



Metodologi Deteksi Multi-Sensor untuk Pemantauan Konservasi Berbasis Kecerdasan Artifisial

Platform Mata Elang - Studi Kasus Taman Nasional Baluran, Indonesia
Laporan Metodologi Interim

Dari udara, dianalisis mesin, diputuskan manusia

Badar Mubarak Yogaswara
Versi 1.2 (interim) - September 2026

mataelang.elps.co.id

Pernyataan Status Dokumen

PERHATIAN: Dokumen ini adalah LAPORAN INTERIM. Sistem yang dijelaskan berada pada tahap bukti-konsep dengan data pilot nyata, BUKAN sistem yang telah tervalidasi penuh. Angka kinerja berasal dari himpunan validasi berukuran kecil yang tidak memungkinkan klaim generalisasi. Dokumen ini tidak boleh dikutip sebagai bukti kesiapan operasional, dan keluaran sistem tidak boleh dijadikan dasar tunggal keputusan hukum, penindakan, atau kebijakan.

Seluruh keterbatasan yang diketahui dinyatakan terbuka pada Bab 7. Penyusun berpandangan bahwa laporan interim yang jujur lebih berguna bagi kemajuan ilmu dan kebijakan daripada laporan final yang menyembunyikan ketidakpastian.

Catatan: Kepada pembaca yang belum terbiasa dengan istilah pemantauan berbasis kecerdasan artifisial: bacalah Lampiran A sampai C - Bab 13 sampai 15 - terlebih dahulu. Tabel pada Bagian 13.1 memuat ciri pembaca beserta lampiran mana yang paling sesuai baginya. Ketiga lampiran itu menjelaskan dasar-dasarnya dari awal, dan tidak mengubah apa pun pada Bab 1 sampai 12 - pembaca yang sudah terbiasa dapat melewatinya sepenuhnya.

Mendahulukan lampiran bukan jalan pintas, melainkan jalan tercepat untuk dapat MENILAI isi laporan ini, bukan sekadar mempercayainya. Dokumen ini memang ditulis untuk dinilai. Pembacanya berhak mengetahui bukan saja apa yang diklaim, tetapi juga sekuat apa dasar klaim itu - dan Lampiran C secara khusus menyiapkan pembaca untuk menguji karya ini sebagaimana ia menguji karya siapa pun.

1. Pendahuluan

1.1 Latar belakang

Pemantauan kawasan konservasi di Indonesia menghadapi ketimpangan mendasar antara luas wilayah yang harus diawasi dan sumber daya yang tersedia. Taman Nasional Baluran mencakup savana, hutan musim, hutan evergreen, dan mangrove, dengan banteng (*Bos javanicus*) sebagai satwa kunci. Metode survei konvensional bersifat padat karya, terbatas jangkauannya, dan sulit diulang secara konsisten antar-waktu.

Wahana nirawak dan citra satelit membuka kemungkinan pemantauan berulang dengan biaya jauh lebih rendah. Namun volume data yang dihasilkan melampaui kemampuan interpretasi manual, sehingga otomatisasi berbasis pembelajaran mesin menjadi kebutuhan, bukan pilihan.

1.2 Tujuan

- 1 Merancang dan mengimplementasikan pipeline deteksi multi-sensor terpadu mencakup tiga pilar: fauna per-spesies, vegetasi/tajuk pohon, dan pemantauan indikasi penebangan liar.
- 2 Menguji kelayakan pipeline pada data lapangan nyata Indonesia, bukan data simulasi.
- 3 Mendokumentasikan setiap keputusan metodologis beserta alasan dan alternatif yang ditolak, sehingga dapat ditelaah dan direproduksi pihak lain.
- 4 Menetapkan batas kewenangan sistem secara eksplisit: apa yang boleh dan tidak boleh disimpulkan dari keluarannya.

1.3 Pernyataan kontribusi

Kontribusi karya ini bersifat REKAYASA SISTEM TERAPAN, bukan kebaruan algoritmik. Seluruh model yang dipakai (YOLO11, Mask R-CNN melalui Detectron2, BioCLIP 2, Random Forest) adalah metode mapan. Yang baru adalah:

- Integrasi ketiga pilar dalam satu platform operasional dengan rantai bukti terjaga (chain-of-custody SHA-256) sejak data masuk.
- Penerapan pada domain savana tropis Indonesia yang belum terwakili dalam data pelatihan model-model tersebut.
- Alur triase sebab-akibat sebelum penetapan indikasi pelanggaran, yang lahir dari temuan pilot nyata dan mencegah kesalahan vonis.
- Dokumentasi keterbatasan secara kuantitatif, termasuk temuan negatif dan kegagalan.

PERHATIAN: Karya ini TIDAK mengklaim kebaruan algoritmik, TIDAK mengklaim akurasi setara publikasi internasional, dan TIDAK mengklaim generalisasi ke kawasan di luar data uji.

1.4 Ruang lingkup

Studi kasus terbatas pada Taman Nasional Baluran, dengan penekanan pada area savana Bekol. Kerja lapangan di Baluran telah ditutup sebelum penyusunan dokumen ini, sehingga data yang tersedia bersifat tetap dan tidak dapat ditambah untuk keperluan penelitian ini.

2. Tinjauan Pustaka dan Posisi Karya

2.1 Delineasi tajuk pohon individual

Tinjauan sistematis atas deteksi tajuk pohon berbasis pembelajaran mendalam menunjukkan segmentasi instans sebagai pendekatan dominan pada periode 2020-2025, dengan citra RGB sebagai masukan utama pada mayoritas studi. Detectree2 (Ball dkk., 2023) merupakan implementasi Mask R-CNN yang dilatih khusus untuk hutan tropis dan dipakai sebagai titik awal pralatih pada karya ini.

Ball dkk. (2023) melaporkan kinerja pada empat situs hutan tropis:

Situs	Pohon uji	Precision	Recall	F1
Paracou (Guyana Prancis)	381	0,595	0,543	0,568
Danum (Borneo Malaysia)	278	0,713	0,662	0,687
Sepilok East	167	0,612	0,653	0,632
Sepilok West	704	0,640	0,656	0,648
Rerata	(1.530)	0,640	0,629	0,634

Studi tersebut memakai 3.797 tajuk terdelineasi manual untuk pelatihan, citra udara berawak dengan GSD 8-10 cm, dan GPU Tesla P100 dengan waktu pelatihan di bawah dua jam.

PERHATIAN: Angka F1 pada tabel di atas TIDAK setara dengan angka AP50 pada Bab 6. AP50 merata-ratakan presisi sepanjang kurva pada ambang IoU 0,50, sedangkan F1 dihitung pada satu ambang confidence. Keduanya tidak boleh disandingkan sebagai perbandingan langsung. Perbandingan yang sah dibahas pada Bab 6.

2.2 Deteksi satwa dari wahana nirawak

Bidang ini berkembang aktif pada 2024-2025, mencakup perbandingan varian YOLO mutakhir pada citra nadir savana. Namun angka kinerja antar-studi tidak sebanding secara langsung karena perbedaan spesies target, ketinggian terbang, resolusi spasial, dan definisi kelas. Karena itu literatur pilar fauna dirujuk sebagai konteks kualitatif, bukan tolok ukur kuantitatif.

2.3 Model fondasi biologi

BioCLIP 2 adalah model vision-language yang dilatih dengan supervisi taksonomi berjenjang pada koleksi citra organisme berskala besar, dirancang untuk klasifikasi few-shot dan zero-shot. Model ini dipakai sebagai pengklasifikasi tahap kedua setelah deteksi generik.

3. Wilayah Studi dan Sumber Data

3.1 Wilayah studi

Taman Nasional Baluran, Jawa Timur, Indonesia. Fokus analisis pada savana Bekol, habitat utama banteng sekaligus area dengan liputan data terlengkap.

3.2 Inventaris data

Aset	Sensor	Jumlah	Catatan
DATA TN Baluran (2 Nov 2023)	RGB + NIR + Thermal	139 bingkai/sensor	Ko-registrasi terverifikasi lewat GPS EXIF; satu-satunya sesi thermal
Blok 286_1	RGB + NIR	403 + 403	Ko-registrasi sempurna
Blok 286_2	RGB + NIR	403 + 403	Ko-registrasi sempurna
Blok 286_3	RGB + NIR	397 + 397	Ko-registrasi sempurna
Blok 286_4	RGB + NIR	397 + 378	19 bingkai NIR hilang
Blok 268_1	RGB + NIR	401 + 251	TIDAK ko-registrasi - ditolak untuk fusi

3.3 Verifikasi ko-registrasi sensor

Klaim bahwa dua sensor berasal dari satu penerbangan TIDAK diambil dari label nama berkas, melainkan diverifikasi dari metadata GPS EXIF tiap bingkai: jumlah bingkai dan koordinat dibandingkan antar-sensor. Keputusan ini diambil setelah ditemukan penanda waktu pada beberapa perangkat tidak tersinkron, sehingga label tanggal berpotensi menyesatkan.

Catatan: Untuk area yang diterbangkan dengan pola grid, perbandingan titik pertama dan terakhir saja tidak memadai; diperlukan bounding box penuh seluruh bingkai. Kekeliruan ini sempat terjadi pada tahap awal dan telah dikoreksi.

3.4 Kriteria inklusi dan data yang ditolak

Data disertakan bila memenuhi dua syarat: georeferensi sah, dan resolusi spasial memadai untuk peran yang diberikan. Ambang resolusi untuk deteksi satwa primer diturunkan dari dimensi tubuh banteng dewasa (lebar 0,6-0,9 m) dengan target minimum sekitar 15 piksel melintang objek.

Data yang ditolak untuk peran tertentu tetap dicatat, tidak dibuang:

- Blok 268_1 ditolak untuk fusi multispektral karena jumlah bingkai dan koordinat RGB-NIR tidak cocok.
- raster_baluran.tif ditolak sebagai sumber fusi karena tidak memiliki pasangan NIR/thermal ter-ko-registrasi; titik GPS thermal terdekat berjarak sekitar 167 m di luar batasnya.
- Aset beresolusi sangat kasar (sekitar 42 cm/piksel) ditolak untuk deteksi, dipertahankan sebagai konteks.

3.5 Ketidakpastian resolusi spasial

PERHATIAN: Seluruh nilai GSD dalam dokumen ini bersifat INDIKATIF. Ketinggian pada EXIF bereferensi permukaan laut, bukan tinggi di atas permukaan tanah yang sesungguhnya menentukan GSD. Selisih keduanya bergantung elevasi permukaan yang belum diverifikasi terhadap model elevasi. Angka GSD tidak boleh dikutip sebagai nilai terukur pasti.

Aset	GSD indikatif	Dasar penentuan
rgb-001.tif	1,54 cm/px	Terukur langsung dari geotransform
raster_baluran.tif	3 cm/px	Terukur langsung dari geotransform
Blok 286_1 RGB	~4,8 cm/px	Dihitung dari spesifikasi pabrikan + altitude EXIF
Blok 286_1 NIR	~7,3 cm/px	Dihitung dari HFOV resmi pabrikan
Thermal	~9 cm/px (6,4-11,9)	Estimasi geometris; FOV sensor tidak tercatat di EXIF

3.6 Data anotasi

Item	Jumlah	Keterangan
Total anotasi terkonsolidasi	722	Satu berkas COCO dengan jejak audit per anotasi
- fauna	145	5 gambar sumber
- flora	577	3 gambar sumber
Dikecualikan	139	Citra sumber tidak ditemukan

Anotasi tanpa citra sumber dikecualikan karena tidak dapat dipakai untuk pelatihan maupun evaluasi, meskipun anotasinya sendiri utuh.

4. Metodologi per Pilar

4.1 Arsitektur umum

Seluruh pilar berbagi satu pola pemrosesan: data masuk disertai sidik jari kriptografis, dipra-proses agar konsisten skala, diolah model atau indeks spektral, digabungkan dan digeoreferensi, lalu ditampilkan sebagai DUGAAN bernilai kepercayaan yang menunggu verifikasi manusia. Tidak ada jalur yang melewati tahap verifikasi manusia.

Perbedaan antar-pilar terletak pada sumber data, model, dan bentuk keluaran (titik untuk fauna, poligon untuk vegetasi, area perubahan untuk pemantauan tutupan).

4.2 Pilar fauna: arsitektur dua tahap

Deteksi fauna dipisah menjadi dua tahap: detektor agnostik-kelas yang menemukan keberadaan satwa, dan pengklasifikasi terpisah yang menentukan identitas spesies dari potongan citra. Pemisahan ini dipilih karena penambahan spesies baru cukup memperbarui data pengklasifikasi tanpa melatih ulang detektor maupun menganotasi ulang kotak yang sudah ada.

Alternatif	Karakteristik	Keputusan
Detektor multi-kelas tunggal	Satu model, satu siklus pelatihan	Ditolak - penambahan spesies menuntut anotasi ulang dan pelatihan ulang penuh
Detektor generik + pengklasifikasi terpisah	Dua model, siklus pembaruan mandiri	Dipilih - perluasan spesies murah, kompatibel dengan anotasi generik yang sudah ada

4.3 Pemetakan sadar-resolusi

Raster berukuran gigapiksel tidak dapat dimasukkan sekaligus ke jaringan, sehingga dipotong menjadi petak dengan jendela bertumpang-tindih. Ukuran petak dipatok terhadap JARAK TANAH, bukan jumlah piksel.

Keputusan ini bukan pilihan estetis melainkan hasil temuan terukur: dengan petak dipatok 800 piksel, raster beresolusi 5,50 cm/piksel menghasilkan 45 deteksi sedangkan raster 1,54 cm/piksel menghasilkan 297 deteksi pada model yang sama. Perbedaan itu bukan karena kemampuan model berubah, melainkan karena objek tampil pada ukuran-tampak yang berbeda. Bila petak tetap dipatok piksel, mutu deteksi akan diam-diam bergantung pada resolusi apa pun yang kebetulan diunggah pengguna.

PERHATIAN: Penyeragaman skala TIDAK mengembalikan detail yang hilang saat penurunan resolusi. Tujuannya membuat pipeline KONSISTEN lintas resolusi, bukan meningkatkan resolusi.

4.4 Penggabungan lintas petak dan deduplikasi spasial

Kotak hasil seluruh petak digabungkan dengan Non-Maximum Suppression global: kotak yang bertumpang-tindih di atas ambang IoU pada daerah irisan antar-petak dianggap objek yang sama, dan hanya kotak dengan nilai kepercayaan tertinggi dipertahankan.

Untuk jalur foto lepas yang saling bertumpang-tindih, satu individu dapat terpotret berkali-kali. Deteksi antar-bingkai digabungkan dengan pengelompokan single-linkage: dua titik masuk klaster yang sama bila terdapat rantai titik yang tiap langkahnya berjarak di bawah radius tertentu, dengan jarak dihitung memakai rumus haversine pada permukaan bumi. Titik tanpa koordinat GPS tidak pernah digabungkan secara paksa.

4.5 Pilar vegetasi: segmentasi tajuk

Segmentasi tajuk memakai Mask R-CNN melalui Detectree2 dengan bobot pralatih hutan tropis, yang kemudian disesuaikan pada anotasi flora Baluran. Keluarannya berupa poligon tajuk, bukan sekadar kotak.

Dua penyesuaian wajib dilakukan sebelum pemetakan:

- ¹ Reproyeksi ke sistem koordinat terproyeksi. Perkakas pemetaan menafsirkan ukuran petak langsung sebagai satuan sistem koordinat sumber; pada raster bersistem geografis, petak berukuran 100 akan bermakna 100 derajat, bukan 100 meter. Zona UTM ditentukan otomatis dari posisi data, bukan dipatok satu zona, agar tetap benar bila diterapkan pada kawasan lain.
- ² Penyeragaman resolusi. Raster yang jauh lebih halus dari skala acuan diturunkan resolusinya pada proses reprojeksi yang sama. Tanpa ini, satu petak seluas 100 x 100 meter pada raster 1,54 cm/piksel menjadi sekitar 6.500 x 6.500 piksel dan proses berhenti karena kehabisan memori - kejadian nyata pada percobaan produksi. Setelah penyeragaman, ukuran petak menjadi sekitar 2.083 x 2.083 piksel.

4.6 Peningkatan mutu anotasi tajuk

Anotasi flora yang tersedia berasal dari format yang hanya menyimpan kotak pembatas, sehingga mask yang dipelajari model berbentuk persegi, bukan siluet tajuk sesungguhnya. Untuk menilai dampaknya, mask ditingkatkan menjadi siluet memakai GrabCut yang diinisialisasi dari kotak yang ada.

GrabCut dipilih bukan karena paling mutakhir, melainkan karena prosesnya dapat dijelaskan dan tidak memerlukan model tambahan berukuran besar - sejalan dengan prinsip mendahulukan pendekatan terjelaskan sebelum pendekatan gelap.

Konfigurasi	Mask jadi siluet	Tetap persegi
Margin konteks tetap 6 piksel	244 dari 577 (42,3%)	333
Margin proporsional (35% sisi terpendek)	305 dari 577 (52,9%)	272

Perbaikan dari margin tetap ke margin proporsional berangkat dari diagnosis kuantitatif, bukan penyetulan coba-coba: pada konfigurasi awal, 333 dari 577 anotasi menghasilkan mask KOSONG dengan nilai tengah rasio 0,0. Penyebabnya, dengan margin tetap, kotak berukuran kecil hampir memenuhi sub-citra sehingga algoritma tidak memiliki contoh latar untuk membangun model warnanya. Margin proporsional menjamin selalu tersedia cincin latar berapa pun ukuran kotak.

Catatan: Anotasi yang tidak meyakinkan TIDAK dipaksakan menjadi poligon, melainkan dikembalikan sebagai persegi dan ditandai eksplisit, sehingga tahap pelatihan dapat menyaring atau memberi bobot berbeda.

4.7 Pilar pemantauan tutupan dan indikasi penebangan liar

Pilar ini bukan detektor mandiri melainkan turunan dari pilar vegetasi, dikerjakan lewat deteksi perubahan antar-waktu pada citra satelit dengan resolusi menengah, dilanjutkan verifikasi berjenjang.

Dua indeks spektral ternormalisasi dipakai: NDVI sebagai penanda kehijauan dan kehilangan kanopi, serta NBR sebagai indikasi area terbakar. Nilai rata-rata kawasan dihitung pada dua tanggal, lalu selisihnya dibandingkan terhadap ambang.

4.8 Triase sebab-akibat sebelum penetapan indikasi

Setiap peringatan perubahan melewati pemilahan otomatis berbasis aturan yang dapat diaudit SEBELUM disebut kandidat pelanggaran:

- Uji irisan geometri terhadap lapisan izin atau konsesi. Bila bersinggungan, perubahan berada dalam kegiatan berizin dan bukan indikasi pelanggaran.
- Uji kalender musiman. Penurunan indeks yang bertepatan dengan peralihan musim basah ke kering ditandai sebagai kemungkinan pengeringan musiman.
- Sisanya diteruskan sebagai kandidat yang memicu verifikasi udara dan kemudian darat.

Aturan musiman tidak dirancang di awal, melainkan lahir dari temuan pilot nyata: nilai NDVI savana Baluran turun dari 0,394 pada April menjadi 0,213 pada Agustus. Tanpa aturan ini, penurunan tersebut akan diklasifikasikan sebagai indikasi penebangan liar, padahal murni gejala musim kemarau pada savana.

PERHATIAN: Batas metode: citra satelit beresolusi menengah hanya mampu menangkap perubahan pada skala sekitar 0,1 hektare ke atas. Penebangan selektif satu hingga dua pohon TIDAK akan terlihat. Selain itu,

penetapan status hukum BUKAN keluaran sistem - sistem mendokumentasikan, manusia berwenang yang memutuskan.

4.9 Alur anotasi human-in-the-loop

Anotasi data pelatihan dijalankan sebagai alur permanen, bukan langkah awal sementara: model menghasilkan kandidat anotasi lebih dulu, dan manusia berperan sebagai pemeriksa yang mengoreksi, bukan sebagai penggambar dari nol. Alokasi perhatian manusia diarahkan menurut nilai kepercayaan - prediksi berkepercayaan rendah dan janggal yang diperiksa lebih dulu.

Dasar keputusan ini adalah keterbatasan manusia yang terdokumentasi luas dalam literatur maupun teramati langsung dalam proyek: konsistensi anotasi menurun setelah puluhan objek akibat kelelahan pemeriksa.

4.10 Metode statistik ekologi

Kelengkapan inventarisasi jenis diperkirakan memakai penduga Chao2, yaitu varian berbasis KEHADIRAN yang sesuai dengan bentuk data langkah survei. Penduga Chao1 yang lebih dikenal berbasis kelimpahan dan TIDAK sesuai untuk bentuk data ini - perbedaan yang kerap tertukar.

$S_{\text{Chao2}} = S_{\text{obs}} + \frac{Q1(Q1 - 1)}{2(Q2 + 1)}$, dengan S_{obs} jumlah jenis teramati, $Q1$ jumlah jenis yang muncul tepat satu kali, dan $Q2$ tepat dua kali. Kelengkapan dihitung sebagai S_{obs} dibagi S_{Chao2} . Implementasi diuji kecocokannya terhadap perhitungan manual, termasuk kasus tepi ketika $Q2$ bernilai nol.

5. Protokol Evaluasi

Bab ini ditempatkan sebelum hasil karena angka kinerja tidak bermakna tanpa protokol yang menghasilkannya. Seluruh angka pada Bab 6 dihitung dengan protokol berikut.

5.1 Pemisahan data

Pemisahan latih/validasi dilakukan pada tingkat GAMBAR SUMBER, bukan tingkat petak. Alasannya: petak dihasilkan dengan jendela bertumpang-tindih, sehingga pemisahan per-petak akan menempatkan potongan citra yang sama di kedua sisi dan menghasilkan kebocoran data.

Pilar	Latih	Validasi
Fauna	4 gambar sumber - 92 petak (60 kosong), 155 kotak	1 gambar sumber - 23 petak (15 kosong), 44 kotak
Vegetasi	2 gambar sumber - 70 petak, 573 kotak	1 gambar sumber - 35 petak, 244 kotak

PERHATIAN: TIDAK ADA himpunan uji independen. Data latih dan validasi berasal dari sesi pemotretan yang sama, pada hari yang sama, di lokasi berdampingan. Evaluasi ini bersifat IN-SAMPLE dengan pemisahan lemah; angka yang dihasilkan mengukur kemampuan model pada kondisi citra tersebut, BUKAN kemampuan generalisasi ke kondisi lapangan lain.

5.2 Protokol perhitungan metrik deteksi

Metrik deteksi bergantung pada protokol, sehingga protokol dinyatakan eksplisit agar dapat direproduksi:

- Ambang confidence 0,30 - sama dengan ambang pipeline produksi SAAT PENGUKURAN (YOLO11n). Detektor produksi kemudian diganti dan memakai ambang lain; lihat bagian 6.7.
- Kriteria kecocokan IoU $\geq 0,50$ terhadap kotak kebenaran.
- Pencocokan serakah (greedy matching), sesuai penilaian baku COCO: prediksi diproses dari skor tertinggi ke terendah, tiap prediksi langsung mengambil kotak kebenaran yang paling cocok saat itu, dan satu kotak kebenaran hanya boleh dipasangkan satu kali. Cara ini dipilih BUKAN karena paling optimal - pencocokan optimal global seperti algoritma Hungarian dapat menghasilkan pasangan yang lebih baik secara keseluruhan - melainkan karena inilah cara yang dipakai penilaian baku COCO, sehingga angka yang dihasilkan sebanding dengan angka pada literatur.
- Prediksi tak berpasangan dihitung positif palsu; kotak kebenaran tak berpasangan dihitung negatif palsu.

Catatan: Angka pada Bab 6 dihitung ulang dengan protokol di atas. Nilai yang dihasilkan perangkat bawaan pustaka pelatihan dapat berbeda karena memakai kurva precision-recall dan ambang berbeda. Kedua pendekatan sah; yang tidak dibenarkan adalah mencampur keduanya tanpa menyebut protokolnya.

5.3 Selang kepercayaan

Setiap metrik dilaporkan bersama selang kepercayaan 95% yang dihitung dengan bootstrap non-parametrik: $B = 5.000$ ulangan, resampling pada tingkat petak, seed tetap 20260818 untuk keterulangan.

PERHATIAN: Resampling tingkat petak hanya mengukur ketidakpastian DI DALAM citra validasi tersebut. Untuk generalisasi, unit bebasnya adalah gambar atau sesi terbang, dan himpunan validasi hanya memuat satu gambar sumber ($n = 1$). Dengan demikian selang kepercayaan GENERALISASI tidak dapat dihitung dari data yang tersedia. Ini keterbatasan desain pengumpulan data, bukan kekurangan analisis statistik.

5.4 Metrik segmentasi

Untuk pilar vegetasi dipakai Average Precision pada ambang IoU 0,50 (AP50) untuk kotak maupun mask, mengikuti konvensi COCO. Evaluasi dilakukan tiap 100 iterasi pada himpunan validasi, dan checkpoint yang dilaporkan adalah yang berkinerja validasi terbaik, bukan checkpoint terakhir. Pemilihan ini penting karena tren overfitting terdeteksi eksplisit pada pilar vegetasi (Bab 6).

6. Hasil

PERHATIAN: Bab ini HANYA memuat angka yang sah diukur. Sejumlah metrik yang lazim dilaporkan sengaja DITIADAKAN karena pemeriksaan mendapati alat ukurnya tidak berlaku pada data ini. Setiap peniadaan dinyatakan terbuka berikut alasannya, dan diuraikan pada Bab 7. Ketiadaan sebuah angka di sini bukan kelalaian, melainkan penolakan melaporkan angka yang tidak mengukur apa yang tampaknya diukur.

6.1 Deteksi fauna

Anotasi validasi fauna diperiksa kelengkapannya sebelum metrik dilaporkan. Dari seluruh deteksi kedua model, tidak ada satu pun satwa yang terdeteksi dengan keyakinan tinggi namun tidak memiliki anotasi: model v2 nol, model v1 hanya satu dan berkepercayaan rendah. Tidak satu pun positif-palsu melampaui kepercayaan 0,70. Positif-palsu yang ada berupa deteksi ganda dan kotak yang meleset pada satwa yang memang sudah dianotasi. Karena itu seluruh metrik pada bagian ini sah dilaporkan, termasuk Precision.

Protokol wajib disebut karena metrik berubah mengikuti protokol: ambang kepercayaan 0,30 sama dengan pipeline produksi saat pengukuran (YOLO11n; lihat 6.7), kecocokan IoU $\geq 0,50$, pencocokan serakah menurut skor tertinggi, bootstrap 5.000 ulangan pada tingkat petak, benih acak 20260818.

Model	TP	FP	FN	Precision (IK95%)	Recall (IK95%)	F1 (IK95%)
YOLO11n v1	34	6	10	0,850 [0,786-0,917]	0,773 [0,697-0,902]	0,810 [0,742-0,905]
YOLO11n v2	39	2	5	0,951 [0,880-1,000]	0,886 [0,838-1,000]	0,918 [0,869-1,000]

Kotak kebenaran berjumlah 44, tersebar pada 8 dari 23 petak validasi.

Selang kepercayaan kedua model bertumpang-tindih pada ketiga metrik. Namun menyimpulkan 'tidak berbeda' dari tumpang-tindih itu keliru, karena cara tersebut mengabaikan bahwa kedua model dinilai pada PETAK YANG SAMA sehingga galatnya berkorelasi. Perbedaan antar-versi karena itu dihitung sebagai selang dari SELISIHNYA langsung, dengan indeks pengambilan-ulang yang dipakai bersama oleh kedua model.

Metrik	Selisih (v2 dikurangi v1)	IK95%	Kesimpulan
Precision	+0,101	[+0,044, +0,190]	Signifikan
Recall	+0,114	[+0,036, +0,200]	Signifikan
F1	+0,108	[+0,057, +0,187]	Signifikan

Catatan: Tidak satu pun selang selisih memuat nol. Peningkatan v1 ke v2 pada pilar fauna karena itu dapat dinyatakan signifikan secara statistik.

PERHATIAN: Batas tafsir tetap berlaku sepenuhnya. Signifikan di sini berarti perbedaannya nyata PADA CITRA YANG DIUJI, bukan bahwa peningkatan itu akan terulang di lokasi, musim, atau perangkat lain. Selang v2 yang menyentuh 1,000 pada tabel sebelumnya adalah tanda klasik data uji tidak memadai untuk membedakan model dari sempurna, BUKAN tanda model sempurna.

6.2 Segmentasi tajuk pohon

Model v2 dilatih penuh 600 iterasi tanpa penghentian dini, memakan 3 jam 53 menit pada prosesor umum tanpa akselerator. Perbedaannya terhadap v1 hanya pada bentuk mask latih: v1 memakai mask persegi turunan kotak pembatas, v2 memakai siluet tajuk. Seluruh hiperparameter lain dipertahankan identik, dan diperiksa bahwa 573 kotak latih serta 244 kotak uji kedua versi identik seluruhnya, sehingga selisih yang muncul benar-benar berasal dari bentuk mask.

Perbandingan dilakukan dengan kedua model dinilai terhadap kebenaran dasar YANG SAMA, yaitu 144 poligon siluet sungguhan. Ini berbeda dari pelaporan sebelumnya, ketika v1 dinilai terhadap mask persegi dan v2 terhadap siluet sehingga angkanya tidak pernah sebanding. Kecocokan memakai IoU mask, bukan IoU kotak, karena yang sedang diuji adalah bentuk. Selisih dihitung berpasangan pada petak

pengambilan-ulang yang sama.

Metrik	v1 (dilatih persegi)	v2 (dilatih siluet)	Selisih berpasangan (IK95%)
Recall	0,771	0,861	+0,090 [+0,045, +0,140]
Kepercayaan deteksi benar (median)	0,775	0,854	tidak diuji formal
Deteksi benar berkepercayaan > 0,90	8	38	tidak diuji formal

Catatan: Selang selisih recall TIDAK memuat nol. Ini satu-satunya perbandingan antar-versi pada pilar vegetasi yang dapat dinyatakan signifikan secara statistik.

Temuan yang sah disimpulkan: melatih dengan mask siluet membuat model menemukan tajuk yang dianotasi secara signifikan lebih banyak, dan lebih yakin pada tajuk yang benar. Tidak lebih dari itu.

PERHATIAN: Precision, F1, dan seluruh perbandingan Average Precision untuk pilar vegetasi SENGAJA TIDAK dilaporkan. Pemeriksaan mendapati anotasi validasi tajuk tidak lengkap: dua pertiga deteksi yang dihitung sebagai positif-palsu ternyata tajuk pohon nyata yang tidak pernah dianotasi, dipastikan melalui pemeriksaan visual. Metrik yang memuat positif-palsu karena itu sebagian besar mengukur kelengkapan anotasi, bukan kemampuan model. Recall tidak terpengaruh karena hanya bergantung pada apakah objek yang DIANOTASI berhasil ditemukan. Uraian lengkap pada Bab 7.

6.3 Klasifikasi jenis fauna

Pendekatan berbasis contoh acuan mengungguli pendekatan berbasis deskripsi teks pada data ini. Namun basis datanya sangat kecil sehingga angkanya TIDAK boleh dikutip tanpa ukuran sampelnya: hanya tersedia tiga contoh positif, dengan dua benar dan satu terlewat.

PERHATIAN: Angka Precision bernilai 1,000 pada pendekatan berbasis contoh acuan berasal dari DUA kasus benar. Angka itu tidak bermakna sebagai ukuran kemampuan dan tidak boleh dikutip terlepas dari ukuran sampelnya.

Varian tiga kelas dengan penambahan rusa timor DITOLAK, bukan karena angkanya buruk melainkan karena ditemukan kerancuan ranah: contoh acuan yang diambil dari raster berbeda membalik sebaran prediksi secara menyeluruh dengan selisih keyakinan yang tipis. Menerima hasil semacam itu berarti melaporkan artefak pengambilan data sebagai kemampuan model.

6.4 Pemantauan tutupan berbasis satelit

Uji nyata pada savana wilayah studi menunjukkan indeks kehijauan turun dari 0,394 pada April menjadi 0,213 pada Agustus. Penurunan sebesar itu sepenuhnya dapat dijelaskan oleh musim kemarau.

PERHATIAN: Temuan ini adalah temuan NEGATIF yang penting, dan justru itulah nilainya: tanpa aturan penyaring musim, sistem akan menuduh adanya pembalakan pada penurunan yang murni musiman. Setiap penerapan pemantauan multi-temporal di lanskap savana bermusim tegas wajib memuat penyaring semacam itu.

6.5 Ambang operasi untuk produksi

Ambang kepercayaan yang dipakai pipeline produksi vegetasi diwarisi dari pipeline fauna dan tidak pernah disetel khusus untuk tajuk. Sapuan ambang dilakukan dengan melaporkan HANYA recall dan jumlah kandidat yang harus diperiksa manusia. Precision dan F1 sengaja tidak dipakai sebagai dasar pemilihan: karena anotasinya tidak lengkap, memilih ambang yang memaksimumkan F1 berarti menyetel model agar cocok dengan anotasi yang cacat, yaitu menghukum model justru karena menemukan pohon yang terlewat dianotasi.

Ambang	Recall	Tajuk ditemukan	Kandidat diperiksa	Terhadap ambang sekarang
0,30 (sekarang)	0,861	124 dari 144	626	100%
0,40	0,847	122	485	77%
0,50	0,833	120	395	63%
0,60	0,799	115	307	49%
0,70	0,694	100	225	36%
0,80	0,590	85	134	21%

Titik lutut berada pada rentang 0,50 sampai 0,60. Menaikkan ambang ke 0,50 menurunkan recall 3,3 persen sambil memangkas jumlah kandidat 37 persen.

PERHATIAN: Kolom 'kandidat diperiksa' TIDAK boleh dibaca sebagai beban sia-sia. Karena dua pertiga deteksi yang dihitung positif-palsu adalah tajuk nyata yang tidak dianotasi, menaikkan ambang memangkas beban verifikasi SEKALIGUS memangkas penemuan pohon yang sesungguhnya. Berapa banyak yang terbuang tidak dapat diukur dengan anotasi yang ada. Pemilihan ambang karena itu merupakan keputusan kapasitas kerja lembaga pengelola, bukan keputusan statistik, dan dokumen ini tidak menetapkananya.

6.6 Kinerja komputasi

Seluruh pengolahan produksi berjalan pada prosesor umum tanpa akselerator grafis. Satu pekerjaan segmentasi tajuk atas raster berukuran 6,24 gigabita selesai dalam 6 menit 31 detik dengan puncak pemakaian memori 1.235 megabita. Sebelum penerapan normalisasi resolusi, pekerjaan yang sama menghabiskan memori dan menggagalkan proses pekerja.

Angka ini disertakan karena relevan bagi kelayakan penerapan di lembaga pengelola kawasan yang umumnya tidak memiliki perangkat keras khusus.

6.7 Penggantian detektor fauna produksi

Audit lisensi pustaka model (5 September 2026) mendapati bahwa paket yang menjalankan YOLO11n berlisensi AGPL-3.0. Menurut pembacaan pemilik paket itu sendiri, melayani pengguna lewat jaringan sudah memicu kewajiban membuka seluruh kode sumber karya turunannya, termasuk bobot model yang dilatih dengannya. Pemicunya adalah penggunaan lewat jaringan, bukan penjualan. Uraian ini mencatat fakta lisensi dan pembacaan resmi pemiliknya; ini BUKAN nasihat hukum.

Alternatif	Akibat	Keputusan
Membeli lisensi perusahaan	Biaya berulang; ketergantungan pada satu pemasok tetap ada	Ditolak
Membuka seluruh kode platform	Menyentuh kedaulatan data dan pengendalian akses (Bab 8)	Ditolak
Melanjutkan sambil menyadari paparannya	Risiko tetap melekat pada pilar fauna dan bobotnya	Ditolak
Mengganti detektor dengan arsitektur berlisensi permisif, lalu melatih ulang	Seluruh angka fauna harus diukur ulang dengan protokol baru	Dipilih - diuji dahulu dengan adu detektor pra-registrasi

Aturan adu ditulis dan dikunci SEBELUM data dilihat (pra-registrasi): tiga lipatan tinggalkan-satu-gambar dengan 137 satwa uji, metrik utama AP50 gabungan (interpolasi 101 titik), margin tidak-lebih-buruk -0,05 AP50 terhadap acuan, tiga benih acak (42, 43, 44), pseudo-label dikeluarkan dari data latih, dan gerbang berurutan: lisensi, kesetiaan ekspor ONNX, tidak-lebih-buruk, lalu kecepatan dan memori pada prosesor umum. Pesertanya: A0 YOLO11n (acuan), K1 RF-DETR Nano, K2 YOLOv9-T berlisensi MIT, dan K3 D-FINE-N. K2 gugur pada ronde benih 42; sesuai aturan, finalis paling banyak dua.

Model	Benih 42	Benih 43	Benih 44	Rentang antar-benih
A0 YOLO11n (acuan)	0,6804	0,7047	0,5833	0,5833-0,7047

Model	Benih 42	Benih 43	Benih 44	Rentang antar-benih
K1 RF-DETR Nano	0,7019	0,7042	0,7041	0,7019-0,7042
K3 D-FINE-N	0,7202	0,6775	0,7106	0,6775-0,7202

Gerbang	K1 RF-DETR Nano	K3 D-FINE-N
1. Lisensi kode	Apache-2.0 - lolos	Apache-2.0 - lolos
2. Kesetiaan ONNX (selisih AP50 $\leq$ 0,01)	0,0000 - lolos	0,0000 - lolos
3. Tidak lebih buruk (IK95%, margin -0,05)	+0,0473 [-0,0079, +0,1068] - lolos	+0,0466 [-0,0022, +0,1037] - lolos
4a. Waktu per petak $\leq$ 3 kali acuan (acuan 66,4 ms)	597,0 ms (9,0 kali) - GAGAL	121,3 ms (1,83 kali) - lolos
4b. Memori puncak $\leq$ 2 GB	920,6 MB - lolos	502,8 MB - lolos

Tidak ada kandidat yang terbukti LEBIH BAIK daripada acuan: batas bawah kedua selang masih di bawah nol. Yang terbukti hanyalah tidak-lebih-buruk dalam margin yang ditetapkan. Penentunya gerbang kecepatan: K1 sembilan kali lebih lambat daripada acuan pada prosesor umum. D-FINE-N lolos seluruh gerbang dan ditetapkan sebagai detektor fauna produksi (18 September 2026). Hasil ini sejalan dengan kesimpulan 9.1 butir 2: selisih antar-arsitektur kecil dibandingkan pengaruh data.

Model produksi dilatih ulang memakai SELURUH data berlabel manusia (115 petak berisi satwa, 75 petak kosong, 199 kotak, lima gambar sumber), diekspor ke ONNX, dan dijalankan dengan ONNX Runtime 1.30.0 pada prosesor umum. Kode produksi diuji terhadap pembungkus eksperimen pada 60 petak nyata: 113 deteksi sama dengan 113 deteksi, selisih skor terbesar 0,0001. Paket berlisensi AGPL-3.0 dicopot dari lingkungan produksi pada 20 September 2026; bobot YOLO11n disimpan hanya sebagai pembanding ilmiah dan tidak lagi dapat dimuat aplikasi.

Skor kepercayaan dua arsitektur TIDAK sebanding, sehingga ambang 0,30 milik YOLO11n tidak dipakai ulang. Ambang baru dipilih dari prediksi di luar lipatan (137 satwa, rata-rata tiga benih):

Model dan ambang	Precision	Recall	F1
A0 YOLO11n pada 0,30 (ambang produksi lama)	0,696	0,764	0,728
K3 D-FINE-N pada 0,30	0,607	0,837	0,704
K3 D-FINE-N pada 0,50 (DIPILIH)	0,692	0,830	0,754
K3 D-FINE-N pada 0,70 (F1 tertinggi)	0,777	0,788	0,783

Ambang 0,50 dipilih pengelola platform karena memberi precision yang setara dengan detektor lama (0,692 lawan 0,696) dengan recall lebih tinggi (0,830 lawan 0,764). Setiap deteksi tetap diperiksa manusia, sehingga satwa yang terlewat lebih mahal daripada kandidat berlebih. Ambang 0,70 memaksimumkan F1 tetapi melepas sekitar empat dari seratus satwa yang masih tertangkap pada 0,50.

PERHATIAN: Tiga batas tafsir. PERTAMA, model produksi TIDAK memiliki angka uji sendiri: seluruh data berlabel dipakai melatihnya, sehingga angka pada bagian ini berasal dari model lipatan dan merupakan PERKIRAAN kinerja, bukan pengukuran atas model yang berjalan. KEDUA, angka pada 6.1 (44 kotak, satu gambar sumber, pseudo-label ikut melatih v2) dan angka pada bagian ini (137 satwa, tiga lipatan) memakai protokol berbeda dan TIDAK boleh dibandingkan langsung; turunnnya angka YOLO11n dari 6.1 ke bagian ini mencerminkan protokol yang lebih ketat, bukan model yang memburuk. KETIGA, himpunan uji tetap kecil dan berasal dari sesi terbang yang sama, sehingga keterbatasan 7.1 berlaku sepenuhnya.

7. Keterbatasan

Bab ini disusun dengan asumsi pembaca akan mencari kelemahan karya ini. Menyatakannya lebih dahulu, lengkap dengan ukuran dan akibatnya, lebih berguna daripada menunggu ditemukan pihak lain. Beberapa di antaranya baru diketahui pada tahap akhir dan membatalkan angka yang sempat dilaporkan sebelumnya; hal itu dinyatakan apa adanya.

7.1 Tidak ada himpunan uji yang independen

Data latih dan data uji berasal dari sesi pemotretan yang sama. Himpunan validasi fauna bersumber dari satu citra, demikian pula himpunan validasi vegetasi. Seluruh angka pada Bab 6 karena itu menggambarkan kemampuan sistem PADA CITRA TERSEBUT, bukan kemampuan menggeneralisasi ke lokasi, musim, ketinggian terbang, atau perangkat lain.

PERHATIAN: Selang kepercayaan GENERALISASI tidak dapat dihitung sama sekali dari data ini. Unit bebas untuk generalisasi adalah citra atau sesi terbang, dan tersedia hanya satu. Pengambilan ulang pada tingkat petak yang dipakai di Bab 6 hanya mengukur ketidakpastian DI DALAM citra tersebut. Ini keterbatasan desain pengumpulan data, bukan kekurangan analisis, dan tidak dapat diperbaiki dengan metode statistik apa pun.

7.2 Anotasi validasi tajuk tidak lengkap

Ini keterbatasan paling berdampak dalam dokumen ini, dan baru ditemukan setelah seluruh latihan model selesai. Pemeriksaan atas deteksi yang dihitung sebagai positif-palsu mendapati dua pertiga di antaranya jatuh di wilayah tanpa anotasi sama sekali. Pemeriksaan visual atas petak-petak tersebut memastikan bahwa sebagian besar merupakan tajuk pohon nyata yang tidak pernah dianotasi. Anotasi tampak condong pada tajuk berukuran besar, sedangkan tajuk kecil dan sedang banyak terlewat.

Akibatnya, setiap metrik yang memuat komponen positif-palsu untuk pilar vegetasi mengukur kelengkapan anotasi lebih daripada mengukur kemampuan model. Precision, F1, dan perbandingan Average Precision karena itu ditiadakan dari Bab 6.

Pemeriksaan yang sama dilakukan terhadap anotasi fauna dan hasilnya berbeda: anotasi fauna LENGKAP, sehingga metrik fauna tetap sah. Perbedaan ini masuk akal secara visual. Satwa tampil berkontras tinggi terhadap latar dan dapat dihitung satu per satu, sedangkan tajuk pohon pada savana saling bertumpang-tindih, batasnya ambigu, dan jumlahnya jauh lebih banyak per petak, sehingga jauh lebih rentan terlewat.

Catatan: Yang menyelesaikan keterbatasan ini: menganotasi lengkap satu petak saja, seluruh tajuk tanpa kecuali. Dengan itu Precision menjadi sah dan ambang produksi dapat dipilih dari angka. Perkiraan beberapa jam kerja seorang pengantasi.

7.3 Kebenaran dasar vegetasi tidak seragam

Siluet tajuk diperoleh dengan menaikkan anotasi kotak lama memakai metode segmentasi klasik. Metode itu berhasil pada 52 persen anotasi latih dan 59 persen anotasi uji; sisanya jatuh kembali menjadi persegi. Anotasi bersiluet menutupi sekitar 61 persen luas kotaknya, sedangkan yang gagal menutupi 100 persen.

PERHATIAN: Untuk objek sejenis yang tampak serupa, model karena itu menerima dua ajaran yang bertentangan: sebagian tajuk diajarkan bentuknya mengisi sekitar 61 persen kotak, sebagian lagi mengisi seluruh kotak. Perbedaan itu bukan sifat tajuknya melainkan cacat proses anotasi, dan merupakan kandidat penjelasan terkuat bagi perilaku metrik segmentasi yang tidak lazim.

Akibat kedua yang perlu dinyatakan: pengukuran Average Precision segmentasi yang dilaporkan perangkat lunak secara bawaan menghitung seluruh 244 objek, termasuk 100 yang masih persegi. Pengukuran yang membatasi diri pada 144 objek bersiluet menghasilkan angka jauh lebih tinggi. Perbedaan sebesar itu berarti angka bawaan meremehkan kemampuan segmentasi secara sistematis, dan angka semacam itu pada laporan-laporan sebelumnya tidak boleh dipakai sebagai ukuran kemampuan.

7.4 Metrik yang sengaja tidak dilaporkan

Daftar berikut dicantumkan agar pembaca dapat memastikan bahwa ketiadaannya disengaja:

Metrik	Pilar	Alasan ditiadakan
Precision, F1	Vegetasi	Anotasi tidak lengkap; keduanya mengukur kelengkapan anotasi
Perbandingan AP v1 lawan v2	Vegetasi	Kebenaran dasar kedua versi berbeda bentuk; angka tidak sebanding
Selang kepercayaan AP	Vegetasi	Belum dihitung
Metrik apa pun	Thermal	Belum ada model sama sekali
Metrik apa pun	Klasifikasi jenis tajuk	Belum pernah dilatih; label lapangan nol
Selang kepercayaan generalisasi	Seluruh pilar	Hanya tersedia satu citra sumber

7.5 Koreksi metode uji, dan kesimpulan yang berubah karenanya

Pada penyusunan awal, perbandingan antar-versi pilar fauna dinilai dengan memeriksa apakah dua selang kepercayaan yang terpisah saling bertumpang-tindih, sedangkan pilar vegetasi dinilai dengan selang selisih berpasangan. Kedua pilar karena itu tidak diuji dengan cara yang setara.

Cara berpasangan lebih kuat. Memeriksa tumpang-tindih dua selang terpisah mengabaikan bahwa kedua model dinilai pada petak yang sama, sehingga galatnya berkorelasi; korelasi itulah yang justru mempersempit selang selisih. Akibatnya dua selang dapat bertumpang-tindih meskipun selisih berpasangannya nyata.

PERHATIAN: Ketimpangan ini SUDAH DIPERBAIKI, dan perbaikannya MENGUBAH kesimpulan. Perhitungan ulang dengan selisih berpasangan mendapati peningkatan fauna v1 ke v2 SIGNIFIKAN pada ketiga metrik, padahal cara sebelumnya menyimpulkan tidak signifikan. Pernyataan lama tersebut ditarik. Hal ini dicatat di sini, bukan disembunyikan, karena menunjukkan bahwa kesimpulan statistik pada karya ini sensitif terhadap pilihan metode uji - dan pembaca berhak mengetahuinya.

Kedua pilar kini diuji dengan cara yang setara. Angka per-model tidak berubah sama sekali; yang berubah hanya cara menilai perbedaan antar-versi.

7.6 Identitas jenis belum dikonfirmasi ahli

Tidak ada satu pun identitas jenis dalam dokumen ini yang dikonfirmasi ahli taksonomi atau petugas lapangan. Seluruh penyebutan jenis berstatus indikasi berdasarkan kemiripan visual dari udara. Perbedaan antara jenis-jenis berukuran dan berwarna serupa pada citra udara merupakan persoalan terbuka yang belum diselesaikan proyek ini.

7.7 Pilar yang belum memiliki model

- Pilar thermal tidak memiliki model sama sekali. Data thermal hanya tersedia dari satu sesi penerbangan karena perangkatnya rusak sesudah itu, dan kajian terpisah menyimpulkan thermal dari udara sangat terbatas manfaatnya di bawah tajuk yang rapat.
- Klasifikasi jenis tajuk belum pernah dilatih. Ciri-cirinya sudah terekstrak, tetapi label jenis dari survei lapangan berjumlah nol, dan program sengaja menolak berjalan sampai tersedia sejumlah minimum label.
- Deteksi satwa dari kamera jebak baru berupa kajian; perangkatnya belum diadakan.

7.8 Keterbatasan pengukuran fisik

- Seluruh nilai jarak sampel tanah bersifat indikatif karena perbedaan antara ketinggian terhadap permukaan laut dan ketinggian terhadap permukaan tanah belum diselesaikan.

- Tinggi tajuk dihitung dari model permukaan digital mentah, BUKAN model tinggi kanopi, karena model medan digital tidak tersedia. Nilainya karena itu memuat komponen ketinggian tanah dan tidak boleh dibaca sebagai tinggi pohon sesungguhnya.
- Sebagian poligon tajuk pada uji produksi berukuran tidak masuk akal untuk satu pohon, yang menunjukkan penggabungan rumpun belum tertangani.

7.9 Ambang operasi belum ditetapkan

Sebagaimana diuraikan pada bagian 6.5, ambang kepercayaan produksi untuk pilar vegetasi tidak dapat dipilih dari data yang ada karena pemilihan itu bergantung pada kapasitas verifikasi lembaga pengelola. Dokumen ini menyajikan pertukarannya secara terukur tetapi TIDAK menetapkan angkanya.

7.10 Ringkasan: apa yang akan menyelesaikan apa

Keterbatasan	Yang menyelesaikannya	Perkiraan upaya
Anotasi tajuk tidak lengkap	Anotasi lengkap satu petak	Beberapa jam
Kebenaran dasar tidak seragam	Anotasi poligon tajuk asli, bukan turunan kotak	Beberapa hari
Tidak ada uji independen	Sesi terbang kedua di lokasi atau waktu berbeda	Satu kegiatan lapangan
Identitas jenis belum dikonfirmasi	Verifikasi ahli atau petugas kawasan	Bergantung ketersediaan ahli
Uji antar-pilar tidak setara	SELESAI 5 September 2026 - fauna dihitung ulang dengan selisih berpasangan; kesimpulannya berubah	-
Klasifikasi jenis tajuk belum dilatih	Survei dendrologi untuk label lapangan	Satu kegiatan lapangan
Pilar thermal tanpa model	Pengadaan kamera jebak sebagai pelengkap	Pengadaan dan pemasangan
Model fauna produksi tanpa angka uji sendiri (6.7)	Himpunan uji dari sesi terbang lain, tidak pernah dipakai melatih	Satu kegiatan lapangan

8. Tata Kelola Data, Etika, dan Batas Kewenangan

8.1 Batas kewenangan sistem

Bagian ini bersifat menentukan dan tidak boleh diringkas saat pengutipan.

PERHATIAN: Sistem ini menghasilkan DUGAAN terukur, bukan penetapan. Keluarannya TIDAK BOLEH dijadikan dasar tunggal untuk: penetapan status hukum atau pelanggaran, tindakan penegakan terhadap orang atau badan usaha, penetapan batas kawasan atau hak atas tanah, maupun klaim ilmiah mengenai populasi spesies. Untuk seluruh keperluan tersebut, keluaran sistem berkedudukan sebagai petunjuk awal yang wajib diverifikasi oleh manusia berwenang.

Perumusan ini bukan formalitas hukum semata, melainkan konsekuensi langsung dari keterbatasan teknis yang terukur: tidak ada satu pun identitas spesies dalam sistem ini yang telah dikonfirmasi ahli, dan seluruh angka kinerja berasal dari himpunan validasi berukuran kecil.

8.2 Rantai bukti

Setiap berkas yang masuk dihitung sidik jari kriptografisnya satu kali menggunakan SHA-256, dan nilai tersebut tidak pernah diubah sesudahnya. Perubahan satu bit pun pada berkas akan mengubah sidik jari, sehingga keaslian bahan dapat dibuktikan di kemudian hari.

Rantai bukti dibangun sejak tahap pemasukan data, bukan ditambahkan belakangan, karena bukti yang disusun setelah fakta kehilangan nilai pembuktiannya.

8.3 Perlindungan lokasi spesies sensitif

Koordinat presisi jenis yang berstatus terancam atau bernilai ekonomi tinggi tidak ditampilkan kepada pengguna di luar kelompok pengelola kawasan. Koordinat digeneralisasi ke pusat sel kisi, dan setiap akses terhadap koordinat presisi dicatat dalam log audit.

Perlindungan ini berlaku untuk fauna maupun flora bernilai kayu, karena keterbukaan lokasi justru dapat memfasilitasi perburuan atau penebangan - risiko nyata yang melekat pada publikasi data keanekaragaman hayati.

8.4 Kedaulatan dan kepemilikan data

Seluruh data mentah, model terlatih, dan basis data hasil berada pada infrastruktur yang dikendalikan penyelenggara di wilayah Indonesia. Layanan pihak ketiga yang dipakai terbatas pada sumber terbuka untuk citra satelit dan basis data keanekaragaman hayati global; tidak ada data lapangan milik kawasan yang dikirim ke layanan tersebut.

8.5 Pengendalian akses

Akses diatur berjenjang dengan pemisahan berdasarkan kawasan pengelolaan. Kemampuan mengubah taksonomi, meninjau anotasi, mengakses data lintas kawasan, dan mengelola pengguna dipisahkan pada tingkat kewenangan yang berbeda, sehingga kekeliruan pada satu tingkat tidak berdampak pada keseluruhan sistem.

8.6 Keterbukaan dan keterulangan

Seluruh keputusan metodologis, termasuk yang kemudian direvisi atau ditolak, terdokumentasi beserta alasannya. Versi perangkat lunak, benih acak, spesifikasi perangkat keras, dan sidik jari berkas data dicantumkan pada lampiran agar pihak lain dapat menilai maupun mengulang prosedur yang dijalankan.

Catatan: Temuan negatif dan kegagalan dilaporkan setara dengan keberhasilan. Percobaan klasifikasi few-shot tiga kelas yang ditolak karena tercemar perbedaan domain, kegagalan proses akibat kehabisan memori, dan mask kosong pada konfigurasi awal peningkatan anotasi seluruhnya tercantum dalam dokumen ini.

9. Kesimpulan dan Arah Lanjutan

9.1 Kesimpulan

Karya ini menunjukkan bahwa pipeline deteksi multi-sensor terpadu untuk pemantauan konservasi dapat dibangun dan dioperasikan pada data lapangan nyata Indonesia, dengan sumber daya komputasi terbatas dan tanpa akselerator grafis pada lingkungan produksi.

Yang berhasil ditunjukkan:

- 1 Ketiga pilar berjalan menyeluruh dari pemasukan data sampai keluaran bergeoreferensi, dengan rantai bukti terjaga sejak berkas masuk.
- 2 Penyesuaian model pralatih pada data lokal memberi peningkatan kinerja yang jauh melampaui selisih antar-arsitektur model, sehingga prioritas sumber daya diarahkan pada mutu dan jumlah data, bukan pada pencarian arsitektur baru.
- 3 Alur triase sebab-akibat mencegah kesalahan penetapan indikasi pelanggaran pada kasus nyata penurunan indeks vegetasi musiman.
- 4 Kesadaran skala spasial pada tahap pemetaan terbukti menentukan; tanpa itu, mutu deteksi diam-diam bergantung pada resolusi berkas yang kebetulan diunggah.

Yang belum dapat ditunjukkan dinyatakan setara terbukanya pada Bab 7, dan tidak diklaim sebagai keberhasilan.

9.2 Arah lanjutan menurut prioritas

Prioritas	Langkah	Prasyarat
Tinggi	Membangun himpunan uji independen dari sesi terbang berbeda	Akuisisi data baru pada kawasan lain
Tinggi	Verifikasi identitas spesies oleh ahli atau petugas kawasan	Kerja sama pihak pengelola
Tinggi	Anotasi poligon tajuk oleh manusia untuk menggantikan pendekatan otomatis	Waktu anotator terlatih
Menengah	Pelatihan pengklasifikasi jenis tajuk	Minimal 30 label dendrologi lapangan
Menengah	Model deteksi termal	Sesi akuisisi termal baru dengan sensor radiometrik
Menengah	Perhitungan tinggi tajuk sebenarnya	Model permukaan tanah (DTM)
Rendah	Pelacakan objek pada video	Data video dengan telemetri

9.3 Pernyataan penutup

Sistem yang dijelaskan dalam dokumen ini sedang dan akan terus berada dalam pengembangan. Penyusun berpandangan bahwa kegunaan sebuah sistem pemantauan konservasi tidak ditentukan oleh besarnya angka yang dilaporkan, melainkan oleh sejauh mana batas keandalannya diketahui dan dinyatakan, sehingga pengguna dapat menakar seberapa jauh keluarannya boleh dipercaya.

10. Daftar Pustaka

Catatan: Rujukan yang ditandai [terverifikasi langsung] telah dibaca dari naskah aslinya selama penyusunan dokumen ini. Rujukan lainnya merupakan karya baku yang sangat dikenal pada bidangnya; rincian halaman dan nomor terbitan WAJIB dicocokkan kembali terhadap naskah asli sebelum dokumen ini diajukan ke penerbit.

- Ball, J. G. C., Hickman, S. H. M., Jackson, T. D., Koay, X. J., Hirst, J., Jay, W., Archer, M., Aubry-Kientz, M., Vincent, G., & Coomes, D. A. (2023). Accurate delineation of individual tree crowns in tropical forests from aerial RGB imagery using Mask R-CNN. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*. <https://doi.org/10.1002/rse2.332> [terverifikasi langsung]
- He, K., Gkioxari, G., Dollar, P., & Girshick, R. (2017). Mask R-CNN. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*.
- Lin, T.-Y., Maire, M., Belongie, S., Hays, J., Perona, P., Ramanan, D., Dollar, P., & Zitnick, C. L. (2014). Microsoft COCO: Common objects in context. *European Conference on Computer Vision (ECCV)*.
- Rother, C., Kolmogorov, V., & Blake, A. (2004). GrabCut: Interactive foreground extraction using iterated graph cuts. *ACM Transactions on Graphics*, 23(3).
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32.
- Chao, A. (1987). Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability. *Biometrics*, 43(4), 783-791.
- Stevens, S., Wu, J., Thompson, M. J., Campolongo, E. G., Song, C. H., Carlyn, D. E., dkk. (2024). BioCLIP: A vision foundation model for the tree of life. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*.
- Schonberger, J. L., & Frahm, J.-M. (2016). Structure-from-motion revisited. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*.
- Key, C. H., & Benson, N. C. (2006). *Landscape assessment: Sampling and analysis methods*. USDA Forest Service General Technical Report RMRS-GTR-164-CD.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. NASA Special Publication, 351.
- Jocher, G., & Qiu, J. (2024). Ultralytics YOLO11 [perangkat lunak]. <https://github.com/ultralytics/ultralytics>
- Peng, Y., Li, H., Wu, P., Zhang, Y., Sun, X., & Wu, F. (2024). D-FINE: Redefine regression task in DETRs as fine-grained distribution refinement. *arXiv:2410.13842 (ICLR 2025)*.
- Robinson, I., Robicheaux, P., & Popov, M. (2025). RF-DETR [perangkat lunak]. <https://github.com/roboflow/rf-detr>
- Wu, Y., Kirillov, A., Massa, F., Lo, W.-Y., & Girshick, R. (2019). Detectron2 [perangkat lunak]. <https://github.com/facebookresearch/detectron2>

11. Lampiran Reprodutibilitas

11.1 Lingkungan perangkat lunak

Versi persis yang dipakai saat seluruh angka pada dokumen ini dihasilkan:

Komponen	Versi
Python	3.12.1
PyTorch	2.13.0+cpu
torchvision	0.28.0+cpu
Detectron2	0.6
Detectron2	2.1.2
Ultralytics	8.4.117 - hanya untuk angka 6.1 dan acuan 6.7; dicopot dari produksi 20 September 2026
ONNX Runtime	1.30.0 - menjalankan detektor fauna produksi (D-FINE-N), penyedia CPU
pybioclip	2.1.5
rasterio	1.5.1
OpenCV	5.0.0.93
scikit-learn	1.9.0
pycocotools	2.0.11
geopandas / shapely	1.1.4 / 2.1.2

11.2 Lingkungan perangkat keras

Lingkungan	Spesifikasi	Peran
Stasiun kerja	Prosesor 16 inti, RAM 32,6 GB, Windows 11; GPU lama tanpa inti tensor	Pelatihan model dan pengolahan fotogrametri
Peladen produksi	Mesin virtual 4 vCPU, RAM 8 GB, penyimpanan 300 GB, Ubuntu; TANPA GPU	Layanan aplikasi dan inferensi produksi

Pelatihan segmentasi berlangsung sekitar 21 detik per iterasi pada prosesor. Pemrosesan raster produksi berukuran 6,24 GB memakan waktu 6 menit 31 detik dengan puncak penggunaan memori 1.235 MB setelah penerapan penyeragaman resolusi; sebelum penerapan tersebut, proses berhenti karena kehabisan memori.

11.3 Parameter yang menentukan keterulangan

Parameter	Nilai
Ambang confidence deteksi	0,30
Ambang kecocokan IoU	0,50
Ukuran petak fauna	800 piksel, langkah 700 piksel
Ukuran petak vegetasi	100 x 100 meter, penyangga 15 meter
Skala acuan resolusi vegetasi	4,8 cm/piksel
Arsitektur segmentasi	Mask R-CNN, tulang punggung ResNet-101 dengan FPN
Citra per batch	2
Evaluasi berkala	tiap 100 iterasi
Bootstrap	B = 5.000, benih 20260818
Zona koordinat perhitungan luas	UTM, ditentukan otomatis dari posisi data

11.4 Ketertelusuran data

Setiap berkas data memiliki sidik jari SHA-256 yang dihitung pada saat pemasukan dan tidak diubah sesudahnya. Setiap anotasi hasil konsolidasi menyimpan rujukan ke berkas sumber asalnya, dan setiap mask hasil peningkatan otomatis menyimpan penanda metode yang menghasilkannya, sehingga anotasi berbentuk siluet dapat dibedakan dari yang tetap persegi.

11.5 Ketersediaan

Kode pemrosesan, skrip analisis, dan berkas basis fakta yang menjadi sumber seluruh angka dalam dokumen ini dipelihara dalam repositori proyek. Data lapangan mentah tidak dapat dipublikasikan secara terbuka karena memuat koordinat presisi jenis sensitif; permintaan akses untuk keperluan penelaahan ilmiah dapat diajukan kepada penyusun.

12. Glosarium

Daftar ini memuat istilah yang benar-benar dipakai dalam dokumen ini, bukan daftar umum. Padanan Inggris dicantumkan karena hampir seluruh literatur rujukan berbahasa Inggris, sehingga pembaca dapat menelusuri istilahnya ke sumber asli. Istilah yang sudah lazim dipakai apa adanya dalam bahasa Indonesia tidak dipaksakan diterjemahkan.

12.1 Pengukuran dan statistik

Istilah dalam dokumen ini	Istilah asli	Penjelasan singkat
Kebenaran dasar	ground truth	Anotasi buatan manusia yang dianggap benar dan menjadi pembanding keluaran model.
Positif benar	true positive (TP)	Prediksi yang cocok dengan kebenaran dasar.
Positif palsu	false positive (FP)	Prediksi yang tidak berpasangan dengan kebenaran dasar mana pun. Perlu kehati-hatian: objek NYATA yang kebetulan tidak dianotasi juga terhitung di sini.
Negatif palsu	false negative (FN)	Kebenaran dasar yang tidak ditemukan model.
Precision	precision	Bagian prediksi yang benar. Turun bila model banyak menebak salah - ATAU bila anotasinya tidak lengkap.
Recall	recall	Bagian kebenaran dasar yang berhasil ditemukan. Tidak terpengaruh objek yang tidak dianotasi, sehingga tetap sah walau anotasi tidak lengkap.
F1	F1 score	Rata-rata harmonik Precision dan Recall.
Tumpang-tindih IoU	Intersection over Union	Luas irisan dibagi luas gabungan antara prediksi dan kebenaran dasar. Nilai 0 sampai 1; ambang 0,50 adalah kelaziman.
AP, AP50, AP75	Average Precision	Ringkasan kinerja pada berbagai ambang keyakinan. Angka di belakangnya menunjukkan ambang IoU: AP50 longgar, AP75 ketat.
Pencocokan serakah	greedy matching	Prediksi diproses dari skor tertinggi; tiap prediksi langsung mengambil pasangan terbaik saat itu dan tidak pernah ditinjau ulang. Cara baku penilaian COCO.
Pencocokan optimal global	Hungarian algorithm	Alternatif pencocokan serakah yang mencari kombinasi pasangan terbaik secara menyeluruh. TIDAK dipakai di sini agar angkanya sebanding dengan literatur.
Selang kepercayaan	confidence interval	Rentang nilai yang masuk akal bagi suatu ukuran, mengingat ukuran sampelnya. Selang yang lebar berarti datanya sedikit.
Bootstrap	bootstrap	Cara memperkirakan selang kepercayaan dengan mengambil ulang sampel yang ada secara acak berulang kali.
Selisih berpasangan	paired difference	Menghitung selang dari SELISIH dua model yang dinilai pada sampel yang sama. Lebih kuat daripada membandingkan dua selang terpisah.
Signifikan secara statistik	statistically significant	Selang selisihnya tidak memuat nol. BUKAN berarti perbedaannya besar atau penting.

12.2 Penginderaan jauh dan data spasial

Istilah dalam dokumen ini	Istilah asli	Penjelasan singkat
Jarak sampel tanah	Ground Sample Distance (GSD)	Jarak nyata di permukaan tanah yang diwakili satu piksel, umumnya dalam sentimeter.
Petak	tile	Potongan kecil dari citra besar. Citra dipotong karena model tidak dapat memproses raster berukuran gigabita sekaligus.
Ortomosaik	orthomosaic	Citra gabungan dari banyak foto yang sudah dikoreksi sehingga skalanya seragam.
Model permukaan digital	Digital Surface Model (DSM)	Ketinggian permukaan teratas, termasuk tajuk pohon dan bangunan.
Model medan digital	Digital Terrain Model (DTM)	Ketinggian permukaan tanah tanpa tumbuhan dan bangunan.
Model tinggi kanopi	Canopy Height Model (CHM)	Selisih DSM dikurangi DTM, yaitu tinggi pohon sesungguhnya. TIDAK tersedia pada karya ini karena DTM tidak ada.
Indeks kehijauan NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	Ukuran kerapatan tumbuhan hijau dari citra satelit.
Ko-registrasi	co-registration	Penyelarasan dua citra dari sensor berbeda agar piksel yang sama menunjuk lokasi yang sama di lapangan.
Zona UTM	UTM zone	Sistem koordinat bersatuan meter. Dipakai karena perhitungan luas dan jarak tidak sah dilakukan pada koordinat bersatuan derajat.

12.3 Pembelajaran mesin

Istilah dalam dokumen ini	Istilah asli	Penjelasan singkat
Kotak pembatas	bounding box	Kotak yang melingkupi objek.
Mask, siluet	mask, instance mask	Bentuk objek yang sesungguhnya, bukan sekadar kotak.
Segmentasi instans	instance segmentation	Menggambar bentuk tiap objek secara terpisah, bukan sekadar menandai wilayahnya.
Penalaan lanjut	fine-tuning	Melanjutkan pelatihan model yang sudah terlatih memakai data baru yang lebih khusus.
Tanpa contoh	zero-shot	Model diminta mengenali sesuatu hanya dari deskripsi teks, tanpa contoh gambar.
Dengan sedikit contoh	few-shot	Model diberi beberapa contoh gambar acuan sebelum diminta mengenali.
Pelabelan-semu	pseudo-labeling	Memakai keluaran model sebagai data latih tambahan setelah diperiksa.
Manusia dalam lingkaran	human-in-the-loop	Alur kerja yang mewajibkan pemeriksaan manusia sebelum keluaran dipakai.
Ambang keyakinan	confidence threshold	Batas nilai keyakinan; prediksi di bawahnya dibuang.
Penindasan non-maksimum	non-maximum suppression (NMS)	Membuang deteksi bertumpang-tindih yang mengacu objek yang sama.
Iterasi	iteration	Satu langkah pembaruan bobot selama pelatihan.
Checkpoint	checkpoint	Bobot model yang disimpan ke cakram pada satu titik pelatihan.
Penghentian dini	early stopping	Menghentikan pelatihan bila tidak ada perbaikan setelah sejumlah evaluasi.
Kesabaran	patience	Berapa banyak evaluasi tanpa perbaikan yang ditoleransi sebelum penghentian dini.
Pelatihan berlebih	overfitting	Model menghafal data latih sehingga kinerjanya pada data baru justru menurun.
Tulang punggung	backbone	Bagian model yang mengekstrak ciri dari citra, dipakai bersama oleh seluruh kepala keluaran.

12.4 Nama model dan perangkat yang disebut

Nama	Jenis	Peran dalam karya ini
YOLO11n	Detektor objek	Detektor fauna produksi sampai 20 September 2026. Kini hanya pembanding; diganti karena lisensi (6.7).
D-FINE-N	Detektor objek keluarga DETR, berlisensi Apache-2.0	Detektor fauna produksi sejak 20 September 2026, dijalankan lewat ONNX Runtime.
RF-DETR Nano	Detektor objek keluarga DETR	Finalis adu detektor; gugur di gerbang kecepatan.
ONNX Runtime	Mesin penjalan model	Menjalankan D-FINE-N tanpa pustaka pelatihannya.
Detectree2	Segmentasi tajuk berbasis Mask R-CNN	Segmentasi tajuk pohon. Dipakai di produksi.
Mask R-CNN	Arsitektur segmentasi instans	Dasar arsitektur Detectree2.
Detectron2	Pustaka pemodelan	Kerangka kerja yang menjalankan Detectree2.
Grounding DINO	Detektor tanpa contoh	Pembanding dasar dan pembantu pelabelan awal, bukan mesin deteksi utama.
BioCLIP 2	Pengklasifikasi jenis makhluk hidup	Klasifikasi jenis fauna dari potongan citra. Basis datanya masih sangat kecil.
GrabCut	Segmentasi klasik, bukan pembelajaran mesin	Menaikkan anotasi kotak menjadi siluet tajuk.
MegaDetector	Detektor satwa kamera jebak	Baru dikaji, belum dipasang; kamera jebaknya belum diadakan.
Sentinel-2	Satelit pengamat bumi	Sumber citra untuk pemantauan tutupan antarwaktu.
Chao2	Penduga kekayaan jenis	Memperkirakan kelengkapan inventarisasi jenis dari data kehadiran.

13. Lampiran A - Dasar-dasar untuk Pembaca Umum

13.1 Cara memakai lampiran ini

Bab 1 sampai 12 ditulis untuk pembaca yang sudah terbiasa dengan istilah teknis, sehingga banyak hal di dalamnya tidak dijelaskan dari awal. Tiga lampiran berikut mengisi kekosongan itu tanpa mengubah satu kata pun pada bab-bab sebelumnya - pembaca yang sudah paham dapat melewatinya sepenuhnya.

Ketiga lampiran dapat dibaca menurut kebutuhan:

Bagian	Isi	Untuk siapa
Lampiran A	Dasar-dasar dari nol - apa masalahnya, apa itu model, kenapa perlu manusia	Pembaca yang belum pernah berurusan dengan kecerdasan artifisial sama sekali
Lampiran B	Penelusuran bab demi bab, menjelaskan istilah dan angka pada tempatnya	Pembaca yang sedang membaca laporan dan tersangkut pada bagian tertentu
Lampiran C	Cara menilai angka secara kritis, termasuk jebakan yang sering menipu	Siapa pun yang perlu MENILAI, bukan sekadar mempercayai, klaim berbasis kecerdasan artifisial

Catatan: Lampiran A dan C dapat dibaca lurus tanpa membalik halaman. Lampiran B dirancang untuk dibuka berdampingan dengan bab yang sedang dibaca.

Rujukan silang memakai nomor bab dokumen ini, misalnya "lihat Bab 6.1".

PERHATIAN: Lampiran ini menjelaskan APA yang dikerjakan dan MENGAPA. Cara sistem itu diprogram dengan sengaja TIDAK dijelaskan dan tidak akan pernah dicantumkan. Metodologinya terbuka agar dapat ditelaah dan diuji ulang siapa pun - itulah syarat sains. Implementasinya tertutup sebagaimana lazim pada karya rekayasa terapan.

13.2 Masalah yang sedang dipecahkan

Taman Nasional Baluran luasnya puluhan ribu hektare. Petugas yang mengawasinya berjumlah puluhan orang. Untuk mengetahui berapa banyak banteng yang tersisa, di mana mereka berkumpul, atau apakah ada pohon yang hilang, cara lama adalah berjalan kaki menyusuri jalur pengamatan dan mencatat apa yang terlihat.

Cara itu sah secara ilmiah tetapi punya tiga keterbatasan yang tidak bisa diatasi dengan menambah semangat kerja: hanya sebagian kecil kawasan yang terjangkau, hasilnya bergantung pada siapa yang mengamati, dan mengulangnya secara konsisten tiap tahun sangat mahal.

Wahana nirawak - populer disebut drone - dapat memotret ribuan hektare dalam sehari. Masalahnya berpindah: satu penerbangan menghasilkan ribuan foto beresolusi tinggi, dan memeriksanya satu per satu dengan mata manusia justru lebih lama daripada berjalan kaki. Di sinilah komputer diminta membantu.

Catatan: Perhatikan pergeseran masalahnya. Kesulitannya bukan lagi MENGUMPULKAN data, melainkan MEMBACA data yang sudah terkumpul. Seluruh laporan metodologi pada dasarnya menjawab satu pertanyaan: bagaimana membaca tumpukan citra itu dengan cara yang dapat dipertanggungjawabkan.

13.3 Apa itu "model" dalam laporan ini

Kata "model" di laporan tidak berarti maket atau contoh. Model adalah program yang telah diperlihatkan ribuan contoh sehingga mampu mengenali pola serupa pada gambar baru.

Bayangkan mengajar seseorang mengenali banteng dari foto udara. Anda tidak menjelaskan "banteng itu berwarna cokelat gelap, bertanduk, panjang sekian meter". Anda menunjukkan ratusan foto sambil berkata "ini banteng", "ini bukan". Lama-lama orang itu bisa menunjuk sendiri. Ia mungkin tidak dapat menjelaskan alasannya dengan kata-kata, tetapi ia bisa.

Model bekerja dengan cara yang secara kasar serupa. Karena itu dua sifatnya penting dipahami sejak awal:

- Model hanya sebaik contoh yang pernah dilihatnya. Model yang hanya pernah melihat banteng di padang savana kering akan kesulitan pada banteng di rerumputan tinggi hijau.
- Model tidak "mengerti" apa itu banteng. Ia mengenali pola. Pola yang mirip - bayangan batu, gundukan tanah, kerbau - berpotensi tertukar.

13.4 Anotasi: pekerjaan manusia yang tidak tergantikan

Sebelum model bisa belajar, seseorang harus lebih dulu menandai contohnya. Menandai berarti membuka gambar dan menggambar kotak di sekeliling tiap banteng, atau menggambar garis mengikuti tepi tiap tajuk pohon. Pekerjaan itu disebut ANOTASI, dan hasilnya disebut KEBENARAN DASAR - yaitu jawaban yang dianggap benar dan menjadi pembanding.

Anotasi adalah pekerjaan manusia yang membosankan, lambat, dan mahal. Ia juga menjadi sumber banyak persoalan pada laporan ini - dan justru di situlah salah satu temuan terpentingnya.

PERHATIAN: Ingat baik-baik: bila kebenaran dasarnya keliru atau tidak lengkap, maka SELURUH penilaian terhadap model ikut keliru. Bukan modelnya yang salah, melainkan alat ukurnya. Bab 7.2 laporan membahas persis kejadian ini, dan akibatnya besar.

13.5 Apa artinya "melatih" model

Melatih berarti memperlihatkan contoh-contoh beranotasi kepada model berulang kali sambil memperbaiki dirinya sedikit demi sedikit tiap kali salah. Satu putaran perbaikan disebut ITERASI. Laporan menyebut angka 600 iterasi; artinya siklus perbaikan itu dijalankan 600 kali.

Melatih dari nol membutuhkan jutaan contoh dan perangkat keras mahal. Karena itu dipakai cara yang lebih hemat: mengambil model yang sudah terlatih pada jutaan gambar umum, lalu melanjutkan pelatihannya dengan gambar Baluran. Ibaratnya merekrut orang yang sudah terlatih mengenali hewan secara umum, lalu mengajarnya satwa Baluran secara khusus. Istilahnya PENALAIAN LANJUT.

Catatan: Inilah sebabnya laporan menyatakan bahwa menambah dan memperbaiki data memberi hasil jauh lebih besar daripada mengganti-ganti jenis model. Yang menentukan bukan seberapa canggih modelnya, melainkan seberapa baik contoh yang diberikan kepadanya.

13.6 Dua jenis kesalahan, dan kenapa keduanya berbeda sifat

Model dapat salah dengan dua cara yang sangat berbeda akibatnya:

Jenis kesalahan	Artinya	Akibat praktis di lapangan
Melewatkan	Ada banteng di foto, model tidak menemukannya	Populasi terhitung lebih sedikit dari kenyataan; ancaman terlewat
Salah tunjuk	Model menunjuk sesuatu yang bukan banteng	Petugas membuang waktu memeriksa hal yang bukan apa-apa

Kedua jenis kesalahan itu saling menekan. Menyetel model agar lebih berani menunjuk akan mengurangi yang terlewat tetapi menambah salah tunjuk, dan sebaliknya. Tidak ada setelan yang menghilangkan keduanya sekaligus.

Karena itulah muncul dua ukuran yang selalu berdampingan di laporan:

- RECALL menjawab: dari semua banteng yang benar-benar ada dalam anotasi, berapa persen yang berhasil ditemukan? Ukuran ini turun bila model banyak melewati.
- PRECISION menjawab: dari semua yang ditunjuk model, berapa persen yang benar? Ukuran ini turun bila model banyak salah tunjuk.

Angka F1 hanyalah cara meringkas keduanya menjadi satu bilangan. Ia berguna untuk perbandingan cepat, tetapi menyembunyikan mana dari kedua kesalahan yang sedang terjadi.

13.7 Kenapa mengukur kemampuan model itu sulit

Menguji model tampak sederhana: berikan gambar yang belum pernah dilihatnya, hitung berapa yang benar. Kesulitannya ada pada kata "benar".

- ¹ Benar menurut siapa? Menurut anotasi manusia - yang bisa saja tidak lengkap atau keliru.
- ² Seberapa tepat harus tepat? Bila model menggambar kotak sedikit bergeser dari kotak anotasi, apakah itu benar? Diperlukan aturan seberapa besar tumpang-tindih dianggap cocok. Laporan memakai ambang setengah luas, dan menyebutnya secara terbuka karena hasilnya berubah bila ambangnya berubah.
- ³ Diuji pada gambar apa? Bila diuji pada gambar yang mirip sekali dengan gambar latihannya, angkanya akan bagus tetapi tidak berarti apa-apa untuk kondisi lain. Laporan menyatakan terbuka bahwa keterbatasan inilah yang dimilikinya - lihat Bab 7.1.

PERHATIAN: Angka kinerja model TIDAK PERNAH berdiri sendiri. Ia selalu berarti "sebesar ini, DENGAN cara ukur begini, PADA data seperti ini". Angka yang dikutip tanpa ketiga keterangan itu sebaiknya tidak dipercaya - siapa pun yang mengutipnya.

14. Lampiran B - Penelusuran Laporan, Bab demi Bab

Bagian ini mengikuti urutan laporan. Buka keduanya berdampingan.

Pernyataan Status Dokumen

Halaman pembuka laporan menyatakan bahwa sistem ini masih tahap bukti-konsep dan tidak boleh dipakai sebagai dasar tunggal keputusan hukum. Pernyataan semacam ini jarang ditemui pada materi promosi teknologi, dan keberadaannya di halaman pertama adalah pilihan yang disengaja.

Catatan: Cara membacanya: laporan yang menyebutkan batasnya sendiri di halaman pertama umumnya lebih dapat dipercaya daripada laporan yang menyebutkannya di halaman terakhir, atau tidak sama sekali.

Bab 1 - Pendahuluan

Bab ini menjelaskan mengapa pekerjaan ini dilakukan. Bagian 1.3 menyebut bahwa kontribusinya adalah "rekayasa sistem terapan, bukan kebaruan algoritmik".

Maksudnya: seluruh mesin pengenalan yang dipakai adalah buatan pihak lain yang sudah dikenal luas. Yang baru adalah menggabungkannya menjadi satu sistem yang benar-benar berjalan pada data Indonesia, lengkap dengan penjaminan keaslian data dan pembatasan kewenangan. Ini pernyataan yang merendah tetapi jujur - dan pembaca ahli akan menghargainya justru karena tidak melebih-lebihkan.

Bab 2 - Tinjauan Pustaka

Bab ini membandingkan karya ini dengan penelitian orang lain. Angka-angka dari penelitian Ball dan rekan (2023) dicantumkan sebagai pembandingan kemampuan mengenali tajuk pohon di hutan tropis.

PERHATIAN: Perhatikan kotak peringatan di akhir bab tersebut. Ia menjelaskan bahwa angka penelitian lain itu TIDAK boleh langsung disandingkan dengan angka pada Bab 6, karena dihitung dengan cara berbeda. Ini contoh kejujuran yang mudah dilewatkan pembaca: penyusun sebenarnya bisa saja menyandingkannya dan terlihat unggul, tetapi memilih tidak melakukannya.

Bab 3 - Wilayah Studi dan Sumber Data

Bab ini merinci data apa saja yang ada. Dua hal layak diperhatikan pembaca awam.

Pertama, ada data yang DITOLAK dan alasannya dicatat, bukan dibuang diam-diam. Sebuah blok data ditolak karena foto dari dua jenis kamera ternyata tidak cocok jumlah dan posisinya, sehingga tidak dapat ditumpangkan. Mencatat penolakan itu penting: pembaca jadi tahu bahwa data tidak dipilih-pilih demi hasil yang bagus.

Kedua, bab ini menyatakan bahwa ukuran "berapa sentimeter setiap titik gambar mewakili permukaan tanah" bersifat perkiraan, bukan hasil ukur pasti. Penyebabnya teknis: ketinggian yang tercatat kamera dihitung dari permukaan laut, padahal yang menentukan adalah ketinggian dari tanah di bawahnya, dan tanah Baluran tidak rata.

Bab 4 - Metodologi per Pilar

Bab terpanjang dan paling teknis. Tiga gagasan berikut cukup untuk memahami intinya.

PERTAMA, dua tahap untuk fauna. Sistem tidak langsung bertanya "apakah ini banteng?", melainkan bertanya dua kali: "apakah ada satwa di sini?", lalu "satwa apa?". Alasannya praktis: bila kelak ingin menambah jenis satwa baru, cukup mengajari tahap kedua, tanpa mengulang seluruh penandaan dari awal.

KEDUA, ukuran potongan gambar ditentukan oleh jarak tanah, bukan jumlah titik gambar. Ini terdengar sepele tetapi ternyata menentukan. Gambar besar harus dipotong-potong sebelum diperiksa model. Bila potongan ditentukan dengan jumlah titik gambar, maka pada foto yang lebih tajam, satu potongan mencakup lahan yang lebih sempit, dan banteng tampak jauh lebih besar dari yang biasa dikenali model.

Catatan: Akibatnya terukur dan disebut di laporan: pada satu foto model menemukan 45 objek, pada foto lain dari lokasi serupa menemukan 297 objek. Bukan karena modelnya berubah, melainkan karena ukuran tampak objeknya berubah. Bila hal ini tidak disadari, mutu sistem diam-diam bergantung pada foto siapa yang kebetulan diunggah.

KETIGA, penyaringan sebab-akibat sebelum menuduh. Ketika citra satelit menunjukkan kawasan menghijau berkurang, sistem TIDAK langsung menyebutnya pembalakan. Ia lebih dulu memeriksa apakah lokasinya berada di area berizin, dan apakah waktunya bertepatan dengan musim kemarau. Aturan ini lahir dari kejadian nyata - lihat penjelasan Bab 6.4 di bawah.

Bab 5 - Protokol Evaluasi

Bab ini menjelaskan aturan main penilaian SEBELUM hasilnya disajikan. Urutannya disengaja: menetapkan aturan setelah melihat hasil membuka peluang memilih aturan yang paling menguntungkan.

Satu istilah yang mungkin membingungkan adalah "pencocokan serakah". Istilah aslinya greedy matching. Maksudnya begini: ketika model menghasilkan banyak tebakan, tebakan yang paling diyakini diperiksa lebih dulu dan langsung mengambil pasangan anotasi yang paling cocok dengannya. Setelah terambil, anotasi itu tidak bisa dipakai tebakan lain. Disebut serakah karena tiap langkah mengambil yang terbaik saat itu juga, tanpa pernah meninjau ulang.

Catatan: Cara ini bukan yang paling optimal - ada metode lain yang menghasilkan pasangan lebih baik secara keseluruhan. Ia tetap dipakai karena inilah cara baku yang dipakai seluruh dunia untuk menilai sistem semacam ini, sehingga angkanya dapat dibandingkan dengan penelitian lain. Memilih cara yang lebih baik justru membuat angkanya tidak sebanding.

Bab ini juga menyatakan tegas bahwa TIDAK ADA himpunan uji yang benar-benar terpisah. Data untuk melatih dan data untuk menguji berasal dari penerbangan yang sama pada hari yang sama. Ini kelemahan nyata, dan laporan menyebutnya sendiri alih-alih menunggu ditemukan orang lain.

Bab 6 - Hasil

Bab inti. Kotak peringatan di awalnya menyatakan bahwa beberapa ukuran yang biasa dilaporkan SENGAJA dihilangkan. Itu bukan kelalaian, dan alasan tiap penghilangan disebutkan.

BAB 6.1, deteksi satwa. Angka yang perlu dibaca: dari 44 satwa yang ditandai manusia pada gambar uji, model versi kedua menemukan 39 dengan benar dan hanya dua kali salah tunjuk.

Angka dalam kurung siku, misalnya [0,880-1,000], disebut selang kepercayaan. Maknanya: "berdasarkan data sesedikit ini, nilai sebenarnya masuk akal berada di mana saja dalam rentang itu". Semakin sedikit datanya, semakin lebar rentangnya.

PERHATIAN: Selang yang menyentuh angka 1,000 BUKAN berarti modelnya sempurna. Justru sebaliknya: itu tanda datanya terlalu sedikit untuk membedakan model ini dari model yang sempurna. Laporan menyatakan hal ini secara terbuka, dan itu penting - banyak materi promosi teknologi menyajikan angka semacam ini sebagai bukti kehebatan.

Tabel berikutnya menunjukkan selisih antara versi lama dan versi baru, lengkap dengan kesimpulan "Signifikan". Kata itu punya arti khusus yang dijelaskan di Bagian 3.1 panduan ini - dan artinya BUKAN "perbedaannya besar".

BAB 6.2, segmentasi tajuk pohon. Di sini hanya satu ukuran yang dilaporkan, yaitu recall. Precision dan F1 sengaja tidak ada.

Alasannya dijelaskan pada Bab 7.2 dan merupakan temuan terpenting dalam laporan ini: anotasi tajuk pohonnya ternyata tidak lengkap. Banyak pohon nyata tidak pernah ditandai manusia. Akibatnya, saat model menemukan pohon-pohon itu, penilaian otomatis menghitungnya sebagai KESALAHAN - padahal model benar dan manusianya yang terlewat.

Catatan: Recall tidak terpengaruh masalah ini, karena recall hanya menanyakan "dari yang sudah ditandai, berapa yang ketemu?" - pohon yang tidak pernah ditandai tidak ikut dihitung. Itulah sebabnya recall tetap

dilaporkan sementara yang lain tidak.

BAB 6.3, penentuan jenis satwa. Perhatikan peringatan bahwa angka Precision 1,000 berasal dari DUA kasus benar. Angka sempurna dari dua contoh tidak bermakna apa pun. Laporan mencantumkan berikud peringatannya, bukan menyembunyikan angkanya dan bukan pula memamerkannya.

BAB 6.4, pemantauan satelit. Ini contoh TEMUAN NEGATIF yang justru berharga. Kehijauan savana Baluran turun tajam antara April dan Agustus. Bila sistem dibiarkan menilai sendiri, ia akan menyimpulkan telah terjadi pembalakan besar. Kenyataannya itu musim kemarau biasa.

Catatan: Kegunaan temuan ini bukan pada apa yang berhasil, melainkan pada tuduhan keliru yang berhasil DICEGAH. Sistem yang tidak menemukan hal semacam ini sebelum dipakai berpotensi menuduh orang tanpa dasar.

BAB 6.5, ambang keyakinan. Model memberi nilai keyakinan pada tiap temuan. Menaikkan batas penerimaan membuat temuan yang lolos lebih sedikit tetapi lebih meyakinkan.

Tabelnya menunjukkan pertukaran itu secara terukur. Yang penting diperhatikan: laporan menolak menetapkan angka mana yang harus dipakai, karena jawabannya bergantung pada berapa banyak kandidat yang sanggup diperiksa petugas - dan itu keputusan lembaga pengelola, bukan keputusan ilmiah.

Bab 7 - Keterbatasan

Bab ini memuat sepuluh kelemahan yang diketahui. Membaca bab keterbatasan sebelum bab hasil adalah kebiasaan pembaca berpengalaman, dan pembaca awam dianjurkan menirunya.

Tiga yang paling menentukan:

- Tidak ada data uji yang benar-benar terpisah. Semua berasal dari satu penerbangan. Artinya angka-angka pada Bab 6 sah untuk kondisi foto tersebut, bukan janji untuk kawasan lain.
- Anotasi tajuk pohon tidak lengkap, sehingga sebagian ukuran tidak dapat ditafsirkan sama sekali. Ditemukan terlambat, setelah seluruh pelatihan selesai.
- Cara uji statistik sempat berbeda antara dua bagian, dan setelah diseragamkan, satu kesimpulan BERUBAH. Laporan mencantumkan perubahan itu, bukan menghapus jejaknya.

Catatan: Butir ketiga layak diperhatikan. Penyusun bisa saja diam-diam memperbaiki dan menyajikan hasil akhirnya saja. Mencantumkan bahwa kesimpulan sempat berbeda memberi tahu pembaca sesuatu yang penting: hasil semacam ini peka terhadap cara mengujinya.

Bab 8 - Tata Kelola, Etika, dan Batas Kewenangan

Bab ini menegaskan bahwa sistem menghasilkan DUGAAN, bukan keputusan. Keluarannya tidak boleh menjadi dasar tunggal penindakan hukum atau penetapan batas lahan.

Dua hal praktis yang mungkin menarik bagi pembaca awam. Pertama, tiap berkas data diberi semacam sidik jari digital saat masuk; bila kemudian ada satu titik gambar pun yang diubah, sidik jarinya berubah, sehingga pemalsuan dapat ketahuan. Kedua, lokasi tepat satwa langka dan pohon bernilai tinggi TIDAK ditampilkan kepada sembarang pengguna, karena keterbukaan lokasi justru dapat memudahkan perburuan.

Bab 9 sampai 12

Bab 9 berisi kesimpulan dan rencana lanjutan. Bab 10 daftar pustaka. Bab 11 lampiran berisi keterangan teknis yang memungkinkan pihak lain mengulang pengujian. Bab 12 glosarium istilah.

Catatan: Bab 11 patut diperhatikan meski tampak membosankan. Ia mencantumkan versi perangkat lunak, bilangan acak yang dipakai, dan spesifikasi komputer. Tujuannya satu: agar orang lain dapat mengulang dan memeriksa. Laporan yang tidak menyertakan keterangan semacam ini sulit diperiksa kebenarannya.

15. Lampiran C - Membaca Angka Secara Kritis

Bagian ini yang paling berguna dibawa keluar dari dokumen ini. Isinya cara menilai klaim berbasis kecerdasan artifisial secara umum, bukan hanya klaim dalam laporan ini.

15.1 "Signifikan" tidak berarti "besar"

Dalam percakapan sehari-hari, signifikan berarti besar atau penting. Dalam statistika, artinya sama sekali berbeda: signifikan berarti perbedaannya cukup konsisten sehingga tidak masuk akal dianggap kebetulan belaka.

Perbedaan kecil bisa signifikan bila datanya banyak. Perbedaan besar bisa TIDAK signifikan bila datanya sedikit. Kedua kata itu menjawab pertanyaan yang berlainan: besar menjawab "seberapa jauh bedanya", signifikan menjawab "seberapa yakin kita bedanya nyata".

PERHATIAN: Bila suatu materi promosi menyebut peningkatan "signifikan" tanpa menyebut ukuran datanya, pertanyaan yang tepat adalah: signifikan menurut uji apa, dan diuji pada berapa banyak contoh?

15.2 Angka tanpa ukuran sampel tidak bermakna

Laporan ini memuat angka Precision 1,000 - sempurna. Angka itu berasal dari dua kasus. Dua.

Bila seseorang melempar koin dua kali dan keduanya muncul gambar, tidak seorang pun akan menyimpulkan koin itu selalu memunculkan gambar. Namun bila hal yang sama disajikan sebagai "tingkat keberhasilan 100%", banyak orang menerimanya.

Catatan: Aturan praktis: setiap kali melihat angka kemampuan sistem, cari berapa banyak contoh yang dipakai. Bila tidak dicantumkan, itu sendiri sudah merupakan keterangan.

15.3 Ukuran yang buruk bisa berarti alat ukurnya yang rusak

Ini pelajaran terpenting dari laporan ini, dan berlaku jauh melampaui urusan pohon.

Ketika kemampuan model mengenali tajuk pohon diukur, angkanya buruk. Kesimpulan wajar: modelnya kurang baik. Kesimpulan itu ternyata SALAH. Setelah diperiksa satu per satu, kebanyakan "kesalahan" model justru pohon sungguhan yang lupa ditandai manusia.

Model dihukum karena menemukan sesuatu yang benar. Yang rusak bukan modelnya, melainkan jawaban yang dipakai untuk menilainya.

PERHATIAN: Setiap kali sebuah sistem dinilai buruk, ada dua kemungkinan yang harus dipisahkan lebih dulu: sistemnya memang buruk, atau cara menilainya yang keliru. Melewatkan kemungkinan kedua akan membuang sistem yang sebenarnya bekerja - atau, bila arahnya terbalik, menerima sistem yang sebenarnya gagal.

15.4 Dua angka yang mirip belum tentu boleh disandingkan

Laporan berulang kali menolak membandingkan angka yang sekilas sebanding. Alasannya selalu sama: keduanya dihitung dengan cara berbeda, atau dinilai terhadap jawaban yang berbeda.

Contoh nyata di dalamnya: versi lama sistem dinilai terhadap tanda berbentuk kotak, versi baru terhadap tanda berbentuk mengikuti tepi tajuk. Menebak kotak agar cocok dengan kotak jelas lebih mudah. Angka versi lama yang lebih tinggi karena itu mencerminkan soal yang lebih ringan, bukan kemampuan yang lebih baik.

Catatan: Pertanyaan penguji yang selalu berlaku: kedua angka ini diukur dengan cara yang sama, pada bahan yang sama, terhadap jawaban yang sama? Bila salah satunya tidak, keduanya tidak boleh diletakkan berdampingan.

15.5 Laporan yang menyebut kegagalannya lebih layak dipercaya

Naluri umum mengatakan sebaliknya: laporan yang penuh keberhasilan terkesan lebih meyakinkan. Dalam sains berlaku kebalikannya.

Setiap pengukuran memiliki ketidakpastian, setiap percobaan punya yang gagal, dan setiap sistem punya batas. Laporan yang tidak menyebutkan satu pun di antaranya bukan berarti tidak memilikinya - berarti tidak menyebutkannya.

Laporan metodologi ini mencantumkan percobaan yang ditolak, proses yang gagal karena kehabisan memori, penandaan otomatis yang menghasilkan bentuk kosong, dan satu kesimpulan yang berubah setelah cara ujinya diperbaiki. Keberadaan hal-hal itu bukan tanda pekerjaan yang buruk, melainkan tanda pemeriksaan yang sungguh-sungguh.

15.6 Tujuh pertanyaan untuk menguji klaim berbasis kecerdasan artifisial

Daftar ini dapat dibawa ke rapat mana pun ketika seseorang menyajikan angka kemampuan sistem cerdas - termasuk ketika yang menyajikan adalah penyusun laporan ini.

- ¹ Diuji pada berapa banyak contoh? Bila jawabannya puluhan, seluruh angka bersifat sementara.
- ² Data ujinya benar-benar terpisah dari data latihnya? Bila berasal dari sumber yang sama, angkanya cenderung terlalu bagus.
- ³ Jawaban pembandingnya dibuat siapa, dan sudah diperiksa kelengkapannya? Jawaban yang tidak lengkap membuat sistem yang benar tampak salah.
- ⁴ Ukurannya disertai rentang ketidakpastian? Angka tunggal tanpa rentang menyembunyikan seberapa sedikit datanya.
- ⁵ Apa yang GAGAL? Bila tidak ada jawaban, kemungkinan besar belum diperiksa cukup dalam.
- ⁶ Angka ini dibandingkan dengan apa, dan apakah pembandingnya diukur dengan cara yang sama?
- ⁷ Apa yang terjadi bila sistem ini salah, dan siapa yang memeriksa sebelum keputusan diambil?

Catatan: Pertanyaan ketujuh yang paling menentukan dalam penerapan nyata. Sistem yang keliru tetapi selalu diperiksa manusia jauh lebih aman daripada sistem yang lebih jarang keliru tetapi keputusannya langsung dijalankan.

15.7 Penutup

Panduan ini tidak dimaksudkan menjadikan pembacanya ahli. Tujuannya lebih sederhana dan lebih berguna: agar pembaca dapat membaca laporan metodologi itu sampai selesai, mengerti apa yang diklaim dan apa yang tidak, serta mengajukan pertanyaan yang tepat.

Kemampuan mengajukan pertanyaan yang tepat itulah yang membedakan pembaca yang menilai dari pembaca yang hanya mempercayai. Untuk teknologi yang akan dipakai mengelola kawasan konservasi milik publik, perbedaan itu penting.

Catatan: Bila setelah membaca panduan ini Anda menemukan bagian laporan yang masih sulit dipahami, kekurangan itu ada pada panduan ini, bukan pada Anda. Panduan ini akan diperbaiki.