

**TUGAS AKHIR**

**MENGHITUNG JUMLAH BIBIT LELE SECARA REAL-TIME  
MENGUNAKAN YOLOV8**



**Oleh:**

**Jasen Jonathan 2024250009**

**PROGRAM STUDI INFORMATIKA  
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN REKAYASA  
UNIVERSITAS MULTI DATA PALEMBANG  
PALEMBANG  
2024**

**Fakultas Ilmu Komputer dan Rekayasa  
Universitas Multi Data Palembang**

---

---

Program Studi Informatika  
Tugas Akhir Sarjana Komputer  
Semester Genap Tahun 2024/2025

**MENGHITUNG JUMLAH BIBIT LELE SECARA REAL-TIME  
MENGUNAKAN YOLOV8**

Jasen Jonathan                      2024250009

**Abstrak**

*Aquaculture* atau budidaya perikanan menghasilkan 2/3 produk perikanan di dunia dikarenakan produk perikanan merupakan sumber protein terbaik yang diperlukan oleh manusia, dengan semakin meningkatnya permintaan produk perikanan maka industri budidaya perikanan akan semakin berkembang. Besarnya jumlah bibit ikan yang dikembangbiakkan menyebabkan proses penjualan dan perhitungan bibit tersebut sulit dan tidak akurat. Penelitian ini membahas mengenai penggunaan kombinasi dari *YOLOv8* dan *DeepSORT* yang mampu mengenali bibit ikan lele secara *real-time* dengan baik berdasarkan dari *model* yang diberikan. *Dataset* berisikan 753 citra yang berisikan 126 citra dengan jumlah bibit melebihi dari 1 ekor dan 627 citra dengan jumlah bibit 1 ekor yang kemudian dilatih dengan 300 *epochs*, menghasilkan *mean Average Precision (mAP)* sebesar 0.99. Model deteksi mampu mengenali bibit ikan lele dengan baik, dalam pengujian dengan waktu 2 menit menghasilkan hasil yang cukup bagus pada jumlah bibit ikan lele di antara 50-70 ekor di mana menghasilkan akurasi di atas 80%, namun perangkat lunak masih belum optimal dalam melakukan pendeteksian pada jumlah yang lebih besar dikarenakan bibit ikan lele yang saling berkelompok menjadi satu yang menyebabkan *YOLOv8* tidak mampu untuk mendeteksi bibit ikan lele tersebut.

**Kata kunci:** Bibit ikan lele, *Computer Vision*, *DeepSORT*, Pengenalan *aquaculture*, Peternak ikan, *Real-time*, *YOLOv8*.

## **BAB 1.**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang Masalah**

*Aquaculture* atau yang lebih dikenal sebagai budidaya perikanan menghasilkan dua pertiga produk perikanan dunia, dan merupakan sumber protein berkualitas tinggi yang diperlukan oleh manusia (Hu et al., 2021). *Aquaculture* juga merupakan salah satu sektor industri dunia yang berkembang dengan cepat, melebihi dari penangkapan ikan dalam penangkaran, dan juga jumlah produk perikanan yang dikonsumsi terus meningkat dan diperkirakan akan terus bertambah dengan pesat mengikuti perkembangan populasi dunia (Yu et al., 2023).

Indonesia sebagai negara bahari dan kepulauan terbesar di dunia yang wilayah lautnya terdiri dari 75% dari total wilayahnya, dikarenakan sebagian besar wilayah merupakan perairan maka sektor budidaya perikanan memiliki peran yang penting untuk meningkatkan ekonomi Indonesia (Triarso et al., 2019).

Selama berjalannya waktu proses untuk mendapatkan ikan telah berkembang sampai manusia mencapai ide untuk mengembangbiakkan ikan sendiri, hal tersebutlah yang menghasilkan dengan apa yang di kenal budidaya perikanan. Budidaya perikanan telah menjadi hal yang sangat penting di dalam kehidupan modern karena budidaya perikanan memiliki tingkat kontribusi yang tinggi kepada ekonomi dengan memastikan stok ikan selalu ada dan mampu untuk di distribusikan ke seluruh dunia (Mohamed et al., 2020).

Dengan meningkatnya permintaan produk perikanan, hal tersebut menyebabkan peningkatan jumlah ikan yang dikembangbiakkan dan dijual. Menurut dari informasi yang telah didapat dengan mewawancarai beberapa peternak ikan diketahui bahwa salah satu masalah yang sering muncul terdapat dalam proses penjualan bibit ikan serta proses penghitungan bibit yang dibeli atau di jual, berdasarkan dari hasil wawancara diketahui bahwa penjualan bibit ikan terdapat 2 cara umum yaitu dengan menggunakan kantong plastik yang ditimbang dan dengan menggunakan drum, penjualan bibit dengan menggunakan drum biasanya hanya untuk dijual ke peternakan lainnya dengan kisaran 1000-5000 bibit per drum sedangkan penjualan menggunakan kantong plastik terdapat kurang lebih 500 bibit per kilogram, metode tersebut tidaklah efektif dikarenakan sering sekali jumlah yang dijual per kilogram melebihi atau kurang dari target yang ditentukan.

Berdasarkan dari penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (L. Zhang et al., 2024), Metode perhitungan ikan tradisional memakan waktu yang banyak, manual, dan merupakan pekerjaan yang berat. Pengenalan citra adalah salah satu metode yang efektif untuk perhitungan secara otomatis. Namun akurasi dari perhitungan dibatasi oleh ukuran ikan yang berbeda, cara bergerak dari ikan, dan halangan yang muncul di antara kedua objek yang bergerak. Penelitian dilakukan dengan memperkenalkan model *BoTS-YOLOv5s-seg* yang didasarkan dari *YOLOv5* untuk mendapatkan pendeteksiian tepian ikan yang akurat dengan menggunakan *YOLOv5 instance segmentation model* dan meningkatkan *loss function* menjadi *SIoU loss* sambil meningkatkan *non-maximum suppression* untuk mengurangi deteksi

yang terlewat dikarenakan objek yang terhalangi. Penelitian tersebut menghasilkan performa bagus dimana menghasilkan ukuran model yang kecil yakni 7.1M, dan mendapatkan nilai  $mAP@0.5$  dan  $GFLOPs$  yang masing-masing sebesar 90.9% dan 25.4.

Proses penghitungan jumlah bibit ikan yang dilakukan oleh peternak ikan berdasarkan dari hasil wawancara adalah dengan secara manual. Namun, perhitungan menggunakan kasat mata tidak selalu dapat menghasilkan hasil yang tepat dikarenakan jumlah bibit ikan yang banyak serta ikan tersebut bergerak sehingga dapat menyebabkan kesalahan dalam perhitungan. Adapun masalah mengenai jumlah ikan yang optimal sesuai dengan ukuran dari kolam, setiap kolam memiliki ukuran yang berbeda-beda dan memiliki kapasitas ikan tertentu, apabila kapasitas ikan melebihi maka dapat menimbulkan masalah baru yang akan mempengaruhi ikan tersebut seperti kadar oksigen yang menurun atau gangguan kesehatan dari ikan. Sistem yang memanfaatkan kamera untuk mendeteksi ikan di dalam air secara *real-time* memberikan pengalaman yang tidak mengganggu dan hemat biaya dalam mengumpulkan data visual dalam jumlah besar dan memproses informasi tersebut (Muksit et al., 2022).

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan dari uraian latar belakang, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana cara merangkai sebuah perangkat lunak yang dapat mendeteksi dan menghitung jumlah bibit ikan lele secara cepat dan akurat?

### 1.3. Analisis Terhadap Batasan

#### 1.3.1. Analisis terhadap Aspek Ekonomis

Sebelum pengembangan perangkat lunak dapat dimulai, telah dilakukan wawancara terhadap 5 (lima) organisasi yang berkemungkinan memiliki masalah yang terdapat pada rumusan masalah di atas. Dari hasil survei yang telah dilakukan didapatkan harga yang ditawarkan oleh masing-masing organisasi seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1.1.

**Tabel 1.1.** Hasil Survei Aspek Ekonomis

<b>Organisasi</b>	<b>Harga</b>
Organisasi 1	Rp. 750.000,-
Organisasi 2	Rp. 900.000,-
Organisasi 3	Rp. 650.000,-
Organisasi 4	Rp. 800.000,-
Organisasi 5	Rp. 650.000,-
Rata- Rata	Rp. 750.000,-

Dari sisi *developer* pengembangan perangkat lunak terdapat beberapa rincisan harga yang dapat dilihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2. Rincian Harga Pengembangan Perangkat Lunak

<b>Perangkat</b>	<b>Harga</b>
Komputer yang memadai	Rp. 7.000.000,-
<i>Smartphone</i>	Rp. 1.500.000,-
<i>Dataset training</i>	Rp. 600.000,-
<i>Labor</i>	Rp. 500.000,-
<b>Total</b>	Rp. 9.600.000,-

Dari wawancara yang telah dilakukan terhadap 5 (lima) organisasi dapat diambil kesimpulan bahwa rata-rata harga yang didapat dari kelima organisasi tersebut adalah Rp. 750.000,- sedangkan harga dari sisi pengembangan perangkat lunak didapat Rp. 9.600.000,- yang terdiri dari komputer yang memadai untuk membuat perangkat lunak, *smartphone* yang digunakan untuk mengumpulkan data serta melakukan pengujian perangkat lunak, dan biaya internet yang digunakan untuk melatih dataset. Maka untuk menutupi biaya produksi perangkat lunak, perangkat lunak harus terjual sebanyak 13 buah dengan total pendapatan Rp. 9.750.000,- dengan profit sebesar Rp. 150.000,- dari hasil penjualan.

### **1.3.2. Analisis terhadap Aspek Manufakturabilitas**

Setelah melakukan wawancara terhadap 5 (lima) organisasi didapatkan beberapa aspek yang harus diperhatikan seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1.3.

Tabel 1.3. Analisis Aspek Manufakturabilitas

Aspek	Organisasi 1	Organisasi 2	Organisasi 3	Organisasi 4	Organisasi 5
Deteksi bibit ikan	OK	OK	OK	OK	OK
Dapat memberikan jumlah seakurat mungkin	OK	OK	OK	OK	OK
Dapat digunakan dengan <i>smartphone</i>	OK	OK	OK	OK	OK
Dapat digunakan untuk mendeteksi jumlah ikan yang banyak ( $\geq 50$ ekor)	OK	OK	OK	OK	OK

### 1.3.3. Analisis terhadap Aspek Keberlanjutan

Berdasarkan dari hasil wawancara yang telah dilakukan didapatkan beberapa aspek keberlanjutan yang dapat dilihat pada Tabel 1.4.

Tabel 1.4. Analisis Aspek Keberlanjutan

Aspek	Organisasi 1	Organisasi 2	Organisasi 2	Organisasi 3	Organisasi 4
Perangkat lunak mampu mendeteksi bibit ikan secara <i>real-time</i>	OK	OK	OK	OK	OK
Perangkat lunak mampu digunakan melalui <i>smartphone</i>	OK	OK	OK	OK	OK

### 1.4. Analisis terhadap Karakteristik Solusi

Tabel 1.5. Analisis Karakteristik Solusi

No.	Masalah	Fungsi
1.	Kesulitan dalam memastikan jumlah bibit yang dipanen dan dijual	Perangkat lunak mampu mendeteksi jumlah bibit ikan yang ada di dalam kontainer
2.	Kesulitan dalam menghitung bibit ikan yang terhalang atau bibit yang sedang bergerak atau terhalang objek lain	Perangkat lunak mampu mendeteksi dan melacak bibit ikan secara <i>real-time</i> .

### 1.5. Pemilihan Solusi

Terdapat banyak solusi yang dapat digunakan, solusi yang digunakan oleh penelitian-penelitian terdahulu dalam mendeteksi objek dapat dimanfaatkan dalam pengembangan perangkat lunak antara lain:

#### 1. Menggunakan *YOLOv8* dengan *MHSA attention mechanism*

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh (Li et al., 2023) yang berjudul “*Tomato Maturity Detection and Counting Model Based on MHSA-YOLOv8*”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendeteksi tingkat kematangan buah serta menghitung jumlah buah yang telah matang secara otomatis menggunakan kamera robot, dengan memasukkan faktor eksternal seperti halangan dan gangguan cahaya eksternal digunakanlah *MHSA attention mechanism* untuk meningkatkan kemampuan dari ekstraksi fitur. *Precision*, *Recall*, *F1-Score*, dan *mAP50* dari model yang dikonstruksi berdasarkan dari *MHSA-YOLOv8* adalah masing-masing 0.806,

0.807, 0.806, dan 0.864, dan juga meningkatkan kinerja dari model yang ditunjukkan dari sedikit peningkatan ukuran model. Terakhir dengan kinerja yang bagus dari *MHSA-YOLOv8*, *Precision*, *Recall*, *F1-Score*, dan *mAP50* dari *counting models* adalah masing-masing 0.990, 0.960, 0.975, dan 0.916.

## 2. Menggunakan *YOLO* dengan *Deep SORT*

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh (Hasibuan et al., 2021) yang berjudul “*Detection and tracking different type of cars with YOLO model combination and deep SORT algorithm based on computer vision of traffic controlling*” Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menggabungkan *YOLO model combination* dan *deep SORT algorithm* demi menghasilkan *detection and tracking* berbagai jenis mobil yang efisien untuk membantu mengontrol jalan. *YOLO (You Only Look Once)* disertai dengan *SSD (Single Shot Multibox Detector)* mengimplementasikan *convolution networks* secara langsung untuk memprediksi kelas dan lokasi dari objek yang dilatih lebih cepat dari pada *two-stage method*. *SSD* berfokus pada deteksi objek dalam skala yang berbeda sehingga bekerja dengan bagus dalam bidang kecepatan dan akurasi, namun menghiraukan relasi di antara layer-layer dari piramida yang menyebabkan metode tersebut tidak dapat bekerja dengan optimal apabila mendeteksi objek kecil dan memiliki akurasi yang lebih kecil dibandingkan dengan *YOLO*. *The Simple Online and Real-Time Tracking (SORT) algorithm* adalah sebuah *framework* yang digunakan untuk melacak objek berjumlah banyak berdasarkan dari hubungan data dasar dan teknik estimasi status, metode ini menghasilkan deteksi objek yang cepat yang memungkinkan pelacak untuk mempelajari fitur dari objek dan melakukan pelacakan dalam waktu yang

sama, namun *SORT* memiliki kekurangan di mana banyak menghasilkan *false positive* dan *Deep SORT* dapat membantu sebagian dari masalah tersebut dengan memperbesar ketergantungan terhadap hasil deteksi dan membatasi koordinat kotak. Dari solusi tersebut didapatkan hasil akurasi *mAP* sebesar 87.98% dalam kondisi mendeteksi 13 tipe mobil.

### 3. Menggunakan *YOLOv8* dan *Deep Learning*

Penelitian yang dilakukan oleh (Neamah & Karim, 2023) yang berjudul “*Real-time Traffic Monitoring System Based on Deep Learning and YOLOv8*”, Penelitian ini memiliki tujuan untuk membuat sistem untuk mengawasi lalu-lintas berdasarkan dari teknologi deep learning yang terbaru yakni *you-only-look-once v8*, memanfaatkan fungsi dari *YOLOv8* untuk mendeteksi, klasifikasi, dan segmentasi kendaraan. *Software* yang di ajukan mampu memberikan informasi penting seperti jumlah, klasifikasi, perkiraan kecepatan, dan perkiraan ukuran dari kendaraan. Sistem yang di usulkan memiliki 5 (lima) tahap yaitu: tahap *preprocessing* yang melakukan kalibrasi kamera, kalkulasi *ROI*, dan menyiapkan input berupa video; tahap deteksi kendaraan yang menggunakan *convolutional neural network model* untuk melokalisasi kendaraan yang ada di dalam *frame* video; tahap pelacakan yang menggunakan *ByteTrack algorithm* untuk melacak kendaraan yang terdeteksi; tahap estimasi kecepatan kendaraan yang memperkirakan kecepatan dari kendaraan; tahap estimasi ukuran kendaraan yang memperkirakan ukuran dari kendaraan. Hasil dari penelitian adalah sebagai berikut, tahap deteksi dan lacak memiliki rata-rata akurasi sebesar 96.58% dengan rata-rata *error* 3.42%, tahap penghitungan kendaraan memiliki rata-rata akurasi sebesar 97.54% dengan rata-

rata *error* 2.46%, tahap estimasi kecepatan kendaraan memiliki rata-rata akurasi sebesar 96.75% dengan rata-rata *error* 3.25%, dan tahap estimasi pengukuran kendaraan memiliki rata-rata akurasi 87.28% dengan rata-rata *error* 12.72%.

### **1.6. Skenario Pemanfaatan Produk oleh Pengguna**

Berdasarkan dari informasi yang telah dikumpulkan dengan melakukan wawancara kepada beberapa peternak ikan didapat bahwa skenario dalam pemanfaatan produk terdapat pada waktu di mana bibit yang dipesan telah datang dan juga ketika hasil bibit yang dipanen akan dikemas dan dijual. Dalam situasi pembelian bibit ikan, kontainer yang digunakan untuk mengirimkan bibit adalah drum bagi jumlah bibit yang melebihi dari 1000 bibit dan ember apabila jumlah bibit di bawah 500 ekor, aplikasi digunakan untuk memastikan bahwa bibit yang telah dipesan sesuai atau dekat dengan jumlah yang disepakati ketika membelinya dan aplikasi juga digunakan ketika peternak ingin memasukkan bibit ke dalam kolam dikarenakan setiap kolam memiliki kapasitas tertentu sesuai dengan ukuran dari kolam tersebut. Dalam situasi penjualan bibit ikan aplikasi digunakan untuk menghitung jumlah bibit yang dimasukkan ke dalam kontainer plastik ataupun drum, untuk mencegah kelebihan ikan di dalam kontainer. Dengan menggunakan komputer dengan kamera yang diletakkan di atas ember yang berisikan bibit, kamera akan mendeteksi jumlah bibit ikan yang ada di dalam ember dan mengirimkan jumlah sesuai dengan apa yang dideteksi oleh sistem.

### **1.7. Tujuan**

1. Mengimplementasikan *YOLOv8-DeepSORT* dalam pembuatan perangkat lunak yang mampu mendeteksi bibit ikan lele.

2. Menerapkan Algoritma *YOLOv8* untuk menghitung jumlah bibit secara cepat melalui video waktu nyata.
3. Menggunakan alat bantu berupa Algoritma *DeepSORT* untuk membantu meningkatkan akurasi dalam mendeteksi bibit ikan yang terhalang.
4. Memberikan solusi dari permasalahan perhitungan jumlah bibit ikan yang di alami oleh peternak ikan.

### 1.8. Ruang Lingkup

1. Jenis bibit ikan yang dipakai dalam penelitian yang akan dilakukan adalah bibit ikan lele,
2. *Dataset* diambil menggunakan kamera *smartphone huawei nova 5t*,
3. Perangkat lunak akan dirancang menggunakan bahasa pemrograman *python*,
4. Perangkat lunak berbasis *Website*,
5. Perangkat lunak menggunakan kamera untuk melakukan perhitungan secara *real-time*,
6. Bibit lele yang digunakan adalah bibit yang dapat di beli pada pasar tradisional, dengan panjang bibit sekitar 3.5 – 4 cm,

7. Perangkat lunak akan di uji menggunakan *smartphone huawei nova 5t* dan *vivo v5*,
8. Pengujian perangkat lunak akan dilakukan dengan membandingkan kemampuan pendeteksian pada 50 ekor bibit ikan terhadap pencerahan maksimal dan pencerahan minimum dari *ringlight* yang digunakan,
9. Seluruh permukaan air terlihat ketika melakukan pengujian tanpa terlihat bagian luar ember,
10. Jumlah seluruh bibit ikan yang akan di gunakan dalam pengujian *stress test* adalah 150 ekor bibit ikan lele dengan waktu pengujian sebesar 2 menit.



## DAFTAR PUSTAKA

- Computervisioneng.(2023).*Object-tracking-yolov8-deep-sort*.  
<https://Github.Com/Computervisioneng/Object-Tracking-Yolov8-Deep-Sort>.
- Hasibuan, N. N., Zarlis, M., & Efendi, S. (2021). Detection and tracking different type of cars with YOLO model combination and deep sort algorithm based on computer vision of traffic controlling. *Jurnal Dan Penelitian Teknik Informatika*, 6(1). <https://doi.org/10.33395/sinkron.v6i1.11231>
- Hu, X., Liu, Y., Zhao, Z., Liu, J., Yang, X., Sun, C., Chen, S., Li, B., & Zhou, C. (2021). Real-time detection of uneaten feed pellets in underwater images for aquaculture using an improved YOLO-V4 network. *Computers and Electronics in Agriculture*, 185. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106135>
- Li, P., Zheng, J., Li, P., Long, H., Li, M., & Gao, L. (2023). Tomato Maturity Detection and Counting Model Based on MHSA-YOLOv8. *Sensors*, 23, 6701. <https://doi.org/10.3390/s23156701>
- Lin, L., He, H., Xu, Z., & Wu, D. (2023). Realtime Vehicle Tracking Method Based on YOLOv5 + DeepSORT. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/7974201>
- Lixiong, L., He, H., Xu, Z., & Wu, D. (2023). Realtime Vehicle Tracking Method Based on YOLOv5 + DeepSORT. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/7974201>
- Mohamed, H. E. D., Fadl, A., Anas, O., Wageeh, Y., Elmasry, N., Nabil, A., & Atia, A. (2020). MSR-YOLO: Method to Enhance Fish Detection and Tracking in Fish Farms. *Procedia Computer Science*, 170, 539–546. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.123>
- Muksit, A. Al, Hasan, F., Hasan Bhuiyan Emon, M. F., Haque, M. R., Anwary, A. R., & Shatabda, S. (2022). YOLO-Fish: A robust fish detection model to detect fish in realistic underwater environment. *Ecological Informatics*, 72. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101847>
- Neamah, S. B., & Karim, A. A. (2023). Real-time Traffic Monitoring System Based on Deep Learning and YOLOv8. *ARO-THE SCIENTIFIC JOURNAL OF KOYA UNIVERSITY*, 11(2), 137–150. <https://doi.org/10.14500/aro.11327>

- Nisha.C.M, & Thangarasu, N. (2023). Deep learning algorithms and their relevance: A review. *International Journal of Data Informatics and Intelligent Computing*, 2, 1–10. <https://doi.org/10.59461/ijdiic.v2i4.78>
- Ogawa, M., Arnon, T., & Gruber, E. (2023). Identifying Parking Lot Occupancy with YOLOv5. *Journal of Student Research*, 12. <https://doi.org/10.47611/jsr.v12i4.2280>
- Parico, A. I., & Ahamed, T. (2021). Real Time Pear Fruit Detection and Counting Using YOLOv4 Models and Deep SORT. *Sensors*, 21, 4803. <https://doi.org/10.3390/s21144803>
- Terven, J., Córdova-Esparza, D.-M., & Romero-González, J.-A. (2023). A Comprehensive Review of YOLO Architectures in Computer Vision: From YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS. *Machine Learning and Knowledge Extraction*, 5(4), 1680–1716. <https://doi.org/10.3390/make5040083>
- Triarso, I., Putro, S. P., Perikanan, F., & Kelautan, I. (2019). *Pengembangan Budidaya Perikanan Produktif Berkelanjutan Sistem IMTA (Integrated Multi-Trophic Aquaculture) (Studi Kasus di Kep. Karimunjawa, Jepara)*. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/LifeSci>
- Wojke, N. and B. A. (2018). *Deep Cosine Metric Learning for Person Re-identification*. 2018 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV).
- Yu, Y.-B., Choi, J.-H., Lee, J.-H., Jo, A.-H., Han, S. W., Han, S.-H., Choi, H. J., Choi, C. Y., Kang, J.-C., Min, E., & Kim, J.-H. (2023). Biofloc Application Using Aquaponics and Vertical Aquaculture Technology in Aquaculture: Review. *Fishes*, 8(11), 543. <https://doi.org/10.3390/fishes8110543>
- Zhang, L., Qiu, Y., Fan, J., Li, S., Hu, Q., Xing, B., & Xu, J. (2024). Underwater fish detection and counting using image segmentation. *Aquaculture International*, 1–19. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01402-w>
- Zhang, M., Duan, Y., Song, W., Mei, H., & He, Q. (2023). An Effective Hyperspectral Image Classification Network Based on Multi-Head Self-Attention and Spectral-Coordinate Attention. *Journal of Imaging*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/jimaging9070141>