

# Integration of YOLOv8 and IoT-Based LiDAR Sensors on Drones for Deforestation Area Detection and Reforestation Mapping

Muh. Agus<sup>1\*</sup>, Putri Ayu Maharani<sup>2\*</sup>, Ilham Ali Marka M<sup>3\*\*</sup>, Muhammad Aslam Al-Fadillah<sup>4\*</sup>

\* Ilmu Komputer, Institut Teknologi Bacharuddin Jusuf Habibie

\*\* Sistem Komputer, Universitas Handayani Makassar

[muhagus@ith.ac.id](mailto:muhagus@ith.ac.id)<sup>1</sup>, [maharani\\_putriayu@ith.ac.id](mailto:maharani_putriayu@ith.ac.id)<sup>2</sup>, [ilham@handayani.ac.id](mailto:ilham@handayani.ac.id)<sup>3</sup>, [slamzknigh@gmail.com](mailto:slamzknigh@gmail.com)<sup>4</sup>

## Article Info

### Article history:

Received 2025-11-15

Revised 2026-05-15

Accepted 2026-05-25

### Keyword:

*Deforestation Detection,  
LiDAR Sensor,  
YOLOv8,  
Internet of Things (IoT)  
3D Point Cloud Mapping.*

## ABSTRACT

Deforestation has caused significant ecosystem degradation and increased the need for more accurate and efficient monitoring systems and reforestation planning. This study develops an integrated system combining YOLOv8 and Internet of Things (IoT)-based LiDAR sensors on a drone platform to detect deforested areas and generate 3D mapping to support reforestation efforts. The dataset consists of 1,822 aerial images collected from public datasets and drone-mounted cameras under various lighting conditions and flight altitudes. The YOLOv8 model was trained using transfer learning with an input size of  $640 \times 640$ , a batch size of 16, a learning rate of 0.001, and 100 training epochs. The results demonstrate that the model achieved a precision of 93%, a recall of 90%, and an mAP@0.5 of 94%, while successfully performing real-time deforestation area detection on the drone platform. Integration with the LiDAR sensor produced 3D point cloud visualizations with mapping deviations of less than 2 meters. The developed system effectively supports the identification of priority areas for reforestation more rapidly, accurately, and efficiently than conventional manual survey methods.



This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

## I. PENDAHULUAN

Penggundulan lahan atau deforestasi merupakan salah satu masalah lingkungan paling mendesak di Indonesia, dengan hilangnya hutan yang berdampak besar pada keseimbangan ekosistem dan lingkungan dengan penyebab utama meliputi perluasan perkebunan kelapa sawit, tambang, pembangunan infrastruktur, dan kebakaran hutan. Deforestasi yang terus terjadi mengancam keanekaragaman hayati serta peran hutan dalam menjaga keseimbangan iklim global [1]. Dampak dari deforestasi sangat serius, termasuk peningkatan risiko bencana seperti banjir, tanah longsor, kebakaran hutan, serta hilangnya keanekaragaman hayati yang vital bagi ekosistem [2].

Berdasarkan data *Food and Agriculture Organization* (FAO), lebih dari 11 juta hektar hutan hilang setiap tahunnya, terutama di wilayah tropis [3]. Solomon dkk mengungkapkan bahwa ketidakakuratan dalam identifikasi area prioritas reboisasi dan perencanaan teknis yang tidak optimal menjadi kendala utama dalam implementasi program restorasi lahan

terdegradasi [4]. Reboisasi adalah salah satu pendekatan kunci, tetapi sering terkendala oleh ketidakakuratan identifikasi area yang membutuhkan penanaman dan perencanaan yang tidak optimal. Teknologi drone telah revolusioner dalam pemantauan lingkungan karena kemampuannya menjangkau area luas dengan biaya rendah. Namun, deteksi lahan kosong dan pemetaan untuk reboisasi sering menghadapi tantangan dalam hal akurasi dan kecepatan pemrosesan [5][6].

Penelitian Takhumova menunjukkan bahwa drone telah merevolusi pemantauan lingkungan karena kemampuan menjangkau area luas dengan biaya operasional yang rendah dan fleksibilitas yang tinggi dalam pengumpulan data. Namun, deteksi lahan kosong secara tradisional masih mengandalkan interpretasi visual yang memakan waktu dan subjektif [7]. Selain drone, teknologi *Internet of Things* (IoT) juga memainkan peran penting dalam pemantauan lingkungan [8]. Agus dkk. telah mengembangkan sistem pemantauan yang berbasis IoT, yang relevan untuk pengumpulan data secara *real-time* [9]. Penelitian J. Chauhan

and S. Ghimire mengungkapkan bahwa sensor LiDAR IoT mampu menghasilkan data topografi 3D dengan ketelitian tinggi hingga tingkat sentimeter, bahkan dalam kondisi vegetasi yang padat, sehingga ideal untuk pemetaan lahan reboisasi [10].

Penelitian M. A. A. Muzammil and R. Indraswari menyimpulkan bahwa YOLOv8 merupakan algoritma deteksi objek terbaru yang menawarkan peningkatan signifikan dalam hal kecepatan dan akurasi dibandingkan versi YOLO sebelumnya, dengan kemampuan deteksi real-time yang cocok untuk aplikasi pemrosesan citra drone [11].

Dalam konteks ini, kemajuan algoritma deep learning khususnya YOLOv8 (*You Only Look Once version 8*) menawarkan terobosan signifikan dalam deteksi objek secara *real-time*. Algoritma ini menunjukkan peningkatan performa yang luar biasa dalam hal kecepatan processing dan akurasi identifikasi objek pada citra drone [12]. Sementara itu, teknologi LiDAR (*Light Detection and Ranging*) memberikan kemampuan pemetaan 3D dengan presisi tinggi hingga tingkat sentimeter, bahkan dalam kondisi vegetasi yang kompleks [13]. Integrasi kedua teknologi ini pada platform drone tunggal membentuk sinergi yang efektif untuk pemantauan lingkungan [14].

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji pemanfaatan drone, deep learning, maupun LiDAR secara terpisah dalam pemantauan lingkungan, masih terdapat keterbatasan dalam integrasi sistem deteksi visual berbasis deep learning dengan pemetaan spasial 3D berbasis LiDAR yang dioperasikan secara adaptif dan *real-time* pada satu platform drone. Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada klasifikasi tutupan lahan atau pemetaan topografi secara statis, tanpa mekanisme pemicu (*trigger-based mapping*) yang mengoptimalkan penggunaan sensor berdasarkan hasil deteksi cerdas. Oleh karena itu, kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi adaptif YOLOv8 dan LiDAR berbasis IoT, di mana hasil deteksi visual digunakan sebagai dasar aktivasi pemetaan 3D secara selektif untuk mendukung perencanaan reboisasi yang lebih efisien dan presisi.

Penelitian ini mengusulkan integrasi komprehensif antara YOLOv8 untuk deteksi lahan kosong dan sensor LiDAR untuk pemetaan 3D pada sistem drone terpadu. Pendekatan ini tidak hanya mampu mengidentifikasi area yang membutuhkan penanaman dengan akurasi tinggi, tetapi juga menyediakan data topografi detail untuk perencanaan pola tanam yang optimal. Implementasi sistem terintegrasi ini diharapkan dapat mengatasi keterbatasan metode konvensional dan memberikan solusi yang efisien serta efektif untuk mendukung program reboisasi berkelanjutan.

Kontribusi utama penelitian meliputi pengembangan model YOLOv8 yang dioptimalkan khusus untuk deteksi lahan kosong, integrasi data visual dan LiDAR untuk pemetaan 3D resolusi tinggi, serta evaluasi komprehensif terhadap kinerja sistem terintegrasi dalam konteks percepatan program reboisasi. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan dampak signifikan dalam upaya restorasi ekosistem dan pembangunan berkelanjutan.

## II. METODE

Metode penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem deteksi dan pemetaan lahan kosong menggunakan drone yang dilengkapi kamera serta sensor LiDAR. Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu perancangan sistem, pengumpulan data, pelatihan model YOLOv8, dan integrasi hasil deteksi dengan data pemetaan untuk menghasilkan peta 3D area reboisasi. Setiap tahapan dilakukan secara bertahap di lapangan dan di laboratorium untuk memastikan sistem bekerja sesuai tujuan penelitian.

Dalam penelitian ini, lahan kosong didefinisikan sebagai area permukaan tanah yang kehilangan tutupan vegetasi pohon dengan karakteristik visual berupa dominasi warna tanah terbuka, tekstur kasar, serta ketiadaan kanopi pohon yang signifikan. Area dengan semak rendah atau vegetasi rendah (<1 meter) dikategorikan sebagai *non-deforestation* untuk menghindari ambiguitas kelas. Definisi ini digunakan secara konsisten dalam proses anotasi dataset dan evaluasi model.

### A. Rancangan Perangkat

Sistem yang dikembangkan menggunakan drone rakitan sendiri dengan frame carbon fiber 650 mm dan konfigurasi *hexacopter*. Sistem ini mengintegrasikan sensor LiDAR custom dengan kamera Raspberry Pi *High Quality Camera* 12.3 MP. Komputasi *onboard* dilakukan menggunakan Raspberry Pi 5 Model B (8GB RAM) yang terhubung dengan sensor melalui interface GPIO dan USB. Sistem dirancang untuk melakukan akuisisi data simultan dengan bantuan GPS module Neo-M8N untuk presisi geolokasi [15][16].



Gambar 1. Rancangan Drone Deteksi Deforestasi

### B. Desain Sistem

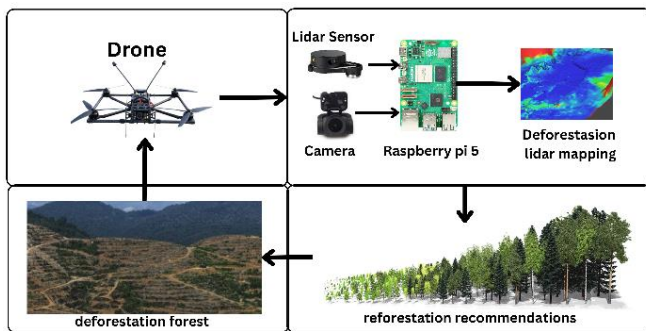
Sistem desain yang digunakan dalam studi ini berbasis drone sebagai platform utama, yang mencakup sensor LiDAR, kamera, dan pengontrol Raspberry Pi 5. Kamera ini berfungsi untuk menangkap area studi, yang kemudian digunakan dalam proses deteksi lahan kosong pada model YOLOv8. Di sisi lain, sensor LiDAR mampu memantau lahan dan menghasilkan data titik awan yang menggambarkan medan dan elevasi area yang dimaksud. Semua data dari kedua sensor tersebut dikirim ke Raspberry Pi 5 untuk pemrosesan awal sebelum dikirim ke server utama.

Aspek IoT pada sistem diwujudkan melalui mekanisme komunikasi data antara Raspberry Pi 5 dan server monitoring menggunakan protokol TCP/IP melalui koneksi Wi-Fi. Raspberry Pi 5 berfungsi sebagai *edge computing node* yang melakukan pengolahan awal data citra dan LiDAR sebelum

dikirim ke server penyimpanan. Setiap data hasil deteksi diberi timestamp dan koordinat GPS untuk mendukung proses *geo-referencing* antara hasil deteksi visual YOLOv8 dan *point cloud* LiDAR.

Integrasi data visual 2D dan data spasial 3D dilakukan melalui sinkronisasi waktu pengambilan data dan koordinat lokasi drone. Dengan pendekatan ini, area yang terdeteksi sebagai deforestasi oleh YOLOv8 dapat langsung dikorelasikan dengan hasil pemetaan LiDAR untuk menghasilkan representasi spasial area secara lebih akurat.

Data yang diperoleh dari sistem ini kemudian digunakan untuk menentukan area deforestasi 3D dan memberikan rekomendasi lokasi reforestasi. Berdasarkan kondisi topografi, area kosong yang sesuai untuk kunjungan ulang dapat diidentifikasi dari peta di atas. Sistem kerja dimulai dengan pengumpulan data menggunakan drone, dilanjutkan dengan pengumpulan data menggunakan Raspberry Pi 5 dan analisis data citra dan LiDAR, yang berpuncak pada hasil visual yang menjadi titik awal untuk keputusan dalam restorasi kritis.



Gambar 2. Desain Sistem Drone Deteksi Deforestasi

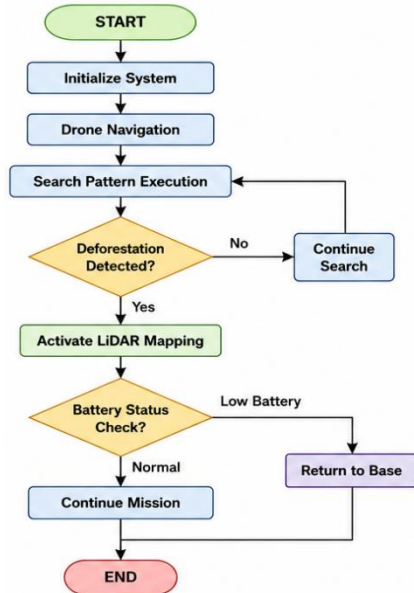
### C. Flowchart Sistem

Flowchart pada Gambar 3 mengilustrasikan langkah-langkah yang diambil oleh sistem kerja drone untuk mengidentifikasi area yang terdeforestasi dan melakukan inspeksi lokasi secara otomatis. Proses ini dimulai pada tahap inialisasi sistem, di mana setiap komponen, termasuk kamera, sensor LiDAR, dan modul pengumpulan data, diperiksa dan disesuaikan agar dapat digunakan. Setelah sistem dikonfigurasi, drone akan diarahkan untuk menavigasi area tersebut sesuai dengan rute yang telah ditentukan sebelumnya oleh operator.

Pada saat drone terbang, sistem akan menjalankan pola pencarian (*search pattern*) untuk memindai area secara menyeluruh. Ketika kamera mendeteksi adanya area deforestasi melalui model YOLOv8, sistem kemudian mengaktifkan sensor LiDAR untuk memetakan lokasi tersebut secara lebih detail. Data hasil pemetaan ini mencakup informasi kontur dan ketinggian yang digunakan untuk menentukan kondisi lahan yang sesuai untuk reboisasi. Dengan demikian, proses deteksi dan pemetaan dapat dilakukan secara simultan tanpa perlu intervensi manual.

Sepanjang proses, sistem akan terus memeriksa kondisi baterai drone untuk memastikan keamanan operasi. Jika baterai terdeteksi lemah, sistem akan secara otomatis

mengirim drone ke stasiun pangkalan untuk memantau kehilangan data atau malfungsi. Setelah drone kembali, semua data dari deteksi dan analisis dikumpulkan dan diperiksa lebih lanjut untuk menghasilkan rekomendasi lokasi reboisasi. Prosedur ini memastikan produktivitas sistem dan keamanan data selama proses pemeliharaan yang panjang.



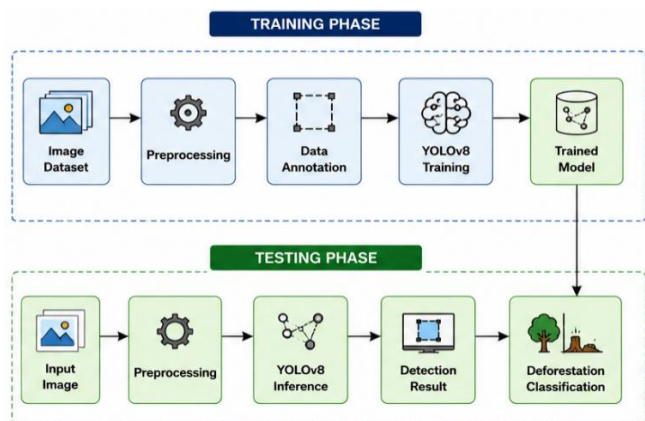
Gambar 3. Diagram alur sistem deteksi deforestasi berbasis YOLOv8 dan LiDAR pada drone

### D. YOLOv8

Dalam penelitian ini, YOLOv8 digunakan sebagai model utama untuk menemukan area deforestasi berdasarkan citra udara yang diambil oleh drone. Arsitektur YOLOv8 memiliki keunggulan dalam kecepatan dan akurasi deteksi karena menggunakan pendekatan deteksi tanpa jangkar dengan struktur jaringan konvolusi yang dioptimalkan. Bagian utama dari model ini adalah tulang punggung, leher, dan kepala. Bagian tulang punggung menggunakan blok C2f dan konvolusi multi-tingkat untuk mengekstraksi fitur dari gambar masukan. Selanjutnya, leher menggabungkan fitur dari skala resolusi yang berbeda menggunakan mekanisme FPN (*Feature Pyramid Network*) untuk mempertahankan detail dari objek kecil dan besar. Sementara itu, kepala memprediksi kelas dan koordinat kotak pembatas, sehingga proses inferensi dapat dilakukan secara *real-time* pada perangkat dengan daya komputasi terbatas pada Raspberry Pi.

Seluruh citra dianotasi secara manual menggunakan platform Roboflow dengan format YOLO (.txt). Dataset dibagi menjadi dua kelas utama, yaitu *deforestation* dan *non-deforestation*. Proses anotasi dilakukan dengan memberikan *bounding box* pada area yang kehilangan vegetasi secara signifikan. Untuk meningkatkan kemampuan generalisasi model, dilakukan augmentasi data berupa rotasi, *horizontal flipping*, *scaling*, dan *brightness adjustment*. Dataset yang digunakan untuk melatih model YOLOv8 terdiri dari serangkaian citra udara lahan terbuka dan area hutan yang dibuat dengan menggabungkan dataset publik sekitar 1.200

gambar serta data lapangan sekitar 622 gambar dari citra udara kamera drone. Karena cahaya matahari mempengaruhi gambar, pengambilan gambar dilakukan dari pukul 09.00-15.00 agar mendapatkan gambar dengan kondisi pencahayaan maksimal dengan jarak ketinggian pengambilan gambar yang bervariasi antara 10 – 20 m. Citra dikumpulkan dengan berbagai variasi pencahayaan dan ketinggian terbang drone untuk memperkaya representasi data.



Gambar 4. Arsitektur proses pelatihan dan pengujian model YOLOv8 untuk Deteksi Deforestasi

Pada gambar 4 menunjukkan alur proses pelatihan dan pengujian model YOLOv8 untuk mendeteksi area deforestasi. Pada tahap pelatihan (*training phase*), citra deforestasi terlebih dahulu diproses melalui tahap preprocessing untuk menyesuaikan ukuran, format, dan kualitas gambar sebelum dimasukkan ke model YOLOv8. Hasil pelatihan disimpan dalam basis data yang berisi pola dan karakteristik area deforestasi. Selanjutnya, pada tahap pengujian (*testing phase*), citra baru diproses dengan cara yang sama untuk diuji menggunakan model yang telah dilatih. Hasil prediksi dari YOLOv8 kemudian menghasilkan keluaran berupa lokasi dan area lahan yang teridentifikasi mengalami deforestasi.

Model YOLOv8 dilatih menggunakan *input image size* 640×640 piksel, *batch size* 16, *learning rate* 0,001, dan 100 *epoch* dengan *optimizer Adam*. Proses pelatihan dilakukan menggunakan metode transfer learning dari bobot awal COCO dataset untuk mempercepat konvergensi model. Evaluasi model dilakukan menggunakan metrik precision, recall, mAP@0.5, dan mAP@0.5:0.95 untuk mengukur performa deteksi secara menyeluruh. Model terbaik yang dihasilkan kemudian diintegrasikan ke dalam sistem drone untuk melakukan deteksi selama proses pemetaan lahan.

### E. LiDAR Mapping

Pada tahap pemetaan, sensor LiDAR digunakan untuk mengidentifikasi area yang telah rusak oleh sistem YOLOv8. Sistem mengaktifkan sensor LiDAR untuk memindai area secara menyeluruh setelah drone mendeteksi. Raspberry Pi 5 menerima data awan titik dari pemindaian untuk diproses. Untuk menghasilkan gambaran detail struktur permukaan, setiap titik mewakili objek atau permukaan tanah yang ada di daerah tersebut. Saat drone terbang di atas area

target di sepanjang jalur pencarian yang telah ditetapkan, proses ini terjadi secara otomatis.

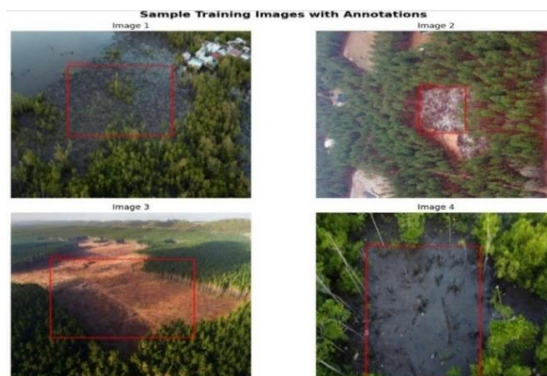
Hasil pemetaan sensor LiDAR kemudian digunakan untuk membuat visualisasi 3D area deforestasi. Data yang sudah diolah menampilkan kontur dan batas area yang hilang vegetasinya. Hal ini membantu dalam menandai lokasi prioritas reboisasi dan memudahkan analisis kondisi lahan di lapangan. Dengan cara ini, sistem mampu memberikan hasil pemetaan yang akurat dan dapat digunakan untuk proses rekomendasi reboisasi berdasarkan data *real-time* dari drone.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap hasil dan pembahasan membahas hasil penggabungan YOLOv8 dan sistem sensor LiDAR pada drone untuk menemukan dan memetakan lahan kosong sebagai target reboisasi. Pengujian dilakukan melalui beberapa tahap, mulai dari pelatihan model deteksi, penerapan sistem pada drone, hingga pemetaan area menggunakan data LiDAR. Setiap tahap diperiksa untuk mengevaluasi akurasi, kecepatan, dan efektivitas sistem secara keseluruhan dalam berbagai kondisi lapangan.

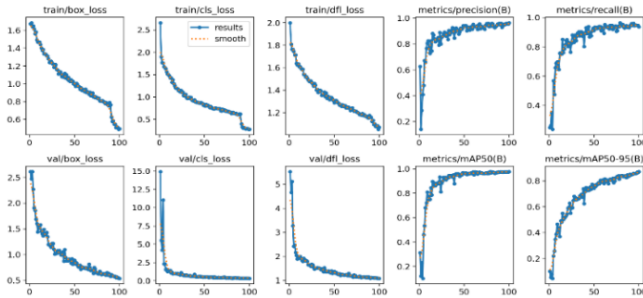
### A. Hasil Pelatihan YOLOv8

Gambar 5 menunjukkan contoh citra pelatihan dengan anotasi yang digunakan dalam proses pelatihan model YOLOv8. Anotasi dilakukan dengan memberi kotak pembatas (*bounding box*) berwarna merah pada area deforestasi untuk menandai objek yang menjadi fokus deteksi. Proses anotasi ini bertujuan untuk membantu model mengenali pola visual khas area yang telah gundul, seperti perubahan warna tanah, tekstur, dan kerapatan vegetasi yang berkurang secara signifikan.



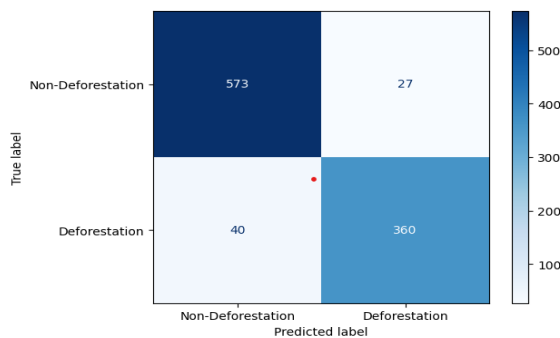
Gambar 5. Dataset pelatihan YOLOv8

Dataset yang digunakan terdiri dari 1.200 gambar yang telah melalui tahap labeling menggunakan platform Roboflow, dengan dua kelas utama yaitu *deforestation* dan *non-deforestation*. Model YOLOv8 dilatih menggunakan *transfer learning* dari bobot awal COCO dengan parameter *batch size* 16, *learning rate* 0.001, dan sebanyak 100 *epoch*. Hasil pelatihan menunjukkan performa yang sangat baik dengan nilai precision sebesar 93%, recall 90%, dan mAP@0.5 94% akurasi pelatihan ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik Training

Dari hasil pengujian menggunakan *confusion matrix*, model menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam mendeteksi area deforestasi dengan nilai precision sebesar 93%, recall sebesar 90%, dan akurasi keseluruhan mencapai 94%. Hasil ini menunjukkan bahwa model mampu mengklasifikasikan citra dengan tingkat kesalahan yang rendah, sehingga efektif digunakan dalam sistem pemantauan berbasis drone yang terintegrasi dengan sensor LiDAR untuk analisis spasial dan deteksi deforestasi secara akurat. Hasil *confusion matrix* yang menggambarkan performa model tersebut ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Confusion Matrix

### B. Analisis Kesalahan Deteksi

Berdasarkan hasil pengujian, kesalahan deteksi pada model YOLOv8 masih ditemukan pada beberapa kondisi lingkungan tertentu. *False positive* umumnya terjadi pada area tanah terbuka seperti jalan tanah dan lahan pertanian pascapanen yang memiliki karakteristik visual menyerupai area deforestasi. Sementara itu, *false negative* terjadi pada area dengan vegetasi rendah yang masih menutupi sebagian permukaan tanah sehingga sulit dibedakan dari area hutan.

Selain itu, pencahayaan yang terlalu terang dan bayangan tajam dari pepohonan juga mempengaruhi performa model dalam mendeteksi objek secara konsisten. Meskipun demikian, secara umum model tetap menunjukkan kemampuan deteksi yang baik dengan tingkat kesalahan yang relatif rendah pada sebagian besar skenario pengujian lapangan.

### C. Implementasi Model YOLOv8 pada Drone

Implementasi model YOLOv8 pada platform drone mencakup fase pengembangan model, optimasi tepi, integrasi

dengan sistem kamera, dan mekanisme inferensi waktu nyata sepanjang proses pengembangan. Model yang sudah final (best.pt) diuji dan dioptimalkan untuk dijalankan pada modul komputer *onboard* Raspberry Pi 5. Untuk mengetahui hubungan antara akurasi dan kecepatan, model dijalankan dengan parameter *batch* = 1 dan ukuran input 640 x 640. Pipa inferensi bersifat *non-blocking* dan menggunakan *thread* yang dirancang khusus untuk akuisisi gambar, pemrosesan YOLOv8, dan pengiriman hasil ke modul LiDAR sehingga tidak ada kemacetan selama pemrosesan.

Hasil implementasi model YOLOv8 pada drone menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi area deforestasi secara akurat di lapangan dengan tingkat kepercayaan tinggi. Seperti terlihat pada Gambar 8, model berhasil mengidentifikasi area terbuka yang kehilangan vegetasi dengan *confidence score* sebesar 0,95. Proses deteksi dilakukan secara *real-time* saat drone terbang pada ketinggian sekitar 50 meter, dan hasil deteksi langsung divisualisasikan pada tampilan kamera dengan penanda *bounding box* berwarna biru. Deteksi ini kemudian dikirimkan ke sistem pengolahan terintegrasi untuk diteruskan ke tahap pemetaan LiDAR. Dengan demikian, drone tidak hanya berfungsi sebagai alat pengambil citra, tetapi juga sebagai sistem cerdas yang mampu mengenali perubahan tutupan lahan secara otomatis di lokasi pemantauan.



Gambar 8. Hasil Implementasi Deteksi Deforestasi Menggunakan Drone

### D. Integrasi Sistem YOLOv8 dengan Sensor LiDAR

Integrasi antara YOLOv8 dan sensor LiDAR dilakukan dengan mekanisme pengaktifan otomatis berdasarkan tingkat akurasi deteksi. Ketika sistem YOLOv8 yang dijalankan pada Raspberry Pi 5 mendeteksi area deforestasi dengan tingkat akurasi di atas 70%, maka sensor LiDAR akan aktif secara otomatis untuk melakukan proses pemetaan area tersebut. Data hasil deteksi YOLOv8 yang berisi koordinat citra dan waktu pengambilan digunakan sebagai acuan untuk menentukan titik awal pemetaan oleh LiDAR. Dengan cara ini, hanya area yang memiliki keyakinan deteksi tinggi yang akan dipetakan secara mendetail, sehingga efisiensi waktu terbang drone dan penggunaan daya dapat dijaga tetap optimal.

Selama implementasi, sistem berhasil melakukan aktivasi LiDAR sesuai kondisi yang ditentukan tanpa adanya keterlambatan data. Hasil pemetaan dari LiDAR menunjukkan representasi spasial yang akurat terhadap area

deforestasi yang terdeteksi, dengan bentuk topografi dan ketinggian lahan yang sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan. Validasi hasil pemetaan dilakukan dengan membandingkan koordinat hasil LiDAR terhadap titik referensi GPS drone dan pengukuran manual lapangan pada beberapa lokasi sampel. Hasil validasi menunjukkan rata-rata deviasi posisi horizontal berada di bawah 2 meter, sehingga hasil pemetaan dinilai cukup akurat untuk mendukung proses perencanaan reboisasi dan identifikasi area prioritas penanaman. Pemetaan ini memungkinkan operator untuk meninjau kembali area yang dipetakan secara langsung menggunakan *point cloud data*. Integrasi berbasis akurasi ini menjadikan sistem lebih adaptif dan efektif dalam memantau serta memetakan area deforestasi secara selektif, hanya ketika hasil deteksi YOLOv8 menunjukkan tingkat kepercayaan yang tinggi.

#### E. Hasil Pemetaan dan Visualisasi 3D

Hasil penelitian menggunakan sensor LiDAR menunjukkan luas spasial area deforestasi dalam bentuk awan titik data yang direpresentasikan sebagai model tiga dimensi (3D). Data yang diperoleh dari hasil survei drone menunjukkan ketinggian, kemiringan, danutupan hutan yang terdeteksi oleh sistem YOLOv8. Setelah proses selesai, awan titik data dibuat menggunakan alat visualisasi 3D untuk menunjukkan perbedaan antara area bervegetasi dan area gundul. Peringatan dalam model 3D menunjukkan tingkat vegetasi, di mana area yang terkena deforestasi kurang padat dan memiliki kerapatan yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan area yang ditutupi hutan.

Visualisasi hasil pemetaan ini menjadi dasar untuk analisis lanjutan terhadap tingkat kerusakan dan perencanaan reboisasi. Dengan tampilan 3D, operator dapat dengan mudah mengidentifikasi lokasi prioritas penanaman kembali serta memperkirakan luas area yang terdampak. Hasil pemetaan LiDAR yang telah terintegrasi dengan deteksi YOLOv8 ini memberikan gambaran nyata kondisi lahan di lapangan secara presisi dan cepat. Hasil visualisasi pemetaan LiDAR ditunjukkan pada Gambar 9 di bawah ini, yang menampilkan area deforestasi dalam bentuk model 3D hasil proses pemindaian drone.



Gambar 9. Hasil Pemetaan lahan deforestasi dengan sensor LiDAR

#### F. Pembahasan

Berdasarkan hasil implementasi, sistem deteksi deforestasi berbasis YOLOv8 yang terintegrasi dengan sensor LiDAR menunjukkan kinerja yang baik dalam mengidentifikasi serta memetakan area deforestasi secara otomatis. Model YOLOv8 mampu mendeteksi area terbuka dengan tingkat akurasi mencapai 94%, yang kemudian memicu aktivasi sensor LiDAR untuk melakukan pemetaan mendalam terhadap lokasi tersebut. Proses integrasi antara sistem pengolahan citra dan sensor spasial berjalan stabil, di mana koordinasi waktu pengambilan data citra dan pengukuran jarak LiDAR menghasilkan peta dengan kesalahan posisi di bawah 2 meter. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara sinkron dan efisien dalam mendeteksi serta merekam kondisi lingkungan secara *real-time* selama drone beroperasi di lapangan.

Dalam implementasi praktis, hasil deteksi dan pemetaan 3D dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan pada proses reboisasi. Informasi luas area terbuka, kontur permukaan tanah, dan tingkat kemiringan lahan membantu dalam menentukan lokasi prioritas penanaman serta estimasi kebutuhan bibit pada area terdampak. Dengan dukungan visualisasi spasial yang dihasilkan LiDAR, proses perencanaan reboisasi dapat dilakukan secara lebih terukur dan efisien dibandingkan metode survei manual.

Secara umum, hasil pengujian membuktikan bahwa kombinasi teknologi *deep learning* melalui YOLOv8 dan sensor LiDAR memberikan solusi efektif untuk pemantauan deforestasi. Sistem ini tidak hanya mendeteksi area kehilangan vegetasi, tetapi juga mampu menampilkan bentuk permukaan tanah dan ketinggian area terdampak melalui visualisasi 3D. Pendekatan ini mempercepat proses analisis dan pengambilan keputusan dibandingkan metode manual yang memerlukan waktu dan tenaga lebih besar. Dengan tingkat akurasi tinggi dan hasil visualisasi yang detail, sistem ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut untuk keperluan pemantauan hutan berkelanjutan, analisis lingkungan, serta mendukung program reboisasi berbasis data spasial yang akurat.

Meskipun sistem menunjukkan performa yang baik, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Akurasi deteksi dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan, cuaca, dan kepadatan vegetasi pada area pengamatan. Selain itu, durasi operasional drone masih dibatasi oleh kapasitas baterai dan luas area pemantauan.

Pengembangan penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menambahkan sensor multispektral, penerapan metode segmentasi semantik, serta pengujian sistem pada berbagai tipe ekosistem hutan untuk meningkatkan kemampuan generalisasi model dan kualitas pemetaan spasial.

#### IV. KESIMPULAN

Sistem deteksi deforestasi berbasis YOLOv8 yang diintegrasikan dengan sensor LiDAR IoT menunjukkan hasil yang sangat baik dalam mendeteksi serta memetakan area deforestasi secara otomatis menggunakan drone. Dengan tingkat akurasi deteksi mencapai 94% dan kesalahan koordinat pemetaan di bawah 2 meter, sistem ini mampu memberikan hasil yang akurat dan konsisten di berbagai kondisi lapangan. Aktivasi otomatis sensor LiDAR ketika tingkat akurasi deteksi melebihi 70% juga terbukti meningkatkan efisiensi penggunaan daya dan waktu terbang drone.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini membuktikan bahwa kombinasi teknologi deep learning YOLOv8 dan pemetaan spasial LiDAR dapat digunakan sebagai solusi efektif untuk pemantauan lingkungan dan reboisasi. Sistem ini tidak hanya memberikan hasil visualisasi 3D yang informatif, tetapi juga mampu mendukung proses analisis perubahan tutupan lahan secara cepat dan terukur. Dengan pengembangan lebih lanjut, sistem ini berpotensi diterapkan dalam skala yang lebih luas untuk mendukung upaya konservasi dan pengelolaan hutan berkelanjutan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Kami menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada LPPM-PM Institut Teknologi Bacharuddin Jusuf Habibie atas dukungan fasilitas, lingkungan akademik, dan kesempatan yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DPPM) yang telah memberikan dukungan pendanaan melalui program Penelitian Dosen Pemula Tahun 2025, yang sangat membantu kelancaran pelaksanaan penelitian ini dari tahap persiapan hingga penyelesaian.

Tidak lupa, kami berterima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan teknis, masukan ilmiah, serta kontribusi lainnya selama proses penelitian dan penyusunan artikel ini. Semoga segala bantuan yang diberikan menjadi amal kebaikan dan kebermanfaatannya bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. G. Austin, A. Schwantes, Y. Gu, and P. S. Kasibhatla, "What Causes Deforestation in Indonesia?," *Environmental Research Letters*, vol. 14, no. 2, pp. 1–9, Feb. 2019, doi: 10.1088/1748-9326/aaf6db.
- [2] R. Rudy, Y. Yonariza, H. Yanfika, A. Rahmat, W. S. Ramadhani, and D. A. Mutolib, "Forest Cover Change and Legal Pluralism in Forest Management: A Review and Evidence from West Sumatra, Indonesia," *Indonesian Journal of Science & Technology*, vol. 6, no. 2, pp. 299–314, Sep. 2021, doi: <https://doi.org/10.17509/ijost.v6i2.34190>.
- [3] L. De Suriyani, "Laporan Ungkap Tiap Tahun Hutan Hilang Nyaris 11 Juta Hektar," Mangobay. Accessed: Nov. 15, 2025. [Online]. Available: <https://mongabay.co.id/2025/10/29/laporan-fra-hutan-hilang-nyaris-11-juta-hektar-per-tahun/>
- [4] N. Solomon *et al.*, "Revitalizing Ethiopia's highland soil degradation: a comprehensive review on land degradation and effective management interventions," *Discover Sustainability*, vol. 5, no. 106, p. 1, Jun. 2024, doi: 10.1007/s43621-024-00282-7.
- [5] A. Fiqri, A. Hugo, and N. Kalbuana, "Analisis Penggunaan Drone untuk Meningkatkan Respons Cepat dalam Penanganan Kecelakaan Pesawat di Area Terpencil," *Jurnal Riset Ilmu Kesehatan Umum dan Farmasi (JRIKUF)*, vol. 2, no. 3, pp. 76–94, Jul. 2024, doi: 10.57213/jrikuf.v2i3.282.
- [6] R. Satria Wijaya, S. Prayoga, R. Amalya Fatekha, and M. Thoriq Mubarak, "Real-Time Hand Gesture Control of a Quadcopter Swarm Implemented in the Gazebo Simulation Environment," *Journal of Applied Informatics and Computing (JAIC)*, vol. 9, no. 3, pp. 2548–6861, Jun. 2025, doi: 10.30871/jaic.v9i3.9578.
- [7] O. Takhumova, A. Pustuev, N. Eiryana, A. Sarsadskikh, and O. Rykalina, "Integrating drone technology in sustainable agriculture: Precision environmental monitoring and resource management," in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, Jun. 2025. doi: 10.1051/e3sconf/202563302001.
- [8] Muh. Agus, P. Ayu Maharani, and M. Rafirin, "Perancangan Sistem Pemantauan Kelembaban Tanah, Udara dan Suhu pada Tanaman Bawang Merah Menggunakan IoT," *Prosiding Seminar Nasional SISFOTEK*, vol. 7, no. 1, pp. 102–108, Oct. 2023, Accessed: Nov. 15, 2024. [Online]. Available: <https://seminar.iaii.or.id/index.php/SISFOTEK/article/view/418/350>
- [9] Muh. Agus, M. Rafirin, S. R. Yunus, N. R. Sulnas, and N. Aulia, "Perancangan Prototype Sistem Rekomendasi Tempat Parkir Berbasis IoT dan AI (Studi Kasus: Mall Panakkukang)," *JURNAL IT Media Informasi IT STMIK Handayani*, vol. 15, no. 3, pp. 153–161, Dec. 2024, doi: <https://doi.org/10.37639/jti.v15i3.382>.
- [10] J. Chauhan and S. Ghimire, "LiDAR Point Clouds to Precision Forestry," Jan. 2024. Accessed: Nov. 15, 2025. [Online]. Available: <http://www.ijlera.com/vol9-iss1.html>
- [11] M. A. A. Muzammil and R. Indraswari, "Pengembangan Arsitektur Model YOLOv8 untuk Meningkatkan Performa Object Detection pada Varian Boks Warehouse Palletizing," *ILKOMNIKA: Journal of Computer Science and Applied Informatics*, vol. 6, no. 2, pp. 19–30, Aug. 2024, doi: 10.28926/ilkomnika.v6i2.642.
- [12] Z. I. B. Satria and C. Supriyanto, "Detection and Localization of Brain Tumors on MRI Images Using the YOLO Algorithm," *Journal of Applied Informatics and Computing (JAIC)*, vol. 9, no. 4, pp. 1625–1632, Aug. 2025, doi: 10.30871/jaic.v9i4.10047.
- [13] M. R. Karim *et al.*, "Application of LiDAR Sensors for Crop and Working Environment Recognition in Agriculture: A Review," *Remote Sens (Basel)*, vol. 16, no. 24, p. 1, Dec. 2024, doi: 10.3390/rs16244623.
- [14] Y. Dai and K. Lee, "Multi-Sensor Fusion for Autonomous Mobile Robot Docking: Integrating LiDAR, YOLO-Based AprilTag Detection, and Depth-Aided Localization," *Electronics (Switzerland)*, vol. 14, no. 14, pp. 1–18, Jul. 2025, doi: 10.3390/electronics14142769.
- [15] M. Itasari *et al.*, *Elektronika Dasar (Teori dan Praktik)*, 1st ed. Jambi: PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2025. [Online]. Available: [www.sonpedia.com](http://www.sonpedia.com)
- [16] Wahyuddin S *et al.*, *Dasar-Dasar dan Aplikasi Internet of Things (IoT)*, 1st ed. Padang: CV. Getpress Indonesia, 2025. Accessed: Jul. 18, 2025. [Online]. Available: <https://getpress.co.id/public/product/dasar-dasar-dan-aplikasi-internet-of-things-iot>