

## Analisis Akurasi Deteksi Individu Pohon Pinus Menggunakan *Local Maxima* pada Citra *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) Resolusi Tinggi

Siti Robiah<sup>\*1</sup>, Fety Fatimah<sup>2</sup>, Sahid Agustian Hudjimartsu<sup>3</sup>, Nurdin Sulistyono<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor, Indonesia

<sup>4</sup>Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Sumatera Utara, Indonesia

Email: <sup>1</sup>sitirobiahhringtonaa@gmail.com, <sup>2</sup>fety.fatimah@uika-bogor.ac.id, <sup>3</sup>shudjimartsu@uika-bogor.ac.id, <sup>4</sup>nurdinsulistyono@usu.ac.id

### Abstrak

Penelitian ini dilakukan di Desa Sabaganding, Kecamatan Jaya, Kabupaten Simalungun, Provinsi Sumatera Utara, yang merupakan salah satu Kawasan hutan pinus dengan cakupan wilayah yang luas. Perhitungan jumlah pohon pinus secara manual diarea tersebut tidak efisien dan memerlukan waktu yang sangat lama. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menganalisis otomatisasi perhitungan jumlah pohon pinus menggunakan citra udara dari *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan Metode *local Maxima* pada *Canopy Height Model* (CHM). Proses analisis mencakup pembuatan mosaik citra, pengolahan CHM, penerapan Ratio Green, serta deteksi titik puncak pohon. Evaluasi dilakukan pada tiga kelas minimum pohon, yaitu 3 meter, 4 meter, dan 5 meter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelas ketinggian minimum 4 meter memberikan hasil paling optimal, dengan nilai rata rata *Comission Error* 0,07, *Ommission Error* 0,10, dan *Overall Accuracy* 0,76. Metode *local maxima* terbukti efektif dalam mendeteksi dan menghitung jumlah pohon pinus secara otomatis pada wilayah penelitian.

**Kata kunci:** UAV, Local Maxima, Pinus, Canopy Height Model, Ratio Green, Akurasi

### Abstract

This research was conducted in Sabaganding Village, Jaya Subdis-trict, Simalungun Regency, North Sumatra Province, which is one of the pine forest areas with a wide coverage. Manually counting pine trees in this area is inefficient and requires a significant amount of time. Therefore, this study aims to analyze the automation of pine tree counting using aerial imagery from an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and the local maxima method applied to the Canopy Height Model (CHM). The analysis process includes image mosaicking, CHM processing, application of the Green Ratio, and detection of tree apex points. Evaluation was conducted on three minimum tree height clas-ses: 3 meters, 4 meters, and 5 meters. The results show that the 4-meter minimum height class provides the most optimal outcome, with an av-erage Comission Error of 0.07, Omission Error of 0.10, and Overall Accuracy of 0.76. The local maxima method has proven effective in automatically detecting and counting pine trees in the study area.

**Keywords:** UAV, Local Maxima, Pine, Canopy Height Model Ratio Green, Accuracy

*This work is an open access article and licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)*



## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan kekayaan sumber daya alam yang melimpah, termasuk hutan yang tersebar luas di berbagai wilayah, salah satunya adalah hutan pinus yang memiliki nilai ekonomi dan ekologis yang tinggi. Pinus merkusi, sebagai salah satu jenis pohon pinus yang banyak tumbuh di Indonesia, memiliki berbagai manfaat, mulai dari bahan baku pembuatan kertas, korek api, hingga getahnya yang digunakan sebagai pengencer cat [1]. Selain dari aspek ekonomi, pinus juga berperan penting dalam konservasi lingkungan dan penyerapan karbon [2].

Pohon pinus memiliki karakteristik morfologis yang khas, seperti daun yang berbentuk jarum dan batang yang menjulang tinggi, dengan tinggi mencapai 20–40 meter serta cabang bebas sekitar 2–23 meter. Jenis tanaman ini tidak membutuhkan persyaratan khusus untuk tumbuh dan banyak dijumpai di kawasan tropis, termasuk di daerah Sumatera Utara, khususnya di Kabupaten Simalungun [3]. Pemantauan dan perhitungan jumlah pohon pinus menjadi penting untuk mendukung kegiatan pengelolaan hutan secara berkelanjutan [4].

Teknologi penginderaan jauh telah banyak dimanfaatkan dalam bidang kehutanan untuk mendeteksi, memantau, dan memetakan vegetasi dengan lebih efisien [5]. Salah satu metode yang populer adalah penggunaan *Canopy Height Model* (CHM) yang diperoleh dari data citra UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) dan digunakan untuk mendeteksi pohon secara individual [6]. CHM mampu memodelkan permukaan tajuk pohon secara tiga dimensi dan memberikan gambaran yang akurat terhadap tinggi dan struktur vegetasi [7].

Metode *local maxima* merupakan pendekatan populer dalam deteksi individu pohon berbasis CHM, karena mampu mengidentifikasi puncak dari tiap pohon secara otomatis meskipun pada kondisi topografi yang kompleks [8]. Metode ini sangat efektif dalam mempercepat analisis vegetasi tanpa perlu melakukan survei lapangan yang memakan waktu dan biaya [9]. Studi oleh Srinarta et al. menunjukkan bahwa metode *local maxima* dapat mencapai akurasi di atas 90% dalam mendeteksi pohon kelapa sawit, sedangkan metode lain seperti *Convolutional Neural Network* (CNN) juga digunakan namun memerlukan pelatihan data yang lebih kompleks [10].

Dalam studi yang dilakukan oleh Lestari et al., metode *local maxima* digunakan untuk menghitung individu pohon pinus dari citra UAV dan menghasilkan estimasi yang akurat [11]. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi UAV dan algoritma deteksi seperti *local maxima* dapat memberikan solusi efisien untuk inventarisasi pohon secara cepat dan tepat [12], [13]. Pemanfaatan UAV juga memungkinkan pengambilan data di lokasi yang sulit dijangkau dengan kecepatan akuisisi yang tinggi [14].

Studi lain oleh Mukti et al. juga menunjukkan keberhasilan penggunaan metode ini pada ekosistem mangrove, membuktikan fleksibilitas algoritma *local maxima* dalam berbagai jenis vegetasi [15]. Selain itu, keberadaan *software* seperti *Agisoft Photoscan* dan *Pix4D Mapper* mempermudah pemrosesan data citra UAV hingga menjadi CHM yang siap digunakan dalam analisis spasial [16].

Dengan berbagai keunggulan tersebut, metode *local maxima* dalam pemrosesan data UAV menjadi sangat relevan untuk diterapkan dalam pemantauan hutan pinus. Selain mempermudah dalam hal efisiensi waktu dan tenaga, metode ini juga memberikan ketepatan data yang tinggi untuk mendukung perencanaan pengelolaan hutan berbasis data [17].

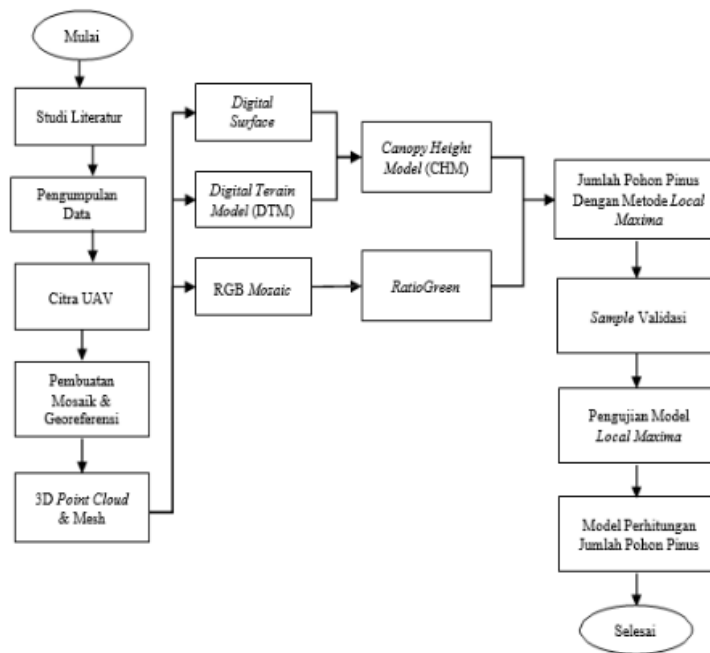
## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2024 di dua lokasi utama, yaitu Desa Sabaganding, Kecamatan Jaya, Kabupaten Simalungun, Provinsi Sumatera Utara, dan Laboratorium *Geospatial Information Technology*, Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor. Penelitian ini bersifat kuantitatif dan eksperimental, dengan tujuan untuk mengembangkan model deteksi pohon pinus secara otomatis menggunakan metode *local maxima* dan *ratio green* berbasis citra drone (UAV).

Data yang digunakan merupakan data sekunder hasil survei sebelumnya, yang mencakup data spasial dan non-spasial. Data utama berupa citra drone vegetasi pohon pinus yang diambil pada tahun 2023 di Desa Sabaganding, Kecamatan Jaya, Kabupaten Simalungun, Provinsi Sumatera. Selain itu, tersedia juga data referensi jumlah pohon pinus berdasarkan hasil interpretasi manual, yang digunakan untuk evaluasi akurasi model. Jumlah data referensi yang digunakan terbagi ke dalam tiga kelas berdasarkan tinggi minimum pohon, yaitu 705 objek untuk kelas 3 meter, 640 objek untuk kelas 4 meter, dan 817 objek untuk kelas 5 meter.

Metodologi penelitian terdiri dari beberapa tahapan yang disusun secara sistematis untuk menjawab rumusan masalah dan mencapai tujuan penelitian. Tahapan-tahapan tersebut meliputi studi literatur, pengumpulan data citra UAV, ini fungsi yang digunakan untuk mendeteksi pohon adalah  $lmf(ws = 4, hmin = 4, shape = "circular")$ , *preprocessing* citra meliputi pembuatan peta *mosaic* dan georeferensi dan 3D *Point Cloud* dan *Mesh*, penerapan metode *local maxima* dengan radius pencarian berdasarkan tinggi pohon (3–5 meter), perhitungan *ratio green* untuk menyaring objek non-vegetasi, serta proses validasi hasil deteksi melalui perbandingan dengan data referensi. *Output* dari setiap tahapan adalah peta deteksi pohon pinus dan nilai akurasi berdasarkan masing-masing kelas tinggi minimum.

Seluruh proses dirancang untuk menghasilkan model yang valid, objektif, dan dapat diadaptasi pada kondisi vegetasi lapangan yang serupa. Visualisasi tahapan metodologi divisualisasikan secara menyeluruh dalam diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir

## 2.1. Pengumpulan Data

Tahap pertama adalah pengumpulan data, yang melibatkan akuisi dan persiapan dua jenis data yaitu citra UAV multipektral dan peta mosaik.

Tabel 1. Data Penelitian

No	Data	Sumber Data	Jenis Data
1	Citra UAV Multispektral	Survei Lapangan 2023	Sekunder
2	Peta Mosaik	Google Earth Engine	Primer

## 2.2. Pengolahan

Citra UAV akan diolah untuk menghasilkan peta mosaik, kemudian dari peta mosaik tersebut menjadi beberapa indeks diantaranya adalah 3D *Point Cloud & Mesh*, DSM, DTM, CHM dan DEM. Tahap kedua adalah pemrosesan data, yang dimulai dengan pemrosesan menggunakan pix4D.

## 2.3. 3D point Cloud dan Mesh

Model 3D berupa *point cloud* dan *mesh* merupakan salah satu *output* utama dari pemrosesan citra udara, yang menghasilkan data seperti *Digital Surface Model* (DSM) dan *Digital Terrain Model* (DTM).

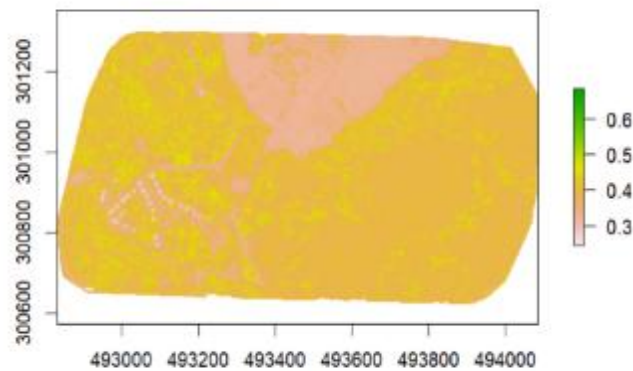
## 2.4. Canopy Height Model (CHM)

*Canopy Height Model* (CHM) digunakan untuk merepresentasikan ketinggian pohon pada suatu wilayah. Nilai tinggi pohon diperoleh dengan menghitung selisih antara permukaan tertinggi kanopi (DSM) dan permukaan tanah (DTM). CHM dihasilkan melalui proses pengurangan antara *Digital Surface Model* (DSM) dan *Digital Terrain Model* (DTM).

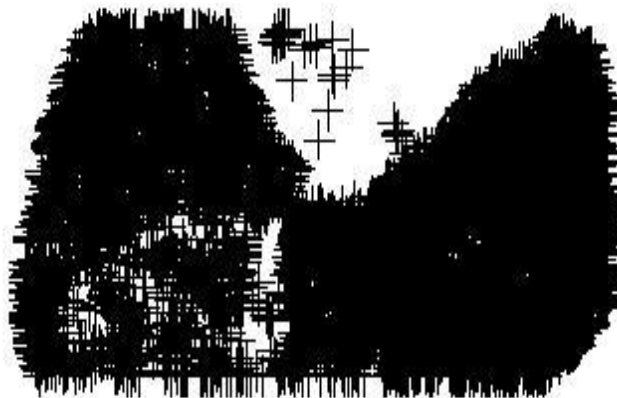
## 2.5. Local Maxima

Dalam penelitian ini, metode *local maxima* dan teknik *ratio green* digunakan untuk menghitung jumlah titik pohon pinus. Data *Canopy Height Model* (CHM) menjadi komponen penting dalam proses ini karena nilai *local maxima* diperoleh dari model ketinggian kanopi. Nilai ketinggian pada CHM

digunakan sebagai acuan untuk mengidentifikasi pohon secara individu. Untuk mendeteksi masing-masing pohon, metode ini ini fungsi yang digunakan untuk mendeteksi pohon adalah *lmf*(  $ws = 4$ ,  $hmin = 4$ ,  $shape = "circular"$ ) dengan ambang batas ketinggian minimum 3 meter, serta bentuk pixel yang diterapkan adalah *circular*. Seluruh proses analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak pix4D, di mana sistem akan memindai data CHM dan menetapkan piksel tertinggi sebagai puncak dari masing-masing pohon.



Gambar 2. Hasil Plot Ratio Green



Gambar 3. Hasil Pengolahan *Local Maxima*

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan pemaparan hasil yang diperoleh dari penelitian beserta uji yang telah dilaksanakan. Selain itu, disertakan pula penjelasan dan interpretasi terhadap hasil tersebut. Umumnya, bab Hasil dan Pembahasan merupakan bagian yang paling substansial dalam sebuah artikel ilmiah, dengan proporsi isi mencapai sekitar 50–65% dari keseluruhan naskah

#### 3.1. Hasil Evaluasi Model Dengan Kelas Minimum Tinggi 3 Meter

Hasil deteksi pohon pinus pada Sampel 1 hingga 4 dengan tinggi minimal 3 meter menggunakan metode *local maxima* disajikan pada bagian ini. Titik-titik berwarna merah menunjukkan hasil deteksi otomatis.





Gambar 4. Sampel Jarak Minimum 3 Meter

Berdasarkan 4 sample dengan minimum tinggi pohon 3 meter ditunjukkan pada tabel dapat diuraikan pada tabel berikut :

Tabel 2. Hasil evaluasi model minimal tinggi 3 m

Area	Hasil Referensi	Hasil Deteksi	Error Lebih	Error Kurang	Jumlah Benar
Sampel 1	159	133	3	3	130
Sampel 2	173	161	7	15	154
Sampel 3	155	135	15	23	120
Sampel 4	153	134	18	17	116

Tabel 2 menunjukkan hasil evaluasi model deteksi vegetasi dengan tinggi minimal 4 meter menggunakan rasio hijau (*Ratio Green*) pada empat area sampel. Secara keseluruhan, jumlah objek referensi mencapai 640, sementara hasil deteksi oleh model sebanyak 563. Dari jumlah tersebut, total deteksi benar mencapai 570 objek, dengan 43 kesalahan lebih (*false positive*) dan 58 kesalahan kurang (*false negative*). Pada Sampel 1, dari 159 referensi terdeteksi 133 objek, menghasilkan 130 deteksi benar. Sampel 2 mencatat 173 referensi dengan 161 deteksi dan 154 deteksi benar. Sampel 3 memiliki 155 referensi dan 135 deteksi dengan 120 deteksi benar. Sedangkan Sampel 4 menunjukkan jumlah deteksi benar tertinggi sebanyak 166 dari 153 referensi dan 134 deteksi.

### 3.2. Hasil Evaluasi Model Dengan Kelas Minimum Tinggi 4 Meter

Hasil deteksi pohon pinus pada Sampel 1 hingga 4 dengan tinggi minimum 4 meter diperoleh menggunakan metode *local maxima*. Titik-titik merah menunjukkan hasil deteksi otomatis.





Gambar 5. Sampel Jarak Minimum 4 Meter

Berdasarkan 4 sample dengan minimum tinggi pohon 4 meter ditunjukkan pada tabel dapat diuraikan pada tabel berikut :

Tabel 3. Hasil evaluasi model minimal tinggi 4 m

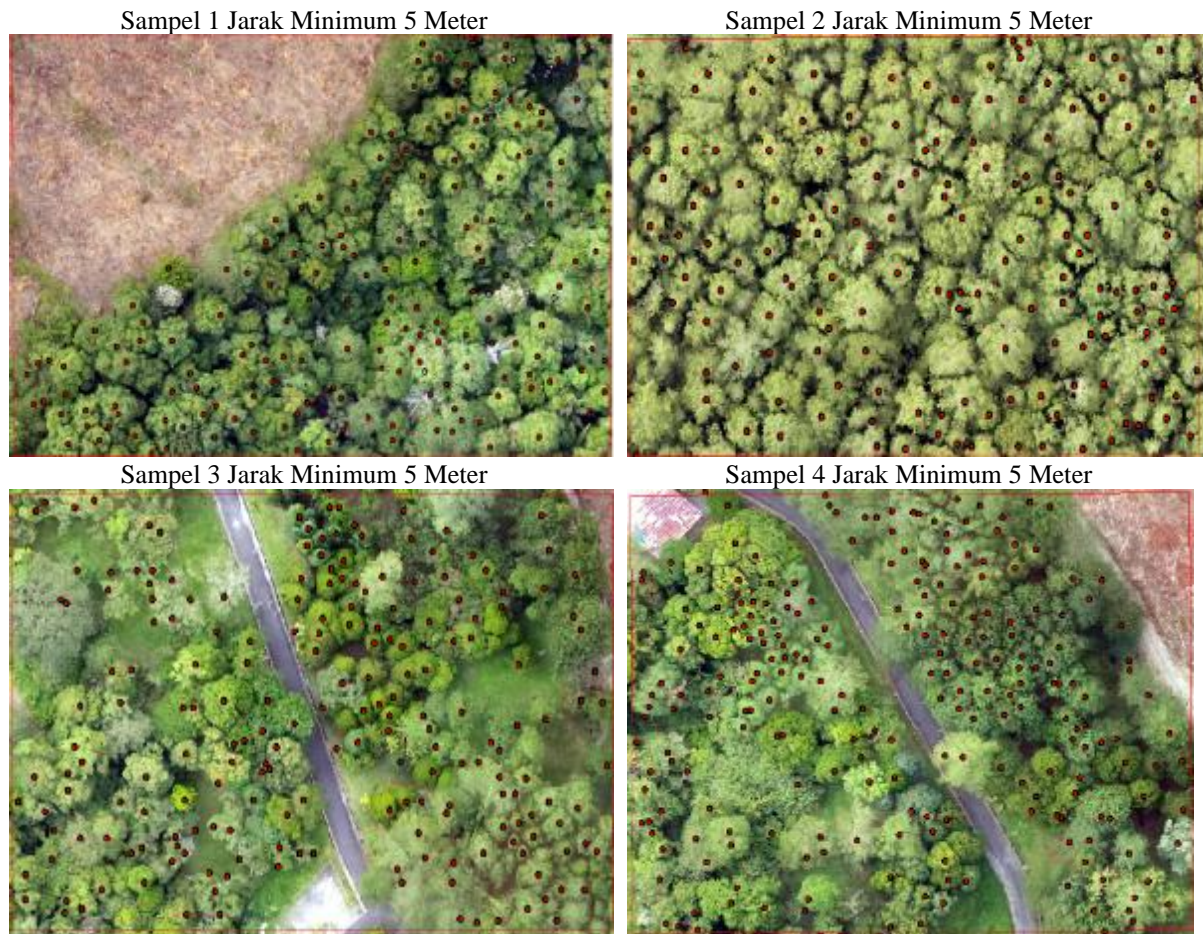
Area	Hasil Referensi	Hasil Deteksi	Error Lebih	Error Kurang	Jumlah Benar
Sampel 1	232	201	13	17	188
Sampel 2	171	121	8	54	113
Sampel 3	155	125	10	19	115
Sampel 4	147	135	20	9	115

Tabel 3 menyajikan hasil evaluasi model deteksi vegetasi dengan tinggi minimal 3 meter menggunakan rasio hijau (*Ratio Green*) pada empat area sampel. Secara keseluruhan, jumlah objek referensi sebanyak 705, sedangkan hasil deteksi oleh model adalah 582 objek. Dari jumlah tersebut, diperoleh total deteksi benar sebanyak 531 objek, dengan 51 kesalahan lebih (*false positive*) dan 99 kesalahan kurang (*false negative*). Sampel 1 menunjukkan performa terbaik dengan 188 deteksi benar dari 232 referensi dan 201 deteksi. Sampel 2 mencatat penurunan signifikan, dengan hanya 113 deteksi benar dari 171 referensi dan 121 deteksi. Sampel 3 menunjukkan 115 deteksi benar dari 155 referensi dan 125 deteksi, sementara Sampel 4 juga menghasilkan 115 deteksi benar dari 147 referensi dan 135 deteksi.

### 3.3. Hasil Evaluasi Model Dengan Kelas Minimum Tinggi 5 Meter

Gambar di bawah ini menunjukkan hasil deteksi pohon pinus pada Sampel 1 hingga 4 dengan tinggi minimal 5 meter menggunakan metode *local maxima*. Titik berwarna merah merepresentasikan hasil deteksi otomatis.





Gambar 6. Sampel Jarak Minimum 5 Meter

Berdasarkan 4 sample dengan minimum tinggi pohon 5 meter ditunjukkan pada tabel dapat diuraikan pada tabel berikut :

Tabel 4. Hasil evaluasi model minimal tinggi 5 m

Area	Hasil Referensi	Hasil Deteksi	Error Lebih	Error Kurang	Jumlah Benar
Sampel 1	198	147	13	26	134
Sampel 2	202	194	12	30	182
Sampel 3	202	194	12	30	182
Sampel 4	215	194	30	8	164

Tabel 4 menampilkan hasil evaluasi model deteksi vegetasi dengan tinggi minimal 5 meter menggunakan pada empat area sampel. Secara keseluruhan, jumlah objek referensi mencapai 817, sedangkan hasil deteksi oleh model berjumlah 729. Dari hasil tersebut, total deteksi benar tercatat sebanyak 662 objek, dengan 67 kesalahan lebih (*false positive*) dan 94 kesalahan kurang (*false negative*). Sampel 1 memiliki 198 referensi dan 147 deteksi, menghasilkan 134 deteksi benar. Sampel 2 dan 3 menunjukkan hasil identik, masing-masing dengan 202 referensi, 194 deteksi, dan 182 deteksi benar. Sementara itu, Sampel 4 mencatat 215 referensi dan 194 deteksi, dengan 164 deteksi benar.

### 3.4. Akurasi Kelas Minimum Tinggi 3 Meter

Tabel berikut menyajikan hasil analisis akurasi deteksi pohon otomatis untuk masing-masing sampel pada ketinggian minimum 3 meter.

Tabel 5. Akurasi Kelas Minimum 3 Meter

Area	Hasil Referensi	Hasil Deteksi	Error Lebih	Error Kurang	Jumlah Benar	Comision s Error	Omissions Error	Accura cy
Sampel 1	232	201	13	17	188	0,06	0,04	0,77
Sampel 2	171	121	8	54	113	0,07	0,07	0,63
Sampel 3	155	125	10	19	115	0,08	0,07	0,70
Sampel 4	147	135	20	9	115	0,15	0,03	0,69
						<b>0,09</b>	<b>0,08</b>	<b>0,70</b>

Tabel 5 menyajikan hasil evaluasi akurasi model deteksi vegetasi dengan tinggi minimal 3 meter. Nilai *commission error* berada pada rentang 0,06 hingga 0,15, dengan rata-rata 0,09. Kesalahan lebih tertinggi terjadi pada Sampel 4 (0,15), menunjukkan bahwa model cenderung menghasilkan lebih banyak deteksi yang tidak sesuai referensi di area tersebut. Sementara itu, *omission error* berkisar antara 0,03 hingga 0,07, dengan rata-rata 0,08, yang menunjukkan jumlah objek referensi yang tidak terdeteksi relatif stabil. Dari sisi akurasi, nilai tertinggi dicapai pada Sampel 1 sebesar 0,77, sedangkan akurasi terendah terdapat pada Sampel 2 dengan nilai 0,63. Secara umum, rata-rata akurasi model berada pada angka 0,70.

### 3.5. Akurasi Kelas Minimum Tinggi 4 Meter

Tabel berikut menyajikan hasil analisis akurasi deteksi pohon secara otomatis pada masing-masing sampel dengan batas minimum ketinggian 4 meter.

Tabel 6. Akurasi Kelas Minimum 4 Meter

Area	Hasil Referensi	Hasil Deteksi	Error Lebih	Error Kurang	Jumlah Benar	Comision s Error	Omissions Error	Accura cy
Sampel 1	159	133	3	3	130	0,02	0,02	0,80
Sampel 2	173	161	7	15	154	0,04	0,09	0,86
Sampel 3	155	135	15	23	120	0,11	0,16	0,71
Sampel 4	153	134	18	17	116	0,13	0,13	0,68
						<b>0,07</b>	<b>0,10</b>	<b>0,76</b>

Tabel 6 menunjukkan tingkat kesalahan dan akurasi model deteksi vegetasi dengan tinggi minimal 4 meter. Nilai *commission error* berkisar antara 0,02 hingga 0,13, dengan rata-rata 0,07, yang mengindikasikan bahwa model sesekali mendeteksi objek yang tidak sesuai dengan referensi, terutama pada Sampel 3 dan 4. Sementara itu, *omission error* menunjukkan rata-rata sebesar 0,10, dengan nilai tertinggi pada Sampel 3 (0,16), yang berarti masih terdapat sejumlah objek referensi yang tidak berhasil terdeteksi. Akurasi tertinggi tercapai pada Sampel 2 sebesar 0,86, sementara yang terendah terdapat pada Sampel 4 sebesar 0,68. Secara keseluruhan, model menunjukkan akurasi rata-rata sebesar 0,76.

### 3.6. Akurasi Kelas Minimum Tinggi 5 Meter

Tabel berikut menyajikan hasil analisis akurasi deteksi pohon secara otomatis pada masing-masing sampel dengan batas minimum ketinggian 5 meter.

Tabel 7. Akurasi Kelas Minimum 5 Meter

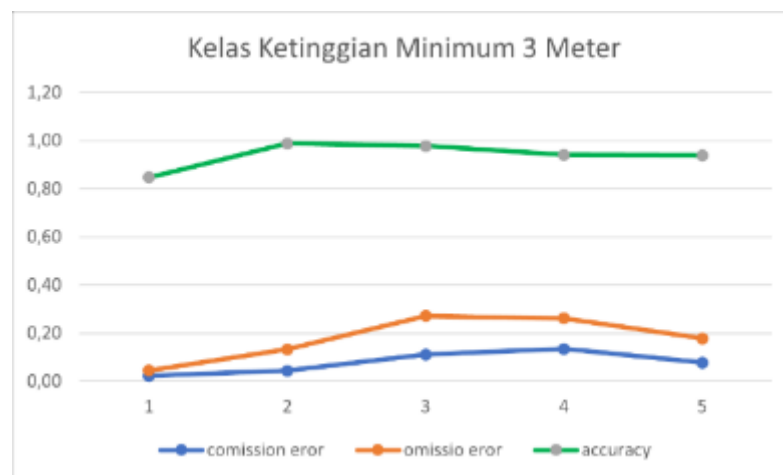


Area	Hasil Referensi	Hasil Deteksi	Error Lebih	Error Kurang	Jumlah Benar	Commission Error	Omission Error	Accuracy
Sampel 1	218	156	10	19	146	0,06	0,64	0,64
Sampel 2	198	147	13	28	134	0,09	0,16	0,64
Sampel 3	194	164	12	30	182	0,06	0,14	0,85
Sampel 4	215	164	30	8	194	0,15	0,05	0,67
						<b>0,09</b>	<b>0,12</b>	<b>0,70</b>

Tabel 7 menunjukkan akurasi dan tingkat kesalahan model deteksi vegetasi dengan tinggi minimal 5 meter pada empat area sampel. *Commission error* tercatat dalam rentang 0,06 hingga 0,15 dengan rata-rata 0,09, yang menunjukkan bahwa model masih menghasilkan sejumlah deteksi yang tidak sesuai dengan data referensi, terutama pada Sampel 4. *Omission error* memiliki rata-rata sebesar 0,12, dengan nilai tertinggi pada Sampel 1 sebesar 0,64, mengindikasikan banyaknya objek referensi yang tidak terdeteksi pada area tersebut. Akurasi tertinggi dicapai pada Sampel 3 sebesar 0,85, sedangkan akurasi terendah terjadi pada Sampel 1 dan 2, masing-masing sebesar 0,64. Secara keseluruhan, rata-rata akurasi model sebesar 0,70.

### 3.7. Grafik Perbandingan Commission Error Omission Error Accuracy Masing-Masing Sampel Kelas Mini-mum Tinggi 3 Meter

Berikut adalah grafik perbandingan *Commissions Error*, *Omission Error* dan Akurasi masing-masing sampel pada kelas minimum tinggi 3 meter.

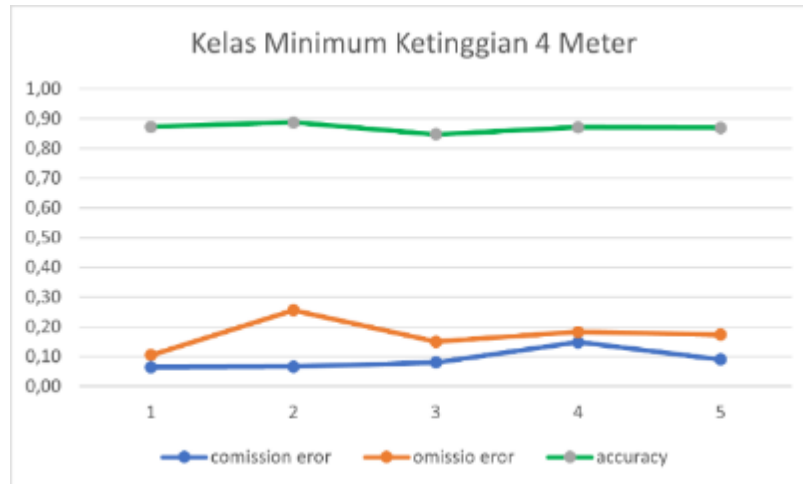


Gambar 7. Grafik Perbandingan Nilai *Commission Error*, *Omission Error*, dan Akurasi Masing-Masing Sampel kelas minimum ketinggian 3 meter

Pada Area Sampel 1, diperoleh kesalahan komisi (*commission error*) sebesar 0,06 dan kesalahan omisi (*omission error*) sebesar 0,04, dengan akurasi sebesar 0,77. Di Area Sampel 2, kesalahan komisi sebesar 0,07 dan kesalahan omisi juga sebesar 0,07 menghasilkan akurasi sebesar 0,63. Selanjutnya, Area Sampel 3 menunjukkan kesalahan komisi sebesar 0,08 dan kesalahan omisi sebesar 0,07, dengan akurasi sebesar 0,70. Pada Area Sampel 4, kesalahan komisi tercatat sebesar 0,15 dan kesalahan omisi sebesar 0,03, menghasilkan akurasi sebesar 0,69. Secara keseluruhan, pada pendeteksian pohon pinus secara otomatis dengan tinggi minimum 3 meter di Area Sampel 1, diperoleh nilai rata-rata kesalahan komisi sebesar 0,09, kesalahan omisi sebesar 0,08, dan akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) sebesar 0,70.

### 3.8. Grafik Perbandingan Commission Error Omission Error Accuracy Masing-Masing Sampel Kelas Mini-mum Tinggi 4 Meter

Berikut adalah grafik perbandingan *Commissions Error*, *Omission Error* dan Akurasi masing-masing sampel pada kelas minimum tinggi 4 meter.

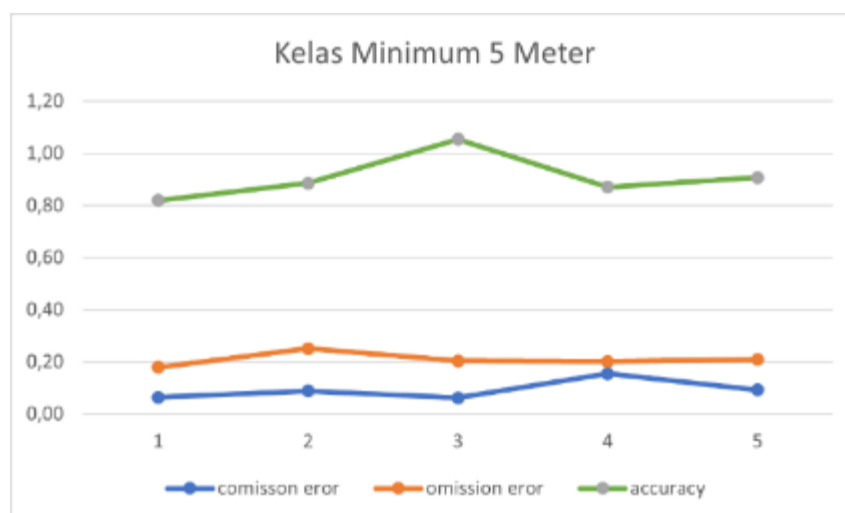


Gambar 8. Grafik Perbandingan Nilai Commission Error, Omission Error, dan Akurasi Masing-Masing Sampel kelas minimum ketinggian 4 meter

Pada Area Sampel 1, kesalahan komisi sebesar 0,02 dan kesalahan omisi sebesar 0,02 menghasilkan akurasi sebesar 0,80. Area Sampel 2 menunjukkan kesalahan komisi sebesar 0,04 dan kesalahan omisi sebesar 0,09, dengan akurasi sebesar 0,86. Di Area Sampel 3, kesalahan komisi tercatat sebesar 0,11 dan kesalahan omisi sebesar 0,16, menghasilkan akurasi sebesar 0,71. Sementara itu, pada Area Sampel 4, kesalahan komisi dan kesalahan omisi masing-masing sebesar 0,13, dengan akurasi sebesar 0,68. Secara keseluruhan, pada pendeteksian pohon pinus secara otomatis dengan minimum ketinggian 4 meter, diperoleh nilai rata-rata kesalahan komisi sebesar 0,07, kesalahan omisi sebesar 0,10, dan akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) sebesar 0,76.

### 3.9. Grafik Perbandingan Commission Error Omission Error Accuracy Masing-Masing Sampel Kelas Mini-mum Tinggi 5 Meter

Berikut adalah grafik perbandingan *Commissions Error*, *Omission Error* dan Akurasi masing-masing sampel pada kelas minimum tinggi 5 meter.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Nilai Commission Error, Omission Error, dan Akurasi Masing-Masing Sampel kelas minimum ketinggian 5 meter

Pada Area Sampel 1, kesalahan komisi sebesar 0,06 dan kesalahan omisi sebesar 0,07 menghasilkan akurasi sebesar 0,77. Di Area Sampel 2, tercatat kesalahan komisi sebesar 0,07 dan kesalahan omisi sebesar 0,19, dengan akurasi sebesar 0,63. Area Sampel 3 menunjukkan kesalahan komisi sebesar 0,08 dan kesalahan omisi sebesar 0,07, dengan akurasi sebesar 0,70. Sementara itu, pada Area Sampel 4, kesalahan komisi sebesar 0,15 dan kesalahan omisi sebesar 0,30, menghasilkan akurasi sebesar 0,69. Secara keseluruhan, pada pendeteksian pohon pinus secara otomatis dengan minimum ketinggian 5 meter, diperoleh nilai rata-rata kesalahan komisi sebesar 0,09, kesalahan omisi sebesar 0,08, dan akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) sebesar 0,70.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa proses deteksi pohon pinus menggunakan pendekatan klasifikasi berdasarkan tinggi minimum menghasilkan akurasi yang bervariasi pada tiap kelas. Pada kelas minimum tinggi 3 meter, jumlah total hasil deteksi dari keempat sampel adalah 582 titik pohon, dengan rata-rata *commission error* sebesar 0,09, *omission error* sebesar 0,08, dan *overall accuracy* sebesar 0,70. Pada kelas minimum tinggi 4 meter, total hasil deteksi mencapai 563 titik pohon, dengan rata-rata *commission error* sebesar 0,07, *omission error* sebesar 0,10, dan *overall accuracy* tertinggi yaitu sebesar 0,76. Sementara itu, pada kelas minimum tinggi 5 meter, total hasil deteksi sebanyak 631 titik pohon, dengan rata-rata *commission error* sebesar 0,09, *omission error* sebesar 0,12, dan *overall accuracy* sebesar 0,70. Berdasarkan perbandingan ketiga kelas tersebut, kelas minimum tinggi 4 meter menunjukkan performa paling optimal dalam mendeteksi pohon pinus secara otomatis, dengan tingkat akurasi tertinggi dan nilai kesalahan deteksi yang relatif lebih rendah.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Linggi, S. Ulum, dan D. Darwis, "Fabrikasi dan Karakterisasi Briket Limbah Buah Pinus dengan Perkat Limbah Kulit Pohon Pinus," *G R A V I T A S I*, vol. 18, no. 2, hal. –, Des. 2019.
- [2] F. Said, "Pemanfaatan Daun Pinus Jarum untuk Dijadikan Briket Biocoal Sebagai Energi Listrik Alternatif," *Elektrika Borneo (JEB)*, vol. 7, no. 2, hal. 19–24, 2021.
- [3] T. Tajuddin dan D. A. Suryanto, "Sebaran Potensi Hutan Pinus dan Perannya Terhadap Perbaikan Kondisi Hutan di Provinsi Sulawesi Selatan," *Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan*, vol. 17, no. 1, hal. 1–12, Jan. 2022, doi: 10.31849/forestra.v17i1.8448.
- [4] J. Adiyansyah et al., "Model Referensi Kontrol Adaptif Ketinggian Udara Untuk Kendaraan Tak Berawak Dengan Kontrol PID," dalam *Prosiding Seminar Nasional Hasil Riset dan Pengabdian*, Surabaya: Unipa Surabaya, Jul. 2023, hlm. 1968–1975.
- [5] F. Hanim dan A. Amirudin, "Pengaruh Penggunaan Multimedia Pembelajaran Interaktif Penginderaan Jauh Terhadap Hasil Belajar Geografi," *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, dan Pengembangan*, vol. 1, no. 4, hlm. 752–757, Apr. 2016, doi: <https://doi.org/10.17977/jp.v1i4.6246>.
- [6] W. Vitasari dan A. Munir, "Pendugaan Produksi Dan Indeks Vegetasi Tanaman Padi Menggunakan Data Citra Platform Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Dan Data Citra Satelit Landsat 8," *Jurnal AgriTechno*, vol. 10, no. 2, hlm. 203–216, Okt. 2017, doi: <https://doi.org/10.70124/at.v10i2.72>.
- [7] R. D. Kusumanto dan A. N. Tompunu, "Pengolahan Citra Digital Untuk Mendeteksi Obyek Menggunakan Pengolahan Warna Model Normalisasi RGB," dalam *Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan*, Palembang, 2011.
- [8] K. Srinarta, Y. Prasetyo, dan F. Hadi, "Analisis Perhitungan Jumlah Pohon Kelapa Sawit Berdasarkan Algoritma Canopy Height Model (CHM) Dan *Local Maxima* (LM)," *Jurnal Geodesi Undip*, vol. 11, no. 1, hlm. 51–60, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.14710/jgundip.2022.32315>.
- [9] J. E. Ball, D. T. Anderson, dan C. S. Chan, "Comprehensive survey of deep learning in remote sensing: theories, tools, and challenges for the community," *J. Appl. Remote Sens.*, vol. 11, no. 4, hlm. 1, Sep. 2017, doi: 10.1117/1.jrs.11.042609.



- [10] D. Y. Armanto, S. A. Hudjimartsu, dan E. Hermawan, "Identifikasi Perhitungan Pohon Kelapa Sawit Otomatis Dengan Menggunakan Metode Convolutional Neural Network (CNN)," *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, vol. 8, no. 3, hlm. 2648–2654, Jun. 2024, doi: <https://doi.org/10.36040/jati.v8i3.9525>.
- [11] S. Lestari, E. Hermawan, dan S. A. Hudjimartsu, "Analisis Perhitungan Individu Pada Pohon Pinus Menggunakan Metode *Local Maxima* Dari Citra UAV (Unmanned Aerial Vehicle)," *INFOTECH Journal*, vol. 9, no. 2, hlm. 586–595, Okt. 2023, doi: [10.31949/infotech.v9i2.7101](https://doi.org/10.31949/infotech.v9i2.7101).
- [12] H. Swanda, E. Sadjati, dan M. Ikhwan, "Pemanfaatan Teknologi Pesawat Tanpa Awak Untuk Identifikasi Klasifikasi Tutupan Lahan (Studi Kasus: Kawasan Tahura SSH)," dalam *SENKIM: Seminar Nasional Karya Ilmiah Multidisiplin*, LPPM Universitas Lancang Kuning, Agu. 2021, hlm. 157–167.
- [13] P. K. Hamur, M. E. Tjahjadi, dan A. Yuliananda, "Kajian Pengolahan Data Foto Udara Menggunakan Perangkat Lunak Agisoft Photoscan Dan Pix4d Mapper (Studi Kasus: Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang)," Institut Teknologi Nasional Malang, 2019.
- [14] R. G. D. Kerong, M. E. Tjahjadi, dan F. D. Agustina, "Kajian Perbandingan Akurasi DTM Pengolahan Data Foto Udara Menggunakan Metode Otomatis Dan Semi-Otomatis Filtering," *Jambura Geoscience Review*, vol. 4, no. 1, hlm. 69–85, Jan. 2022, doi: [10.34312/jgeosrev.v4i1.12046](https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v4i1.12046).
- [15] T. Mukti, S. A. Hudjimartsu, dan E. Hermawan, "Analisis Perhitungan Individu Pohon Mangrove Pada Citra Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Menggunakan Metode *Local Maxima*," *INFOTECH Journal*, vol. 9, no. 2, hlm. 491–506, Agu. 2023, doi: [10.31949/infotech.v9i2.6480](https://doi.org/10.31949/infotech.v9i2.6480).
- [16] B. Raharja, A. Setianto, dan A. D. Titisari, "Ekstraksi Informasi dari DEM untuk Pemetaan Struktur Geologi Studi Kasus di Daerah Kokap, Kulon Progo," *Jurnal Geomine*, vol. 8, no. 2, hlm. 80–95, Nov. 2020, doi: [10.33536/jg.v8i2.483](https://doi.org/10.33536/jg.v8i2.483).
- [17] A. B. Cahyono dan N. Duantari, "Analisis Ketinggian Model Permukaan Digital Pada Data Lidar (Light Detection And Ranging) (Studi Kasus: Sei Mangkei, Sumatera Utara)," *Journal of Geodesy and Geomatics*, vol. 12, no. 2, hlm. 181–189, 2017.