

- 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.

LAPORAN DISERTASI

PENINGKATAN KUALITAS CITRA MELALUI OPTIMASI FUSI CLAHE-MSR DENGAN *ARTIFICIAL BEE COLONY* UNTUK DETEKSI IKAN DI PADANG LAMUN

SRI DIANING ASRI



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



PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Peningkatan Kualitas Citra melalui Optimasi Fusi CLAHE-MSR dengan *Artificial Bee Colony* untuk Deteksi Ikan di Padang Lamun” 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, Juli 2026

Sri Dianing Asri
G6601211011

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

SRI DIANING ASRI. Peningkatan Kualitas Citra melalui Optimasi Fusi CLAHE-MSR dengan *Artificial Bee Colony* untuk Deteksi Ikan di Padang Lamun. Dibimbing oleh INDRA JAYA, AGUS BUONO, dan SONY HARTONO WIJAYA.

Ekosistem padang lamun memiliki peran ekologis penting sebagai habitat, area pembesaran, tempat berlindung, dan sumber makanan bagi berbagai spesies ikan. Namun, pemantauan keberadaan ikan pada ekosistem ini masih menghadapi tantangan besar, terutama ketika dilakukan menggunakan citra bawah air. Citra yang dihasilkan sering tampak buram, memiliki kontras rendah, warna tidak seimbang, dan detail objek ikan sulit dikenali. Kondisi tersebut berdampak langsung terhadap kinerja sistem deteksi ikan berbasis visi komputer.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan pendekatan peningkatan kualitas citra bawah air dan mengevaluasi pengaruhnya terhadap deteksi ikan pada ekosistem padang lamun. Pendekatan yang dikembangkan adalah fusi CLAHE dan MSR dengan optimasi bobot menggunakan *Artificial Bee Colony* (ABC). *Underwater Image Quality Measure* (UIQM) digunakan sebagai fungsi *fitness* untuk mengoptimalkan kombinasi bobot terbaik antara *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) dan *Multi-Scale Retinex* (MSR). Hasil optimasi menghasilkan bobot optimal sebesar 0,34 untuk CLAHE dan 0,66 untuk MSR. Komposisi ini menunjukkan bahwa kontribusi MSR lebih dominan dalam memperbaiki pencahayaan, warna, dan ketajaman citra bawah air, sedangkan CLAHE tetap berperan dalam menjaga kontras lokal dan ketegasan detail visual.

Metode penelitian diawali dengan persiapan *dataset* citra bawah air yang terdiri atas citra UIEB sebagai data *baseline*, citra padang lamun sebagai data utama, serta citra hutan bakau dan terumbu karang dari *Data Deepfish* sebagai data pengujian *robustness*. Peningkatan kualitas citra dilakukan melalui beberapa skenario, yaitu CLAHE, MSR, *pipeline* CLAHE–MSR, *pipeline* MSR–CLAHE, fusi CLAHE–MSR dengan bobot tetap, dan fusi CLAHE–MSR dengan bobot optimal berbasis ABC. Evaluasi kualitas citra dilakukan menggunakan UIQM, komponen UIQM, entropi informasi, distribusi histogram RGB, serta pengamatan visual. Citra hasil peningkatan kualitas kemudian digunakan sebagai masukan dalam proses *fine-tuning* YOLO-Fish untuk mengevaluasi pengaruh *image enhancement* terhadap performa deteksi ikan.

Hasil pengujian pada data UIEB menunjukkan bahwa citra awal memiliki nilai UIQM sebesar 2,124. Setelah dilakukan peningkatan kualitas secara individual, CLAHE menghasilkan nilai UIQM sebesar 2,419, sedangkan MSR menghasilkan nilai UIQM sebesar 1,897. *Pipeline* CLAHE–MSR menghasilkan nilai UIQM sebesar 1,675, sedangkan *pipeline* MSR–CLAHE menghasilkan nilai UIQM sebesar 1,971. Hasil ini menunjukkan, pemrosesan berurutan cenderung menyebabkan perubahan warna, pencahayaan, dan kontras yang berlebihan.

Sebaliknya, strategi fusi dengan bobot tetap memberikan hasil yang lebih baik, yaitu UIQM sebesar 2,920 pada kombinasi bobot 0,25:0,75, UIQM sebesar 2,919 pada bobot 0,5:0,5, dan UIQM sebesar 2,735 pada bobot 0,75:0,25. Nilai tertinggi diperoleh pada fusi bobot optimal berbasis ABC dengan UIQM sebesar 2,969. Hasil ini menunjukkan bahwa optimasi bobot menggunakan ABC mampu menentukan



komposisi CLAHE dan MSR yang lebih tepat dibandingkan metode tunggal, strategi *pipeline*, maupun fusi bobot tetap.

Penerapan bobot optimal pada citra lamun monospesifik menunjukkan bahwa metode fusi CLAHE–MSR mampu meningkatkan kualitas citra secara kuantitatif dan visual. Nilai UIQM citra awal sebesar 1,454 meningkat menjadi 1,805 setelah CLAHE, 2,394 setelah MSR, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 2,513 pada citra fusi CLAHE–MSR. Analisis entropi juga menunjukkan peningkatan kandungan informasi visual, yaitu dari 5,77410 pada citra awal menjadi 7,20409 pada citra fusi. Pada citra lamun vegetasi campuran, metode fusi CLAHE–MSR juga menghasilkan performa terbaik. Nilai UIQM meningkat dari 2,315 pada citra awal menjadi 2,940 pada CLAHE, 2,653 pada MSR, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 3,195 pada hasil fusi. Nilai entropi informasi juga meningkat dari 6,24813 pada citra awal menjadi 7,69423 pada citra fusi.

Analisis histogram RGB memperkuat hasil evaluasi UIQM dan entropi informasi. Citra awal menunjukkan ketidakseimbangan distribusi warna, terutama karena kanal merah cenderung lebih lemah, sedangkan kanal hijau dan biru lebih dominan. Setelah proses fusi CLAHE–MSR, distribusi intensitas menjadi lebih baik, kanal merah meningkat pada rentang intensitas sedang, dan dominasi kanal hijau serta biru menjadi lebih terkendali.

Pengujian *robustness* pada *Data Deepfish* menunjukkan bahwa bobot optimal hasil ABC juga mampu meningkatkan kualitas citra. Pada citra hutan bakau, nilai UIQM meningkat dari 2,053 pada citra awal menjadi 2,839 pada CLAHE, 2,520 pada MSR, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 3,313 pada citra fusi. Pada citra terumbu karang, nilai UIQM meningkat dari 2,074 pada citra awal menjadi 2,488 pada CLAHE, 2,200 pada MSR, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 3,311 pada citra fusi.

Evaluasi kinerja deteksi menunjukkan bahwa peningkatan kualitas citra memberikan dampak positif terhadap performa model *YOLO-Fish*. Pada data uji, metode fusi CLAHE–MSR menghasilkan performa terbaik dengan $mAP@0,5$ sebesar 86,6%, meningkat 8,9 poin dibandingkan citra asli sebesar 77,7%, serta lebih tinggi dibandingkan CLAHE sebesar 84,0% dan MSR sebesar 84,7%. Pada metrik lain, metode fusi menghasilkan *precision* sebesar 91,0%, *recall* sebesar 82,0%, dan *F1-score* sebesar 86,0%.

Kebaruan dari penelitian yang diusulkan menghasilkan pertama pendekatan fusi CLAHE–MSR berbasis optimasi ABC untuk meningkatkan kualitas citra bawah air pada ekosistem padang lamun. Pada pendekatan ini, solusi direpresentasikan sebagai pasangan bobot CLAHE (ω_{CL}) dan bobot MSR (ω_M) yang dioptimalkan menggunakan UIQM sebagai fungsi *fitness*. Kedua, penelitian ini mengintegrasikan citra hasil fusi CLAHE–MSR teroptimasi ke dalam proses *fine-tuning YOLO-Fish* untuk mengevaluasi pengaruh peningkatan kualitas citra terhadap performa deteksi ikan pada ekosistem padang lamun yang memiliki kompleksitas visual tinggi.

Kata kunci: *Artificial Bee Colony*, Deteksi ikan, Fusi CLAHE-MSR, Padang lamun, Peningkatan kualitas citra bawah air

SUMMARY

SRI DIANING ASRI. Image Quality Enhancement through CLAHE–MSR Fusion Weight Optimization Using Artificial Bee Colony for Fish Detection in Seagrass Bed. Supervised by INDRA JAYA, AGUS BUONO, and SONY HARTONO WIJAYA.

Seagrass ecosystems play an important ecological role as habitats, nursery grounds, shelters, and food sources for various fish species. However, monitoring fish presence in these ecosystems remains challenging, particularly when using underwater images. The resulting images are often blurred, have low contrast, exhibit color imbalance, and contain fish object details that are difficult to recognize. These conditions directly affect the performance of computer vision-based fish detection systems.

This study aims to develop an underwater image enhancement approach and evaluate its effect on fish detection in seagrass ecosystems. The proposed approach is based on the fusion of CLAHE and MSR, with weighting optimization using the Artificial Bee Colony (ABC) algorithm. Underwater Image Quality Measure (UIQM) is used as the fitness function to optimize the best weight combination between Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) and Multi-Scale Retinex (MSR). The optimization results produced an optimal weight of 0.34 for CLAHE and 0.66 for MSR. This composition indicates that MSR contributes more dominantly to improving illumination, color, and sharpness in underwater images, while CLAHE still plays a role in preserving local contrast and enhancing visual details.

The research method began with the preparation of underwater image datasets, consisting of UIEB images as the baseline data, seagrass images as the main data, and mangrove and coral reef images from the DeepFish dataset as robustness testing data. Image enhancement was carried out through several scenarios, namely CLAHE, MSR, CLAHE–MSR pipeline, MSR–CLAHE pipeline, CLAHE–MSR fusion with fixed weights, and CLAHE–MSR fusion with ABC-based optimal weights. Image quality evaluation was performed using UIQM, UIQM components, information entropy, RGB histogram distribution, and visual observation. The enhanced images were then used as input in the YOLO-Fish fine-tuning process to evaluate the effect of image enhancement on fish detection performance.

The experimental results on the UIEB data showed that the original images had a UIQM value of 2.124. After individual enhancement, CLAHE produced a UIQM value of 2.419, while MSR produced a UIQM value of 1.897. The CLAHE–MSR pipeline produced a UIQM value of 1.675, while the MSR–CLAHE pipeline produced a UIQM value of 1.971. These results indicate that sequential processing tends to cause excessive changes in color, illumination, and contrast.

In contrast, the fixed-weight fusion strategy produced better results, with a UIQM value of 2.920 for the 0.25:0.75 weight combination, 2.919 for the 0.5:0.5 weight combination, and 2.735 for the 0.75:0.25 weight combination. The highest value was obtained by the ABC-based optimal weighted fusion, with a UIQM value of 2.969. These results show that weight optimization using ABC is able to determine a more appropriate CLAHE and MSR composition compared with single methods, pipeline strategies, and fixed-weight fusion.



The application of the optimal weights to monospecific seagrass images showed that the CLAHE–MSR fusion method was able to improve image quality both quantitatively and visually. The UIQM value of the original images was 1.454, increasing to 1.805 after CLAHE, 2.394 after MSR, and reaching the highest value of 2.513 in the CLAHE–MSR fusion images. The entropy analysis also showed an increase in visual information content, from 5.77410 in the original images to 7.20409 in the fusion images. In mixed seagrass vegetation images, the CLAHE–MSR fusion method also produced the best performance. The UIQM value increased from 2.315 in the original images to 2.940 with CLAHE, 2.653 with MSR, and reached the highest value of 3.195 in the fusion images. The information entropy value also increased from 6.24813 in the original images to 7.69423 in the fusion images.

The RGB histogram analysis further supported the UIQM and information entropy evaluation results. The original images showed an imbalance in color distribution, particularly because the red channel tended to be weaker, while the green and blue channels were more dominant. After the CLAHE–MSR fusion process, the intensity distribution improved, the red channel increased in the mid-intensity range, and the dominance of the green and blue channels became more controlled.

Robustness testing on the DeepFish data showed that the optimal weights obtained using ABC were also able to improve image quality. In mangrove images, the UIQM value increased from 2.053 in the original images to 2.839 with CLAHE, 2.520 with MSR, and reached the highest value of 3.313 in the fusion images. In coral reef images, the UIQM value increased from 2.074 in the original images to 2.488 with CLAHE, 2.200 with MSR, and reached the highest value of 3.311 in the fusion images.

The detection performance evaluation showed that image enhancement had a positive impact on the performance of the YOLO-Fish model. On the test data, the CLAHE–MSR fusion method achieved the best performance, with an mAP@0.5 of 86.6%, an increase of 8.9 percentage points compared with the original images at 77.7%, and higher than CLAHE at 84.0% and MSR at 84.7%. For the other metrics, the fusion method achieved a precision of 91,0%, a recall of 82,0%, and an F1-score of 86,0%.

The novelty of the proposed research consists of two aspects. First, this study develops a CLAHE–MSR fusion approach based on ABC optimization to improve underwater image quality in seagrass ecosystems. In this approach, the solution is represented as a pair of CLAHE weight (ω_{CL}) and MSR weight (ω_M), which are optimized using UIQM as the fitness function. Second, this study integrates the optimized CLAHE–MSR fusion images into the YOLO-Fish fine-tuning process to evaluate the effect of image enhancement on fish detection performance in seagrass ecosystems with high visual complexity.

Keywords: Artificial Bee Colony, CLAHE-MSR fusion, Fish detection, Seagrass beds, Underwater image quality enhancement



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 ipta 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.

PENINGKATAN KUALITAS CITRA MELALUI OPTIMASI FUSI CLAHE-MSR DENGAN *ARTIFICIAL BEE COLONY* UNTUK DETEKSI IKAN DI PADANG LAMUN

SRI DIANING ASRI

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

**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.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Dr. Toto Haryanto, S.Kom, M.Si
- 2 Prof. Dr. Ir. Mochamad Wahyudi, M.Kom., MM., M.Pd., IPU., ASEAN Eng

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Dr. Toto Haryanto, S.Kom, M.Si
- 2 Prof. Dr. Ir. Mochamad Wahyudi, M.Kom., MM., M.Pd., IPU., ASEAN Eng

Judul Disertasi : Peningkatan Kualitas Citra Melalui Optimasi Fusi CLAHE-MSR dengan *Artificial Bee Colony* untuk Deteksi Ikan di Padang Lamun

Nama : Sri Dianing Asri
NIM : G6601211011

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Indra Jaya, M.Sc.

Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Agus Buono, M.Si., M.Kom.

Pembimbing 3:
Dr. Sony Hartono Wijaya, S.Kom., M.Kom.



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 196607021993021001



Tanggal Ujian:
23 Juni 2026

Tanggal Lulus:



@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.



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 Agustus 2022 sampai bulan November 2025 ini ialah *optimizing fusion weighted for underwater image enhancement*, dengan judul “Peningkatan Kualitas Citra Melalui Optimasi Fusi CLAHE-MSR dengan *Artificial Bee Colony* untuk Deteksi Ikan di Padang Lamun”.

Ucapan terima kasih penulis ucapkan dan penghargaan tinggi diberikan kepada:

1. Para dosen pembimbing, Prof. Dr. Ir. Indra Jaya, M.Sc, Prof. Dr. Ir. Agus Buono, M.Si., M.Kom, dan Dr. Sony Hartono Wijaya, S.Kom., M.Kom yang telah membimbing dan banyak memberi saran, arahan dan motivasi kepada Penulis selama penelitian disertasi ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan Bapak semua. Aamiin.
2. Penguji luar komisi pembimbing, Dr. Toto Haryanto, S.Kom, M.Si dan Prof. Dr. Ir. Mochamad Wahyudi, M.Kom., MM., M.Pd., IPU., ASEAN Eng, atas saran, koreksi dan diskusi dalam evaluasi disertasi ini.
3. Sekolah Sains Data, Matematika dan Informatika IPB University, Ketua Program Studi Doktor Ilmu Komputer, Prof. Dr. Imas Sukaesih Sitanggang, S.Si., M.Kom dan semua dosen di Departemen Ilmu Komputer IPB University.
4. Khusus kepada orang tua, Bapak tercinta yang telah senantiasa mendoakan dan mendidik penulis dengan penuh kesabaran, dan Ibu tersayang yang menurunkan semangat juang, semoga Alloh SWT mengangkat derajat Bapak dan Ibu. Kakak dan adik-adik tersayang serta seluruh keluarga besar atas doa, dukungan dan kesabaran. Semoga Alloh SWT ridho dan mengkaruniakan keberkahan dan pahala berlipat ganda
5. Rektor Universitas Dian Nusantara Bapak Prof. Dr. H. Suharyadi MS, Wakil Rektor I bidang Akademik Ir. Margono Sugeng, MSc, Dekan Fakultas Teknik dan Informatika Ibu Desi Ramayanti, Ketua Program Studi Teknik Informatika Ibu Anita Ratnasari dan rekan-rekan dosen di Universitas Dian Nusantara Jakarta.
6. Rekan-rekan seperjuangan, sahabat tercinta khususnya angkatan 2021 Program Doktor Ilmu Komputer serta kawan lainnya yang banyak membantu selama studi.

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

Bogor, Juli 2026

Sri Dianing Asri



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xiv
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan	5
1.4 Kontribusi Penelitian	6
1.5 Ruang Lingkup	6
1.6 Kebaruan (<i>novelty</i>)	7
1.7 Kerangka Pemikiran	7
TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Lamun (<i>Seagrass</i>) dan Padang Lamun (<i>Seagrass Bed</i>)	9
2.2 Peningkatan Kualitas Citra Bawah Air	11
2.3 <i>Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization</i> (CLAHE)	15
2.4 <i>Multi-scale Retinex</i> (MSR)	21
2.5 Fusi Algoritma	23
2.6 <i>Artificial Bee Colony</i> (ABC)	25
2.7 Deteksi ikan dengan <i>YOLO-Fish</i>	26
III METODE PENELITIAN	28
3.1 Tahap Persiapan	28
3.2 Tahap Peningkatan Kualitas Citra (<i>Image Enhancement</i>)	31
3.3 Tahap Deteksi Ikan Menggunakan <i>Fine-Tuning YOLO-Fish</i>	31
3.4 Evaluasi	32
IV PENINGKATAN KUALITAS CITRA BAWAH AIR BERBASIS FUSI	
CLAHE–MSR MELALUI OPTIMASI BOBOT MENGGUNAKAN ABC	35
4.1 Pendahuluan	35
4.2 Metode Peningkatan Kualitas Citra Bawah Air	36
4.3 Formulasi Fusi CLAHE-MSR	39
4.4 Alur Optimasi Bobot Fusi Berbasis <i>Artificial Bee Colony</i> (ABC)	39
4.5 Hasil Peningkatan kualitas citra pertama (<i>Image Enhancement-1</i>)	42
4.6 Hasil Peningkatan Kualitas Citra Kedua pada Data UIEB	45
4.7 Penerapan Bobot Optimal pada Citra Lamun Monospesifik	53
4.8 Penerapan Bobot Optimal pada Citra Lamun Vegetasi Campuran	62
4.9 Penerapan Bobot Optimal pada Data <i>Deepfish</i>	71
4.9 Kesimpulan	73
V ANALISIS KINERJA DETEKSI IKAN BERBASIS <i>FINE-TUNING YOLO-FISH</i> PADA CITRA LAMUN HASIL FUSI CLAHE-MSR TEROPTIMASI	75
5.1 Pendahuluan	75
5.2 Metode Deteksi Ikan dengan <i>Fine-Tuning YOLO-Fish</i>	76
5.3 Analisis Performa <i>Fine-Tuning YOLO-Fish</i> pada Data Validasi	80
5.4 Evaluasi Perbandingan Kinerja Deteksi pada Data Uji	82
5.5 Visualisasi Hasil Deteksi Ikan	87



5.6	Analisis Kesalahan Deteksi	89
5.7	Kesimpulan	90
VI SIMPULAN DAN SARAN		92
6.1	Simpulan	92
6.2	Saran	92
DAFTAR PUSTAKA		93
RIWAYAT HIDUP		103



DAFTAR TABEL

1	Kombinasi fusi bobot tetap	38
2	Ringkasan evaluasi nilai UIQM	53
3	Analisis komponen UIQM untuk citra lamun monospesifik	55
4	Hasil entropi informasi data lamun monospesifik	56
5	Analisis komponen UIQM untuk citra lamun vegetasi campuran	63
6	Hasil entropi informasi data lamun vegetasi campuran	65
7	<i>Hyperparameter fine-tuning</i> model <i>YOLO-Fish</i>	79
8	Bobot model terbaik hasil <i>fine-tuning</i>	81
9	Ringkasan nilai <i>precision</i> , <i>recall</i> , dan <i>F1-score</i>	87

DAFTAR GAMBAR

1	Peta lokasi penurunan status kesehatan <i>seagrass</i> di Indonesia	2
2	Kerangka pemikiran dan keterkaitan antar bab disertasi	7
3	Morfologi lamun	9
4	Jenis-jenis lamun di perairan Indonesia	10
5	Hampan padang lamun	10
6	Penyerapan dan penghamburan cahaya matahari	12
7	Diagram alir model <i>YOLO-Fish</i>	26
8	Tahapan penelitian	28
9	<i>Dataset</i> UIEB	29
10	Perangkat UTS	29
11	Citra padang lamun terdiri dari: (A) citra monospesifik dan (B) vegetasi campuran	30
12	Citra <i>Deepfish</i> terdiri dari: (A) citra hutan bakau dan (B) terumbu karang	30
13	Metodologi peningkatan kualitas citra bawah air	36
14	Citra awal: (A) citra UIEB; (B) citra lamun monospesifik; (C) citra lamun vegetasi campuran; (D) citra terumbu karang; dan (E) citra hutan bakau	42
15	Citra hasil CLAHE: (A) citra UIEB; (B) citra lamun monospesifik; (C) citra lamun vegetasi campuran; (D) citra terumbu karang; dan (E) citra hutan bakau	44
16	Citra hasil MSR: (A) citra UIEB; (B) citra lamun monospesifik (C) citra lamun vegetasi campuran; (D) citra terumbu karang; dan (E) citra hutan bakau	44
17	Strategi <i>pipeline</i> CLAHE-MSR	46
18	Strategi <i>pipeline</i> MSR-CLAHE	47
19	Strategi bobot tetap kombinasi-1 dengan $\omega_{CL}=0,25$ dan $\omega_M=0,75$	48
20	Strategi bobot tetap kombinasi-2 dengan $\omega_{CL}=0,5$ dan $\omega_M=0,5$	49
21	Strategi bobot tetap kombinasi-3 dengan $\omega_{CL}=0,75$ dan $\omega_M=0,25$	50
22	Strategi fusi bobot optimal berbasis <i>Artificial Bee Colony</i>	52

23	Penerapan bobot optimal pada citra lamun monospesifik	54
24	Distribusi histogram RGB pada citra awal lamun monospesifik	58
25	Distribusi histogram RGB pada citra CLAHE lamun monospesifik	59
26	Distribusi histogram RGB pada citra MSR lamun monospesifik	60
27	Distribusi histogram RGB pada citra fusi lamun monospesifik	61
28	Penerapan bobot optimal pada citra lamun vegetasi campuran dengan nilai UIQM	62
29	Distribusi histogram RGB pada citra awal lamun vegetasi campuran	66
30	Distribusi histogram RGB pada citra CLAHE lamun vegetasi campuran	68
31	Distribusi histogram RGB pada citra MSR lamun vegetasi campuran	68
32	Distribusi histogram RGB pada citra fusi CLAHE-MSR lamun vegetasi campuran	70
33	Hasil peningkatan kualitas citra terumbu karang: (A) citra awal; (B) CLAHE; (C) MSR; (D) fusi CLAHE-MSR	71
34	Hasil peningkatan kualitas citra terumbu karang: (A) citra awal; (B) CLAHE; (C) MSR; (D) fusi CLAHE-MSR	73
35	Diagram alir <i>fine-tuning YOLO-Fish</i>	77
36	Anotasi <i>dataset</i> : (A) Citra awal; (B) citra CLAHE; (C) citra hasil MSR; dan (D) Citra hasil fusi CLAHE-MSR	78
37	Perkembangan mAP@0,5 pada data validasi	80
38	Perbandingan mAP@0,50 pada data uji	82
39	Perbandingan <i>precision</i> pada data uji	83
40	Perbandingan <i>recall</i> pada data uji	85
41	Perbandingan <i>F1-score</i> pada data uji	86
42	Hasil deteksi <i>fine-tuning</i> model <i>YOLO-Fish</i> pada data uji padang lamun monospesifik: (A) citra awal; (B) citra fusi CLAHE-MSR bobot optimal	87
43	Hasil deteksi <i>fine-tuning</i> model <i>YOLO-Fish</i> pada data uji padang lamun vegetasi campuran: (A) citra awal; (B) citra hasil fusi CLAHE-MSR	88
44	Kesalahan deteksi ikan pada citra padang lamun vegetasi campuran: (A) citra awal dengan FN; (B) citra fusi CLAHE-MSR	89
45	Kesalahan deteksi ikan pada citra padang lamun monospesifik: (A) citra awal dengan FN; (B) citra fusi CLAHE-MSR dengan FP	90

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

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - 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.