

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DEEP LEARNING UNTUK DETEKSI STOMATA DAN KELENJAR MINYAK PADA NILAM BERBASIS MODIFIKASI ARSITEKTUR YOLOV5

ARIE QUR'ANIA



**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “*Deep Learning* untuk Deteksi Stomata dan Kelenjar Minyak pada Nilam berbasis Modifikasi Arsitektur YOLOv5” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2026

Arie Qur'ania
G6601211013



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

ARIE QUR'ANIA. *Deep Learning* untuk Deteksi Stomata dan Kelenjar Minyak pada Nilam berbasis Modifikasi Arsitektur YOLOv5. Dibimbing oleh YENI HERDIYENI, WISNU ANANTA KUSUMA, AJI HAMIM WIGENA, dan SRI SUHESTI.

Nilam (*Pogostemon cablin* Benth.) adalah tanaman aromatik bernilai ekonomi tinggi yang digunakan dalam industri parfum, kosmetik, dan obat tradisional. Nilam memiliki keanekaragaman genetik yang rendah karena jarang berbunga. Eksplorasi aksesori dari berbagai daerah dilakukan untuk meningkatkan variabilitas nilam. Aksesori dilakukan karakterisasi dan diseleksi guna memperoleh calon varietas unggul penghasil minyak nilam (*patchouli oil*) berkualitas tinggi. Parameter yang diamati pada proses seleksi aksesori di antaranya adalah jumlah stomata dan kelenjar minyak pada daun berdasarkan pengamatan mikroskopis. Pengamatan stomata dan kelenjar minyak dilakukan untuk mengetahui karakter anatomi pada aksesori nilam. Metode konvensional untuk menghitung jumlah stomata dan kelenjar minyak masih dilakukan secara manual, yang memakan waktu, kurang presisi, dan rentan terhadap bias.

Stomata dan kelenjar minyak pada nilam dapat dideteksi melalui citra mikroskopis. Kualitas citra yang bervariasi seperti batas stomata dan kelenjar minyak yang tidak jelas, objek tertutup oleh objek lain (oklusi), serta kontras rendah dapat meningkatkan kompleksitas deteksi otomatis. Kondisi ini menuntut model mampu mengenali stomata dan kelenjar minyak pada citra kurang ideal, serta berpotensi menimbulkan bias dalam perhitungannya. Oleh karena itu diperlukan pendekatan yang lebih optimal dalam mengekstraksi fitur penting untuk deteksi otomatis stomata dan kelenjar minyak berbasis *deep learning*. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model deteksi stomata dan kelenjar minyak pada nilam berbasis arsitektur YOLOv5 dan menambahkan modul *coordinate attention* (CA) untuk meningkatkan kinerja model deteksi.

Model deteksi stomata dikembangkan dalam satu model *baseline* tanpa penambahan modul CA, serta empat variasi model dengan integrasi modul CA pada bagian *backbone*. Model deteksi kelenjar minyak terdiri atas satu model *baseline* tanpa CA dan dua variasi model dengan penambahan modul CA pada bagian *backbone* dan *neck*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi modul CA mampu meningkatkan kinerja deteksi stomata dan kelenjar minyak, termasuk pada citra dengan kualitas tidak ideal.

Model *baseline* deteksi stomata mencapai mAP@0.5 sebesar 91,1% dan F1-score sebesar 89,2%. Model terbaik berbasis CA menunjukkan peningkatan kinerja dengan mAP@0.5 sebesar 95,4% dan F1-score sebesar 92,3%. Peningkatan tersebut ditunjukkan oleh kenaikan mAP@0.5:0.95 sebesar 11,94%, mAP@0.5 sebesar 4,72%, dan F1-score sebesar 3,48%. Model dengan penambahan CA menghasilkan kesesuaian jumlah prediksi stomata sebesar 98,41%, dengan peningkatan sebesar 14,36 poin persentase dibandingkan model *baseline*. Deteksi kelenjar minyak pada model *baseline* menghasilkan mAP@0.5 sebesar 74,6% dan F1-score sebesar 71,8%. Model terbaik berbasis CA mencapai mAP@0.5 sebesar 86,1% dan F1-score sebesar 81,1%. Peningkatan kinerja ditunjukkan oleh kenaikan mAP@0.5:0.95 sebesar 27,25%, mAP@0.5 sebesar 15,42%, dan F1-score sebesar



12,95%. Model dengan penambahan CA menghasilkan kesesuaian jumlah prediksi kelenjar minyak sebesar 90,69%, dengan peningkatan sebesar 16,55 poin persentase dibandingkan model *baseline*.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan model deteksi stomata dan kelenjar minyak pada nilam menggunakan YOLOv5 yang diintegrasikan dengan CA, untuk meningkatkan representasi fitur objek kecil yang memiliki batas kurang jelas dan mengalami oklusi. Model integrasi CA dengan posisi yang paling efektif dalam arsitektur YOLOv5 melalui evaluasi beberapa eksperimen penempatan CA, sehingga menghasilkan konfigurasi model yang lebih adaptif terhadap variasi kualitas citra mikroskopis nilam. *Dataset* citra mikroskopis nilam beranotasi yang dapat menjadi kontribusi bagi pengembangan deteksi objek mikroskopis tanaman.

Model yang dikembangkan dapat digunakan sebagai alat bantu analisis untuk mempercepat perhitungan jumlah stomata dan kelenjar minyak pada nilam. Model ini digunakan untuk meningkatkan ketepatan deteksi karakter penting, sehingga mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan dengan membandingkan berbagai mekanisme *attention*. Pengujian perlu diperluas pada berbagai varietas nilam dan tanaman penghasil minyak atsiri lainnya. Integrasi parameter morfologi lain di luar stomata dan kelenjar minyak dapat memperkaya pemodelan *ideotype* varietas unggul nilam. Penelitian lanjutan dapat dikembangkan melalui perhitungan densitas objek per bidang pandang secara otomatis dan diterapkan dalam sistem praktis, seperti aplikasi *mobile*.

Kata kunci: *coordinate attention*, deteksi kelenjar minyak, deteksi stomata, nilam, YOLOv5

SUMMARY

ARIE QUR'ANIA. Deep Learning for Stomata and Oil Gland Detection in Patchouli Based on Modified YOLOv5 Architecture. Supervised by YENI HERDIYENI, WISNU ANANTA KUSUMA, AJI HAMIM WIGENA, dan SRI SUHESTI.

Patchouli (*Pogostemon cablin* Benth.) is an aromatic plant of high economic value used in the perfume, cosmetic, and traditional medicine industries. Patchouli has low genetic diversity because it rarely flowers. Exploration of accessions from various regions is conducted to increase the variability of patchouli. Accession is characterized and selected to obtain superior candidate varieties producing high-quality patchouli oil. The parameters observed in the selection process of accessions include the number of stomata and oil glands on the leaves based on microscopic observation. Observation of stomata and oil glands is conducted to determine the anatomical characteristics of patchouli accessions. The conventional method for counting the number of stomata and oil glands is still done manually, which is time-consuming, less precise, and prone to bias.

Stomata and oil glands in patchouli can be detected through microscopic imaging. The varying quality of images, such as unclear boundaries of stomata and oil glands, objects obscured by other objects (occlusion), and low contrast, can increase the complexity of automatic detection. These conditions require the model to be able to recognize stomata and oil glands in less-than-ideal images, and they may potentially introduce bias in the calculations. Thus, a more optimized approach is needed to extract crucial features for the automatic identification of stomata and oil glands. Hence, a deep learning-based automatic approach is required. This research aims to develop a stomata and oil gland detection model based on the YOLOv5 architecture and add a coordinate attention (CA) module to improve the detection model's performance.

The stomata detection model was developed in one baseline model without the addition of the CA module, as well as four model variations with the integration of the CA module in the backbone section. The model for detecting oil glands consists of one baseline model without CA and two variations that include the CA module in the backbone and neck sections. The research results indicate that the integration of the CA module can improve the performance of stomata and oil gland detection, including in images of non-ideal quality.

The baseline model for stomata detection achieved an mAP@0.5 of 91.1% and an F1-score of 89.2%. The best CA-based model showed improved performance with an mAP@0.5 of 95.4% and an F1-score of 92.3%. This improvement is indicated by an increase in mAP@0.5:0.95 of 11.94%, mAP@0.5 of 4.72%, and an F1 score of 3.48%. The model with CA addition resulted in a prediction accuracy of stomata of 98.41%, with an increase of 14.36 percentage points compared to the baseline model. Detection of oil glands in the baseline model resulted in an mAP@0.5 of 74.6% and an F1-score of 71.8%. The best CA-based model achieved an mAP@0.5 of 86.1% and an F1-score of 81.1%. The increase in mAP@0.5:0.95 by 27.25%, mAP@0.5 by 15.42%, and F1-score by 12.95% indicated a performance improvement. The model with the addition of CA



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

produced a prediction accuracy of oil glands of 90.69%, with an increase of 16.55 percentage points compared to the baseline model.

The novelty of this research lies in the development of a model for detecting stomata and oil glands in patchouli using YOLOv5 integrated with CA to enhance the representation of features of small objects with unclear boundaries and occlusion. The CA integration model with the most effective position in the YOLOv5 architecture was determined through the evaluation of several CA placement experiments, resulting in a model configuration that is more adaptive to variations in the quality of patchouli microscopic images. The annotated patchouli microscopic image dataset can contribute to the development of plant microscopic object detection.

The developed model can be used as an analytical tool to expedite the counting of stomata and oil glands in patchouli. This model is used to improve the accuracy of detecting important characteristics, thereby supporting data-driven decision-making. Further development can be carried out by comparing various attention mechanisms. Testing needs to be expanded to various patchouli varieties and other essential oil-producing plants. The integration of other morphological parameters beyond stomata and oil glands can enrich the ideotype modeling of superior patchouli varieties. Further research can be developed through the automatic calculation of object density per field of view and applied in practical systems, such as mobile applications.

Keywords: coordinate attention, oil gland detection, patchouli, stomata detection, YOLOv5



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DEEP LEARNING UNTUK DETEKSI STOMATA DAN KELENJAR MINYAK PADA NILAM BERBASIS MODIFIKASI ARSITEKTUR YOLOV5

ARIE QUR'ANIA

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Doktor Ilmu Komputer

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Dr. Mushthofa, S.Kom., M.Sc.
- 2 Pesigrihastamadya Normakristagaluh, M.Kom., Ph.D.

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Dr. Mushthofa, S.Kom., M.Sc.
- 2 Pesigrihastamadya Normakristagaluh, M.Kom., Ph.D.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Disertasi: *Deep Learning* untuk Deteksi Stomata dan Kelenjar Minyak pada
Nilam berbasis Modifikasi Arsitektur YOLOv5

Nama : Arie Qur'ania
NIM : G6601211013

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Yeni Herdiyeni, S.Si., M.Kom.

Pembimbing 2:

Prof. Dr. Eng. Wisnu Ananta Kusuma, S.T., M.T.

Pembimbing 3:

Prof. Dr. Ir. Aji Hamim Wigena, M.Sc.

Pembimbing 4:

Dr. Sri Suhesti, S.P., M.P.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Prof. Dr. Imas Sukaesih Sitanggang, S.Si., M.Kom.
NIP 197501301998022001

Dekan Sekolah Sains Data, Matematika, dan Informatika:

Prof. Dr. Ir. Agus Buono, M.Si., M.Kom.
NIP 196607021993011001

Tanggal Ujian:
21 Mei 2026

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanaahu Wa Ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan April 2022 sampai bulan Desember 2025 ini ialah *computer vision* dengan judul “*Deep Learning* untuk Deteksi Stomata dan Kelenjar Minyak pada Nilam berbasis Modifikasi Arsitektur YOLOv5”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Yeni Herdiyeni, S.Si., M.Kom., Prof. Dr. Eng. Wisnu Ananta Kusuma, S.T., M.T., Prof. Dr. Ir. Aji Hamim Wigena, M.Sc., dan Dr. Sri Suhesti, S.P., M.P., yang telah membimbing dan banyak memberi saran selama penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada:

1. Penguji luar komisi pembimbing pada ujian tertutup dan sidang promosi, Dr. Mushthofa, S.Kom., M.Sc., dan Pesigrihastamadya Normakristagaluh, M.Kom., Ph.D., yang telah memberikan banyak saran dalam perbaikan penelitian ini.
2. Pimpinan Sekolah Pascasarjana, Sekolah Sains Data, Matematika dan Informatika IPB University, Ketua Program Studi Doktor Ilmu Komputer dan semua staf pengajar serta tenaga kependidikan yang telah memberikan pelayanan yang baik dalam akademik dan administrasi.
3. Ketua dan Pengurus Yayasan Pakuan Siliwangi, Rektor dan jajaran Struktural Universitas Pakuan beserta para Staf atas dukungan dana bantuan Pendidikan dan fasilitas untuk pendidikan studi lanjut Doktoral.
4. Dekan, Wadek 1, Wadek 2, dan Struktural di lingkungan FMIPA dan Sekolah Pascasarjana Universitas Pakuan atas dukungan dan doanya.
5. Ibu Endang Hadipoentyanti, M.Si dan staf laboran Pusat Perakitan dan Modernisasi Pertanian Perkebunan atas dukungan data dan fasilitas laboratorium.
6. Orang tua tercinta bapa Sapri Arifin (Alm) dan mamah Kusmiati Wardhani (Almh.), adik tersayang Taufik Mahendra dan istri Mbak Heni, Ilham Renaldi, Suami dan anak-anak tercinta Abi Hapid, M. Fadil, dan istri Tata, M. Hilman, Prasasti dan keponakan, M. Zaki, dan M. Alby, serta keluarga besar yang telah memberikan doa, dukungan serta kesabaran yang tulus.
7. Rekan-rekan dosen dan tenaga kependidikan Program Studi Sarjana dan Magister Ilmu Komputer Universitas Pakuan yang selalu memberikan dukungan dan saran.
8. Sahabat seperjuangan, teman-teman tercinta khususnya angkatan 4 S3 Ilmu Komputer IPB atas dukungan doa dan penyemangat selama studi dan penelitian.
9. Bapak dan Ibu Unit Penjaminan Mutu Sekolah Pascasarjana Universitas Pakuan atas doa tulus dan dukungannya
10. Pihak-pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang telah banyak membantu dalam studi dan penelitian.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juni 2026
Arie Qur'ania



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	ii
DAFTAR GAMBAR	ii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan	7
1.4 Manfaat	8
1.5 Ruang Lingkup	8
1.6 Kebaruan (<i>novelty</i>)	8
II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Tanaman Nilam	9
2.2 Stomata dan Kelenjar Minyak	10
2.3 <i>Deep Learning</i> untuk Deteksi Objek	13
2.4 Deteksi Stomata dan Kelenjar Minyak	15
2.5 <i>You Only Look Once</i> (YOLO)	22
2.6 <i>Coordinate Attention</i> (CA)	26
III METODE PENELITIAN	29
3.1 Kerangka Penelitian	29
3.2 Tahapan Penelitian	30
IV HASIL DAN ANALISIS DETEKSI STOMATA DAN KELENJAR MINYAK BERBASIS YOLOv5	39
4.1 <i>Dataset</i> dan Anotasi Citra Mikroskopis	39
4.2 Model <i>Baseline</i> untuk Deteksi Stomata	43
4.3 Model <i>Baseline</i> untuk Deteksi Kelenjar Minyak	50
4.4 Ringkasan Hasil Model <i>Baseline</i> YOLOv5	56
V HASIL DAN ANALISIS DETEKSI STOMATA DAN KELENJAR MINYAK BERBASIS YOLOV5-CA	57
5.1 Desain Integrasi CA	57
5.2 Model Berbasis CA untuk Deteksi Stomata	58
5.3 Model Berbasis CA untuk Deteksi Kelenjar Minyak	64
5.4 Ringkasan Hasil Model YOLOv5-CA	70
VI SIMPULAN DAN SARAN	71
6.1 Simpulan	71
6.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	73
RIWAYAT HIDUP	82



DAFTAR TABEL

1	<i>State of the art</i> penelitian deteksi stomata (2017-2021)	4
2	Varietas unggul nilam di Indonesia	9
3	Deskripsi dua varietas unggul nilam (sumber BALITTRO)	10
4	Penelitian deteksi objek berbasis modifikasi YOLOv5	28
5	Metrik evaluasi model <i>baseline</i> YOLOv5-ST	45
6	Hasil perhitungan statistik jumlah stomata (<i>baseline</i>)	46
7	Metrik galat perhitungan jumlah stomata (<i>baseline</i>)	46
8	Analisis kerapatan stomata model <i>baseline</i>	50
9	Metrik evaluasi model <i>baseline</i> YOLOv5-KM	52
10	Hasil perhitungan statistik jumlah kelenjar minyak (<i>baseline</i>)	53
11	Metrik galat perhitungan jumlah kelenjar minyak (<i>baseline</i>)	53
12	Analisis kerapatan kelenjar minyak model <i>baseline</i>	56
13	Ringkasan hasil model <i>baseline</i> YOLOv5	56
14	Variasi posisi CA pada model deteksi stomata	58
15	Metrik evaluasi model deteksi stomata	59
16	Perbandingan galat jumlah stomata	60
17	Nilai korelasi antara <i>ground truth</i> dan model deteksi stomata	61
18	Perbandingan galat kerapatan stomata	62
19	Uji statistik model deteksi stomata	64
20	Variasi posisi CA pada model deteksi kelenjar minyak	65
21	Metrik evaluasi model deteksi kelenjar minyak	66
22	Perbandingan galat jumlah kelenjar minyak	67
23	Nilai korelasi antara <i>ground truth</i> dan model deteksi kelenjar minyak	67
24	Perbandingan galat kerapatan kelenjar minyak	68
25	Uji statistik model deteksi kelenjar minyak	70
26	Model terbaik berbasis CA berdasarkan keseimbangan semua indikator	70
27	Model terbaik berbasis CA berdasarkan metrik evaluasi	70

DAFTAR GAMBAR

1	Spesies nilam di Indonesia	1
2	Prosedur perakitan dan seleksi calon varietas nilam	2
3	Varietas unggul nilam	9
4	Citra stomata dan kelenjar minyak nilam	12
5	Perkembangan deteksi objek dalam dua dekade	14
6	Akurasi pada <i>dataset</i> VOC dan MS-COCO	14
7	Deteksi stomata (a) TM (b) COD	17
8	Hasil deteksi stomata dengan teknik DCNN	17
9	Contoh <i>patches</i> stomata	18
10	Tahap deteksi stomata pada <i>Gymnospermae</i>	19
11	Hasil deteksi stomata berbasis <i>Faster R-CNN</i>	19
12	Deteksi stomata pada citra daun jagung	20
13	Deteksi stomata pada citra kualitas buram	20

14	Deteksi kelenjar pigmen pada kapas	21
15	Pengembangan model CGTDM	22
16	Perkembangan YOLO (2015-2023)	22
17	Struktur jaringan YOLOv5	24
18	Arsitektur YOLOv5	25
19	Struktur <i>coordinate attention</i>	28
20	Deteksi burung bangau dan stomata	28
21	Tahapan kegiatan untuk mendapatkan data penelitian	29
22	Kerangka penelitian dan target publikasi	30
23	Tahapan penelitian	30
24	Proses akuisisi citra mikroskopis stomata dan kelenjar minyak	31
25	Pelabelan citra mikroskopis stomata	31
26	Model deteksi stomata dan kelenjar minyak dengan YOLOv5	32
27	Contoh <i>input</i> citra mikroskopis stomata dan kelenjar minyak nilam	32
28	Modul CA yang akan ditambahkan pada arsitektur YOLOv5	33
29	Posisi CA pada berbagai model deteksi stomata	33
30	Modifikasi YOLOv5 untuk model deteksi stomata	34
31	Posisi CA untuk model deteksi kelenjar minyak	34
32	Modifikasi YOLOv5 untuk model deteksi kelenjar minyak	35
33	Dokumentasi kegiatan penelitian	39
34	Contoh pelabelan citra stomata dan kelenjar minyak	40
35	Pelabelan stomata dan hasil format <i>json</i>	40
36	Konversi format <i>json</i> ke YOLO	41
37	<i>Dataset</i> stomata nilam	41
38	<i>Dataset</i> kelenjar minyak nilam	42
39	Stomata dengan kondisi (a) jelas, (b) buram, dan (c) <i>overlap</i>	42
40	Kelenjar minyak dengan kondisi (a) jelas, (b) buram, dan (c) <i>overlap</i>	42
41	Perbandingan <i>box loss</i> pada model <i>baseline</i> stomata	44
42	Perbandingan <i>objectness loss</i> pada model <i>baseline</i> stomata	44
43	<i>Scatter plot</i> hitungan stomata dan prediksi model <i>baseline</i>	47
44	Contoh citra mikroskopis stomata nilam	48
45	Hasil deteksi stomata pada citra stomata Sidikalang	48
46	Stomata yang gagal terdeteksi (Sidikalang)	48
47	Hasil deteksi stomata pada citra stomata Patchoulina2	49
48	Stomata yang gagal terdeteksi (Patchoulina2)	49
49	Perbandingan <i>box loss</i> model <i>baseline</i> kelenjar minyak	50
50	Perbandingan <i>objectness loss baseline</i> kelenjar minyak	51
51	<i>Scatter plot</i> hitungan kelenjar minyak dan prediksi model <i>baseline</i>	54
52	Contoh citra mikroskopis kelenjar minyak nilam	54
53	Hasil deteksi kelenjar minyak (Sidikalang)	55
54	Kelenjar minyak yang gagal terdeteksi (Sidikalang)	55
55	Hasil deteksi kelenjar minyak (Patchoulina2)	55
56	Kelenjar minyak yang gagal terdeteksi (Patchoulina2)	55
57	Perbandingan <i>loss</i> model deteksi stomata berbasis CA	58
58	Perbandingan performa model deteksi stomata	59
59	Perbandingan <i>scatter plot</i> antara model <i>baseline</i> dengan CA	61
60	Contoh deteksi stomata YOLOv5-ST dan YOLOv5-ST-CA3	63
61	Perbandingan <i>loss</i> model deteksi kelenjar minyak berbasis CA	65

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

62	Perbandingan performa model deteksi kelenjar minyak	66
63	<i>Scatter plot</i> kelenjar minyak antara (a) <i>baseline</i> dan (b) model CA	68
64	Hasil deteksi kelenjar minyak YOLOv5-KM dan YOLOv5-KM-CA1	69

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

