

BAB I.PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Lobster air tawar (*Cherax quadricarinatus*) adalah krustasea berkaki sepuluh (Decapoda: Parastacidae), berukuran besar dan menarik berasal dari sungai yang mengalir ke arah barat di ujung barat laut Queensland dan Wilayah Utara di Australia, serta wilayah selatan Papua Nugini. Spesies ini pertama kali diperkenalkan ke masyarakat luas melalui peluncurannya pada akhir tahun 1980an di tenggara queensland sebagai spesies akuakultur 'matahari terbit' baru yang menarik dan merupakan sumber pendapatan potensial bagi budidaya perikanan (Jones & Ruscoe, 1996; Rigg *et al.*, 2020; Saoud *et al.*, 2012, 2013; Stumpf *et al.*, 2015; Webster *et al.*, 2004).

Lobster air tawar telah diperkenalkan sebagai spesies akuakultur untuk Argentina, Barbados, Ekuador, Guatemala, Malaysia, Mauritius, Meksiko, Kaledonia Baru, Samoa, Swaziland, dan Uruguay, Belize, Indonesia, Maroko, Panama, Spanyol, dan ke AS, di mana Lobster ini telah menunjukkan potensi untuk dibudidayakan di negara-negara bagian tenggara. Saat ini china Pemasok terbesar produk *Redclaw* ke pasar dunia (lebih dari 70%) (FAO, 2016, 2017; Hrynevych *et al.*, 2022; Masser *et al.*, 1997)

Lobster air tawar tumbuh dengan cepat dan dapat mencapai ukuran komersial kira-kira 50–100 g dalam waktu 5–6 bulan dalam kondisi optimal, Karakteristik positif lainnya mencakup perilaku tidak menggali, toleransi terhadap suhu 5 sampai 32°C, dengan suhu optimum 26-28 °C, salinitas hingga 10 ppt, konsentrasi oksigen rendah > 1 ppm, dan pH 6,5 – 9 (Calvo *et al.*, 2013; Jones & Ruscoe, 1996; Masser *et al.*, 1997; Shun *et al.*, 2020; Tropea *et al.*, 2010).

Lobster air tawar ini mulai di introduksi dan dibudidayakan di Indonesia sejak tahun 2000 dan salah satu komoditas akuakultur yang memiliki nilai ekonomi tinggi di Indonesia. Budidaya Lobster semakin diminati karena permintaan pasar yang tinggi dan potensi keuntungan yang besar. Dalam sistem budidaya Pertumbuhan dan kelangsungan hidup Lobster (*C. quadricarinatus*) dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain komposisi pakan, kepadatan penebaran, kualitas air, kondisi lingkungan dan usia (Mamuaya *et al.*, 2019; Naranjo-Páramo *et al.*, 2021; Needham, 1964)

Pengembangan produktivitas budidaya akuakultur, berbagai strategi telah dikembangkan, termasuk manipulasi pakan dan lingkungan. Probiotik merupakan strategi alternatif untuk kesehatan ikan dalam bisnis akuakultur karena ketidakpastian seputar penggunaan antibiotik dalam akuakultur. Probiotik, yang didefinisikan sebagai mikroorganisme hidup yang bermanfaat, yang jika dikonsumsi secara efektif, dapat meningkatkan kesehatan inang. (Bondad-Reantaso *et al.*, 2005; Guenard, 2021; Rahayu *et al.*, 2024).

Sedangkan Definisi yang lebih luas diberikan oleh Verschuere *et al.* yang menyatakan bahwa: “Probiotik adalah suplemen mikroorganisme hidup, dengan efek menguntungkan pada inang, dengan memodifikasi komunitas mikroba yang terkait dengan inang atau lingkungan budidayanya, dengan memastikan peningkatan pemanfaatan pakan buatan atau nilai gizinya, meningkatkan respons inang terhadap penyakit dan dengan meningkatkan kekuatannya secara umum”. (Hancz, 2022; Verschuere *et al.*, 2000)

Probiotik dapat dikategorikan berdasarkan jenis mikroorganisme (bakteri vs. non-bakteri), berdasarkan kemampuan membentuk spora (pembentuk spora vs. non-pembentuk spora), berdasarkan komposisi jenis mikroorganisme dalam produk (probiotik multi-strain vs. monostain), atau berdasarkan keberadaan mikroorganisme yang sama dalam mikroflora normal inang (Calcagnile *et al.*, 2024; Hai, 2015)

Probiotik dapat digunakan sebagai alternatif yang bermanfaat untuk meningkatkan produksi budidaya perikanan secara berkelanjutan. Pemilihan strain dan dosis yang tepat untuk spesies akuakultur tertentu diperlukan untuk mendapatkan manfaat yang diinginkan dari aplikasi probiotik. Probiotik dapat diberikan sebagai aditif air, aditif pakan dan melalui injeksi. Penerapan aditif pakan yang umumnya digunakan dalam akuakultur (Martínez Cruz *et al.*, 2012a; Subedi & Shrestha, 2020).

Penerapan probiotik memiliki berbagai manfaat dalam produksi akuakultur seperti meningkatkan kinerja pertumbuhan, efisiensi pakan, meningkatkan kualitas air dan ketahanan terhadap penyakit. (Hai, 2015; Ngasotter *et al.*, 2025; Subedi & Shrestha, 2020). Probiotik adalah kelompok aditif pakan fungsional yang berasal dari berbagai sumber dan mencakup prebiotik, probiotik, rumput laut, jamur, mikroalga, enzim, asam organik, pengikat mikotoksin, senyawa fitobiotik, dan ragi (El-Saadony *et al.*, 2021)

Suplementasi probiotik mampu meningkatkan pemanfaatan pakan dan penambahan berat badan pada hewan akuatik serta merangsang nafsu makan dan kelezatan pakan inang dengan memecah komponen yang tidak dapat dicerna, menghasilkan vitamin, dan mendetoksifikasi senyawa beracun dalam makanan. Probiotik meningkatkan ketahanan hewan akuatik terhadap stres yang disebabkan oleh bahaya lingkungan dan teknologi. Aplikasi penting lain dari bakteri menguntungkan, yaitu menyediakan pakan akuakultur alternatif yang menyediakan mikronutrien seperti vitamin, asam lemak, dan asam amino esensial selain makronutrien untuk mendukung pertumbuhan hewan akuatik yang sehat (Dawood *et al.*, 2019; Hancz, 2022; Mohapatra *et al.*, 2013; C. Wang *et al.*, 2020).

Jenis probiotik, *Lactobacillus spp.* (Ahmmed *et al.*, 2018; Didinen *et al.*, 2016; Foysal *et al.*, 2021; Foysal, Fotedar, *et al.*, 2020; Oktaviana & Febriani, 2021; Valipour *et al.*, 2019) dan *Bacillus spp.* (Ambas I *et al.*, 2015; D. Chen *et*

al., 2024; Foysal, Chua, *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2019; Linan-vidriales *et al.*, 2020; Z. Qiu *et al.*, 2023; Madani *et al.*, 2018; A. Wang *et al.*, 2019) telah menjadi fokus banyak penelitian karena potensinya yang menjanjikan dalam akuakultur. *Lactobacillus spp.*, bakteri asam laktat yang dikenal karena kemampuannya sebagai imunomodulator dan pendukung kesehatan saluran pencernaan melalui produksi asam laktat, bakteriosin, serta kompetisi dengan patogen di usus inang. Sementara itu, *Bacillus spp.* telah terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas air, menghasilkan enzim ekstraseluler seperti protease, amilase, dan lipase yang membantu pencernaan nutrisi, serta menghasilkan senyawa antimikroba seperti surfactin dan iturin yang efektif menghambat patogen (Hai, 2015; Pandiyan *et al.*, 2013; Ringø *et al.*, 2020; A. Wang *et al.*, 2019; Zokaeifar *et al.*, 2012). Berdasarkan uraian tersebut diatas, maka dipandang perlu untuk mengevaluasi kedua jenis probiotik tersebut terhadap performanya pada lobster air tawar.

1.2. Teori

1.2.1. Klasifikasi dan Morfologi

Klasifikasi dan morfologi Lobster air tawar (*C. quadricarinatus*) Spesies ini dideskripsikan dengan nama "*Astacus Quadricarinatus*" oleh ilmuwan Jerman Carl Eduard von Mortens pada tahun 1868 saat memproses material yang dikumpulkan selama ekspedisi Prusia ke Timur Jauh. Spesies ini kemudian berganti nama menjadi "*Cherax Quadricarinatus*" oleh Clark (1936). Saat ini spesies ini memiliki posisi sistematis sebagai berikut:

Kingdom: Animalia
 Type: Arthropoda
 Subtype: Crustaceans
 Class: Higher crayfish
 Order: Decapod crustaceans
 Family: Parastacidae
 Genus: Cherax
 Species: *Cherax quadricarinatus*

Lobster air tawar (*C. quadricarinatus*) merupakan perwakilan Lobster terbesar di benua Australia. Panjang tubuhnya dapat mencapai 20–25 cm. Berat jantan dapat mencapai 500 gram, dan betina dapat mencapai 400 gram. Pada jantan yang sudah matang secara seksual, dilihat warna merah terang pada capit. Karena ciri-ciri inilah spesies ini mendapat namanya *Redclaw* (Zharchynska *et al.*, 2022).

Tubuh *Redclaw* terdiri dari sefalotoraks dan perut. Sefalotoraks ditutupi pada sisi punggung dan samping oleh cangkang yang kuat (karapas), bagian lateralnya (brakiostegit) menutupi insang, membentuk ruang insang. Bagian depan karapas memanjang menjadi rostrum berbentuk baji panjang. Perut dibentuk oleh enam segmen yang saling terhubung secara bergerak dan sebuah telson. Tubuh *Redclaw* ditutupi dengan rangka luar yang keras, yang berasal dari kutikula dan berfungsi melindungi dan menopang. Organ indera

berkembang dengan baik. Pada pangkal antenula terdapat organ keseimbangan - statokista. Ia memiliki mata majemuk majemuk, dengan jumlah ommatidia yang banyak(Rigg *et al.*, 2020; Zharchynska *et al.*, 2022).

Adapun gambar *Redclaw* (*C.quadriacarinatus*) dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 1. *Redclaw* (*C.quadriacarinatus*) (Dok.Pribadi,2025)

1.2.2. Probiotik

Probiotik berasal dari dua kata Yunani, “pro” dan “bios”, yang jika digabungkan berarti “untuk kehidupan”. Akan tetapi, definisi awal istilah probiotik dikemukakan oleh Parker ,yang mendefinisikan mikroorganisme probiotik sebagai mikroorganisme yang berkontribusi terhadap keseimbangan mikrobiota usus. Seiring dengan munculnya temuan-temuan baru, beberapa definisi alternatif probiotik telah diajukan. Menurut FAO dan Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), probiotik adalah “mikroorganisme hidup yang, jika diberikan dalam jumlah yang cukup, memberikan manfaat kesehatan bagi inangnya”. Probiotik telah terbukti efektif dalam berbagai lingkungan perairan, termasuk air tawar , air laut, dan air payau(Gismondo *et al.*, 1999; Hill *et al.*, 2014; Lin *et al.*, 2021; Mohammed *et al.*, 2025; Mujeeb Rahiman *et al.*, 2010; Organization, 2001; Vijayan *et al.*, 2006).

Probiotik didefinisikan sebagai tambahan mikrobiota hidup yang memberikan efek menguntungkan dengan: (i) memodifikasi komunitas mikrobiota yang terkait dengan inang atau lingkungan , (ii) meningkatkan pemanfaatan pakan atau meningkatkan nilai gizinya, (iii) meningkatkan respon host terhadap penyakit , dan (iv) meningkatkan kualitas lingkungan sekitar .Efek umum dari suplementasi probiotik telah dilaporkan,termasuk peningkatan pemanfaatan pakan dan peningkatan berat pada ikan dan kerang. Lebih jauh lagi, dengan memecah komponen yang tidak dapat dicerna, menghasilkan vitamin, dan mendetoksifikasi bahan kimia makanan, probiotik dapat meningkatkan rasa enak pakan dan meningkatkan rasa lapar inang . Probiotik menghasilkan senyawa seperti peroksida, bakteriosin, siderofor, dan enzim lisozim,dan mereka juga memberikan efek fisiologis dan imunologis. Mereka menggunakan strategi ini untuk mencegah patogen dengan bersaing untuk tempat perlekatan dan dengan memproduksi bahan kimia lainnya(Hoseinifar *et al.*, 2024).

Probiotik dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti manusia, hewan akuatik, salju, tanah, sedimen, air tanah, air tawar, air laut, dan jumlah bakteri yang berbeda (10^2 – 10^{11} CFU/g) diamati di lingkungan biotik dan abiotik. Bakteri eksogen (dari udara, tanah, atau sumber manusia) dapat memasuki ekosistem air dan mengubah populasi mikroba di dalam air, yang menyebabkan kolonisasi bakteri berbeda di GIT hewan air. GIT hewan akuatik biasanya mengandung sekitar 10^2 – 10^9 CFU/g beban mikroba (El-Saadony *et al.*, 2021; Nimrat *et al.*, 2011; Verschuere *et al.*, 2000).

Probiotik dapat dikategorikan sebagai bakteri atau non-bakteri, pembentuk spora atau tidak membentuk spora, monostRAIN atau multistRAIN, dan probiotik alokton atau autokton. Probiotik monostRAIN hanya mengandung satu spesies. sedangkan probiotik multistRAIN mengandung campuran spesies, Probiotik alokton adalah probiotik yang berasal dari mikroorganisme yang umumnya tidak ditemukan di saluran pencernaan, misalnya khamir, sedangkan untuk probiotik autokton, mikroorganisme tersebut biasanya hidup di saluran pencernaan organisme itu sendiri. Contoh probiotik yang digunakan dalam akuakultur meliputi mikroalga (*Tetraselmis*), bakteri gram positif (*Lactococcus*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Clostridium*), bakteri gram negatif (*Photorhodobacteria*, *Pseudomonas* dan *Alteromonas*), dan khamir (*Saccharomyces* dan *Debaryomyces*). Secara umum, ada tiga metode yang digunakan dalam penerapan probiotik pada Akuakultur, yaitu: feed additives (penambahan melalui pelet suplemen), water additives (penambahan langsung ke kolam air kultivan), dan injection (penambahan langsung melalui suntikan ke inang) (Bajagai *et al.*, 2016; Hai, 2015; He *et al.*, 2011; Onomu & Okuthe, 2024; Rahayu *et al.*, 2024).

Lactobacillus spp merupakan genus terbesar dalam kelompok bakteri asam laktat (LABs). Genus *Lactobacillus* termasuk dalam filum Firmicutes, kelas Bacilli, ordo II “*Lactobacillales*” dan famili *Lactobacillaceae*. Bakteri bersifat Gram positif, berbentuk batang atau koksid, katalase dan oksidase negatif, tidak membentuk spora yang menghasilkan asam laktat sebagai produk akhir utama fermentasi. *Lactobacillus* memiliki kebutuhan nutrisi yang kompleks, perlu dipasok dengan karbohidrat, asam lemak atau asam lemak ester, garam, turunan asam nukleat dan vitamin. LAB terdiri dari lebih dari 200 spesies dan subspecies *Lactobacillus sp.*, serta *Lactococcus sp.*, *Streptococcus sp.*, *Enterococcus sp.*, dll., yang dapat digunakan sebagai probiotik. Sifat menguntungkan dari LAB adalah; mereka menghasilkan zat penghambat pertumbuhan seperti bakteriosin, hidrogen peroksida, diasil, dll.; mencegah berkembangbiakan bakteri patogen dan pembusuk dalam makanan, serta perlekatan dan kolonisasi patogen dalam saluran pencernaan (Archacka *et al.*, 2019; Katarzyna, 2021; Riaz Rajoka *et al.*, 2017; Ringø *et al.*, 2018; Shi *et al.*, 2019).

Lactobacillus adalah bakteri anaerob fakultatif yang toleran terhadap asam, dan bersifat homofermentatif atau heterofermentatif; homofermentatif menghasilkan asam laktat dari gula, sedangkan heterofermentatif menghasilkan

asam laktat, asam asetat atau alkohol, dan karbon dioksida. Strain probiotik *Lactobacillus* memiliki kemampuan untuk melakukan biosintesis berbagai macam senyawa aktif biologis dengan berat molekul rendah dengan potensi signifikan untuk memerangi patogen dengan berbagai resistensi obat. Karakteristik utama probiotik berkontribusi terhadap efek biologis ini, termasuk kelangsungan hidup di saluran pencernaan, kemampuan strain untuk melakukan autoagregasi dan tumbuh, pembentukan biofilm untuk perlindungan terhadap stresor lingkungan, dan manifestasi efektif tindakan probiotik di usus. Menurut hasil penelitian jangka panjang, telah ditunjukkan bahwa efek positif *Lactobacillus* juga terkait erat dengan spektrum luas molekul aktif biologis, asam organik, persaingan untuk tempat adhesi, dan nutrisi (De Angelis & Gobetti, 2016; Ringø *et al.*, 2018; Sidorova, 2024)

Lactobacillus menghasilkan sejumlah zat, termasuk asam laktat, hidrogen peroksida, diasetil, dan bakteriosin, yang bersifat menghambat bakteri lain. Bakteriosin dapat didefinisikan secara longgar sebagai protein yang diproduksi oleh bakteri yang bersifat bakterisida (bakteriostatik) terhadap bakteri yang berkerabat dekat. Namun, banyak bakteri Gram positif mensintesis bakteriosin yang juga aktif terhadap bakteri yang tidak berkerabat. Bakteriosin dari bakteri asam laktat adalah peptida heterogen yang sebelumnya diklasifikasikan ke dalam lima kelompok. Bakteriosin diketahui menghasilkan zat-zat dengan aktivitas antimikroba seperti reuterin, bakteriosin, peptida antijamur. Di antara zat-zat tersebut, bakteriosin, peptida ekstraseluler yang disintesis secara ribosom atau molekul protein dengan mekanisme kerja bakteriosidal atau bakteriostatik dalam kaitannya dengan berbagai jenis mikroorganisme menempati tempat khusus (Chizhayeva *et al.*, 2022; De Angelis & Gobetti, 2016; Kaktcham *et al.*, 2018).

Bacillus spp adalah bakteri berbentuk batang Gram-positif, kemoheterotrofik yang biasanya bergerak dengan flagela peritrik dan tidak memiliki kapsul, bersifat aerobik atau anaerobik fakultatif dan katalase positif. *Bacillus spp* menghasilkan spora yang mungkin berbentuk silinder, oval atau bulat, atau berbentuk ginjal dan lebih tahan terhadap desinfektan, pengeringan, dan panas dibandingkan dengan sel vegetatifnya sehingga tetap dapat hidup dalam jangka waktu yang lama. Terdapat satu spora per sel dan sporulasi tidak terhambat oleh paparan udara. Pada media non-selektif, *Bacillus spp*. biasanya menunjukkan koloni besar dan datar serta sering kali bersifat beta-hemolitik. Dengan beberapa pengecualian, *Bacillus* bersifat katalase positif dan aerobik yang membedakannya dari *Clostridia* dan *Sporo Lactobacillus*. Anggota genus *Bacillus* biasanya ditemukan di tanah dan air. Bakteri yang digunakan dalam akuakultur biasanya diisolasi dari tanah, air kolam, saluran pencernaan ikan, dan sumber komersial (Afrilasari *et al.*, 2016; Amin *et al.*, 2015; Kuebutornye *et al.*, 2019).

Bacillus memiliki keunggulan karena sifatnya yang non-patogen, produksi berbagai antimikroba dan eksoenzim, serta kemampuan sporulasinya untuk bertahan dalam lingkungan yang keras (Verschuere *et al.*,

2000; Y. Zhou *et al.*, 2020). Selain itu, banyak penelitian terkini membuktikan kemampuan berbagai spesies *Bacillus* untuk meredam kuorum, yang mencegah proliferasi dan virulensi banyak pathogen akuatik (Chen *et al.*, 2020; Defoirdt *et al.*, 2011; Tinh *et al.*, 2013)

Bacillus memiliki spora sangat tahan terhadap kondisi fisik, kimia, dan lingkungan eksternal karena organisasi strukturalnya. Oleh karena itu, ia dapat bertahan di lingkungan untuk waktu yang lama tanpa kehilangan viabilitasnya. *Bacillus* Umumnya mengandung banyak eksoenzim yang sebagian besar membantu dalam pencernaan bahan organik, dan *Bacillus* juga menghasilkan beberapa senyawa antimikroba yang menekan pertumbuhan mikroba berbahaya lainnya (Henriques & Moran, 2000; James *et al.*, 2021; Nicholson *et al.*, 2000)

Penerapan *Bacillus spp.* dalam akuakultur meningkatkan pertumbuhan spesies yang dibudidayakan, karena meningkatkan nafsu makan atau memperbaiki daya cerna dengan produksi eksoenzim dalam penyerapan dengan mengubah morfologi usus (Irianto & Austin, 2002; Selim & Reda, 2015). Pemanfaatan enzim mikroba untuk meningkatkan pemecahan nutrisi, sehingga meningkatkan pencernaan pada organisme inang, merupakan cara kerja penting dari setiap probiotik. *Bacillus* kaya akan enzim eksogen seperti lipase, protease, amilase, fitase, kitinase, selulase, dan α -1,3-glukanase, yang membantu memecah nutrisi dan meningkatkan pencernaan. Di samping itu, *Bacillus* menghasilkan nutrisi seperti asam amino, vitamin K, dan vitamin B12, yang meningkatkan pertumbuhan ikan. Enzim-enzim ini juga membantu lisis komponen dinding sel, seperti protein, kitin, selulosa, dan α -1,3(1,6)-glukan dari mikroba patogen (Jadhav *et al.*, 2017; James *et al.*, 2021; Ringø, 2020)

Spesies *Bacillus spp* memiliki karakteristik seperti penghambatan patogen dengan bersaing untuk tempat adhesi dengan mikroba patogen untuk menghambat pertumbuhan mereka serta produksi antibiotik dan bakteriosin, penghambatan ekspresi gen virulensi (quorum quenching) dan produksi enzim litik seperti protease, kitinase, selulase, dan α -1,3-glukanase yang melisiskan dinding sel mikroba patogen. Karakteristik lain dari *Bacillus* adalah penyediaan nutrisi dan pencernaan enzimatik yang meningkatkan pertumbuhan melalui sekresi enzim pencernaan. Spesies *Bacillus* juga dikenal karena efek imunostimulasi dan stimulasi mikroflora usus yang bermanfaat sehingga meningkatkan kekebalan bawaan dan adaptif inang. Seperti yang disebutkan oleh Li *et al.* dan Hindu *et al.*, spesies *Bacillus* sebagai probiotik dapat menghasilkan enzim antioksidan misalnya SOD dan glutathione untuk menghilangkan radikal bebas secara efektif. Baik dalam serum atau lendir, *Bacillus* mampu memodulasi aktivitas antioksidan (Kuebutornye *et al.*, 2019; Reimmann *et al.*, 2002; Stein, 2005; Urdaci *et al.*, 2018).

Beberapa *Bacillus spp.* menghasilkan senyawa antimikroba yang menunjukkan berbagai macam sifat antimikroba terhadap patogen. Antimikroba utama yang diproduksi oleh *Bacillus* meliputi basitrasin, laterosporin, gramisidin, tirosidin, polimiksin, mikobasillin, basilisodin, difisidin, lipopeptida (basilomisin,

iturin, dan fengisin), oksidifisidin, zwittermisin, surfaktin, subtilin, likenisidin, pumivitisin, sonorensin, erisin A, dan erisin S, yang dilaporkan dapat menghambat pertumbuhan beberapa patogen akuatik. Perlu dicatat, beberapa senyawa ini memiliki toksisitas rendah dan biodegradabilitas tinggi (Caulier *et al.*, 2019; Kumar *et al.*, 2016; Nayak, 2021).

Bacillus spp. mengandung beberapa elemen aktif secara biologis, yang mengaktifkan kekebalan lokal dan sistemik ikan inang melalui mekanisme imunostimulasi dan imunoregulasi. Penggunaan probiotik *Bacillus* meningkatkan jumlah sel imun seperti leukosit, limfosit, monosit dan sel goblet, serta eritrosit dan berinteraksi dengan sel imun seperti neutrofil, makrofag, monosit, dan sel pembunuh alami (NK) untuk menginduksi dan meningkatkan respons imun bawaan (Gresma, 2021; Irianto & Austin, 2002; Kumar *et al.*, 2016).

Penelitian pada *Lobster air tawar* tentang penggunaan probiotik. Terkait peningkatan kinerja pertumbuhan, aktivitas enzim pencernaan, fungsi antioksidan, respon imun, dan ketahanan penyakit. Beberapa penelitian sebelumnya telah menguji penggunaan probiotik dengan *C. quadricarinatus*, dimana Amrullah & Wahidah (2019) menemukan peningkatan berat badan hingga 7,30 g, 2,63 g lebih tinggi dari perlakuan kontrol dan dengan tingkat kelangsungan hidup 73% saat memberi makan spesies tersebut dengan diet yang dilengkapi dengan tiga konsentrasi campuran probiotik *Micrococcus spp* yang berbeda. Efek ini dapat disebabkan oleh perilaku simbiosis probiotik, selain merangsang mikrobiota saluran pencernaan dengan biota usus yang lebih efisien dan memodifikasi pemilihan enzim bakteri. Méndez-Martínez *et al.*, (2022) penggunaan probiotik multistrain (*Saccharomyces cerevisiae* (5×10^5 CFU/ml), *Lactobacillus acidophilus* (5×10^5 CFU / mL) dan *Bacillus spp.* (5×10^5 CFU / mL). Mendapatkan hasil terbaik ($p < 0,05$) diperoleh saat menggunakan 4×10^2 μ L probiotik (berat akhir: 9,11 g; panjang akhir: 68,95 mm; laju pertumbuhan spesifik: 3,74) di bandingkan kontrol.

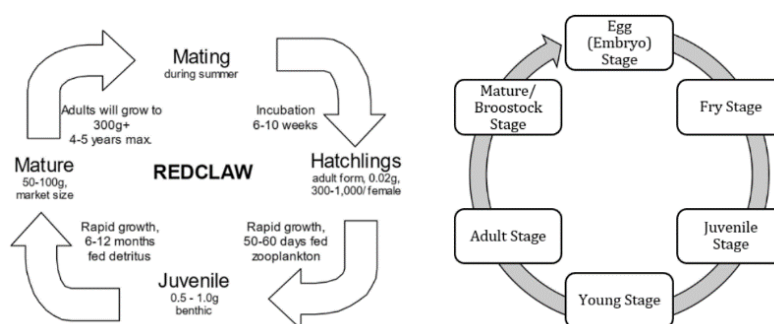
1.2.3. Siklus Hidup

Keunggulan utama budidaya *Redclaw* dibandingkan dengan krustasea dan ikan lainnya adalah siklus hidupnya yang lebih sederhana. Karakteristik yang paling menonjol adalah tidak adanya tahap larva yang hidup bebas. *Redclaw* yang telah berumur lebih dari 6 bulan dapat dijadikan calon induk dan siap dikawinkan. Perkawinan dapat dilakukan dalam satu kelompok *Redclaw* yang terdiri dari 1 ekor *Redclaw* jantan dan 4 ekor *Redclaw* betina (Jones, 1995c).

Perkawinan massal dapat dilakukan dalam jumlah 6 kelompok *Redclaw* per m². Betina dapat menghasilkan 300-1000 telur yang terlihat di perutnya 10-15 hari setelah perkawinan. Telur-telur tersebut dierami oleh betina selama 1,5-2 bulan. Telur yang menetas akan disimpan oleh induknya di bawah perutnya selama 10-12 hari. Telur akan dipisahkan dari induk atau pleopoda yang memasuki fase burayak (larva). Burayak berukuran panjang 4-7 mm dan umur

3 - 5 hari. Fase selanjutnya adalah perubahan burayak menjadi juvenil berukuran <1 cm, pada usia 8-15 hari, hingga 1-3 cm (1 inci) pada usia 20-30 hari (Hidayah, 2024; Jones, 2015).

Anakan *Redclaw* yang sudah berumur 1 bulan atau lebih harus disortir berdasarkan ukuran dengan tujuan agar pertumbuhannya merata dan terhindar dari kanibalisme. Anakan *Redclaw* akan tumbuh menjadi *Redclaw* muda yang mulai menyerupai *Redclaw* dewasa, memiliki cangkang kepala dan cangkang badan serta mengalami pergantian kulit secara berulang-ulang. Ukuran *Redclaw* muda pada umur 60-90 hari adalah 5-7 cm (2-3 inci). Pembudidayaan selama 6-8 bulan menghasilkan *Redclaw* dewasa yang siap di panen. (Hidayah, 2024; C. Jones, 2015; Rigg *et al.*, 2021).



Gambar 2. Siklus Hidup *Redclaw* (Hidayah, 2024; C. Jones, 2015)

1.2.4. Pertumbuhan

Pertumbuhan pada *Redclaw* merupakan proses akumulasi biomassa yang menghasilkan peningkatan ukuran dan berat badan seiring waktu. Proses ini ditandai dengan siklus molting, di mana *Redclaw* melepaskan eksoskeleton lamanya dan tumbuh sebelum cangkang baru mengeras (Jones, 2015). Pertumbuhan *Redclaw* dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, nutrisi, dan fisiologis (Jones & Ruscoe, 2001). Faktor-faktor ini saling berinteraksi dan menentukan kecepatan pertumbuhan, kelangsungan hidup, serta produktivitas dalam budidaya. Suhu air merupakan salah satu faktor paling kritis dalam pertumbuhan *Redclaw* (Jones, 1994).

Spesies ini tumbuh optimal pada kisaran suhu 24–30°C, di mana metabolisme dan aktivitas makannya maksimal. Suhu di bawah 20°C dapat memperlambat laju pertumbuhan karena menurunnya frekuensi molting, sementara suhu di atas 32°C dapat menyebabkan stres dan kematian (Saoud *et al.*, 2013).

Nutrisi juga memegang peranan penting dalam pertumbuhan *C. quadricarinatus*. Kebutuhan protein untuk juvenil berkisar antara 30–40%, dengan sumber protein hewani seperti tepung ikan memberikan hasil pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan sumber nabati (Thompson *et al.*,

2005). Selain itu, kadar lemak optimal sekitar 6–8% diperlukan untuk mendukung energi tanpa menyebabkan penumpukan lemak berlebihan (C. Jones, 2015).

Proses molting (penggantian kulit) sangat menentukan pertumbuhan *Redclaw* mengalami molting lebih sering pada fase juvenil, yaitu setiap 2–3 minggu, sedangkan dewasa melakukannya setiap 1–2 bulan (Hartnoll, 2001). Frekuensi molting dipengaruhi oleh nutrisi, suhu, dan tingkat stres, sehingga kepadatan tinggi (>30 ekor/m²) dapat meningkatkan kompetisi pakan dan ruang, menyebabkan stres serta kanibalisme (Karplus & Barki, 2004). Kepadatan ideal untuk pertumbuhan optimal adalah 10–20 ekor/m², yang meminimalkan persaingan dan memungkinkan distribusi pakan yang merata (Thompson *et al.*, 2005).

Kualitas air, termasuk oksigen terlarut (DO), pH, dan amonia, sangat memengaruhi pertumbuhan. DO di bawah 5 mg/L dapat menghambat pertumbuhan, sementara kadar amonia di atas 0,5 mg/L bersifat toksik (Saoud *et al.*, 2013). pH air yang ideal adalah 6,5–9 untuk menjaga keseimbangan fisiologis *Redclaw*.

Faktor genetik juga berperan dalam pertumbuhan *Redclaw*. Program seleksi breeding telah berhasil mengidentifikasi strain dengan pertumbuhan lebih cepat, menunjukkan potensi peningkatan produktivitas melalui rekayasa genetik (Jerry *et al.*, 2005).

Siklus cahaya (fotoperiod) memengaruhi aktivitas makan dan molting. Siklus jam 12 terang/12 jam gelap mendukung pertumbuhan yang stabil. Hierarki sosial dan kanibalisme dapat menyebabkan pertumbuhan tidak merata. Individu dominan cenderung menguasai pakan, sementara yang lebih kecil terhambat pertumbuhannya (Hartnoll, 2001). Untuk mengurangi dampak ini, grading ukuran secara rutin diperlukan. Stres akibat penanganan atau kondisi lingkungan yang buruk dapat meningkatkan hormon kortisol, yang menghambat pertumbuhan (Jerry *et al.*, 2005).

1.2.5. Sintasan

Kelangsungan hidup dapat juga didefinisikan sebagai nilai persentase jumlah kultivan yang hidup selama penelitian. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kelangsungan hidup *Redclaw* (*C. quadricarinatus*) meliputi kualitas air, periode cahaya, komposisi makanan, desain sistem kultur, dan praktik penebaran. Mengoptimalkan kondisi ini dapat meningkatkan tingkat kelangsungan hidup secara signifikan dalam lingkungan akuakultur. (Mauro *et al.*, 2024; Saoud *et al.*, 2013; Shun *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2018).

Parameter kualitas air merupakan faktor krusial yang mempengaruhi survival rate *Redclaw*. Pengelolaan suhu, pH, dan parameter air lainnya yang tepat sangatlah penting. Media air tawar dengan parameter kualitas air standar menghasilkan tingkat kelangsungan hidup tertinggi (hingga 97%) dibandingkan dengan jenis media lainnya. Suhu air merupakan salah satu faktor lingkungan terpenting yang secara langsung mempengaruhi kelangsungan hidup, pertumbuhan, dan metabolisme hewan poikilotherm akuatik (de Souza *et al.*,

2016; Donaldson *et al.*, 2008). Perubahan suhu lingkungan akan menimbulkan efek stres pada hewan air, dan untuk mengatasi dan mengurangi efek perubahan suhu, hewan air memulai modulasi yang sesuai dalam metabolisme fisiologis dan biokimia. Ketika pengaturan mereka sendiri tidak cukup untuk mengatasi tekanan, hewan air akan menghasilkan serangkaian reaksi patologis, bahkan kematian (J. Qiu *et al.*, 2011; M. Zhou *et al.*, 2011). Biologi *C. quadricarinatus* dimodulasi oleh suhu dalam banyak aspek lainnya. King, (1994) dan Jones, (1995a) mempelajari efek suhu air yang berbeda pada pertumbuhan dan kelangsungan hidup burayak dan juvenil, masing-masing. Pertumbuhan juvenil paling baik antara 24 dan 28 °C dan sangat berkurang di bawah 20 °C dan di atas 34 °C, sementara kelangsungan hidup mereka secara signifikan lebih rendah pada 34 °C (Jones, 1995a). Burayak mencapai laju pertumbuhan maksimum pada sekitar 30 °C, sementara 15 °C mematikan (King, 1994). Efek suhu pada kelangsungan hidup dan durasi perkembangan dari ekstrusi telur hingga tahap juvenil juga diselidiki, dengan kedua parameter menurun dengan meningkatnya suhu (García-Guerrero *et al.*, 2003). Semua penelitian ini menganalisis efek suhu pada tahap-tahap tertentu dari siklus hidup spesies. Kandungan oksigen terlarut yang disarankan minimal 4 mg/L, dengan level optimal di atas 5 mg/L untuk mendukung pertumbuhan yang baik (Jones, 1995a; Saoud *et al.*, 2013; Shun *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2018).

pH air juga sangat mempengaruhi tingkat kelangsungan hidup. *Redclaw* memiliki kisaran alami yang mencakup gradien lingkungan (pH) yang curam, dengan populasi yang hidup di perairan dengan pH rendah (sekitar 6) (Queensland utara, Australia) serta pH yang lebih tinggi (sekitar 8) (Northern Territory, Australia). Toleransinya yang tinggi (hingga pH 9) (Haubrock *et al.*, 2021; Lawrence, 1998; Masser *et al.*, 1997). Namun, kisaran pH yang lebih sempit yaitu 7–8 direkomendasikan untuk kultur tersebut. Kondisi air yang terlalu asam ($\text{pH} < 6,5$) atau terlalu basa ($\text{pH} > 9,0$) dapat menyebabkan stres fisiologis dan menghambat proses pembentukan eksoskeleton yang mengandung kalsium karbonat, sehingga mempengaruhi proses molting dan kelangsungan hidup (Haubrock *et al.*, 2021; Masser *et al.*, 1997).

Kadar amonia dan nitrit merupakan faktor penting lainnya. *Redclaw* tampaknya relatif toleran terhadap amonia. Tidak ada kematian yang diamati pada juvenil awal (berat 10–25 mg; perlu dicatat bahwa istilah penetasan yang sering digunakan dalam literatur tidak selalu merujuk pada juvenil tahap satu saja) yang terpapar konsentrasi total nitrogen amonia (TAN) hingga 25 mg/L (nitrogen amonia terionisasi ($\text{NH}_3\text{-N}$) 0,54 mg/L; pH 7,5, 28 °C). Nilai TAN 96hLC₅₀ adalah 45,9 mg/L, sedangkan $\text{NH}_3\text{-N}$ adalah 0,98 mg/L (Haubrock *et al.*, 2021). Akan tetapi, hasil dari penelitian tertentu berbeda-beda, tergantung pada kondisi eksperimen tertentu. Jiang *et al.*, (2012) melaporkan toksisitas akut yang lebih tinggi pada juvenil yang relatif maju (1,2 g), nilai TAN 96hLC₅₀ 15,38 mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 0,36 mg/L (pH 7,6, 26 °C). Sebaliknya, toksisitas 96hLC₅₀ yang lebih rendah ditemukan oleh Liu *et al.* (1995) (TAN 16,8 mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 2,92 mg/L; berat 0,7 g, pH 8,6, 24 °C) dan Rouse *et al.* (1995) (TAN 29,3 mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 4,4

mg/L; berat 0,10-0,14 g, pH 8,3, 28 °C). Meskipun demikian, konsentrasi tersebut jarang terlihat dalam sistem akuakultur yang dikelola dengan baik atau di alam liar. Masser *et al.*, (1997) direkomendasikan untuk menjaga TAN di bawah 0,5 mg/L dalam akuakultur. Perbedaan di antara toleransi yang dilaporkan dapat dikaitkan dengan perbedaan usia, suhu, pH air, jenis hewan yang digunakan, atau bahkan riwayat fisiologis hewan yang digunakan. Investigasi lebih lanjut tampaknya diperlukan sebelum kesimpulan akhir tentang toleransi *Redclaw* terhadap amonia dibuat. Meskipun demikian, semua LC₅₀ nilai-nilai yang dilaporkan di atas sangat jarang ditemukan dalam sistem budidaya akuakultur yang dikelola dengan baik dan dengan demikian amonia cair bukanlah ancaman besar bagi budidaya *Redclaw*.

Nitrit (NO₂) juga bersifat toksik dan konsentrasinya sebaiknya di bawah 0,5 mg/L. Akumulasi amonia dan nitrit biasanya terjadi akibat pemberian pakan berlebih, kepadatan tebar yang tinggi, atau sistem filtrasi yang tidak memadai. Nitrit umumnya lebih beracun daripada amonia bagi hewan air tawar. Nitrit 96-h LC₅₀ untuk juvenil *Redclaw* dilaporkan 4,7 mg / L NO₂ - N (Liu dkk. 1995). Di sisi lain, Meade and Stephen, (1995) melaporkan toleransi yang jauh lebih tinggi terhadap toksisitas nitrit oleh juvenile *Redclaw*-96-h LC₅₀ dari 25,9 mg/L nitrit. Alasan yang mungkin untuk tingkat toleransi nitrit yang tinggi ini adalah konsentrasi klorida yang lebih tinggi yang digunakan dalam penelitian oleh (Meade and Stephen, 1995). Nilai yang lebih rendah (1,09 mg/L nitrit-N) dilaporkan untuk burayak (Rouse *et al.* 1995). Secara signifikan, setelah paparan 24 jam terhadap nitrit 0,4 mg/L, pertumbuhan selada merah menurun sebesar 17% dan kelangsungan hidup sebesar 5%. Paparan nitrit 0,6 mg / L selama 24 jam menurunkan pertumbuhan sebesar 67% dan kelangsungan hidup sebesar 48%. Tidak ada kematian yang dilaporkan pada *Redclaw* yang terpapar konsentrasi nitrat hingga 1000 mg/L (Meade and Stephen, 1995).

Juvenil *Redclaw* tampaknya lebih toleran terhadap air asin dari pada burayak (Jones, 1995b; Prymaczok *et al.*, 2008). Prymaczok *et al.*, (2008) mengevaluasi kapasitas pengaturan ionik juvenil *C. quadricarinatus* menanggapi salinitas mulai dari 0 hingga 35 g / L untuk jangka waktu 3 minggu dengan mempelajari pertumbuhan dan kadar Na⁺, K⁺, metabolit organik (glukosa dan laktat), dan asam amino bebas pada otot dan hemolimfa. Kinerja pertumbuhan dan kelangsungan hidup berkurang pada *Redclaw* yang terpapar salinitas lebih besar dari 15 g / L untuk waktu yang lama. Kadar glukosa dan laktat meningkat setelah terpapar salinitas tinggi dan hiper-regulasi kedua bahan kimia diamati hingga salinitas 15 g / L. Selanjutnya, kandungan asam amino bebas dalam plasma meningkat bersamaan dengan natrium hemolimfa. Menariknya, bagaimanapun, rasa daging *Redclaw* meningkat dengan salinitas air sehingga Prymaczok dkk. (2008) merekomendasikan peningkatan salinitas air untuk pengkondisian selada merah selama minggu-minggu terakhir sebelum panen. Jones, (1995b) melaporkan tidak ada pengaruh salinitas hingga 12 g / L terhadap kelangsungan hidup *redclaw* dewasa, yang menguatkan temuan (Prymaczok *et al.*, 2008)

Kinerja pertumbuhan maksimum *Redclaw* dilaporkan pada salinitas 0 dan 5 g/L (kisaran yang diuji 0-30 g / L), sedangkan mortalitas meningkat pada salinitas lebih besar dari 5 g / L (Meade *et al.*, 2002). Meskipun laju penetasan *Redclaw* menurun dengan peningkatan salinitas air (kisaran yang diuji dari 1,0 hingga 20,0 g/L) (Anson dan Rouse 1994), tidak ada perbedaan pertumbuhan yang signifikan yang dilaporkan untuk burayak yang dipelihara pada salinitas mulai dari 0,3 hingga 14 g / L (kisaran yang diuji 0,3 - 40 g / L) untuk 12 (Austin 1995). Mirip dengan remaja, *Redclaw* dewasa tampaknya toleran terhadap air payau. Jones (1995b) melaporkan kelangsungan hidup yang tinggi untuk *Redclaw* dewasa yang dipertahankan pada salinitas hingga 12 g / L selama 3 minggu sementara Austin (1995) mengamati kelangsungan hidup yang tinggi untuk individu yang dipertahankan selama 12 minggu pada 14 g / L.

Fotoperiode: Fotoperiode 18 jam terang : 6 jam gelap (18L:6D) secara signifikan meningkatkan tingkat kelangsungan hidup dan meningkatkan respons imun pada juvenil. Kondisi 18L:6D dan cahaya terus-menerus (24L:0D) menghasilkan kelangsungan hidup tertinggi, tetapi 18L:6D direkomendasikan untuk kesehatan dan pertumbuhan yang optimal (Nie *et al.*, 2024)

Ketersediaan tempat berlindung (shelter) juga berpengaruh signifikan terhadap survival rate. *Redclaw* memiliki perilaku kanibalisme, terutama saat *Redclaw* mengalami molting dan ketika kepadatan tebar tinggi. Penelitian menunjukkan bahwa penyediaan shelter yang memadai, seperti pipa PVC, batu, atau tanaman air, dapat meningkatkan tingkat kelangsungan hidup hingga 25-30% dibandingkan dengan kolam tanpa shelter (Shun *et al.*, 2020). Desain dan material shelter juga mempengaruhi efektivitasnya terhadap peningkatan tingkat kelangsungan hidup. Shelter dengan struktur kompleks seperti pipa PVC berlubang, bambu, atau batu bata berlubang memberikan perlindungan yang lebih baik dibandingkan shelter sederhana. Penelitian yang dilakukan oleh Rouse dan Yeh (1999) menunjukkan bahwa rasio shelter terhadap jumlah individu sebesar 1:1 menghasilkan tingkat kelangsungan hidup terbaik (>85%), sementara rasio 1:3 masih memberikan tingkat kelangsungan hidup yang dapat diterima (>75%).

Aspek nutrisi berperan penting dalam kelangsungan hidup *Redclaw*. Pakan dengan kandungan protein 30-40% memberikan hasil optimal untuk pertumbuhan dan survival rate. Kekurangan nutrisi penting seperti kalsium dapat menghambat proses molting dan menurunkan daya tahan tubuh terhadap penyakit. Frekuensi pemberian pakan sebanyak 2-3 kali sehari dengan jumlah 3-5% dari bobot biomassa dianggap ideal (Thompson *et al.*, 2005).

Padat tebar (stocking kepadatan) memiliki hubungan terbalik yang kuat dengan tingkat kelangsungan hidup dalam budidaya *Redclaw*. Kepadatan yang tinggi meningkatkan kompetisi untuk ruang, makanan, dan oksigen, serta meningkatkan akumulasi metabolit toksik dalam udara. Jones dan Lawrence (1999) menemukan bahwa tingkat kelangsungan hidup menurun secara eksponensial ketika tebar padat melebihi 50 ekor/m² untuk remaja dengan ukuran 2-5 gram. Penelitian komparatif yang dilakukan oleh Mills (2000)

menunjukkan bahwa pada padat tebar rendah (20 ekor/m²), tingkat kelangsungan hidup dapat mencapai 90-95%, sementara pada padat tebar tinggi (100 ekor/m²), tingkat kelangsungan hidup turun menjadi 60-70%. Penurunan tingkat kelangsungan hidup pada kepadatan tinggi juga dikaitkan dengan peningkatan perilaku agresif dan kanibalisme, terutama selama periode molting ketika *Redclaw* dalam kondisi rentan.

1.2.6. Produksi

Produksi dalam akuakultur merupakan indikator kuantitatif yang digunakan untuk mengukur efisiensi dan keberhasilan sistem budidaya perairan. Menurut Chopin et al., (2001), Produksi mencakup berbagai aspek mulai dari pertumbuhan organisme budidaya, konversi pakan, hingga tingkat kelangsungan hidup yang secara kolektif menentukan produktivitas sistem akuakultur. Parameter-parameter ini berfungsi sebagai alat evaluasi untuk mengoptimalkan proses produksi dan memastikan keberlanjutan ekonomi usaha budidaya. Sedangkan menurut Stickney (2017) menekankan bahwa parameter produksi dalam akuakultur harus dipahami sebagai sistem terintegrasi yang saling mempengaruhi. Setiap parameter tidak berdiri sendiri, melainkan berinteraksi dengan parameter lainnya dalam menciptakan output produksi yang optimal. *Redclaw* merupakan spesies yang menjanjikan untuk akuakultur air tawar, tetapi produksinya dipengaruhi oleh genetika, praktik pembiakan, kemajuan teknologi, dan kondisi lingkungan regional. Produksi *Redclaw* memerlukan pengelolaan yang cermat terhadap berbagai parameter lingkungan dan biologis untuk mengoptimalkan kinerja pertumbuhan, tingkat kelangsungan hidup, dan efisiensi produksi secara keseluruhan. Memahami interaksi kompleks antara kualitas air, nutrisi, kepadatan stok, dan faktor lingkungan sangat penting untuk keberhasilan operasi akuakultur (Jones & Ruscoe, 2001; Karplus & Barki, 2004).

Suhu air merupakan faktor lingkungan paling kritis yang memengaruhi metabolisme, pertumbuhan, dan kelangsungan hidup *Redclaw*, dengan kisaran optimal antara 22-30°C untuk kinerja pertumbuhan maksimum (García-Ulloa et al., 2012). Suhu di bawah 18°C secara signifikan mengurangi aktivitas makan dan laju pertumbuhan, sementara suhu yang melebihi 32°C dapat menyebabkan stres fisiologis dan peningkatan mortalitas (Fotedar, 2004). Konsentrasi oksigen terlarut harus dipertahankan di atas 5,0 mg/L untuk pertumbuhan yang optimal, meskipun *Redclaw* dapat mentoleransi kadar serendah 2,0 mg/L untuk waktu yang singkat karena kemampuannya untuk memanfaatkan oksigen atmosfer (Snovsky & Galil, 2011). Kadar pH antara 7,0-8,5 memberikan kondisi optimal untuk produksi *Redclaw*, karena kondisi asam di bawah 6,5 dapat mengganggu proses pergantian kulit dan pembentukan cangkang (Jones, 1995d).

Kepadatan penebaran secara signifikan memengaruhi kinerja pertumbuhan, kelangsungan hidup, dan efisiensi produksi dalam sistem akuakultur, *Redclaw* dengan kepadatan optimal bervariasi menurut jenis sistem kultur dan intensitas manajemen (Jones & Ruscoe, 2000). Dalam sistem kolam,

kepadatan penebaran 2-4 individu per meter persegi biasanya menghasilkan hasil biomassa optimal sambil mempertahankan tingkat pertumbuhan dan persentase kelangsungan hidup yang dapat diterima (Karplus & Barki, 2004). Kepadatan penebaran yang lebih tinggi di atas 6 individu per meter persegi sering kali mengakibatkan peningkatan persaingan untuk makanan dan tempat berlindung, yang mengarah pada penurunan tingkat pertumbuhan individu dan peningkatan variasi ukuran dalam populasi (Rodríguez-González et al., 2009). Sistem resirkulasi intensif dapat mendukung kepadatan penebaran yang lebih tinggi yaitu 8-12 individu per meter persegi ketika manajemen kualitas air yang memadai dan aerasi tambahan disediakan (Lawrence, 1998).

Kebutuhan protein untuk *Redclaw* bervariasi menurut tahap kehidupan, dengan juvenil membutuhkan 35-40% protein kasar untuk pertumbuhan optimal sementara dewasa berkinerja baik pada diet yang mengandung 25-30% protein. Sumber protein berkualitas tinggi termasuk tepung ikan, tepung udang, dan bungkil kedelai menyediakan asam amino esensial yang diperlukan untuk pertumbuhan dan proses pergantian kulit. Kandungan lipid harus terdiri dari 6-10% dari diet, dengan asam lemak esensial memainkan peran penting dalam fungsi membran dan keberhasilan pergantian kulit. Pemanfaatan karbohidrat pada *redclaw* terbatas dibandingkan dengan spesies akuakultur lainnya, dengan karbohidrat yang dapat dicerna terdiri tidak lebih dari 20-25% dari diet yang diformulasikan (Cortés-Jacinto et al., 2003; D'Abramo & Robinson, 1989; Fotadar, 2004; Z. Jiang et al., 2024; Lu et al., 2023; Mauro et al., 2024).

Penyediaan tempat berteduh yang memadai sangat penting untuk produksi capit merah karena mengurangi interaksi agresif, menyediakan tempat berlindung bagi capit merah saat berganti kulit, dan meningkatkan kapasitas daya tampung sistem kultur yang efektif. Tempat berteduh buatan termasuk pipa PVC, potongan bambu, dan kantong jaring dapat meningkatkan tingkat kelangsungan hidup hingga 15-25% dibandingkan dengan sistem substrat kosong. Luas permukaan tempat berteduh harus sama atau melebihi 100% dari luas dasar kolam untuk mengakomodasi perilaku teritorial alami dan mengurangi kanibalisme selama periode pergantian kulit yang rentan. Vegetasi alami dan struktur yang terendam memberikan manfaat tambahan termasuk peningkatan kualitas air melalui penyerapan nutrisi dan penyediaan sumber makanan alami (Jones, 2015; Jones, 1995d; Karplus & Barki, 2004).

Pencegahan penyakit dalam akuakultur budidaya *Redclaw* terutama bergantung pada pemeliharaan kondisi lingkungan yang optimal, penerapan langkah-langkah biosekuriti yang tepat, dan menghindari praktik manajemen yang memicu stres. Infeksi bakteri umum termasuk spesies *Aeromonas* dan *Vibrio* dapat diminimalkan melalui pemeliharaan kualitas air yang tinggi dan penghindaran kondisi kepadatan yang berlebihan. Infeksi jamur, terutama yang menyerang telur dan individu yang baru saja berganti kulit, dapat dikendalikan melalui peningkatan sirkulasi air dan pengurangan beban organik. Penyakit virus relatif jarang terjadi pada capit merah dibandingkan dengan spesies krustasea lainnya, meskipun prosedur karantina untuk pengenalan stok baru

tetap menjadi langkah pencegahan yang penting (Islam et al., 2024; Nisar et al., 2022; Rasul, 2024; Stentiford et al., 2012).

1.3. Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan probiotik yang mengandung suplemen *Lactobacillus spp.* dan *Bacillus spp.* pada pakan komersial terhadap pertumbuhan, sintasan dan produksi lobster air tawar (*C. quadricarinatus*).

Hasil dari penelitian ini diharapkan menjadi bahan informasi bagi para pembudidaya mengembangkan strategi pemberian probiotik pada budidaya lobster air tawar (*C. quadricarinatus*). Selain itu, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan acuan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

BAB II. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan tempat

Penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih tiga bulan yang meliputi persiapan alat dan bahan, sedangkan kegiatan pemeliharaan berlangsung selama 42 hari, di mulai pada bulan November 2024 dan berakhir pada Januari 2025. Rentang waktu ini dipilih agar pelaksanaan penelitian durasi 42 hari dianggap cukup untuk mengamati perubahan dan perkembangan secara signifikan.

Kegiatan Penelitian berlokasi di Desa Kedungmutih, Kecamatan Wedung, Kabupaten Demak, Provinsi Jawa Tengah. Lokasi ini dipilih karena memiliki potensi sumber daya alam yang mendukung, khususnya dalam bidang perikanan budidaya.

2.2. Alat dan Bahan

Adapun alat dan Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut (Tabel 1)

Tabel 1 Nama alat beserta Spesifikasi dan fungsi

Alat	Spesifikasi	Fungsi
Baskom	Volume 35,16 L	Wadah pemeliharaan
Aerasi	>5 mg/L	Pensuplai oksigen
Timbangan Digital	500gr/0,01g	menimbang <i>Redclaw</i>
Penggaris	30 cm	Mengukur <i>Redclaw</i>
Seser	-	Menangkap <i>Redclaw</i>
Termometer	0,0-40,0°C	Mengukur suhu
Do meter	0,0-40,0 mg/L	Mengukur oksiden terlarut
pH meter	0,0-14	Mengukur pH air

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut

Tabel 2 Bahan yang digunakan

Bahan	Fungsi
<i>Redclaw</i>	Hewan uji penelitian
Air tawar	Media hidup <i>Redclaw</i>
Pellet	Sebagai kebutuhan nutrisi <i>Redclaw</i>
Probiotik Pro-Lacto plus	Sebagai probiotik yang digunakan untuk penelitian
Probiotik Pro- <i>Bacillus</i> plus	Sebagai probiotik yang digunakan untuk penelitian

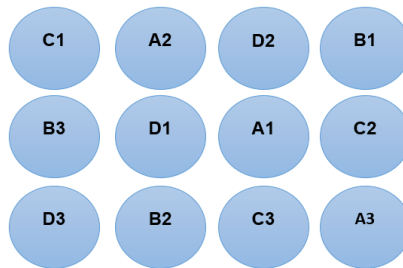
2.3. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dirancang dengan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) yang terdiri dari 4 perlakuan dan setiap perlakuan mempunyai 3 ulangan. Dengan demikian penelitian terdiri atas 12 satuan percobaan.

Adapun perlakuan yang diaplikasikan adalah perbedaan Jenis probiotik pada pemeliharaan Juvenil *Lobster air tawar* sebagai berikut:

- 1). A (kontrol tanpa probiotik)
- 2). B (pakan komersial + probiotik *Lactobacillus spp.* (5g/kg))
- 3). C (pakan komersial + probiotik *Bacillus spp.* (5g/kg))
- 4). D (pakan komersial + probiotik *Lactobacillus spp.* (2,5 g/kg) dan *Bacillus spp.* (2,5 g/kg))

Penempatan wadah-wadah penelitian dilakukan secara acak berdasarkan pada pola rancangan acak lengkap (RAL). Adapun tata letak wadah-wadah penelitian setelah dilakukan pengacakan dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Tata letak wadah penelitian setelah pengacakan

2.4. Pelaksanaan Penelitian

2.4.1. Hewan Uji

Hewan uji yang digunakan pada penelitian ini adalah Lobster air tawar yang berumur 2-3 bulan, memiliki bobot $6,04 \pm 0,06$ g. *Redclaw* tersebut dihasilkan dari Pokdakan Rumah ikan di Pati, Jawa Tengah.

2.4.2. Pakan

Pakan yang diberikan selama pemeliharaan kombinasi antara pakan komersil dan probiotik. Pakan komersil jenis pellet udang PF-100 berukuran 0,4–0,7 mm dengan kandungan tertera di label kemasan pakan Protein 40%, lemak 6%, serat kasar 3%, abu 15% dan kadar air 10% sebagai pakan. Pemberian pakan dengan frekuensi 3% dari berat badan Lobster air tawar. Frekuensi pemberian pakan 2 kali sehari yaitu pukul 08.00, dan pukul 17.00.

2.4.3. Wadah pemeliharaan

Wadah pemeliharaan menggunakan ember plastik hijau dengan volume berukuran 35 L yang di isi air tawar sebanyak 21 L, yang berjumlah 12 buah, wadah- wadah pemeliharaan tersebut dilengkapi dengan aerasi sebagai suplai oksigen.



Gambar 4. Wadah

pemeliharaan

2.4.4. Pemberian probiotik

Pemberian probiotik diberikan sebagai aditif pakan *Lobster air tawar* setelah penebaran dengan jenis probiotik sesuai perlakuan. Probiotik yang digunakan Probiotik Pro-Lacto plus dengan komposisi mengandung Kepadatan populasi 10^8 – 10^9 CFU/g yang terdiri dari :*Lactobacillus Plantarum*,*Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*,*Lactobacillus lactis*,*Lactobacillus fermentum*. dan Pro-Bacillus plus dengan komposisi mengandung kepadatan populasi 10^8 – 10^9 CFU/g yang terdiri dari :*Bacillus subtilis*,*Bacillus licheniformis*,*Bacillus megaterium*,*Bacillus pumilus*,*Bacillus polymixa*,*Bacillus coagulans*,*Bacillus cereus*. dengan cara pemakaian di Campur pakan dosis 5 gram / kg ke pakan, campurkan kedalam pakan pellet larutkan dengan air dengan perbandingan 2:1 , campurkan merata dengan pakan pellet, diamkan minimal 15-20 menit, kemudian di beri ke *Redclaw* sesuai perlakuan.

2.4.5. Prosedur Penelitian

Prosedur pelaksanaan penelitian dimulai dari persiapan wadah pemeliharaan. Sebelum digunakan wadah dicuci terlebih dahulu menggunakan air bersih. lalu digosok untuk menghilangkan kotoran yang menempel pada wadah, kemudian dibilas kembali menggunakan air bersih dan dikeringkan. Peralatan yang akan digunakan untuk kegiatan penelitian dibersihkan terlebih dahulu menggunakan air mengalir agar tidak terkontaminasi penyakit maupun patogen. selanjutnya, wadah di isi dengan air dan dilengkapi dengan aerasi sebagai suplai oksigen yang dilakukan sebelum proses penebaran *Redclaw* air tawar. Sebelum *Redclaw* ditebar, terlebih dahulu dilakukan penimbangan bobot tubuh menggunakan timbangan digital dan pengukuran panjang tubuh dengan penggaris. penebaran 10 ekor/wadah dan dipuaskan terlebih dahulu untuk beradaptasi dengan lingkungan sebelum di berikan pakan.

Pakan yang diberikan berupa pakan buatan jenis pakan tenggelam. Pakan diberi campuran probiotik sebelum diberikan ke *Redclaw* air tawar. Pemberian probiotik dalam penelitian ini dicampur dengan di semprotkan pada pakan. Selanjutnya dikeringanginkan selama 15-20 menit. Pakan diberikan dengan dosis 3% dari biomassa, frekuensi pemberian pakan sebanyak 2 kali sehari pada pukul 08.00 WIB dan 17.00 WIB dengan lama pemeliharaan 42 hari.

Lobster air tawar memiliki sifat nokturnal maka persentase pakan yang diberikan pada malam hari harus lebih banyak di bandingkan pada pagi hari. Untuk menjaga kestabilan kualitas air pada media pemeliharaan *Lobster air tawar* perlu dilakukan penyiponan atau pergantian air secara berkala untuk meningkatkan pertumbuhan dan sintasan *Redclaw* air tawar.

Pengambilan data bobot dan panjang *Lobster air tawar* menggunakan teknik sampling yang dilakukan 7 hari sekali. *Lobster air tawar* diukur untuk mengetahui panjang tubuh dengan menggunakan mistar dan bobot menggunakan timbangan digital.

Monitoring kualitas air dilakukan untuk mengamati parameter-parameter kualitas air media pemeliharaan selama penelitian. Pengamatan parameter

kualitas air dilakukan selama 2 kali sehari dengan parameter kualitas air yang diamati meliputi suhu, pH, DO.

2.5. Pengamatan dan Pengukuran

Parameter yang diamati pada penelitian ini adalah:

2.5.1. Laju Pertumbuhan Spesifik

Laju pertumbuhan spesifik (Specific Growth Rate) adalah laju pertumbuhan harian, digunakan untuk mengetahui pertambahan berat harian *Redclaw* air tawar. Hariati (1989) menyatakan bahwa laju pertumbuhan spesifik dapat dihitung menggunakan rumus:

$$SGR = \frac{\ln W_t - \ln W_0}{t} \times 100$$

Keterangan:

SGR = laju pertumbuhan spesifik (%)

W_t = berat rata-rata pada waktu ke-t (gram)

W_0 = berat rata-rata awal (gram)

t = waktu (hari)

2.5.2. Survival Rate (SR)

Menurut Tacon (1987), Survival rate (SR) dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$SR = \frac{N_t}{N_0} \times 100\%$$

Keterangan:

SR = kelulushidupan (%)

N_t = Jumlah ikan pada akhir penelitian

N_0 = Jumlah ikan pada awal penelitian

2.5.3. Produksi

Menurut Wahyudi (2022), produktivitas budidaya dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$PB = \frac{\text{jumlah total biomassa hasil produksi}}{\text{total volume media budidaya g/m}^2}$$

2.5.4. Kualitas Air

Kualitas air media pemeliharaan yang diukur selama pemeliharaan yaitu suhu, pH, dan oksigen terlarut. Suhu dan oksigen terlarut diukur menggunakan DO meter, pH menggunakan alat berupa pH Meter. Pengukuran suhu, pH, oksigen terlarut dilakukan 2 kali sehari yaitu pukul 07.00 (pagi) dan 15.00 (sore).

2.6. Analisis Data

Data pertumbuhan dan sintasan yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan analisis ragam (ANOVA). Apabila terdapat pengaruh yang nyata

($P < 0.05$) maka analisis dilanjutkan dengan menggunakan uji W-Tuckey. Sebagai alat bantu untuk pelaksanaan uji statistik tersebut, digunakan perangkat lunak komputer program SPSS versi 26.