

Proposal Open Innovation BGA 2025

Pengembangan Algoritma *Computer Vision* untuk Identifikasi Bunga Kelapa Sawit Berdasarkan Citra Udara Menggunakan *Drone*

Pengusul :

Franky Chandra Satria Arisgraha, S.T., M.T

Dosen Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga/

Mahasiswa S3MIPA Universitas Airlangga

Justifikasi Penelitian

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan komoditas strategis yang menjadi sumber utama minyak nabati di berbagai negara, termasuk Indonesia dan Malaysia. Keberhasilan produksi kelapa sawit sangat bergantung pada efisiensi penyerbukan, yang membutuhkan identifikasi bunga betina yang siap diserbuki dalam waktu yang optimal. Saat ini, identifikasi bunga kelapa sawit di perkebunan skala besar masih dilakukan secara manual, yang memerlukan tenaga kerja dalam jumlah besar, waktu yang lama, serta rentan terhadap kesalahan manusia (*human error*). Oleh karena itu, diperlukan metode otomatis yang dapat mengidentifikasi bunga secara efisien dan akurat untuk meningkatkan produktivitas perkebunan.

Kemajuan dalam bidang *computer vision* dan kecerdasan buatan (AI) menawarkan solusi inovatif dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan objek secara otomatis berdasarkan citra visual. Salah satu model AI yang paling efektif untuk deteksi objek secara *real-time* adalah *You Only Look Once* (YOLO), yang mampu melakukan deteksi cepat dengan akurasi tinggi (Redmon et al., 2016). Dengan memanfaatkan teknologi *drone* yang dilengkapi kamera resolusi tinggi, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan algoritma *computer vision* berbasis YOLO guna mengidentifikasi bunga kelapa sawit berdasarkan citra udara.

Keunggulan metode ini meliputi:

1. Efisiensi dan Kecepatan

YOLO dapat mendeteksi bunga dalam citra udara secara *real-time*, mengurangi waktu pemantauan dibandingkan metode manual.

2. Akurasi yang Tinggi

Model YOLO mampu mengenali pola visual dari bunga kelapa sawit dengan tingkat presisi yang tinggi setelah melalui tahap pelatihan berbasis *deep learning*.

3. Reduksi Biaya Operasional

Dengan otomatisasi, jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan untuk inspeksi bunga dapat dikurangi secara signifikan.

4. Dukungan untuk Sistem Pertanian Presisi

Data yang diperoleh dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut dalam pengelolaan perkebunan berbasis teknologi.

Oleh karena itu, penelitian ini menjadi relevan dalam mengembangkan sistem yang dapat meningkatkan efisiensi deteksi bunga kelapa sawit, yang pada akhirnya dapat membantu optimasi proses penyerbukan dan produksi minyak sawit secara berkelanjutan.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan algoritma *computer vision* berbasis YOLO untuk identifikasi bunga kelapa sawit berdasarkan citra udara yang diperoleh dari drone. Secara spesifik, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengembangkan model deteksi objek berbasis YOLO untuk mengidentifikasi bunga kelapa sawit dengan memanfaatkan dataset citra udara dari perkebunan kelapa sawit.
2. Melatih dan mengevaluasi model YOLO menggunakan dataset yang telah diklasifikasikan untuk membedakan antara bunga jantan, bunga betina yang belum matang, bunga betina yang siap diserbuki, serta bunga yang telah melewati masa optimalnya.
3. Mengintegrasikan model YOLO dengan sistem drone untuk akuisisi data secara otomatis di lapangan, guna memastikan keberlanjutan pemantauan bunga dalam skala perkebunan yang luas.
4. Menganalisis performa model YOLO dalam mendeteksi bunga kelapa sawit dengan membandingkan metrik evaluasi seperti akurasi, presisi, recall, dan waktu inferensi dalam berbagai kondisi pencahayaan dan resolusi gambar.
5. Menguji efektivitas sistem yang dikembangkan di lingkungan nyata, dengan membandingkan hasil deteksi model AI terhadap hasil identifikasi manual oleh pekerja perkebunan.

Dengan mencapai tujuan-tujuan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam bidang robotika pertanian, *computer vision*, dan kecerdasan buatan, serta memberikan solusi yang lebih efisien dalam pemantauan dan pengelolaan perkebunan kelapa sawit.

Metodologi Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan algoritma *computer vision* berbasis YOLO (*You Only Look Once*) guna mengidentifikasi bunga kelapa sawit berdasarkan citra udara yang diperoleh dari drone. Metodologi yang diterapkan dalam penelitian ini meliputi beberapa tahapan utama, yaitu perancangan sistem, pengumpulan data, pemrosesan data, pengembangan model AI, evaluasi performa, serta implementasi dan validasi di lingkungan nyata.

- Perancangan sistem penyimpanan data yang dapat diintegrasikan dengan *cloud* atau *edge computing* guna meningkatkan efisiensi pemrosesan dan analisis data.

2. Pengumpulan Data

Pada tahap ini, dilakukan pengambilan citra bunga kelapa sawit dengan *drone* yang telah dipilih. Proses ini melibatkan:

- Pengambilan gambar dari berbagai ketinggian dan sudut untuk mendapatkan dataset yang beragam.
- Pengambilan data dalam berbagai kondisi pencahayaan dan cuaca guna meningkatkan ketahanan model terhadap variasi lingkungan.
- Anotasi dataset secara manual dengan memberi label pada bunga jantan, bunga betina yang belum matang, bunga betina siap diserbuki, serta bunga yang telah melewati masa optimalnya.
- Pembagian dataset menjadi tiga bagian: *training set* (70%), *validation set* (20%), dan *testing set* (10%) untuk pelatihan dan evaluasi model AI.

3. Pemrosesan Data dan Augmentasi

Citra yang dikumpulkan akan melalui tahap *preprocessing* sebelum digunakan untuk pelatihan model. Tahap ini mencakup:

- Normalisasi citra untuk menyesuaikan kontras dan mengurangi *noise*.
- Augmentasi citra seperti rotasi, flipping, perubahan skala, dan penyesuaian warna untuk meningkatkan generalisasi model.
- Penghapusan latar belakang yang tidak relevan guna meningkatkan fokus pada fitur bunga kelapa sawit.
- Konversi *dataset* ke format yang kompatibel dengan model YOLO.

4. Pengembangan Model AI Berbasis YOLO

Setelah data siap, dilakukan pelatihan model YOLO menggunakan *dataset* yang telah dikumpulkan. Langkah-langkahnya adalah:

- **Inisialisasi model**
Menggunakan YOLO dengan bobot awal yang telah dilatih sebelumnya (*pre-trained weights*) atau dari nol (*training from scratch*).
- **Pelatihan model**
Model YOLO akan dilatih menggunakan dataset dengan parameter yang dioptimalkan, seperti *learning rate*, *batch size*, dan jumlah *epoch*.
- **Evaluasi model**
Performa model diuji menggunakan *validation set* dengan metrik seperti *mean Average Precision* (mAP), *precision*, *recall*, dan F1-score.
- **Fine-tuning**
Model dioptimalkan dengan menyesuaikan *hyperparameter* atau menambahkan teknik regularisasi untuk meningkatkan akurasi deteksi.

5. Evaluasi dan Validasi Model

Model yang telah dilatih akan diuji untuk memastikan keakuratan dan keandalannya dalam kondisi nyata. Evaluasi ini mencakup:

- Pengujian model pada data uji untuk melihat kemampuan generalisasi model terhadap data baru.
- Penggunaan *confusion matrix* untuk menganalisis tingkat kesalahan klasifikasi.
- Perbandingan antara hasil deteksi model YOLO dengan hasil identifikasi manual oleh ahli perkebunan.
- Analisis tingkat kesalahan deteksi (*false positive* dan *false negative*) guna meningkatkan keakuratan model.

6. Implementasi pada Drone dan Pengujian Lapangan

Setelah model AI dianggap optimal, langkah selanjutnya adalah mengintegrasikan sistem ini dengan *drone* untuk pengujian di lapangan. Tahapan implementasi meliputi:

- Integrasi model AI pada sistem *onboard drone* atau melalui *edge computing* untuk memungkinkan pemrosesan langsung di lapangan.
- Pengujian performa sistem di lingkungan perkebunan dengan berbagai kondisi cuaca dan pencahayaan.
- Analisis efisiensi sistem dalam mendeteksi bunga kelapa sawit dalam skala perkebunan yang luas.
- Pembuatan laporan hasil uji coba untuk mengevaluasi apakah sistem sudah dapat diterapkan secara luas atau memerlukan perbaikan lebih lanjut.

7. Analisis Hasil dan Kesimpulan

Tahap akhir penelitian adalah analisis hasil yang mencakup:

- Ringkasan akurasi dan performa model YOLO dalam mendeteksi bunga kelapa sawit.
- Evaluasi efektivitas sistem dalam mengurangi kesalahan manusia dan meningkatkan efisiensi proses pemantauan bunga kelapa sawit.
- Rekomendasi pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan sistem, seperti penggunaan sensor tambahan (hiperspektral atau termal) atau optimasi algoritma AI untuk deteksi yang lebih presisi.

Dengan metodologi ini, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan sistem deteksi bunga kelapa sawit berbasis *drone* dan AI yang cepat, akurat, dan dapat diterapkan dalam skala luas guna mendukung peningkatan produktivitas industri kelapa sawit.

Rincian Kebutuhan dan Biaya Penelitian

1. Kebutuhan Peralatan dan Perangkat Keras

No	Kebutuhan Peralatan	Spesifikasi & Jumlah	Estimasi Biaya (Rp)
1.	Drone dengan Kamera Resolusi Tinggi	DJI Mavic 3 Enterprise (1 unit)	50.000.000
2.	Kamera Tambahan untuk Training Dataset	Sony Alpha 7R IV (1 unit)	40.000.000
3.	Laptop/PC untuk Pelatihan Model AI	GPU RTX 4090, RAM 64GB (1 unit)	45.000.000
4.	Server Cloud untuk Pengolahan Data	AWS/GCP (6 bulan)	20.000.000
	Hard Drive Eksternal untuk Penyimpanan Data	4TB SSD (2 unit)	5.000.000
Subtotal			160.000.000

2. Kebutuhan Perangkat Lunak dan Pengembangan Model

No.	Kebutuhan Perangkat Lunak	Spesifikasi & Jumlah	Estimasi Biaya (Rp)
1	Lisensi YOLO Pre-trained Model	YOLOv8 License (1 unit)	5.000.000
2	Lisensi Software Annotasi Data	LabelImg, Roboflow Pro	7.500.000
3	Biaya Pelatihan Model AI	Komputasi Cloud (Google Colab Pro+)	10.000.000
4	Perangkat Lunak Pengolahan Citra	MATLAB, OpenCV Libraries	5.000.000
Subtotal			27.500.000

3. Kebutuhan Operasional dan Lapangan

No	Kebutuhan Operasional	Spesifikasi & Jumlah	Estimasi Biaya (Rp)
1	Transportasi & Akomodasi Lapangan	Perjalanan ke lokasi penelitian (3 bulan)	15.000.000
2	Sewa Lahan Perkebunan untuk Uji Coba	1 hektar (6 bulan)	10.000.000
3	Biaya Dokumentasi dan Publikasi	Jurnal Internasional & Nasional	12.500.000
4	Honor Asisten Penelitian	2 Orang (6 bulan)	24.000.000
5	Biaya Seminar dan Workshop	Konferensi Teknologi AI	10.000.000
Subtotal			71.500.000

4. Kebutuhan Tak Terduga dan Administrasi

No.	Kebutuhan Administratif & Tak Terduga	Spesifikasi & Jumlah	Estimasi Biaya (Rp)
1	Biaya Administrasi & Laporan Penelitian	Cetak, Binding, Legalitas	5.000.000
2	Biaya Tak Terduga	5% dari Total Anggaran	15.000.000
Subtotal			20.000.000

Total Keseluruhan Anggaran: Rp 279.000.000

(Dengan sisa anggaran Rp 21.000.000 untuk kebutuhan tambahan atau perbaikan yang tidak terduga dalam penelitian).

Dengan alokasi dana ini, penelitian diharapkan dapat berjalan dengan optimal dan memberikan hasil yang signifikan dalam pengembangan algoritma computer vision untuk identifikasi bunga kelapa sawit menggunakan *drone* berbasis AI YOLO.

Gantt Chart Detail Kegiatan Penelitian dan Target Output Tahapan dan Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan Penelitian	Bulan Ke-												Target Output
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1.	Studi Literatur dan Identifikasi Masalah	✓	✓											Laporan Studi Literatur
2.	Perancangan Sistem Deteksi		✓	✓										Dokumen Perancangan
3.	Pengumpulan Data dan Pengolahan Citra			✓	✓	✓								Dataset Siap Digunakan
4.	Anotasi dan Augmentasi Data				✓	✓	✓							Dataset Teranotasi
5.	Pengembangan Algoritma YOLO					✓	✓	✓						Model Awal
6.	Pelatihan dan Fine-Tuning Model						✓	✓	✓					Model Optimal
7.	Evaluasi dan Validasi Model							✓	✓	✓				Laporan Hasil Evaluasi
8.	Implementasi pada <i>Drone</i> dan Pengujian Lapangan								✓	✓	✓			Sistem Diuji di Lapangan
9.	Analisis Hasil dan Perbaikan									✓	✓	✓		Revisi Model
10.	Dokumentasi dan Publikasi										✓	✓	✓	Jurnal dan Laporan Akhir

Penjelasan Tahapan Kegiatan:

1. Studi Literatur dan Identifikasi Masalah
 - Melakukan kajian terhadap penelitian sebelumnya terkait *computer vision* dan deteksi objek dengan *drone*.
 - Mengidentifikasi permasalahan utama dalam deteksi bunga kelapa sawit.
 - Menyusun kerangka penelitian berdasarkan hasil studi literatur.
2. Perancangan Sistem Deteksi
 - Menentukan spesifikasi drone dan kamera yang akan digunakan.
 - Mendesain arsitektur sistem berbasis YOLO untuk deteksi bunga.
 - Merancang skema penyimpanan dan pemrosesan data.
3. Pengumpulan Data dan Pengolahan Citra
 - Melakukan survei dan pemetaan lokasi pengambilan gambar.
 - Mengambil gambar dari berbagai sudut dan kondisi pencahayaan menggunakan *drone*.
 - Menyusun *dataset* awal untuk pelatihan model AI.
4. Anotasi dan Augmentasi Data
 - Melakukan labeling manual pada dataset untuk membedakan jenis dan tingkat kematangan bunga.
 - Melakukan augmentasi dataset untuk meningkatkan variasi dan ketahanan model.
5. Pengembangan Algoritma YOLO
 - Memilih arsitektur YOLO yang sesuai (YOLOv5 atau YOLOv8).
 - Menyesuaikan parameter jaringan neural untuk optimasi deteksi bunga.
 - Mengimplementasikan skrip pemrosesan data untuk meningkatkan akurasi deteksi.
6. Pelatihan dan Fine-Tuning Model
 - Melatih model YOLO menggunakan dataset yang telah disiapkan.
 - Mengoptimalkan model dengan fine-tuning hyperparameter.
 - Menganalisis hasil awal untuk melakukan perbaikan model.
7. Evaluasi dan Validasi Model
 - Menguji model dengan dataset uji untuk mengukur performa deteksi.
 - Menggunakan metrik evaluasi seperti precision, recall, dan mAP.
 - Menyesuaikan model berdasarkan hasil validasi dan uji coba.
8. Implementasi pada Drone dan Pengujian Lapangan
 - Mengintegrasikan model YOLO ke dalam sistem drone.
 - Melakukan uji coba di lapangan untuk mendeteksi bunga secara real-time.
 - Mengevaluasi performa sistem dalam berbagai kondisi cuaca dan pencahayaan.

9. Analisis Hasil dan Perbaikan

- Menganalisis hasil pengujian di lapangan.
- Mengidentifikasi kelemahan model dan melakukan perbaikan.
- Menyusun rekomendasi untuk implementasi lebih lanjut.

10. Dokumentasi dan Publikasi

- Menyusun laporan akhir penelitian.
- Mempersiapkan publikasi jurnal nasional atau internasional.
- Presentasi hasil penelitian dalam seminar atau konferensi.

Dengan Gantt Chart ini, penelitian diharapkan dapat berjalan secara sistematis dan menghasilkan sistem deteksi bunga kelapa sawit berbasis *drone* dan AI YOLO yang akurat dan efisien.

Analisis Cost-Benefit dan Dampak Hasil Penelitian

1. Analisis Cost (Biaya Investasi dan Operasional)

Kategori Biaya	Rincian	Estimasi Biaya (Rp)
Peralatan dan Perangkat Keras	Drone, kamera, PC high-performance, server cloud	160.000.000
Perangkat Lunak dan Pengembangan Model	Lisensi software, pelatihan AI, anotasi data	27.500.000
Operasional dan Lapangan	Transportasi, akomodasi, sewa lahan, honor asisten	71.500.000
Administrasi dan Biaya Tak Terduga	Laporan, publikasi, biaya tidak terduga	20.000.000
Total Biaya		279.000.000

2. Analisis Benefit (Manfaat dan Keuntungan Penelitian)

a. Manfaat Ekonomi

- Efisiensi Biaya Produksi: Dengan otomatisasi deteksi bunga kelapa sawit, biaya tenaga kerja dalam inspeksi manual dapat dikurangi hingga 50%.
- Peningkatan Produktivitas: Identifikasi bunga yang siap diserbuki akan meningkatkan efektivitas penyerbukan hingga 30%, meningkatkan hasil panen.
- Reduksi Kesalahan Identifikasi: AI berbasis YOLO memiliki akurasi deteksi hingga 95%, mengurangi kesalahan identifikasi yang dapat menyebabkan keterlambatan penyerbukan.
- Optimasi Penggunaan *Drone*: Mengurangi kebutuhan pengawasan lapangan secara manual, menghemat biaya operasional hingga 20%.

b. Manfaat Teknologi dan Inovasi

- Pengembangan Sistem *Computer Vision*: Penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan AI di bidang agrikultur berbasis *drone*.

- Penerapan IoT dan *Big Data*: Data yang dikumpulkan dapat digunakan untuk analisis jangka panjang dalam manajemen perkebunan.
- Transfer Teknologi: Metode ini dapat direplikasi ke komoditas lain seperti kakao dan kopi.

c. Manfaat Lingkungan

- Pengurangan Penggunaan Pestisida dan Hormon: Dengan deteksi yang lebih akurat, penggunaan bahan kimia dalam budidaya dapat diminimalkan.
- Efisiensi Pemanfaatan Lahan: Identifikasi bunga yang optimal akan membantu mengelola lahan secara lebih efisien, mengurangi deforestasi.
- Pemantauan Berkelanjutan: Drone dapat digunakan untuk pemantauan jangka panjang tanpa merusak lingkungan.

d. Manfaat Sosial dan Akademik

- Peningkatan Kapasitas SDM: Pelatihan dalam AI dan *computer vision* untuk tenaga kerja di perkebunan.
- Publikasi Ilmiah: Hasil penelitian dapat dipublikasikan di jurnal internasional dan digunakan sebagai referensi akademik.
- Peluang Kerja Baru: Munculnya kebutuhan tenaga kerja yang paham AI dan *drone* dalam sektor pertanian.

3. Dampak Hasil Penelitian

Aspek	Dampak Positif	Potensi Tantangan
Ekonomi	Efisiensi biaya dan peningkatan produksi	Investasi awal yang relatif tinggi
Teknologi	Pengembangan AI dalam agrikultur	Adaptasi teknologi oleh petani memerlukan pelatihan
Lingkungan	Pengurangan penggunaan bahan kimia	Implementasi <i>drone</i> membutuhkan regulasi
Sosial	Peningkatan keterampilan tenaga kerja	Perubahan budaya kerja di perkebunan

4. Kesimpulan

Dengan alokasi dana Rp 300.000.000, penelitian ini menawarkan manfaat yang jauh lebih besar dibandingkan biaya yang dikeluarkan. Penggunaan AI berbasis YOLO dalam deteksi bunga kelapa sawit dengan *drone* dapat meningkatkan efisiensi, mengurangi biaya operasional, serta memberikan dampak positif bagi lingkungan dan masyarakat. Tantangan dalam adaptasi teknologi dapat diatasi dengan pelatihan dan sosialisasi yang tepat. Dengan demikian, penelitian ini memiliki nilai ekonomi, teknologi, dan sosial yang tinggi bagi industri kelapa sawit dan agrikultur berbasis AI secara umum.