Cheng, Z. Yang, and P. H. Akwensi, "An Individual Tree Segmentation Method Based on Watershed Algorithm and Three-Dimensional Spatial Distribution Analysis from Airborne LiDAR Point Clouds," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 13, pp. 1055–1067, 2020, doi: 10.1109/JSTARS.2020.2979369.
- [25] C. Spadavecchia, E. Belcore, M. Piras, and M. Kobal, "An Automatic Individual Tree 3D Change Detection Method for Allometric Parameters Estimation in Mixed Uneven-Aged Forest Stands from ALS Data," *Remote Sens.*, vol. 14, no. 18, 2022, doi: 10.3390/rs14184666.
- [26] Z. Azizi and M. Miraki, "Individual urban trees detection based on point clouds derived from UAV-RGB imagery and local maxima algorithm, a case study of Fateh Garden, Iran," *Environ. Dev. Sustain.*, no. 0123456789, 2022, doi: 10.1007/s10668-022-02820-7.
- [27] O. B. H. Gonroudobou, L. H. Silvestre, Y. Diez, H. T. Nguyen, and M. L. L. Caceres, "Treetop Detection in Mountainous Forests Using UAV Terrain Awareness Function," *Computation*, vol. 10, no. 6, pp. 1–14, 2022, doi: 10.3390/computation10060090.
- [28] H. Liu, P. Dong, C. Wu, P. Wang, and M. Fang, "Individual tree identification using a new cluster-based approach with discrete-return airborne LiDAR data," *Remote Sens. Environ.*, vol. 258, no. February, 2021, doi: 10.1016/j.rse.2021.112382.
- [29] A. S. Alon, "Tree Extraction of Airborne LiDAR Data Based on Coordinates of Deep Learning Object Detection from Orthophoto over Complex Mangrove Forest," *Int. J. Emerg. Trends Eng. Res.*, vol. 8, no. 5, pp. 2107–2111, 2020, doi: 10.30534/ijeter/2020 /103852020.
- [30] Irlan, M. B. Saleh, L. B. Prasetyo, and Y. Setiawan, "Evaluation of tree detection and segmentation algorithms in peat swamp forest based on LiDAR point clouds data," *J. Manaj. Hutan Trop.*, vol. 26, no. 2, pp. 123–132, 2020, doi: 10.7226/JTFM.26.2.123.
- [31] S. Puliti, J. Breidenbach, and R. Astrup, "Estimation of forest growing stock volume with UAV laser scanning data: Can it be done without field data?," *Remote Sens.*, vol. 12, no. 8, 2020, doi: 10.3390/RS12081245.
- [32] M. Lisiewicz, A. Kamińska, B. Kraszewski, and K. Stereńczak, "Correcting the Results of CHM-Based Individual Tree Detection Algorithms to Improve Their Accuracy and Reliability," *Remote Sens.*, vol. 14, no. 8, 2022, doi: 10.3390/rs14081822.
- [33] H. Li and W. Yang, "Application of High-Resolution Remote Sensing Image for Individual Tree Identification of *Pinus sylvestris* and *Pinus tabulaeformis*," *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/7672762.
- [34] L. Comesaña-Cebral, J. Martínez-Sánchez, H. Lorenzo, and P. Arias, "Individual tree segmentation method based on mobile backpack LiDAR point clouds," *Sensors*, vol. 21, no. 18, 2021, doi: 10.3390/s21186007.
- [35] Z. Hui, Z. Li, S. Jin, B. Liu, and D. Li, "Street Tree Extraction and Segmentation from Mobile LiDAR Point Clouds Based on Spatial Geometric Features of Object Primitives," *Forests*, vol. 13, no. 8, 2022, doi: 10.3390/f13081245.
- [36] I. H. Y. Kwong and T. Fung, "Tree height mapping and crown delineation using LiDAR, large format aerial photographs, and unmanned aerial vehicle photogrammetry in subtropical urban forest," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 41, no. 14, pp. 5228–5256, 2020, doi: 10.1080/01431161.2020.1731002.