

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hatchery atau tempat pembenihan merupakan salah satu komponen utama dalam mendukung kegiatan budidaya perikanan. Hatchery berfungsi untuk mendukung pembenihan udang dan biota air lainnya dengan memberikan lingkungan yang optimal bagi pertumbuhan larva biota air sehingga dapat menghasilkan benih berkualitas yang akan menunjang dalam kegiatan budidaya lebih lanjut. Salah satu faktor penting dalam keberhasilan hatchery adalah ketersediaan pakan yang kontinyu dan cukup, baik kualitas dan kuantitasnya (Nisa *et al.*, 2020). Pakan yang umum digunakan dalam pembenihan yaitu pakan alami. Pakan alami memainkan peran penting dalam kegiatan pembenihan hal ini disebabkan pakan buatan belum dapat menggantikan peran pakan alami dalam pemenuhan nutrisi bagi larva (Wahyudi *et al.*, 2022.)

Pakan alami adalah jenis pakan yang berasal dari organisme hidup dengan karakteristik dan kondisi yang menyerupai keadaan di alamnya (Muhammad *et al.*, 2022). Salah satu jenis pakan alami yang banyak digunakan khususnya pada hatchery adalah plankton. Plankton adalah biota air yang berukuran kecil yang umum ditemukan di perairan laut dan plankton terbagi atas dua jenis yaitu zooplankton dan fitoplankton (Ilyosa *et al.*, 2023). Plankton yang banyak digunakan dalam pembenihan yaitu fitoplankton. Fitoplankton atau plankton nabati adalah tumbuhan yang hidupnya mengapung atau melayang dilaut. Fitoplankton merupakan organisme autotroph utama dalam kehidupan di laut. Melalui proses fotosintesis yang dilakukannya, fitoplankton mampu menjadi sumber energi bagi seluruh biota laut lewat mekanisme rantai makanan (Rahmatiza *et al.*, 2020). Fitoplankton sangat diperlukan dalam fasilitas pembenihan (hatchery), karena berfungsi sebagai sumber nutrisi utama bagi larva udang dan ikan. Salah satu spesies fitoplankton yang sering dijumpai dalam hatchery adalah *Thalassiosira* sp., yang termasuk dalam kelompok diatom.

Genus *Thalassiosira* merupakan takson yang memiliki tingkat keanekaragaman spesies yang tinggi, dengan sebanyak 179 spesies yang telah diakui secara taksonomis, disertai 19 varietas dan satu forma yang juga tercatat secara resmi berdasarkan data dari AlgaeBase (Liu *et al.*, 2024). *Thalassiosira* sp. memiliki diameter berkisar antara 4-32 μm (Mustofa *et al.*, 2024) yang mempunyai kandungan protein sekitar 44,5%, kandungan karbohidrat 26,1% dan kandungan lemak sekitar 11,8% dari berat keringnya (Cannavaro *et al.*, 2024). Selain itu, *Thalassiosira* sp. juga memiliki kandungan asam lemak, EPA dan DHA yang lebih tinggi dibandingkan beberapa spesies *Chaetoceras*. Kandungan EPA dan DHA memiliki beberapa manfaat seperti meningkatkan pematangan induk, sehingga meningkatkan kelangsungan hidup larva udang dan memperpendek masa transisi (Tam *et al.*, 2021). Namun demikian, pemanfaatannya dalam skala praktis masih menghadapi sejumlah kendala, salah satunya dalam hal pengelolaan kepadatan fitoplankton. Menghitung kepadatan *Thalassiosira* sp. secara akurat umumnya menggunakan alat laboratorium seperti hemocytometer, sedgwick rafter chamber dan mikroskop, serta pengetahuan dasar mengenai morfologi sel fitoplankton. Meskipun metode ini memiliki tingkat akurasi yang baik, namun prosesnya memerlukan waktu yang lama, keterampilan tinggi, dan cenderung subjektif karena bergantung pada pengamat.

Oleh karena itu, diperlukan metode yang lebih efisien dan objektif dalam menentukan kepadatan fitoplankton.

Berbagai metode estimasi kepadatan fitoplankton dan zooplankton telah mengalami perkembangan dalam beberapa tahun terakhir. Metode estimasi melalui pendekatan statistik dengan penggunaan Artificial Neural Networks (ANN), yang digunakan dalam mengestimasi kepadatan zooplankton dengan tingkat akurasi yang baik (Bulut, 2023). Pendekatan dengan metode analisis metabarkode juga telah dikembangkan dalam menganalisis komposisi dan pola distribusi spasial-temporal *Thalassiosira* pada ekosistem laut Teluk Jiaozhou (Liu *et al.*, 2024). Inovasi metode lainnya dengan menggunakan Bioassay CG dan memanfaatkan warna air kultivasi *Skeletonema* untuk dapat mengestimasi kepadatannya (Badraeni *et al.*, 2021). Pengembangan alat sensor RGB dengan biaya rendah yang memungkinkan pengukuran konsentrasi mikroalga secara luring dalam fotobioreaktor (Benavides *et al.*, 2015). Metode estimasi menggunakan teknologi berbasis citra juga telah dimanfaatkan dalam mengestimasi kandungan bio-organisme dalam kolam akuakultur berbasis warna gambar dan intensitas cahaya (Gunawan *et al.*, 2019). Selain itu, pendekatan optik-geometris menggunakan fotometer berbasis LED telah dikembangkan untuk mengukur kerapatan optik kultur bakteri (Lucidi *et al.*, 2019). Mengingat berbagai pendekatan yang telah dikembangkan, dari Teknik mikroskopis konvensional hingga metode berbasis pembejalaran computer, maka dilakukanlah pengembangan metode estimasi kepadatan khususnya fitoplankton melalui pendekatan analisis warna air kultivasi.

Perubahan warna pada air wadah disebabkan oleh jumlah kepadatan fitoplankton, semakin tinggi kepadatan fitoplankton pada sebuah wadah, maka air dalam wadah akan semakin hijau pekat atau coklat pekat, tergantung pada jenis fitoplankton yang dominan. Semakin tinggi kepadatan fitoplankton pada sebuah wadah atau di dalam air, maka perubahan air akan semakin terlihat menjadi lebih gelap atau pekat (Brzychczyk *et al.*, 2020; de Almeida Moreira *et al.*, 2021; Delilla *et al.*, 2022). Hal ini terjadi karena fitoplankton mengandung pigmen klorofil dan pigmen lainnya yang dapat mempengaruhi warna air. Semakin padat populasi fitoplankton, maka semakin tinggi konsentrasi klorofil, sehingga intensitas warna akan semakin pekat, tergantung pada jenis fitoplankton yang dominan. Peningkatan kepadatan fitoplankton sejalan dengan peningkatan konsentrasi klorofil (Delilla *et al.*, 2022) dan konsentrasi pigmen fucoxanthin (Goss *et al.*, 2022). Berdasarkan hal tersebut maka dikembangkanlah alat yang dapat digunakan untuk mendeteksi kepadatan fitoplankton berdasarkan warna air yaitu Bioassay CM (*Colour Mapping*).

Bioassay CM (*Colour Mapping*) merupakan sebuah prototipe yang digunakan sebagai alat bantu dalam mengukur kepadatan fitoplankton tertentu berdasarkan tingkat warnanya dalam sebuah wadah. Bioassay CM dilengkapi dengan beberapa komponen penting seperti Sensor warna TCS34725, Kamera, dan Monitor. Alat ini bekerja dengan menggabungkan sensor warna, kamera dan web khusus untuk mengukur nilai RGB air kolam dan mengklasifikasikan kepadatan fitoplankton berdasarkan perubahan warna di dalam air kolam. Namun, akurasi alat ini bergantung pada konsistensi kondisi pengukuran, termasuk volume air yang digunakan. Dalam penelitian fitoplankton, volume air yang digunakan bervariasi, mulai dari 1-5 liter (Boroh *et al.*, 2019; Ernawati *et al.*, 2023; Rudiyanti, 2011), 6-10 liter (Asriani dan Santiadinata, 2015; Buwono dan

Nurhasanah 2018; Dara *et al.*, 2024), dan 11-20 liter (Jessica *et al.*, 2024; Yulita, 2014). Volume air yang berbeda dapat mengubah cara cahaya menyebar dan mempengaruhi hasil pembacaan sensor, serta dapat mempengaruhi pertumbuhan fitoplankton. Hal ini sejalan dengan pendapat Afrillia *et al.* (2020) yang menyatakan fluktuasi dalam intensitas cahaya dapat menyebabkan variasi dalam pembacaan warna. Karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memastikan hasil pengukurannya akurat.

Berdasarkan hal tersebut, perbedaan volume air dapat mempengaruhi penyebaran cahaya dan warna RGB yang ditangkap oleh Bioassay CM. Kondisi ini dapat membuat Nilai RGB dan kepadatan yang di dapatkan menjadi kurang akurat. Hingga saat ini, penelitian khusus mengenai pengaruh volume air terhadap akurasi Bioassay CM dalam mengestimasi kepadatan *Thalassiosira* sp. belum pernah dilakukan. Untuk itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh perbedaan volume air terhadap hasil pengukuran, sehingga dapat menjadi dasar dalam menyempurnakan metode pengukuran dan pengembangan alat ke depannya.

1.2 Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan alat Bioassay CM dalam mendeteksi dan mengestimasi kepadatan fitoplankton *Thalassiosira* sp. melalui pengukuran nilai RGB warna air dengan volume air yang berbeda.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi pengukuran yang lebih cepat dan efisien bagi pengelola hatchery, serta mendukung pengembangan teknologi sensor berbasis warna yang dapat diaplikasikan secara luas di bidang budidaya perikanan.

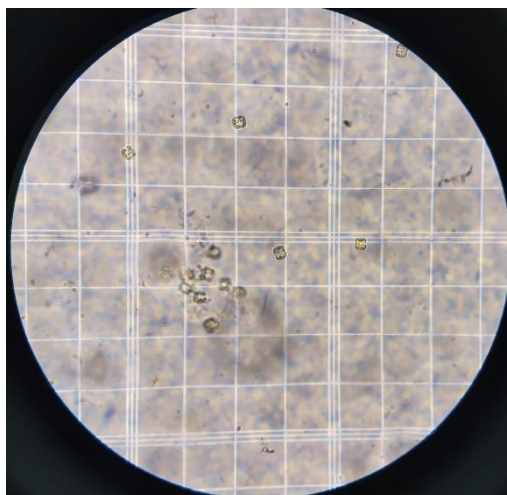
1.3 Landasan Teori

1.3.1 *Thalassiosira* sp.

1.3.1.1 Klasifikasi dan Morfologi

Thalassiosira sp. merupakan fitoplankton dari kelas diatom yang berwarna coklat dan berbentuk kotak (Gambar 1). Menurut Kacielek *et al.* (2005) klasifikasi dari mikroalga genus *Thalassiosira* adalah sebagai berikut:

Filum	: Ochrophyta
Subfilum	: Khakista
Kelas	: Bacillariophyceae
Subkelas	: Coscinodiscophycidae
Ordo	: Thalassiosirales
Famili	: Thalassiosiraceae
Genus	: <i>Thalassiosira</i>
Spesies	: <i>Thalassiosira</i> sp.



Gambar 1. *Thalassiosira* sp.

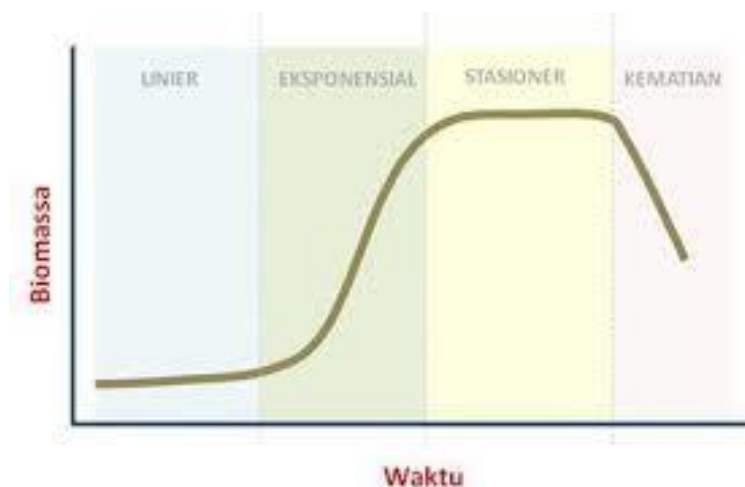
Thalassiosira merupakan genus yang kaya akan spesies, dengan 179 spesies yang telah diakui secara resmi dan 19 varietas yang juga telah diakui, serta satu forma yang juga telah diakui menurut data dari AlgaeBase (Liu *et al.*, 2024). *Thalassiosira* sp. memiliki ukuran diameter berkisar antara 4-32 μm (Mustofa *et al.*, 2024). *Thalassiosira* sp. memiliki bentuk sel silinder dengan sisi persegi atau persegi panjang, simetris radial dan katup sentris (Nurfadila, 2024). Dinding Sel (*frustule*) pada *Thalassiosira* sp. terbuat dari silikat (SiO_2) yang termasuk unsur hara makro esensial yang dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroalga, terutama diatom (Bacillariophyceae) (Erlangga *et al.*, 2021). Dinding sel (*frustule*) terdiri dari dua bagian silinder yang tumpang tindih, *thecae* atau katup, yang dipasang bersama seperti kotak dan tutupnya, daerah yang tumpang tindih dari dua katup yang menunjukkan serangkaian pita korset, atau strip silika yang membentang di sepanjang perimeter silinder (Palanisamy *et al.*, 2022). Menurut Sanjaya dan Danakusumah (2018), *Thalassiosira* sp. dapat berwarna coklat keemasan karena mengandung klorofil a, c, alfa, dan betakaroten, serta xantofil (fucoxantin, diadinoxantin, dan diatoxantin). Pigmen warna kuning pada diatom jumlahnya lebih dominan dibandingkan pigmen warna hijau, sehingga diatom dikenal juga sebagai *golden brown algae*. Kehadiran pigmen ini menyebabkan perairan yang mengandung diatom tampak berwarna agak cokelat muda (Nugroho, 2019).

1.3.1.2 Reproduksi dan Fase Pertumbuhan

Reproduksi *Thalassiosira* sp. dilakukan dengan cara pembelahan sel vegetatif. Hasil pembelahan sel dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian atas (epiteka) dan bagian bawah (hipoteka). Setengah bagian protoplasma dari epiteka dan hipoteka membentuk individu sel baru dan sel baru akan terus mengalami pembelahan. Oleh karena itu, keberadaan diatom *Thalassiosira* sp. di alam melimpah. Terjadinya peningkatan unsur zat hara dan ketersediaan nutrisi menambah peningkatan kepadatan diatom *Thalassiosira* sp. serta mampu melakukan reproduksi tiga kali dalam 24 jam. Ketika *Thalassiosira* sp. mengalami fase pembelahan terakhir, maka protoplasma akan membesar membentuk spora atau disebut auxospore yang menyebabkan terbukanya cangkang sehingga auxospore dapat meninggalkan cangkang. Selain itu individu baru

akan terbentuk ketika dua auxospore bergabung menjadi satu. Auxospore berbentuk bulat dan sebagian besar isi sel terlokalisasi di satu sisi (Moore *et al.*, 2017).

Fase pertumbuhan mikroalga terbagi menjadi 4 fase, yaitu fase lag, fase eksponensial, fase stasioner dan fase kematian (Izzudin *et al.*, 2025; Salsabil, 2023). Fase pertumbuhan mikroalga dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Fase Pertumbuhan Mikroalga (Prayitno, 2016)

Fase lag adalah fase awal kultur pada saat sel belum membelah dan pertumbuhan sel lebih lambat hal ini karena sel mikroalga perlu beradaptasi dengan lingkungan baru yang berbeda dari lingkungan sebelumnya seperti media, suhu, pH, dan pencahayaan (Zhu *et al.*, 2019). Lamanya fase lag bergantung pada individu atau spesies mikroalga. Mikroalga beradaptasi dengan media baru karena terjadi penambahan nutrisi dan mineral dari konsentrasi rendah ke konsentrasi tinggi sehingga akan mempengaruhi sintesis metabolik mikroalga.

Fase eksponensial merupakan fase ketika sel-sel mulai aktif membelah dan terjadi peningkatan biomassa mikroalga. Terjadi peningkatan pertumbuhan sel karena sel mampu mensintesis enzim sehingga biosintesis sel dan mikroorganisme berlangsung cepat (Mishbach *et al.*, 2022). Menurut Nurfadila (2024) ketersediaan nutrisi sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan sel. Peran utama nutrisi adalah sebagai sumber energi, bahan pembangun sel, dan sebagai akseptor elektron dalam reaksi bioenergetik (reaksi yang menghasilkan energi). Pemberian nutrisi yang sesuai akan sangat mempengaruhi pertumbuhan sel mikroalga serta kandungan esensial yang dimilikinya (Amalo *et al.*, 2019).

Fase stasioner merupakan fase berkurangnya nutrisi pada medium, laju pertumbuhan, dan kematian berbanding lurus sehingga tidak adanya penambahan sel yang digambarkan dengan grafik pertumbuhan yang konstan (Mishbach *et al.*, 2022). Pada fase ini jumlah sel yang tumbuh semakin meningkat sehingga terbatasnya ketersediaan nutrisi pada media dan terjadinya persaingan antar fitoplankton. Reyimu dan Özçimen (2017) menyatakan meningkatnya kepadatan sel menyebabkan penetrasi cahaya terhalangi. Akibatnya, fitoplankton yang berada pada media yang kurang menerima cahaya akan menyebabkan fotosintesis kurang optimal, sehingga

pertumbuhannya terganggu. Kepadatan sel dapat meningkat setelah fase stasioner karena mengalami periode kriptik yaitu sel mikroalga mengalami peningkatan kembali karena sel yang sudah lisis akan memanfaatkan kembali nutrisi sel yang masih hidup (Amalo *et al.*, 2019). Ketika mikroalga memasuki tahap stasioner, sel mengakumulasi karbon dalam bentuk lipid dan karbohidrat. Kandungan lipid meningkat ketika kultur mencapai fase stasioner, terutama ketika konsentrasi nitrogen menurun dalam kultur (Sandoval *et al.*, 2022).

Fase kematian merupakan fase ketika sel mengalami kematian massal yang menyebabkan penurunan kepadatan populasi dan pertumbuhan sel melambat (Dara *et al.*, 2024). Penurunan jumlah sel dipengaruhi oleh nutrisi, pH, suhu, dan kondisi lingkungan. Alasan utama terjadinya fase kematian yaitu karena keterbatasan nutrisi dan sumber cahaya. Nutrisi yang terbatas dalam media akan menghentikan proses fotosintesis sedangkan cahaya yang terbatas mungkin terjadi karena naungan sel satu sama lain sehingga menghalangi penetrasi sumber cahaya (Jayakumar *et al.*, 2021). Terjadinya fase kematian dikarenakan nutrisi pada media kultivasi jumlahnya semakin sedikit sehingga tidak cukup memenuhi kebutuhan sel (Mishbach *et al.*, 2022).

Pertumbuhan *Thalassiosira* sp. yang baik sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, apabila faktor-faktor tersebut tercukupi maka pertumbuhannya akan optimal. Sebaliknya, apabila faktor-faktor tidak tercukupi maka pertumbuhannya akan kurang optimal bahkan gagal. Faktor-faktor lingkungan yang memengaruhi pertumbuhan *Thalassiosira* sp., antara lain cahaya, suhu, nutrient, pH air, salinitas, dan ketersediaan CO₂. Intensitas cahaya yang optimal untuk pertumbuhan *Thalassiosira* sp. berkisar antara 1000-10000 lux (Prihardianto *et al.*, 2023). Menurut Sanjaya dan Danakusuma (2018), salinitas optimum bagi pertumbuhan mikroalga berkisar antara 25-35 ppt. Menurut Cannavaro *et al.* (2024), spesies *Thalassiosira* sp. akan hidup dengan baik pada perairan dengan kadar nutrient yang dibutuhkan seperti nitrogen (N), pospor (P), dan silika (Si) yang tinggi. salinitas yang optimal untuk pertumbuhan mikroalga berkisar antara 25-35 ppt dengan kisaran 30 ppt memberikan pertumbuhan terbaik untuk *Thalassiosira* sp. dan pH air yang baik berkisar antara 6-8 (Dara *et al.*, 2024). Menurut Turnip (2019), CO₂ dibutuhkan dalam proses fotosintesis mikroalga, kandungan CO₂ dengan kadar 1-2% sudah cukup dimanfaatkan dalam kultur mikroalga dan apabila kadar CO₂ berlebihan dapat menyebabkan pH air berkurang dari batas optimum yang dibutuhkan mikroalga sehingga akan berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroalga. Menurut Tam *et al.* (2021), kondisi optimal untuk pertumbuhan *Thalassiosira* adalah suhu 25-28°C, pH 7, dan salinitas 30 ppt.

1.3.2 Pigmen dan Warna *Thalassiosira* sp.

Thalassiosira sp. berwarna coklat keemasan karena mengandung klorofil a, c, alfa, dan β-karoten, serta xantofil (fucoxantin, diadinoxantin, dan diatoxantin) (Sanjaya dan Danakusumah, 2018). Klorofil merupakan pigmen yang terdapat pada mikroalga *Thalassiosira* sp. yang sangat diperlukan untuk proses fotosintesis. Klorofil dibagi menjadi a, b, c, dan d. Klorofil a merupakan pigmen utama dalam fotosintesis, sedangkan b, c, dan d merupakan pigmen sekunder (atau aksesori) yang mendukung pigmen primer serta klorofil memberikan pigmen warna hijau (Salido *et al.*, 2024). Proses ini akan terjadi pembentukan glukosa dari senyawa anorganik dengan menggunakan bantuan energi

cahaya. Pigmen klorofil merupakan pusat penyerapan energi cahaya dalam *thalasiosira* sp. (Cannavaro *et al.*, 2024). Hasil fotosintesis adalah energi yang dapat digunakan untuk pertumbuhan dan penambahan sel, biosintesis sel, reproduksi, dan pergerakan dan perpindahan sel (Riyono, 2007). β -karoten merupakan metabolit sekunder pada mikroalga yang dapat disintesis oleh sel karena adanya stres oksidatif dari lingkungan (Elfiza *et al.*, 2019). Menurut Kusbandari dan Susanti (2017) β -karoten merupakan pigmen organik yang berwarna kuning, merah oranye dan oranye yang dapat terjadi secara alamiah dalam tumbuhan yang berfotosintesis, berganggang, dan juga terdapat pada beberapa jenis jamur dan bakteri. Menurut Astuti *et al.*, (2016), xantofil merupakan karotenoid yang memiliki gugus oksigen (oksikarotenoid) dan memiliki sifat yang lebih polar dibandingkan hidrokarbon murni. Xantofil merupakan pigmen kuning grup karotenoid pada daun yang memiliki panjang gelombang 410 nm, xantofil dapat tereksitasi dengan adanya penyinaran pada lapisan wafer sel surya (Lubis *et al.*, 2016).

1.3.3 Mengestimasi Kepadatan Fitoplankton

Estimasi kepadatan fitoplankton digunakan sebagai salah satu parameter yang mempengaruhi keberhasilan pembenihan, kualitas perairan, dan keberlanjutan ekosistem akuatik dalam berbagai sistem budidaya yang berbeda. Dalam kegiatan hatchery atau fasilitas pembenihan, kepadatan fitoplankton merupakan salah satu faktor penting yang menentukan keberhasilan produksi larva udang dan biota air lainnya. Hal ini sejalan dengan pernyataan Badraeni *et al.* (2021), mengatakan bahwa kebutuhan pakan alami setiap fase pada larva ikan dan udang berbeda-beda, dan apabila pakan alami yang diberikan tidak sesuai dengan kebutuhannya maka akan berdampak pada laju pertumbuhan dan produksi. Oleh karena itu, menghitung kepadatan fitoplankton (jumlah sel per volume air) sangat penting untuk memantau kondisi kultur dan mengoptimalkan pemberian pakan alami. Metode yang akurat diperlukan agar pengelolaan kultur lebih optimal, efisiensi produksi, dan memaksimalkan kualitas larva yang dihasilkan. Dalam penentuan kepadatan fitoplankton tidak hanya didasarkan pada pengamatan visual atau estimasi kasar, melainkan harus merujuk pada data kuantitatif dari berbagai metode ilmiah yang telah terbukti akurat guna menghindari kerugian akibat ketidakseimbangan nutrisi atau kondisi kultur yang suboptimal.

Beberapa metode atau cara dalam mengestimasi kepadatan fitoplankton hingga saat ini telah mulai banyak dikembangkan, seperti, Penelitian Bulut (2023) menggunakan pendekatan Artificial Neural Networks (ANN) untuk mengestimasi kepadatan zooplankton dengan tingkat akurasi yang baik. Metode berbasis machine learning dapat memberikan hasil estimasi yang lebih objektif dibandingkan metode manual dan. Penelitian Badraeni *et al.* (2021) melakukan pengembangan metode inovasi dengan menggunakan Bioassay CG dan memanfaatkan warna air kultivasi *Skeletonema* untuk dapat mengestimasi kepadatannya. Penelitian ini membuktikan bahwa perubahan warna air dapat dijadikan indikator untuk mengestimasi kepadatan mikroalga secara praktis. Penelitian Benavides *et al.* (2015) mengembangkan alat sensor RGB dengan biaya rendah yang memungkinkan pengukuran konsentrasi mikroalga secara luring dalam fotobioreaktor, dengan hasil yang menunjukkan korelasi yang kuat antara nilai RGB dengan kepadatan sel mikroalga. penelitian Gunawan *et al.* (2019) dengan memanfaatkan teknologi berbasis citra dalam mengestimasi kandungan bio-organisme

dalam kolam akuakultur berbasis warna gambar dan intensitas cahaya. Penelitian ini berhasil mengembangkan algoritma yang dapat mengklasifikasikan kepadatan mikroalga berdasarkan analisis citra digital.

Perkembangan teknologi memungkinkan pengembangan metode estimasi kepadatan fitoplankton yang lebih efisien dan objektif dibandingkan metode konvensional seperti hemocytometer dan mikroskop. Proses perhitungan pakan alami memerlukan waktu yang lama, selain keterbatasan sarana pendukung seperti haemocytometer, pipet tetes, mikroskop dan lain-lain serta memerlukan keterampilan khusus untuk melakukan proses penghitungan sel pakan alami (Badraeni *et al.*, 2021). Oleh karena itu, diperlukan metode alternatif yang lebih efisien, salah satunya dengan memanfaatkan perubahan warna air kultur fitoplankton sebagai indikator untuk mengestimasi kepadatan fitoplankton. Brzychczyk *et al.* (2020) dan de Almeida Moreira *et al.* (2021) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa jumlah kepadatan fitoplankton menjadi penyebab perubahan warna pada air wadah, dimana semakin tinggi kepadatan fitoplankton maka air akan semakin hijau pekat atau coklat pekat tergantung jenis fitoplankton yang dominan. Delilla *et al.* (2022) membuktikan bahwa peningkatan kepadatan fitoplankton sejalan dengan peningkatan konsentrasi klorofil, sedangkan Goss *et al.* (2022) menunjukkan korelasi positif antara kepadatan fitoplankton dengan konsentrasi pigmen fucoxanthin. Dengan demikian, teknologi berbasis sensor dan pengolahan citra digital (analisis RGB) berpotensi menjadi metode estimasi yang praktis dan andal untuk akuakultur.

pentingnya pengembangan metode estimasi kepadatan fitoplankton yang akurat dan efisien semakin meningkat seiring dengan berkembangnya industri akuakultur, serta meningkatnya kesadaran akan pentingnya manajemen kualitas air. Pengembangan metode estimasi kepadatan fitoplankton yang akurat dan efisien semakin penting untuk mendukung industri akuakultur, terutama dalam mengoptimalkan produksi pakan alami, mengurangi kesalahan manusia dalam penghitungan dan mencegah dampak negatif seperti penurunan kualitas air. Metode berbasis teknologi seperti sensor RGB dan analisis citra digital, tidak hanya meningkatkan akurasi tetapi juga mengurangi ketergantungan pada metode manual yang memakan waktu dan rentan kesalahan (Gunawan *et al.*, 2019). Penelitian-penelitian menunjukkan bahwa perubahan warna air kultur akibat peningkatan kepadatan fitoplankton dapat dijadikan indikator praktis, didukung oleh hubungan antara warna, klorofil, dan kepadatan sel (Brzychczyk *et al.*, 2020; Delilla *et al.*, 2022). Dengan demikian, inovasi metode estimasi berbasis data akurat dapat menjadi kunci keberlanjutan hatchery dan budidaya perikanan.

1.3.4 Bioassay CM (Colour Mapping)

Bioassay CM (Colour Mapping) merupakan gabungan dari kata "bios" yang berarti kehidupan atau makhluk hidup, "assay" yang berarti pengujian atau analisis, dan "colour mapping" yang merupakan teknik untuk menghubungkan nilai warna tertentu dengan informasi atau data spesifik. Bioassay CM (Colour Mapping) merupakan sebuah prototipe yang digunakan sebagai alat bantu dalam mengukur kepadatan fitoplankton tertentu berdasarkan tingkat warnanya dalam sebuah wadah. Bioassay CM dilengkapi dengan beberapa komponen antara lain Sensor warna TCS34725, Kamera, Arduino, Raspberry Pi, Pencahayaan LED, Tabung tahan air, Monitor, Keyboard dan mouse, Catu daya, Tombol tekan, Resistor dan kabel. Alat ini bekerja dengan menggabungkan sensor

warna, kamera dan web khusus untuk mengukur nilai RGB air kolam dan mengklasifikasikan kepadatan fitoplankton berdasarkan perubahan warna di dalam air kolam. Proses pengolahan data dimulai dari mikrokontroler Arduino membaca data sensor dan mengirimkannya ke Raspberry Pi sementara gambar kamera diproses langsung di Raspberry Pi. Sistem kemudian melakukan prapemrosesan data RGB untuk menghilangkan noise dan dilakukan kalibrasi untuk memastikan standar pengukuran yang akurat. Raspberry Pi kemudian dihubungkan ke jaringan melalui Wi-Fi untuk dapat mengakses ke antarmuka web melalui server.

Bioassay CM (*Colour Mapping*) memanfaatkan perubahan warna air pada wadah kultur fitoplankton dalam mengestimasi kepadatannya. Perubahan warna pada air wadah disebabkan oleh jumlah kepadatan fitoplankton, semakin tinggi kepadatan fitoplankton pada sebuah wadah, maka air dalam wadah akan semakin hijau pekat atau coklat pekat, tergantung pada jenis fitoplankton yang dominan. Semakin tinggi kepadatan fitoplankton pada sebuah wadah atau di dalam air, maka perubahan air akan semakin terlihat menjadi lebih gelap atau pekat (Brzychczyk *et al.*, 2020; de Almeida Moreira *et al.*, 2021; Delilla *et al.*, 2022). Hal ini terjadi karena fitoplankton mengandung pigmen klorofil dan pigmen lainnya yang dapat mempengaruhi warna air. Menurut Sanjaya dan Danakusumah (2018), pada fitoplankton *Thalassiosira* sp. dapat berwarna coklat keemasan karena mengandung klorofil a, c, alfa, dan betakaroten, serta xantofil (fucoxantin, diadinoxantin, dan diatoxantin). Semakin padat populasi fitoplankton, maka semakin tinggi konsentrasi klorofil, sehingga intensitas warna hijau atau coklat akan semakin pekat, tergantung pada jenis fitoplankton yang dominan. Peningkatan kepadatan fitoplankton sejalan dengan peningkatan konsentrasi klorofil (Delilla *et al.*, 2022) dan konsentrasi pigmen fucoxanthin (Goss *et al.*, 2022). Perubahan ini dapat dideteksi oleh sensor warna TCS34725 dan kamera pada Bioassay CM melalui peningkatan nilai saluran merah (R), hijau (G) atau biru (B) dalam data RGB, tergantung pada jenis fitoplankton yang dominan. Nilai RGB yang didapatkan mencerminkan konsentrasi klorofil dan pigmen lainnya dalam fitoplankton, sehingga kepadatan populasi dapat diklasifikasikan berdasarkan intensitas warna. Melalui integrasi antarmuka web, Bioassay CM memungkinkan pemantauan real-time dan aksesibilitas data yang lebih luas, menjadikannya alat yang efisien untuk aplikasi akuakultur dan pemantauan lingkungan.

1.3.5 Kode RGB (Red, Green, Blue)

Kode RGB adalah sistem pengkodean warna digital yang umum digunakan dalam berbagai alat elektronik seperti kamera, sensor warna dan monitor. Red (Merah), Green (Hijau) dan Blue (Biru) merupakan warna dasar yang dapat dilihat oleh mata manusia. RGB didasarkan pada teori bahwa mata manusia peka terhadap panjang gelombang 630nm (merah), 530 nm(hijau), dan 4nm (biru) (Jabalnur, 2023). Menurut Juandri dan Anwar (2023), RGB merupakan citra 24bit dengan komponen merah, hijau, biru yang masing-masing umumnya bernilai 8bit, pada warna merah (R), hijau (G) dan biru (B) memiliki rentang kecerahan warna antara 0-256 dan kombinasi dari ketiga rentang warna tersebut dapat menghasilkan kurang lebih sekitar 16 juta warna sehingga disebut "true color". Perpaduan dari RGB ini dapat akan menghasilkan beragam warna yang dapat diproses sebagai data angka dan citra visual oleh alat digital. Semakin gelap suatu warna, maka nilai kode RGB-nya akan semakin kecil hal ini dikarenakan warna RGB adalah model pencampuran cahaya warna yang merepresentasikan intensitas cahaya

merah, hijau, dan biru. pada warna hitam diwakili oleh RGB (0,0,0) karena tidak ada gelombang cahaya yang ditangkap (Amrullah *et al.*, 2022). Sebaliknya semakin tinggi nilai kode RGB maka warna yang dihasilkan akan semakin terang. Menurut Prabowo *et al.* (2018) pada saat sistem warna RGB terdiri dari 100% Red, 100% Green dan 100% Blue maka akan menghasilkan warna 100 % putih. Komposisi warna RGB dapat dilihat pada Gambar 3 dibawah ini.

Nama	RGB
Merah	255, 0, 0
Orange	255, 182, 1
Kuning	255, 255, 0
KuningHijau	128, 255, 0
Hijau	0, 255, 0
HijauCyan	0,255, 128
Cyan	128, 255, 255
CyanBiru	0, 128, 255
Biru	0, 0, 255
BiruMagenta	128, 0, 128
Magenta	255, 0, 255
MagentaMerah	255, 128, 255
Putih	255, 255, 255
Hitam	0, 0, 0
Abu-Abu	128,128,128

Gambar 3. Komposisi warna RGB (Epifania dan Sedyono, 2011)

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini mengangkat topik mengenai "Penggunaan Bioassay CM (*Colour Mapping*) dalam Mengestimasi Kepadatan Fitoplankton *Thalassiosira* sp. pada Volume Air yang Berbeda", yang dilaksanakan selama bulan September hingga Oktober 2024. Lokasi penelitian berada di Hatchery mini, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin, Makassar.

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Informasi mengenai alat-alat yang digunakan selama penelitian serta masing-masing fungsinya dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Alat yang digunakan dan fungsinya

Alat	Spesifikasi	Fungsi
Toples	Plastik, bening (10 L, 15 L, 25 L)	Wadah penelitian
Layar monitor	16 inci	Menampilkan data dan informasi yang berkaitan dengan penelitian
Camera	Modul Kamera USB atau Raspberry Pi v2 (8 MP)	Alat bantu mengambil gambar
Sensor	Sensor warna RGB dengan antarmuka I2C, kompatibel 3,3V/5V	Alat bantu mengambil gambar dalam air
Keyboard	Tenkeyless/TKL (87 keys)	Memasukkan data yang didapatkan
Mouse	Wireless 2.4GHz	Mengontrol data dan tampilan monitor
Mikroskop	Perbesaran 10x	Alat pengamatan sampel uji
Haemocytometer	Volume 0.1 μ L (10^{-4} mL)	Alat menghitung kepadatan fitoplankton
Cover glass	20 x 20 mm	Penutup haemocytometer
Handcounter	Ketelitian 1-99999	Alat bantu hitung
Laptop	Asus X441M	Mencatat hasil perhitungan
Pipet tetes	Skala 5 mL	Mengambil sampel uji
Botol vial	Skala 10 ml	Wadah penyimpanan sampel uji yang akan dihitung
Aerator	LP 100	Penyuplai udara dalam wadah
Batu aerasi	400 gram	Mengalirkan udara dari aerator
Selang aerasi	5 meter	Mengalirkan udara

Alat	Spesifikasi	Fungsi
Lampu LED	12 W	Penyedia sumber cahaya
Bak penampungan	250 L	Tempat penampungan air laut
Gelas ukur	Skala 250 mL	Alat pengukur volume air
Kuas cat	2 inci	Alat untuk mewarnai wadah penelitian
ATK	Pulpen, kertas HVS	Mencatat hasil perhitungan secara manual
Stop kontak	Kabel jumper	Alat penghubung arus listrik

2.2.2 Bahan

Informasi mengenai bahan-bahan yang digunakan selama penelitian serta masing-masing fungsinya dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Bahan yang digunakan dan fungsinya

Bahan	Spesifikasi	Fungsi
<i>Thalassiosira</i> Sp.	100.000 sel/mL	Sampel uji
Pupuk conway	1 mL/L	Sumber nutrisi
Silikat	1 mL/L	Sumber nutrisi silika
Klorin	60 ppm	Bahan sterilisasi wadah dan air
Natrium thiosulfat	30 ppm	Menetralisasi kaporit
Alkohol 70 %	1 L	Bahan sterilisasi
Akuades	Air suling	Membilas sisa-sisa bahan yang masih melekat pada alat
Air laut	30 ppt	Penyedia lingkungan alami dan sesuai dengan kebutuhan sampel uji
Cat putih	500 mL	Memberikan warna putih pada wadah penelitian
Thinner	200 mL	Mengencerkan cat
Tissue	1000 sheet	Mengeringkan dan membersihkan alat

2.3 Persiapan Air

Air laut yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Balai Perikanan Budidaya Air Payau Takalar. Sebelum digunakan, air terlebih dahulu dilakukan penyesuaian salinitas hingga mencapai 30 ppt (Tam *et al.*, 2021). Sterilisasi air dilakukan dengan metode kimia karena dapat menghilangkan bakteri, virus dan mikroorganisme patogen lainnya yang dapat mengganggu pertumbuhan *Thalassiosira* sp. Air laut sebanyak 150 L di sterilisasi menggunakan klorin dengan konsentrasi 60 ppm (Bangun *et al.*, 2015). Setelah penambahan klorin, air laut diberi aerasi selama 24 jam agar klorin

tercampur secara homogen ke seluruh air dan mempercepat reaksi klorin terhadap mikroorganisme target. Langkah berikutnya adalah melakukan netralisasi sisa klorin dalam air menggunakan sodium thiosulfate ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) dengan konsentrasi 30 ppm. Proses deklorinasi penting karena residu klorin yang masih tersisa dalam air dan dapat bersifat toksik bagi *Thalassiosira* sp. Selanjutnya air laut kembali di aerasi selama 24 jam untuk memastikan reaksi netralisasi berlangsung sempurna. Setelah proses aerasi telah selesai, tahapan terakhir yaitu mendiamkan air laut selama semalaman (sekitar 12-24 jam). Proses ini memungkinkan partikel-partikel tersuspensi dapat mengendap secara gravitasi ke dasar wadah.

2.4 Wadah Penelitian

Wadah yang digunakan adalah wadah toples yang terbuat dari plastik dengan volume yang berbeda yaitu 10 L, 15 L dan 25 L. Setiap volume terdiri atas 3 wadah, sehingga total wadah yang digunakan yaitu 9 wadah yang dilengkapi aerasi pada setiap unit. Wadah penelitian yang akan digunakan terlebih dahulu di cat menggunakan cat berwarna putih, lalu wadah dikeringkan di bawah sinar matahari. Sebelum digunakan, wadah terlebih dahulu di cuci dengan menggunakan detergen, lalu dibilas dengan air bersih. Setelah bersih, wadah di tambahkan air hingga penuh dan di diamkan sehari semalam untuk mengurangi bau dari cat. Selanjutnya wadah di sterilisasi dengan cara wadah direndam dalam larutan kaporit selama 24 jam. Setelah itu, wadah di bilas menggunakan air bersih dan dikeringkan. Wadah yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 4. Wadah penelitian yang digunakan (Dokumentasi pribadi, 2024)

2.5 Prosedur Penelitian

2.5.1 Persiapan Sampel Uji

Fitoplankton jenis *Thalassiosira* Sp. yang digunakan berasal dari PT, Esa putri Prakarsa Utama (Benurkita), terlebih dahulu di kultur di bak stok menggunakan air yang telah di treatment yang nantinya akan digunakan sebagai bahan uji dalam penelitian. Setelah dikultur di bak stok, kemudian dilakukan perhitungan *Thalassiosira* sp. untuk mengetahui kepadatan *Thalassiosira* sp. dalam bak stok. Selanjutnya dilakukan inokulasi

Thalassiosira sp. dengan kepadatan 100.000 sel/mL (Prihardianto *et al.*, 2023) ke setiap wadah penelitian yang telah disiapkan, Untuk menentukan volume inokulasi yang ingin dipindahkan dari bak stok ke wadah penelitian berdasarkan kepadatan yang diinginkan, terlebih dahulu di hitung menggunakan rumus pengenceran *Thalassiosira* sp. (Dara *et al.*, 2024) sebagai berikut.

$$V2 = \frac{V1 \times N1}{N2}$$

Ket:

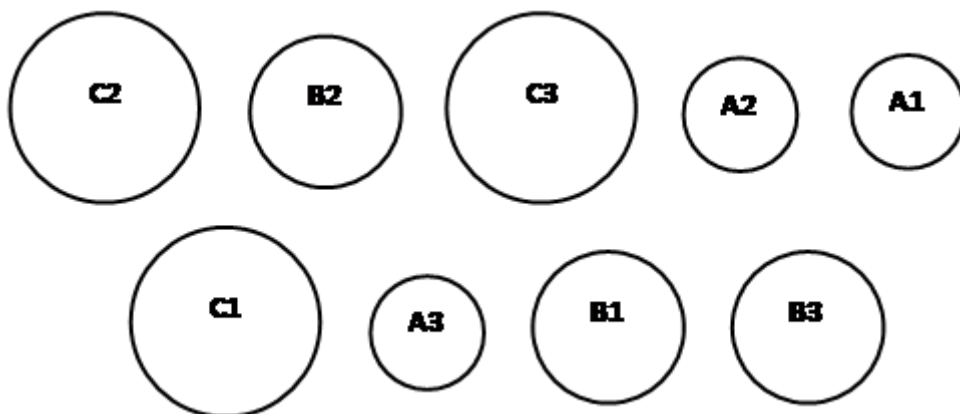
V1: Volume air media yang akan ditebari bibit (mL)

V2: Volume bibit yang diperlukan untuk penebaran awal (mL)

N1: Jumlah bibit (*Thalassiosira* sp.) yang diinginkan (sel/mL)

N2: Jumlah bibit awal (*Thalassiosira* sp.) (sel/mL)

Wadah penelitian yang digunakan sebanyak 9 buah, wadah kemudian diisi dengan *Thalassiosira* sp dengan volume yang berbeda yaitu 3 buah wadah diisi air sebanyak 8 L, 3 buah wadah diisi dengan air sebanyak 13 L dan 3 buah wadah diisi dengan air sebanyak 18 L. Adapun tata letak wadah dapat dilihat pada Gambar 5. Wadah yang telah diisi air kemudian dilengkapi dengan aerasi serta diberikan pupuk conway dan silikat dengan dosis 1 ml/liter sebagai unsur hara bagi fitoplankton uji yaitu jenis *Thalassiosira* Sp.



Gambar 5. Tata letak wadah penelitian

2.6.2 Langkah Pengujian

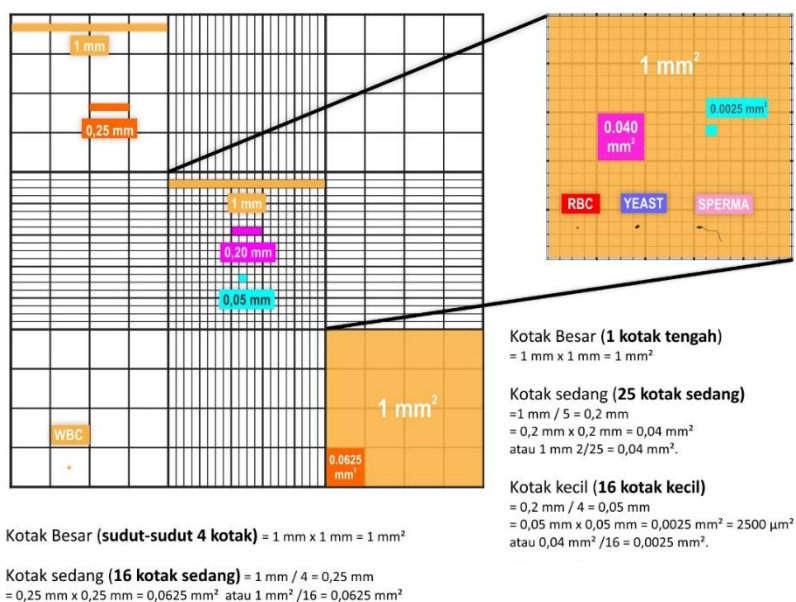
Pengujian yang dilakukan yaitu dengan menghitung kepadatan *Thalassiosira* sp. dengan haemocytometer dan pengambilan gambar dengan menggunakan kamera dan sensor. Pengujian dilakukan selama 4 kali sehari yaitu pada jam 08.00, 12.00, 16.00 dan 20.00. Kepadatan *Thalassiosira* sp dihitung dengan memindahkan 3-5 ml *Thalassiosira* sp kedalam botol vial pada setiap wadah. Kemudian dihitung menggunakan haemositometer dan mikroskop, sebanyak 4 kali pengulangan pada setiap wadah. Hasil dari keempat pengulangan tersebut kemudian di rata-ratakan untuk mendapatkan hasil akhir dari kepadatan *Thalassiosira* sp.

Pengujian dengan menggunakan kamera dan sensor dilakukan dengan memasukkan sensor dan mendekatkan kamera pada wadah penelitian untuk mendapatkan gradasi warna. Warna yang telah di dapatkan pada setiap wadah

kemudian dipasangkan dengan perhitungan manual yang telah dilakukan untuk mendapatkan data kepadatan *Thalassiosira* sp pada warna tertentu.

2.6.3 Perhitungan Kepadatan *Thalassiosira* Sp. dengan Haemocytometer

Perhitungan kepadatan *Thalassiosira* sp. diawali dengan pengambilan sampel sebanyak 3-5 ml dan di masukkan kedalam botol vial untuk setiap wadah penelitian. Selanjutnya sampel di ambil menggunakan pipet tetes, kemudian di teteskan ± 1 tetes pada haemocytometer dengan perlahan agar tidak terdapat gelembung udang di bawah cover glass. Haemocytometer diletakkan pada tempat pengamatan sampel mikroskop, jepit dengan penjepit sampel, atur posisi haemocytometer agar garis-garis yang terdapat dipermukaan haemocytometer terlihat jelas. Setelah itu, dilakukan pengaturan lensa objektif dengan preparat hingga sel-sel terlihat jelas. Proses perhitungan jumlah sel yang terdapat di garis-garis haemocytometer, di mana sel-sel yang menyentuh garis-garis terluar dari primary square tidak dilakukan perhitungan. Gambar bilik hitung haemocytometer dapat dilihat pada Gambar 6 dibawah ini.



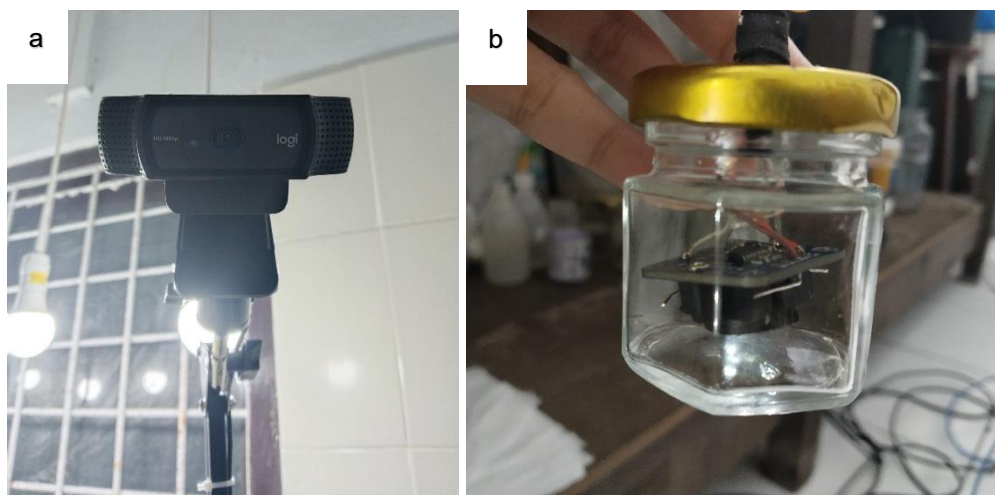
Gambar 6. Bilik hitung haemocytometer

Perhitungan kepadatan sel *Thalassiosira* sp. dilakukan setiap 4 jam (08.00, 12.00, 16.00, 20.00) dalam sehari dengan menghitung total 9 wadah. Setiap wadah dihitung sebanyak 4 kali pengulangan untuk memastikan ketelitian data. Nilai kepadatan akhir *Thalassiosira* sp. perwadah diperoleh dengan merata-ratakan jumlah sel dari 4 pengulangan tersebut.

2.5.4 Penggunaan Alat Bioassay CM (Colour Mapping)

Penggunaan alat Bioassay CM diawali dengan mematikan aerasi pada seluruh wadah agar tidak mempengaruhi proses pengambilan gambar. Selanjutnya, alat Bioassay CM diaktifkan sebelum digunakan. Kemudian menyiapkan kamera dan sensor untuk mengambil gambar nantinya (Gambar 7). Kamera di arahkan ke permukaan wadah dengan jarak sekitar 20 cm dari permukaan air dan sensor dicelupkan ke dalam air

hingga menutupi setengah bagian dari sensor. Hasil gambar akan terlihat pada layar monitor dan menyimpan gambar yang telah di dapatkan. Hasil gambar yang didapatkan akan menampilkan kode warna RGB dari kamera dan sensor. Selanjutnya nilai RGB yang didapatkan akan dicatat.



Gambar 7. (a) kamera (b) sensor

2.7 Parameter Penelitian

2.7.1 Kepadatan *Thalassiosira* sp.

Perhitungan kepadatan sel *Thalassiosira* sp. dilakukan setiap 4 jam (08.00, 12.00, 16.00, 20.00) dalam sehari dengan menghitung total 9 wadah. Setiap wadah dihitung sebanyak 4 kali pengulangan untuk memastikan ketelitian data. Nilai kepadatan akhir *Thalassiosira* sp. perwadah diperoleh dengan merata-ratakan jumlah sel dari 4 pengulangan tersebut.

Kepadatan fitoplankton *Thalassiosira* sp. dihitung dengan rumus (Nisa *et al.*, 2020), yaitu:

$$P = N \times 10^4 \text{ sel/mL}$$

Ket:

P: kepadatan sel (sel/mL)

N: jumlah sel terhitung pada 25 kotak *Haemocytometer*

2.7.2 Nilai RGB Pada Alat Bioassay CM (*Colour Mapping*)

Bioassay CM menggunakan sensor warna TCS34725 dan kamera untuk mendapatkan nilai RGB dari warna *thassiosira* sp. yang dikultur. Prinsip kerjanya memanfaatkan pigmen alami yang terkandung dalam pakan alami untuk menentukan nilai RGB warnanya. Nilai RGB warna yang diperoleh berfungsi sebagai indikator dalam menentukan kepadatan sel.

2.8 Analisis Data

Analisis data yang digunakan yaitu analisis deskriptif, di mana hasil kepadatan *Thalassiosira* sp. dan nilai RGB dianalisis secara deskriptif menggunakan tabel dan grafik.