

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Relevan**

Berikut terdapat beberapa penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan teori disajikan sebagai referensi pembandingan sekaligus acuan dalam memahami serta menyusun metode penelitian yang akan diterapkan.

Penelitian pertama yang dilakukan oleh (Zhao et al., 2025) bertujuan untuk memberikan metode yang hemat biaya, otomatis, dan akurat untuk memantau kepiting pertapa, yang merupakan indikator penting kesehatan lingkungan di ekosistem pesisir, sehingga mendukung upaya konservasi benthos pesisir. Studi ini mengembangkan metode canggih untuk mendeteksi kepiting pertapa dalam citra yang ditangkap UAV. Ini melibatkan penggabungan rekonstruksi resolusi super (SRR) dengan jaringan deteksi objek YoLoV8 yang ditingkatkan untuk meningkatkan upaya pemantauan di ekosistem pesisir. Dataset yang digunakan berasal dari gambar kepiting pertapa yang ditangkap oleh drone DJI Phantom 4 yang beroperasi pada ketinggian 5 meter. Kamera drone diposisikan di nadir, memberikan bidang pandang (FOV) 94° dan susunan piksel 5472 x 3648. Pengumpulan data diatur waktunya untuk periode air surut, biasanya sekitar jam 3 sore, untuk meminimalkan kilatan matahari dan memastikan visibilitas optimal, menutupi kedalaman dari dasar danau yang terbuka hingga 30 cm air (Zhao et al., 2025). Seluruh proses pengumpulan data memakan waktu sekitar setengah jam. Sebagai kesimpulan, penelitian ini membawa kemajuan signifikan dalam pemantauan kepiting pertapa yang otomatis dan hemat biaya, penelitian ini juga menawarkan wawasan berharga untuk pengelolaan dan konservasi ekosistem laut, juga secara bersamaan menguraikan jalur yang jelas untuk pengembangan teknologi lebih lanjut (Zhao et al., 2025).

Penelitian kedua yang dilakukan oleh (Khumaidi & Nurpadilah, 2024) menunjukkan bahwa arsitektur CNN MobileNETv2 sangat efektif untuk mengklasifikasikan kepiting soka molting dan non-molting, sehingga dapat mencapai

akurasi deteksi 100%. Penelitian ini menggunakan metodologi terstruktur yang mencakup pengumpulan data, pra-pemrosesan, deteksi objek, klasifikasi, dan evaluasi kinerja untuk mendeteksi kepiting molting menggunakan teknik pembelajaran mesin. Kemudian kinerja setiap algoritma klasifikasi dievaluasi menggunakan beberapa metrik: akurasi, presisi, ingatan, dan Skor F1 (Khumaidi & Nurpadilah, 2024). Kinerja ini diamati selama fase pelatihan dan validasi, menunjukkan kemampuan model yang kuat untuk menggeneralisasi ke data baru tanpa terlalu pas. Hasilnya algoritma MobileNETv2 memiliki potensi untuk digunakan dalam aplikasi sistem klasifikasi kepiting soka berbasis seluler karena efisiensi dan akurasinya (Khumaidi & Nurpadilah, 2024).

Penelitian ketiga yang dilakukan oleh (Lamhot Fernando Remember Simanjuntak et al., 2023). Mengusulkan sistem penyortir dan penghitung ikan lele berbasis IoT. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan kinerja dengan tingkat kesalahan 11,14% untuk ikan lele 20E/Kg dan 19,79% untuk ikan lele 15E/Kg, yang secara signifikan lebih rendah daripada tingkat kesalahan yang dilaporkan dalam penelitian sebelumnya (Lamhot Fernando Remember Simanjuntak et al., 2023). Sistem dapat secara akurat menampilkan hasil penyortiran pada LCD dan melalui aplikasi seluler Blynk, memungkinkan pemantauan jarak jauh demi memastikan konsistensi data. Yang terpenting, proses penyortiran dilakukan secara lembut, tidak menyebabkan cedera atau stres pada ikan lele, meskipun telah digunakan berulang-ulang. Hal ini membuat sistem penyortir dan penghitung ikan lele berbasis IoT menjadi alat yang efektif dan tidak terlalu merusak bagi petani ikan lele, terutama untuk menyortir ikan pada usia penolakan (Lamhot Fernando Remember Simanjuntak et al., 2023).

Penelitian keempat yang dilakukan oleh (Obaid & Hamad, 2024). Mengembangkan sistem berbasis IoT untuk mendeteksi tumpahan pipa minyak secara *real-time*, dengan memanfaatkan teknologi drone yang dilengkapi dengan kamera Raspberry Pi dan perangkat komputer raspberry Pi untuk menangkap gambar dan mengambil data GPS. Data ini kemudian ditransmisikan ke stasiun pangkalan melalui protokol MQTT IoT untuk diproses. Selanjutnya di stasiun pangkalan, dilakukan teknik pembelajaran mendalam (*Deep Learning*), khususnya DexinEd, dan juga algoritma warna LAB yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis kontur tumpahan, serta menentukan area dan perimeternya. Sistem ini kemudian diuji pada sistem pipa minyak Irak dan

hasilnya sistem ini mampu mendeteksi tumpahan dengan berbagai ukuran, hasil percobaan tersebut terbukti lebih akurat daripada metode tradisional(Obaid & Hamad, 2024). Pendekatan ini secara efektif mengurangi biaya sekaligus menyediakan pemantauan real-time dan peringatan untuk kebocoran yang signifikan berdasarkan ambang batas yang telah ditentukan(Obaid & Hamad, 2024).

Penelitian kelima yang dilakukan oleh(Rezkiawan et al., 2022). Membandingkan kinerja algoritma *K-Nearest Neighbors* (KNN), *Support Vector Machine* (SVM), dan *Random Forest Classifier* (RFC) untuk mengklasifikasikan kepiting molting. Dataset yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari gambar kepiting, dikategorikan menjadi dua kelas: kepiting molting dan non-molting. Total dataset terdiri dari 1060 gambar, yang kemudian dibagi menjadi 1000 gambar untuk pelatihan dan 60 gambar untuk tujuan pengujian. Hasilnya menunjukkan bahwa KNN mencapai kinerja terbaik di antara ketiganya, dengan akurasi 98,33%, presisi 98,33%, ingatan 98,38%, dan Skor F1 98,33%. Sebaliknya, baik SVM dan RFC menunjukkan akurasi dan skor F1 96,66%(Rezkiawan et al., 2022). Sementara SVM memiliki presisi yang sedikit lebih tinggi pada 96,87% dibandingkan dengan RFC 96,66%, dan penarikan 96,66% dibandingkan dengan RFC 96,87%, KNN secara konsisten mengungguli mereka di semua metrik(Rezkiawan et al., 2022).

Penelitian keenam yang dilakukan oleh(Yudistira et al., 2023). Mengembangkan sistem untuk mengklasifikasikan bentuk item menggunakan algoritma *Oriented Fast and Rotated Brief* (ORB) dan *K-Nearest Neighbor* (KNN), yang diimplementasikan ke dalam perangkat Raspberry Pi. Dataset yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 38 item yang difoto secara manual di tiga bentuk (Kubus, Segitiga, Tabung), ditangkap dengan pengaturan kamera dan dimensi gambar yang telah ditentukan, dan diproses menjadi skala abu-abu untuk perhitungan yang efisien. Hasil penelitian menunjukkan kemampuan untuk mengenali dan mengklasifikasikan item seperti 'Kubus', 'Segitiga', dan 'Tabung' bahkan ketika diputar. Hasil analisis menunjukkan akurasi klasifikasi 89% untuk metode ORB-KNN(Yudistira et al., 2023). Jika dibandingkan dengan metode SIFT-KNN, ORB-KNN terbukti lebih efektif, mencapai akurasi yang lebih tinggi 89% dibandingkan SIFT-KNN 61%(Yudistira et al., 2023).

Penelitian ketujuh yang dilakukan oleh (Hamzaoui et al., 2025). Bertujuan untuk mendeteksi ikan yang terinfeksi sindrom ulseratif epizootik dan kutu ikan *Argulus* spp. Metode Model YOLO (*You Only Look Once*) versi 5 (YOLOV5) yang ditingkatkan dan dikembangkan sedemikian rupa. Dalam konteks *transfer learning*, model yang ditingkatkan ini menggunakan model yang telah dilatih sebelumnya pada gambar biner. Model yang ditingkatkan diimplementasikan dan diintegrasikan ke dalam Raspberry Pi 5 (Hamzaoui et al., 2025). Hasil dari eksperimen menunjukkan bahwa model ini lebih efektif daripada model YOLOV5 sederhana. Kesimpulan penelitian ini dengan menggunakan metrik evaluasi presisi, recall, mAP50, dan mAP50-95, model baru yang dibuat dapat mencapai tingkat akurasi 0,944, 0,969, 0,989, dan 0,954 (Hamzaoui et al., 2025).

Penelitian kedelapan yang dilakukan oleh (Rachman et al., 2023). Bertujuan untuk mengembangkan sistem deteksi dini *Epizootic Ulcerative Syndrome* (EUS) pada ikan menggunakan teknik pemrosesan *Image Deep Learning*. Tujuan utamanya adalah untuk mengatasi keterbatasan metode identifikasi visual tradisional, yang seringkali ambigu dan bergantung pada pengalaman pembudidaya atau ahli. Dataset yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari gambar ikan yang terinfeksi EUS dan menunjukkan nekrosis, bersumber dari gambar sampel penelitian sebelumnya. Hasil eksperimen menunjukkan berdasarkan skor F1 dengan akurasi rata-rata 84% untuk identifikasi gambar menggunakan 80 data tambahan (Rachman et al., 2023). Penelitian ini menyimpulkan bahwa pendekatan pemrosesan gambar yang diusulkan, memanfaatkan *deep learning*, dapat secara efektif memberikan solusi deteksi dini untuk penyakit EUS pada ikan. Model komputasi arsitektur terbaik yang diidentifikasi adalah Segnet dengan MobileNet Backbone, yang mencapai *Mean IoU* dan *Frequency Weighted IoU* terbaik pada data validasi masing-masing sebesar 65.35% dan 96,2% (Rachman et al., 2023). Penurunan akurasi yang signifikan dari fase pelatihan ke fase pengujian dan validasi menunjukkan bahwa kualitas kumpulan data perlu ditingkatkan (Rachman et al., 2023).

Berdasarkan tinjauan terhadap delapan penelitian sebelumnya, sebagian besar sistem deteksi objek masih menggunakan satu sudut pengambilan citra dan belum mengintegrasikan multi klasifikasi biologis secara simultan. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem dengan pendekatan dual kamera serta klasifikasi multi parameter untuk meningkatkan akurasi dan kelengkapan informasi visual. Terdapat juga

beberapa aspek yang memiliki keterkaitan erat dengan penelitian ini, baik dari sisi metode, pendekatan, maupun tujuan penerapannya. Kesimpulan dari jurnal tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Penerapan algoritma YOLO11 dalam deteksi objek. Berbagai penelitian sebelumnya telah memanfaatkan algoritma YOLO11 pada beragam bidang, termasuk sektor perikanan dan kelautan, seperti deteksi ikan, objek bawah air, serta tanaman. Keberhasilan YOLO11 dalam melakukan deteksi objek berbasis citra menunjukkan bahwa algoritma ini memiliki kemampuan generalisasi yang baik serta tingkat akurasi yang tinggi. Hal tersebut menjadi dasar pemilihan YOLO11 sebagai algoritma utama dalam penelitian ini untuk mendukung proses deteksi otomatis terhadap kondisi kesehatan, jenis kelamin, dan kelengkapan kaki kepiting bakau.
2. Penggunaan Raspberry Pi 5 dalam sistem pengolahan citra berbasis *Internet of Things* (IoT) dan kecerdasan buatan. Perangkat ini mampu mengintegrasikan kamera sebagai sensor visual untuk mendukung implementasi *computer vision* berbasis *machine learning* maupun *deep learning*. Dalam penelitian ini, Raspberry Pi 5 digunakan untuk mengambil data citra dan mengirimkannya ke lingkungan *Windows Subsystem for Linux* (WSL) yang berfungsi sebagai server pemrosesan model *machine learning*. Integrasi tersebut menerapkan konsep distribusi pemrosesan data, di mana Raspberry Pi bertugas melakukan pengambilan data di lapangan, sedangkan WSL menangani pemrosesan dan penyimpanan data, sehingga sistem dapat bekerja lebih efisien, responsif, dan skalabel.

## **2.2 Landasan Teori**

Landasan teori memuat berbagai konsep yang diperoleh dari kajian literatur yang disusun secara sistematis sesuai dengan ruang lingkup penelitian. Bagian ini mencakup definisi serta penjelasan teori secara terstruktur. Penyusunan landasan teori diharapkan dapat memberikan arah yang jelas serta memperkuat dasar konseptual penelitian.

### **3.4.6 Identifikasi Gender Kepiting Bakau**

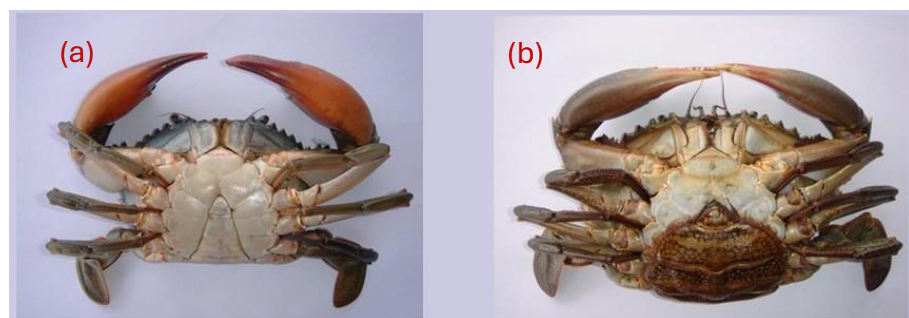
Kepiting bakau (*mud crab*) merupakan jenis kepiting yang hidup dan berkembang di lingkungan ekosistem hutan mangrove (Mahbubi et al., 2025). Kepiting ini umumnya

memiliki ciri fisik berupa karapas berbentuk bulat dan keras yang melindungi seluruh bagian tubuhnya. Warna tubuhnya cenderung menyerupai warna lumpur, yaitu cokelat kehitaman, sementara bagian perutnya berwarna putih kekuningan (Direktorat Jenderal Penguatan Daya Saing Produk Kelautan dan Perikanan Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia, 2023).

Kepiting bakau (*Scylla serrata*) sudah dapat diidentifikasi jenis kelaminnya sejak berada pada fase juvenil, yaitu ketika struktur tubuh dan organ-organ utamanya telah terbentuk secara sempurna, meskipun ukuran tubuhnya masih relatif kecil. Secara umum, kepiting bakau diperkirakan memerlukan waktu sekitar 12-14 bulan, yang mana pada umur ini kepiting sudah cukup dewasa secara reproduksi dan jenis kelaminnya bisa terlihat jauh lebih jelas.

Abdomen kepiting bakau berada pada sisi ventral tubuh, tepatnya di bagian tengah sternum toraks. Bagian penutup abdomen (*abdominal flap*) berbentuk seperti lempengan yang berfungsi melindungi pleopod (*gonopod*). Perbedaan jenis kelamin kepiting bakau dapat diidentifikasi melalui bentuk abdomen. Variasi ukuran, bentuk abdomen, serta struktur ruas pada penutup abdomen menjadi salah satu indikator utama dalam membedakan kepiting jantan dan betina.

Bentuk abdomen pada kepiting bakau jantan dan betina dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 1 (a) Kepiting Bakau Jantan (b) Kepiting Bakau Betina

Berdasarkan Gambar 2.1, abdomen kepiting jantan memiliki bentuk segitiga dengan ruas abdomen yang relatif sempit dan meruncing pada bagian ujung sehingga menyerupai huruf “V” atau bentuk tugu. Sebaliknya, abdomen kepiting betina berbentuk lebih membulat dengan ruas yang melebar di bagian ujung, menyerupai huruf “U” atau bentuk stupa. Pada bagian bawah abdomen kepiting betina terdapat bulu-bulu atau umbai-umbai yang berfungsi sebagai tempat melekat dan mengerami telur (Yuniarti, 2020).

Secara alami, kepiting bakau hidup di perairan payau dengan substrat dasar berlumpur yang umumnya berada di sepanjang wilayah pesisir yang ditumbuhi vegetasi mangrove (Mahbubi et al., 2025). Ekosistem mangrove memiliki peran ekologis yang penting, antara lain sebagai pelindung garis pantai dari pengaruh angin, arus, dan gelombang, serta sebagai habitat, area mencari makan (*feeding ground*), tempat pembesaran (*nursery ground*), dan lokasi pemijahan (*spawning ground*) bagi berbagai organisme, termasuk kepiting bakau (Yuniarti, 2020).

### 2.2.2 Indikator Kepiting Bakau Sehat

Kepiting bakau (*Scylla serrata*) merupakan jenis kepiting yang hidup di lingkungan mangrove atau hutan bakau (Rustikasari et al., 2021). Spesies *Scylla serrata* diketahui sebagai jenis kepiting bakau yang paling dominan di Indonesia, dengan perkiraan kontribusi mencapai sekitar 80% dari total pendaratan kepiting bakau (Fauziah et al., 2024).

Karakteristik karapas (Cangkang) normal memiliki bentuk oval hingga cenderung membulat dengan warna yang bervariasi dari hijau hingga cokelat (Aqza et al., 2023). Di bawah ini merupakan contoh gambar kepiting bakau yang sehat



Gambar 2. 2 Cangkang kepiting bakau yang sehat

Pada gambar 2.2 ditunjukkan bentuk serta kondisi kepiting bakau yang sehat dilihat dari sisi atas, khususnya pada bagian karapas atau cangkang. Karapas tampak berwarna hijau sesuai dengan karakteristik kepiting bakau (*Scylla* sp.) serta berada dalam kondisi bersih tanpa adanya bercak maupun luka.

### 2.2.3 Indikator Kepiting Bakau Tidak Sehat

Salah satu permasalahan dalam kegiatan pembudidayaan kepiting bakau adalah ditemukannya individu yang mengalami gangguan kesehatan akibat infeksi penyakit maupun serangan parasite (*Vibrio sp.*)(Handayani & Rozikin, 2019). Faktor lain yang menyebabkan gangguan kesehatan pada kepiting bakau adalah infestasi parasit seperti *Octolasmis* dan teritip yang memanfaatkan kepiting sebagai inang. Adapun karakteristik morfologi kepiting bakau yang berada dalam kondisi tidak sehat atau terinfeksi penyakit maupun parasit antara lain sebagai berikut:

1. Bercak berwarna pada cangkang atau *abdomen* kepiting bakau

Ciri kepiting bakau yang terinfeksi *Vibrio sp.* umumnya menunjukkan ciri morfologi berupa munculnya bercak dengan warna hitam, merah, atau putih pada bagian karapas atau cangkang (sisi atas) maupun pada bagian abdomen (sisi bawah).



Gambar 2. 3 Bercak berwarna pada kepiting bakau yang tidak sehat

Pada Gambar 2.3 ditunjukkan adanya perubahan morfologi yang disebabkan oleh infeksi bakteri yang merusak struktur *kitin* pada *eksoskeleton*. Kondisi tersebut mengakibatkan terjadinya erosi serta perubahan warna cangkang dari cokelat tua menjadi kehitaman pada area yang terinfeksi.

2. Teritip yang menempel pada cangkang/karapas kepiting bakau

Teritip atau *barnacle* merupakan organisme laut yang menjalani seluruh siklus hidupnya di perairan dan memiliki sifat menetap secara permanen pada substrat saat mencapai fase dewasa. Selain itu, teritip juga dapat hidup berasosiasi dengan cara



menempel atau membenamkan diri pada organisme lain, seperti kepiting, paus, ular laut, lobster, ubur-ubur, penyu, karang, dan spons (Hasan et al., 2019). Keberadaan teritip yang menempel dan menutupi bagian penting pada cangkang atau permukaan tubuh kepiting dapat menghambat pertumbuhan serta berdampak negatif terhadap kondisi kesehatan kepiting secara keseluruhan.

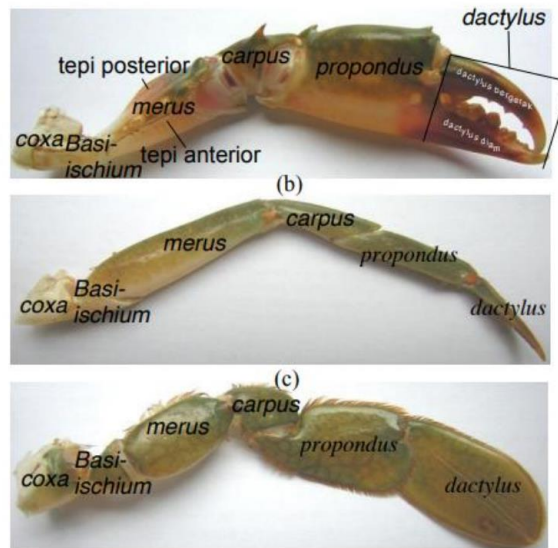


Gambar 2. 4 Teritip pada kepiting bakau

Teritip yang menempel pada *abdomen* kepiting bakau, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4, dapat dibersihkan dengan cara dikerik menggunakan pisau. Informasi ini diperoleh berdasarkan hasil wawancara dengan Rian selaku pegawai perusahaan distributor kepiting bakau.

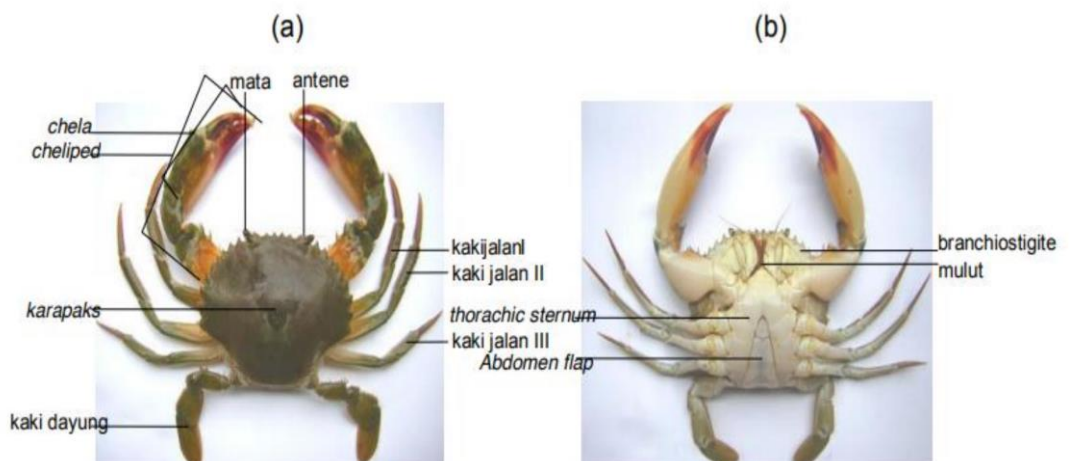
#### 2.2.4 Bentuk dan Bagian-bagian Kaki Kepiting Bakau

Bentuk serta bagian-bagian kaki kepiting bakau (*Scylla* spp.) ditampilkan pada Gambar 2.5. Kepiting bakau memiliki lima pasang kaki yang terdiri atas satu pasang capit, tiga pasang kaki jalan, dan satu pasang kaki renang. Setiap kaki tersusun atas enam ruas, yaitu *coxa*, *basi-ischium*, *merus*, *carpus*, *propodus*, dan *dactylus*. Capit berfungsi untuk menangkap serta memotong makanan, sebagai alat pertahanan diri, dan turut berperan dalam proses reproduksi. Kaki jalan digunakan untuk menunjang pergerakan di darat serta saat proses perkawinan, sedangkan kaki renang berfungsi membantu mobilitas kepiting di dalam air (Siahainenia & Selanno, 2022).



Gambar 2. 5 Bentuk dan bagian-bagian kaki kepiting bakau  
(a) cheliped, (b) Kaki jalan, (c) kaki renang.

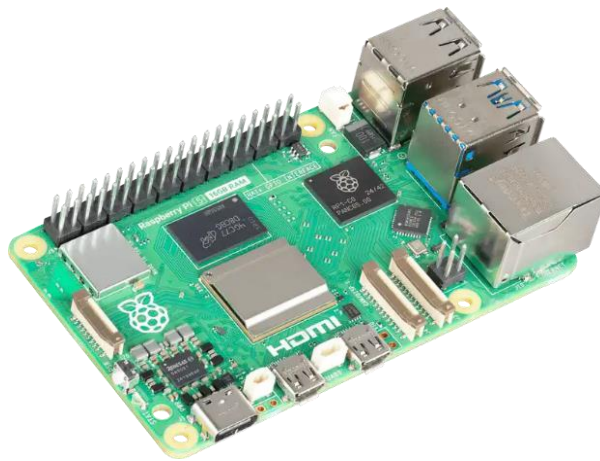
Gambar 2.6 memperlihatkan struktur morfologi tubuh kepiting bakau (*Scylla* spp.) dari sisi dorsal dan ventral. Selama pertumbuhan dari fase megalopa hingga mencapai fase dewasa, kepiting bakau mengalami sejumlah perubahan morfologis, seperti pelipatan bagian abdomen ke arah ventral serta pembentukan kaki renang. Pada fase dewasa, tubuh kepiting tersusun atas dua komponen utama, yaitu bagian tubuh dan lima pasang kaki, yang meliputi satu pasang capit, tiga pasang kaki jalan, dan satu pasang kaki renang (Siahainenia & Selanno, 2022).



Gambar 2. 6 Struktur morfologis tubuh kepiting bakau  
(*Scylla paramamosain*) (a) tampak dorsal dan (b) tampak ventral

### 2.2.5 Raspberry Pi 5

Raspberry Pi 5 adalah mini komputer yang digunakan sebagai pusat kendali sistem sortir(Yudistira et al., 2023). Dibandingkan generasi sebelumnya, Raspberry Pi 5 memiliki prosesor lebih cepat, GPU lebih baik, serta dukungan *interface* kamera ganda, yang sangat berguna dalam penelitian ini untuk menghubungkan dua kamera Raspberry Pi (tampak atas dan bawah). Raspberry Pi berfungsi untuk mengatur pengambilan citra kepingan dari dua kamera, Mengirim data citra ke *server* untuk diproses dengan model *machine learning*.



Gambar 2. 7 Raspberry Pi 5

Adapun spesifikasi lengkap dari Raspberry Pi 5 adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Spesifikasi Raspberry Pi 5

| No. | Perangkat Keras | Spesifikasi                                                                                                                                   |
|-----|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | CPU             | Broadcom BCM2712 2.4GHz quad-core 64-bit Arm Cortex-A76 CPU, with cryptography extensions, 512KB per-core L2 caches and a 2MB shared L3 cache |
| 2   | RAM             | LPDDR4X-4267 SDRAM (8GB)                                                                                                                      |
| 3   | Wifi            | Dual-band 802.11ac Wi-Fi®                                                                                                                     |
| 4   | Camera port     | 2 × 4-lane MIPI camera/display transceivers                                                                                                   |
| 5   | Power input     | 5V/5A DC power via USB-C, with Power Delivery support.                                                                                        |



### 2.2.7 *Machine Learning*

Machine learning merupakan salah satu komponen utama dalam *Artificial Intelligence* (AI) yang berperan penting dalam memungkinkan sistem cerdas untuk belajar dan beradaptasi berdasarkan data tanpa memerlukan pemrograman secara eksplisit(Siregar et al., 2022).

Dalam konteks AI, machine learning digunakan untuk mengembangkan aplikasi yang mampu menganalisis data secara otomatis serta membangun model cerdas yang dapat digunakan dalam pengambilan keputusan dan penyelesaian permasalahan tertentu

Berbeda dengan *data mining*, prosesnya diawali dengan pengumpulan data dalam jumlah besar yang sebelumnya belum teridentifikasi atau belum dipahami secara menyeluruh, kemudian data tersebut dianalisis untuk menghasilkan informasi yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam organisasi atau perusahaan(Ainul Idham & Efy Yosrita, 2025).

Secara umum, *machine learning* dan *data mining* memiliki tahapan proses yang hampir serupa. Namun, perbedaan mendasar terletak pada tujuan penggunaannya. *Data mining* dirancang untuk mengekstraksi informasi dari kumpulan data berukuran besar, sedangkan *machine learning* berfokus pada pembentukan sistem yang mampu mempelajari pola dari data. Dengan kata lain, hasil dari *data mining* berupa informasi atau pengetahuan, sementara keluaran dari *machine learning* adalah model yang dapat menjalankan fungsi tertentu (Haris, Marimin, et al., 2025).

### 2.2.8 *Deep Learning*

*Deep Learning* merupakan salah satu cabang *Machine Learning* yang terdiri dari algoritma pemodelan abstraksi tinggi pada data yang digunakan oleh sekumpulan fungsi transformasi *non-linear* yang ditata berlapis-lapis dan mendalam. *Deep Learning* sangat cocok untuk pembelajaran *supervised*, *unsupervised*, dan *semi-supervised*, serta *reinforcement learning* untuk berbagai aplikasi seperti pengenalan citra, suara, klasifikasi teks, dan sebagainya(Susanti et al., 2024). Model Deep Learning berasal dari jaringan saraf tiruan (*Neural Network*), yang telah dipelajari sejak tahun 80an. Namun, dengan komputer yang semakin cepat, serta teknologi Big Data(Hamzaoui et al., 2025).

*Deep Learning* juga termasuk pendekatan pembelajaran yang mengandalkan fitur-fitur yang terorganisir dalam bentuk hirarki. Struktur hirarki ini dapat disesuaikan dengan

ukuran yang relevan untuk kasus yang sedang ditangani. Dengan cara ini, algoritma *Deep Learning* mampu mengekstrak fitur dari data mentah secara otomatis dan mendetail. Proses ini menggunakan struktur eksploitasi, di mana fitur-fitur yang dieksplorasi sering kali tidak terlihat secara langsung. Hal ini terjadi karena distribusi kelas data biasanya sangat kompleks, sehingga fitur tingkat tinggi perlu diubah menjadi fitur tingkat rendah yang lebih mudah dipahami oleh mesin. Jika fitur tingkat rendah saja dapat dikenali dengan baik oleh *Deep Learning*, maka fitur tingkat tinggi tentu akan lebih mudah lagi. Kombinasi inilah yang membuat *Deep Learning* mampu menghasilkan representasi fitur yang efektif dan optimal (Obaid & Hamad, 2024).

### **2.2.9 Edge Computing**

*Edge computing* merupakan paradigma komputasi terdistribusi yang menempatkan proses pengolahan data lebih dekat dengan sumber data atau perangkat penghasil data (Ficili et al., 2025). Berbeda dengan komputasi terpusat, pendekatan ini memungkinkan pemrosesan dilakukan secara lokal pada perangkat edge seperti embedded system atau perangkat IoT, sehingga dapat menurunkan latensi, meningkatkan kecepatan respons sistem, serta mengurangi beban komunikasi jaringan. Karakteristik utama edge computing meliputi pemrosesan lokal, latensi rendah, efisiensi penggunaan bandwidth, serta kemampuan sistem untuk tetap beroperasi meskipun koneksi jaringan tidak stabil (Dinakaran et al., 2026).

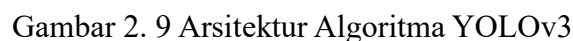
Dalam penelitian ini, konsep edge computing diterapkan dengan memanfaatkan Raspberry Pi 5 sebagai perangkat edge yang berfungsi untuk mengendalikan proses akuisisi citra, pengolahan awal data, serta integrasi dengan sistem inferensi berbasis kecerdasan buatan. Pendekatan ini memungkinkan sistem sortir kepiting bakau berbasis visi komputer untuk bekerja secara lebih responsif dan mandiri pada lingkungan budidaya, serta mendukung implementasi sistem yang portabel, efisien, dan sesuai untuk kondisi operasional di lapangan.

### **2.2.10 Image Processing**

Pengolahan citra (*image processing*) merupakan suatu proses yang memanfaatkan gambar sebagai data masukan (*input*) untuk kemudian diolah sehingga menghasilkan gambar baru sebagai keluaran (*output*) (Ainul Idham & Efy Yosrita, 2025). Pada tahap

Dengan perkembangan tersebut, pengolahan citra tidak hanya berfungsi untuk memperbaiki kualitas visual, tetapi juga menjadi sarana penting dalam proses interpretasi dan analisis informasi visual (Ainul Idham & Efy Yosrita, 2025). Berbagai teknik dalam pengolahan citra bekerja dengan cara mentransformasikan suatu citra menjadi citra lain sesuai dengan tujuan pengolahan yang diinginkan.

Algoritma YOLO (*You Only Look Once*) adalah salah satu metode dalam bidang ilmu *computer vision* yang dikembangkan untuk mendeteksi objek pada gambar maupun video secara langsung dan bersifat *real time*(Arvio et al., 2024). Prinsip kerjanya memanfaatkan *classifier* atau *localizer* yang telah dilatih untuk mengidentifikasi keberadaan objek dalam suatu citra. Bagian citra yang memiliki nilai skor paling tinggi akan ditetapkan sebagai objek yang terdeteksi(Puji Catur Siswipraptini et al., 2024).

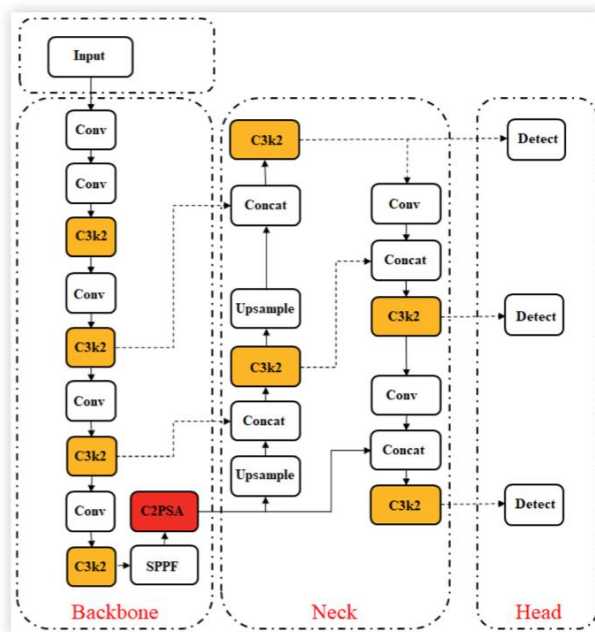


19

Setelah tahap preprocessing selesai, gambar akan dibagi menjadi grid dengan ukuran tertentu. Setiap grid akan bertanggung jawab untuk mendeteksi objek yang berada di dalamnya. Selain itu, setiap grid juga akan menghasilkan beberapa bounding box yang memperkirakan posisi dan ukuran objek yang ada di dalamnya (Zhao et al., 2025).

Algoritma YOLO akan memprediksi kemungkinan adanya objek dalam setiap *bounding box* yang dihasilkan oleh grid. Untuk mengurangi kemungkinan adanya *bounding box* yang tumpang tindih dan mendapatkan hasil deteksi yang lebih akurat, dilakukan *Non-Maximum Suppression* (NMS) yang menghilangkan *bounding box* dengan *overlap* yang tinggi (KantinIT, 2023).

Seiring perkembangannya, algoritma YOLO mengalami berbagai peningkatan mulai dari versi awal hingga versi terbaru, yaitu YOLOv11, yang menawarkan peningkatan performa dari segi kecepatan maupun akurasi (Areeg, 2024). YOLOv11 dikembangkan dengan mempertimbangkan keseimbangan antara kinerja dan efisiensi implementasi, sehingga mampu menangani berbagai kebutuhan industri dengan tingkat akurasi dan efisiensi yang lebih baik. Model ini terus mengalami pengembangan sebagai bagian dari inovasi dalam teknologi deteksi objek secara *real-time* (Rahima, 2024).



Gambar 2. 10 Model Arsitektur dalam YOLOv11

Struktur utama YOLO terdiri dari tiga bagian penting. *Backbone* berperan sebagai ekstraktor fitur utama, memanfaatkan jaringan saraf konvolusional untuk mengubah data



gambar mentah menjadi peta fitur multi-skala(Haris et al., 2025b). Selanjutnya, *neck* berfungsi sebagai penghubung yang mengolah dan memperkuat representasi fitur dari berbagai skala. Terakhir, *head* bertindak sebagai bagian prediksi, menghasilkan output akhir yang menentukan posisi dan klasifikasi objek berdasarkan peta fitur yang telah diperbaiki (Rahima, 2024). Berdasarkan karakteristik tersebut, metode YOLO dipilih dalam penelitian ini karena mampu melakukan deteksi objek secara *real-time* dengan tingkat akurasi yang tinggi, sehingga sesuai untuk diterapkan pada sistem sortir kepiting bakau berbasis citra.

Tabel 2. 3 Ukuran Model YOLOv11 (Ultralytics, 2025)

| Model   | Ukuran Input (pixel) | mAP val 50-90 | Kecepatan (CPU ONNX) | Kecepatan (GPU T4) | Parameter | FLOPs   |
|---------|----------------------|---------------|----------------------|--------------------|-----------|---------|
| YOLO11n | 640 x 640            | 39.5          | 56.1 ms              | 1.5 ms             | 2.6 M     | 6.5 B   |
| YOLO11s | 640 x 640            | 47.0          | 90.0 ms              | 2.5 ms             | 9.4 M     | 21.5 B  |
| YOLO11m | 640 x 640            | 51.5          | 183.2 ms             | 4.7 ms             | 20.1M     | 68.0 B  |
| YOLO11l | 640 x 640            | 53.4          | 238.6 ms             | 6.2 ms             | 25.3 M    | 86.9 B  |
| YOLO11x | 640 x 640            | 54.7          | 462.8 ms             | 11.3 ms            | 56.9 M    | 194.9 B |

### 2.2.12 Metode *Prototype*

Metode *Prototype* merupakan salah satu pendekatan dalam pengembangan sistem yang menitikberatkan pada perancangan model awal sebagai representasi dari sistem yang akan dibangun(Haris et al., 2025a). Dalam konteks penelitian ini, metode *Prototype* digunakan untuk mengembangkan sistem sortir kepiting bakau berbasis AI secara iteratif. *Prototype* memungkinkan peneliti dan pengguna (user) untuk melihat gambaran nyata sistem sejak tahap awal, sehingga dapat dilakukan evaluasi, perbaikan, dan penyempurnaan sebelum sistem akhir dikembangkan(Maulida, 2022).

Implementasi metode *Prototype* dalam penelitian ini diawali dengan tahap analisis kebutuhan sistem, yang mencakup penentuan indikator visual kepiting bakau, seperti jenis kelamin, kondisi kesehatan, dan kelengkapan kaki. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dikembangkan prototype awal berupa sistem deteksi berbasis citra yang memanfaatkan algoritma YOLO dan diimplementasikan pada perangkat komputasi

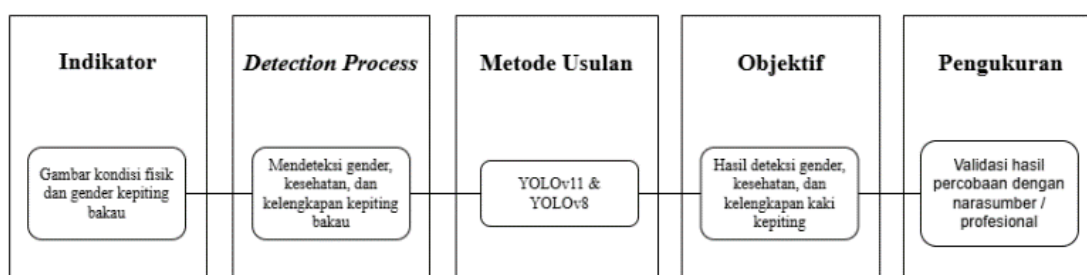
*embedded*. Prototype ini digunakan sebagai model awal untuk menguji kemampuan sistem dalam melakukan deteksi objek pada citra kepiting bakau.

Selanjutnya, prototype yang telah dikembangkan selanjutnya diuji menggunakan data citra kepiting bakau yang baru untuk menilai kinerja sistem, meliputi tingkat akurasi deteksi, kecepatan pemrosesan, serta kesesuaian hasil dengan kondisi aktual di lapangan (Putri & Mowaviq, 2021). Hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi kelemahan atau ketidaksesuaian sistem, yang selanjutnya dijadikan dasar dalam proses perbaikan dan pengembangan prototype pada tahap iterasi berikutnya.

Proses pengembangan secara iteratif ini dilakukan hingga sistem sortir yang dirancang mampu mencapai tujuan penelitian, yaitu melakukan deteksi dan klasifikasi kepiting bakau secara otomatis berdasarkan data citra visual. Penerapan metode *Prototype* memungkinkan terjadinya umpan balik yang berkelanjutan antara hasil pengujian sistem dan kebutuhan pengguna, sehingga sistem akhir yang dihasilkan menjadi lebih adaptif, efektif, dan sesuai dengan kondisi operasional di lapangan (Situmorang & Zul, 2024).

### 2.2.13 Kerangka Pemikiran

Bagian ini menjelaskan tahapan proses mulai dari proses deteksi hingga penarikan kesimpulan berdasarkan hasil deteksi dari data yang telah diperoleh. Pada bagian ini, penulis menyajikan kerangka pemikiran penelitian yang menggambarkan alur proses penelitian secara sistematis.



Gambar 2. 11 Kerangka Pemikiran

Pada Gambar 2.6 ditampilkan kerangka pemikiran yang menggambarkan alur pelaksanaan penelitian. Kerangka pemikiran tersebut menunjukkan keterkaitan antar komponen yang terlibat dalam penelitian. Penjelasan masing-masing komponen adalah sebagai berikut:

#### 1) Indikator

Indikator merupakan parameter yang digunakan sebagai dasar dalam melakukan pengujian penelitian. Indikator juga dapat diartikan sebagai data awal yang akan diproses pada tahap selanjutnya. Dalam penelitian ini, indikator yang digunakan berupa citra kepiting bakau yang memuat informasi mengenai jenis kelamin dan kondisi fisik, yang kemudian digunakan sebagai data masukan pada proses analisis berikutnya.

#### 2) *Detection Process*

*Detection process* merupakan tahap pendeteksian citra kepiting bakau sebelum dilakukan proses pembacaan oleh model. Pada tahap ini dilakukan proses identifikasi jenis kelamin, kondisi kesehatan, serta kelengkapan kaki kepiting bakau menggunakan algoritma YOLOv11.

#### 3) Usulan Metode

Bagian ini menjelaskan metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan berdasarkan indikator yang telah ditentukan. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah algoritma YOLOv11 untuk mendeteksi kondisi kesehatan dan jenis kelamin kepiting bakau, serta algoritma YOLOv8 untuk mendeteksi kelengkapan kaki kepiting bakau sebagai metode analisis citra.

#### 4) Pengukuran

Pengukuran merupakan tahap evaluasi untuk menilai hasil penelitian yang telah dilakukan. Proses ini meliputi validasi hasil percobaan melalui wawancara dengan narasumber dan praktisi yang memiliki keahlian serta pengalaman dalam bidang kepiting bakau.